

**ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico**

RELATÓRIO FINAL

SIMD-I-ROD - SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES PARA INSPEÇÃO DE RODOVIAS

Concessionária das Rodovias Integradas do Sul S.A. – CCR ViaSul

30/06/2023

Página 1 de 91

SUMÁRIO

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO	4
1.1 Título	4
1.2 Resumo	4
1.3 Palavras chave	4
1.4 Justificativa	4
1.5 Objetivos geral e específicos	5
1.6 Organização do trabalho	6
1.7 Período de execução	8
1.8 Cronograma de execução	8
1.9 Local de execução	10
1.10 Equipe executora	10
2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS	11
3. ETAPAS.....	16
3.1. Etapa 1 - Estruturação e Modelagem	16
Atividade 1.1 - Montagem da estrutura de trabalho.....	16
Atividade 1.2 - Visita à CCR ViaSul.....	17
Atividade 1.3 - Modelagem de drones e sensores	20
Atividade 1.4 - Desenvolvimento da arquitetura de comunicação para a transmissão de imagens do drone	39
Atividade 1.5 - Desenvolvimento de ferramentas de coletas de dados na simulação.....	40
Atividade 1.6 - Modelagem do ambiente utilizando RoadArchitect.....	41
Atividade 1.7 - Modelagem do ambiente utilizando Cesium.....	46
3.2. Etapa 2 - Capacitação Técnica.....	51
Atividade 2.1 - Compartilhamento de informações e abordagens entre equipe da IES e a equipe da concessionária	51
Atividade 2.2 - Workshop de RDT.....	51
3.3. Etapa 3 - Relatórios.....	52
Atividade 3.1 - Desenvolvimento de relatório parcial incluindo atividades de gestão e documentação de projeto.....	52
Atividade 3.2 - Desenvolvimento de relatório final incluindo atividades de conclusão de estrutura de documentação de projeto.....	52

4.	CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS GERADOS.....	52
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
6.	ANEXOS	58
6.1.	Anexo A – Glossário de termos e abreviações.....	58
6.2.	Anexo B – Itens Adquiridos.....	59
6.3.	Anexo C – Relatórios de Atividades dos Bolsistas	61
6.4.	Anexo D – Planilha de orientação para solicitação de dados de fabricantes de VANTs	71
6.5.	Anexo E – Regras para Acesso ao Espaço Aéreo	73
6.6.	Anexo F – Exemplos de aeronaves candidatas	74
6.7.	Anexo G – Tutorial de instalação do software JSBSim.....	75
6.8.	Anexo H – Cópia de Certificados.....	83

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do projeto;

SIMD-I-ROD - SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES PARA INSPEÇÃO DE RODOVIAS.

1.2. Resumo do tema, com a identificação do problema:

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de apoio a análise de viabilidade da aplicação de RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), popularmente conhecidos como drones, no processo de inspeção de rodovias. A metodologia de análise se apoia em simulações computacionais para a avaliação de desempenho dos RPAS em condições semelhantes àquelas encontradas nas rodovias alvo.

A inspeção de rodovias é uma obrigação contratual das concessionárias que implica em trabalho repetitivo, envolvendo mão de obra de uma pessoa para uma atividade complexa, multidisciplinar que exige níveis de atenção constantes e com níveis de exigência crescente. Apenas citando as responsabilidades principais: Monitoração dos Elementos de Proteção e Segurança, Monitoração de Obras-de-Arte Especiais, Monitoração do Sistema de Drenagem e Obras-de-Arte Correntes, Monitoração de Terraplenos e Estruturas de Contenção, Monitoração de Canteiro Central e Faixa de Domínio, Monitoração de Sistemas Elétricos e de Iluminação, Monitoração de Acidentes, Monitoração de Condições Ambientais e Ecológicas.

1.3. Palavras-chave:

1. Drones;
2. Inspeção Rodoviária;
3. Simulações Computacionais Tridimensionais.

1.4. Justificativas para o desenvolvimento do projeto;

O uso de drones pode trazer maior assertividade e eficiência ao processo de inspeção. Ao mesmo tempo uso de câmeras e outros sensores nos drones como GPS (Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit), etc. proporcionaria um registro estruturado e automatizado das cenas, formação de base de dados estruturada e conseqüentemente abriria espaço para a aplicação de ferramentas de Inteligência Artificial especializadas para a identificação de anomalias específicas.

Diretamente, a ferramenta computacional desenvolvida permite uma análise quantitativa da adequação de aeronaves candidatas, modelos de aeronaves e eventuais fornecedores de serviços de monitoramento de rodovias a se qualificarem, serem avaliados de forma criteriosa.

Indiretamente a ferramenta permite uma visualização muito rica do processo de monitoramento, oferecendo possibilidade de servir como meio para melhor apresentação de problemas da rodovia, associação amigável para auxiliar no armazenamento e recuperação de informações.

Ainda de acordo com a Resolução ANTT 483/2004, alterada pela Resolução ANTT 5.172/2016, os aspectos relevantes são III - soluções técnicas para problemas específicos; IV - soluções de integração com o meio ambiente. O problema específico abordado é a inspeção de rodovias e seu entorno, o que nitidamente leva a interação com o meio externo. Adicionalmente constitui clara inovação a forma de implementação onde se prevê o trabalho colaborativo entre ser humano, máquina e meio ambiente usando para isso drones que podem se deslocar no meio e se aproximar livremente de fenômenos e objetos de interesse.

1.5. Objetivos geral e específicos;

Geral: Realizar uma análise de viabilidade do processo de inspeção de rodovias utilizando drones. Esta proposta se valerá de busca na literatura e simulação computacional, focando na avaliação de desempenho das aeronaves, considerando a autonomia de voo, alcance, rapidez, manobrabilidade, facilidade de operação, informações coletadas, qualidade de informações e possíveis dificuldades legislativas (ICA 100-40).

Específicos: Estudar a capacidade de incorporar diferentes modelos e tamanhos de drones (asa móvel, asa fixa, e variantes híbridas). Verificar a complexidade e a viabilidade de se incorporar formas padronizadas de inserção de modelos para drones de diferentes fabricantes baseados em métodos bem estabelecidos de sistemas multicorpos contendo informações dinâmicas de geometria, dimensões, massa, inércia, potência, consumo, tipo e características de propulsão e de alimentação (combustível, baterias), atuadores e sensores. O estudo deve analisar também formas de interação direta ou indiretamente com os atuadores e no que tange aos sensores deve analisar a capacidade de se emular as respostas dos sensores interagindo e retirando dados do sistema;

Avaliar ferramentas de monitoramento e análise das simulações, como arquivos de dados, gráficos e animações;

Avaliar a capacidade de incorporar modelos de ambiente 3D de relevo, incluindo os detalhes de traçado de rodovias a serem inspecionados. Também deve verificar a possibilidade de inserir e simular os elementos relevantes de inspeção a serem detectados. Por motivos de simplicidade, o projeto se restringe o estudo à incorporação de modelos do ambiente, adotando trechos isolados da rodovia destinados a inspeção.

Estudar a capacidade de incorporar efeitos climáticos, em especial influência de vento, rajadas, chuva e etc.

1.6. Organização do trabalho;

Este projeto foi organizado em quatro etapas, com as seguintes atividades:

- Etapa 1 - Estruturação e modelagem.

Atividade 1.1 - Montagem da estrutura de trabalho

- a. Aquisição de equipamentos, materiais e montagem de estrutura de pesquisa.
- b. Licenças de software - Aquisição, instalação e colocação em funcionamento dos softwares de simulação, a saber JSBSim, Unity, Cesium, Matlab e SolidWorks.
- c. Aquisição de materiais de consumo para desenvolvimento das atividades propostas.
- d. Atividades de apoio e de gerenciamento ao desenvolvimento do projeto.

Atividade 1.2 - Modelagem de drones e sensores

- a. Organização de viagens (despesas com transporte e passagens) para a realização de estudos, entrevistas, visitas e reuniões – foco no entendimento a inspeção atual.
- b. Organização financeira das reuniões e viagens (diárias).
- c. Subatividade 1 – Desenvolvimento de protocolo geral de introdução de modelos.
- d. Subatividade 2 – Estudo do controle de baixo nível - altura, orientação espacial e deslocamento lateral.
- e. Subatividade 3 – Planejamento e execução de rotas e trajetórias.
- f. Subatividade 4 – Painel de monitoramento e controle de aeronave.
- g. Subatividade 5 – Estudo de sistemas de comunicação disponíveis.

Atividade 1.3 - Modelagem de ambiente

- a. Subatividade 1 – Protocolo geral de introdução de modelos.
- b. Subatividade 2 – Inserção de obstáculos e objetos de interesse.
- c. Subatividade 3 – Painel de monitoramento e controle de ambiente.

Atividade 1.4 - Integração de drones e ambiente

- a. Subatividade 1 – Visualização do ambiente a partir dos sensores (câmeras do drone).

- b. Subatividade 2 – Comparação de resultados obtidos por drones com perspectivas convencionais.

- Etapa 2 - Capacitação técnica.

Atividade 2.1 - Compartilhamento de informações e abordagens entre equipe da Instituição de Ensino Superior (IES) e a equipe da concessionária.

- a. Realização de reuniões, troca de informações e dinâmicas.

Atividade 2.2 - Workshop de RDT

- a. Workshop em formato virtual utilizando tecnologias remotas com apoio de internet, computador, tablet e celular com o uso de recursos de software disponíveis na IES inclusive para gravação simultânea.

- Etapa 3 - Relatórios.

Atividade 3.1 – Desenvolvimento de relatório parcial incluindo atividades de gestão e documentação de projeto

Atividade 3.2 - Desenvolvimento de relatório final incluindo atividades de conclusão de estrutura de documentação de projeto

- Etapa 4 - Mão de obra.

Atividade 4.1 – Atividades de coordenação - Alocação de RH e gestão de pessoal para execução das tarefas, orientação científica a nível de pós-graduação. Perfil do coordenador - Professor Universitário com Títulos de Doutor, Livre-Docência e experiência comprovada em coordenação de projetos e atuação nas áreas de robótica.

Atividade 4.2 – Atividades de pesquisa por RH em nível de mestrado. Profissional no nível de Mestrado com graduação em Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Eng. Aeronáutica.

Atividade 4.3 - Atividades de pesquisa por RH em nível de iniciação científica – IC.
Estudante de Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Eng. Aeronáutica.

1.7. Período de desenvolvimento do projeto: 01/10/2022 a 30/06/2023;

1.8. Cronograma de execução;

CONCESSIONÁRIA DAS RODOVIAS INTEGRADAS DO SUL S.A. - CCR VIASUL												
SIMD-1 ROD - Simulação de Desempenho de Drones para Inspeção de Rodovias												
ELEMENTOS	UNID ADE	Qtd. (A)	VALOR UNITÁRIO (R\$) (B)	TOTAL (AxB)	MES 1 (R\$) Agosto 2022	MES 2 (R\$) Setembro 2022	MES 3 (R\$) Outubro 2022	MES 4 (R\$) Novembro 2022	MES 5 (R\$) Dezembro 2022	MES 6 (R\$) Janeiro 2023	MES 7 (R\$) Fevereiro 2023	MES 8 (R\$) Março 2023
ETAPA 1				R\$ 193.352,33	R\$ 124.965,47	R\$ 22.795,62	R\$ 17.700,36	R\$ 22.795,62	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Atividade 1.1				R\$ 172.971,23	R\$ 119.670,21	R\$ 17.700,36	R\$ 17.700,36	R\$ 22.795,62	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.1.1. equipamento conjuntic		1	31.652,00	R\$ 31.652,00	31652,00							
1.1.2. serviços de terceiros (licença software)	und	1	70.517,85	R\$ 70.517,85	70517,85							
1.1.3. serviços de terceiros (serviços de processamento em nuvem)	mês (*)	7	2.957,14	R\$ 20.000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00				
1.1.4. material de consumo	mês (*)	7	4.211,21	R\$ 23.476,50	7363,63	7363,63	7363,63	7363,63				
1.1.5. Gestão Financeira Administrativa a ser realizada pela Fundação de apoio interveniente junto a USP e a FAPQ, incluindo a gestão de bolsas, aquisição de equipamentos e em especial no apoio a prestação	mês (*)	1	21.322,94	R\$ 21.322,94	5330,74	5330,74	5330,74	5330,74				
Atividade 1.2				R\$ 20.381,04	R\$ 5.095,26	R\$ 5.095,26	R\$ 5.095,26	R\$ 5.095,26	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.2.1. passagens - viagens Campinas - Porto Alegre ida e volta para 4 pessoas	mês (*)	4	2.688,06	R\$ 10.752,24	2688,06	2688,06	2688,06	2688,06				
1.2.2. diárias - 32 diárias padrão	mês (*)	32	300,90	R\$ 9.628,80	2407,20	2407,20	2407,20	2407,20				
1.2.3. Desenvolvimento de protocolo	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
1.2.4. Estudo do controle de baixo nível	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
1.2.5. Planejamento e execução de rotas e trajetórias	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
1.2.6. Painel de monitoramento	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
1.2.7. sistemas de comunicação	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Atividade 1.3				R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.3.1. Protocolo de introdução de modelos	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
1.3.2. Inserção de obstáculos e objetos	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
1.3.3. Painel de monitoramento e controle	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Atividade 1.4				R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1.4.1. Visualização do ambiente	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
1.4.2. Comparação de resultados	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
ETAPA 2 CAPACITAÇÃO TÉCNICA				R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2.1 Reuniões de trabalho				R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2.1.1. Reuniões, discussões, dinâmicas	h	32	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
2.2 Workshop				R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2.2.1. Atividade em formato remoto	h	160	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
ETAPA 3 RELATÓRIOS				R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
3.1. Relatório mensal	h	320	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
3.2. Relatório final	h	520	0,00	R\$ 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
ETAPA 4 MÃO DE OBRA				R\$ 41.200,00	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00
4.1. Coordenador - Professor Doutor em Engenharia Bolso tipo Apoio Técnico à Pesquisa - (AT-NS)	meses	8	550,00	R\$ 4.400,00	550,00	550,00	550,00	550,00	550,00	550,00	550,00	550,00
4.2.1. Mestrando com Formação em Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Aeronáutica.	meses	8	1500,00	R\$ 12.000,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00
4.2.2. Mestrando com Formação em Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Aeronáutica.	meses	8	1500,00	R\$ 12.000,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00
4.3.1. Graduando em Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Eng. Aeronáutica Iniciação Científica (IC)	meses	8	400,00	R\$ 3.200,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
4.3.2. Graduando em Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Eng. Aeronáutica Iniciação Científica (IC)	meses	8	400,00	R\$ 3.200,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
4.3.3. Graduando em Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Eng. Aeronáutica Iniciação Científica (IC)	meses	8	400,00	R\$ 3.200,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
4.3.4. Graduando em Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Eng. Aeronáutica Iniciação Científica (IC)	meses	8	400,00	R\$ 3.200,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00
TOTAIS				R\$ 234.552,33	R\$ 130.115,47	R\$ 27.945,62	R\$ 27.945,62	R\$ 27.945,62	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00	R\$ 5.150,00

(*) Unidade mês refere-se a parcelas mensais destinadas ao item específico

1.9. Local de execução:

Departamento de Engenharia Aeronáutica (SAA)

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC

Universidade de São Paulo (USP)

Laboratório Aeronáutico de Tecnologias (AeroTech) - Hangar I - Sala 35257:

- atividades de modelagem e simulação computacionais.
- atividades de estudo.
- experimentos e testes unitários de sistemas de controle.

Laboratório de Aerodinâmica (AeroTech) - Hangar I Arena de Drones:

- montagem de experimentos – estruturas de sustentação e fixação de equipamentos e sensores.
- voos experimentais e testes conceituais com modelos de drones.
- monitoramento com sistemas de rastreamento espacial baseado em múltiplas câmeras de infravermelho OptiTrak – testes de controle.

Laboratório de Aerodinâmica (LAE) - Hangar II:

- Testes com sopradores – levantamento de parâmetros.

1.10. Equipe executora

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – Universidade de São Paulo (USP)

1. Prof. Glauco A. P. Caurin – Docente - Coordenador
2. Prof. Marcelo Becker – Docente - Contrapartida USP – sem Bolsa
3. Antonio Carlos Daud Filho
4. Henrique Borges Garcia
5. Kleber de Oliveira Andrade - Contrapartida USP – sem Bolsa
6. Caio Wingeter de Castilho
7. Lucas Harim Gomes Cavalcanti
8. Saulo da Paz Almeida - Contrapartida USP – sem Bolsa
9. Clayton Sant’Ana

Concessionária das Rodovias Integradas do Sul S.A. – CCR ViaSul

1. Thiago Paixão Portugal
2. Silmara de Aguiar Martins
3. Fabio Portela Rodrigues
4. Breno Ferreira Leal
5. Diogo Elias Stiebler

Fundação de Apoio a Física e a Química – FAFQ

1. Maria Fernanda da Silva

2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

A análise da viabilidade do processo de inspeção de rodovias utilizando drones foi feita por meio de ferramentas computacionais de simulação de voo dessas aeronaves. Assim, a ferramenta computacional final, resultado desse projeto é uma combinação de uma ferramenta de simulação da dinâmica de voo e controle de aeronaves não tripuladas, uma ferramenta de visualização do sobrevoo da aeronave em relação à rodovia, objeto de fiscalização, além de ferramentas de transmissão e processamento de imagens da simulação.

Optou-se inicialmente pelo desenvolvimento completo do subsistema de software de modelagem e de simulação de voo de drones, ou seja, desde a sua concepção e programação mais básica. As atividades consistiam na escrita de um pseudocódigo (arquitetura lógica da programação do software de simulação de voo de drones) que envolveu toda a modelagem dinâmica de voo e controle esperada para os mais variados tipos de drones disponíveis no mercado, isto é, tanto multicópteros, quanto aeronaves de asa fixa e do tipo decolagem e pouso vertical (VTOL), bem como as influências atmosféricas e ambientais esperadas, como por exemplo, efeitos de ventos e de temperaturas.

Como resultado destas atividades foi gerado o diagrama a seguir da Figura 1 que oferece uma visão completa deste subsistema, onde cada bloco representa um conjunto de modelos matemáticos.

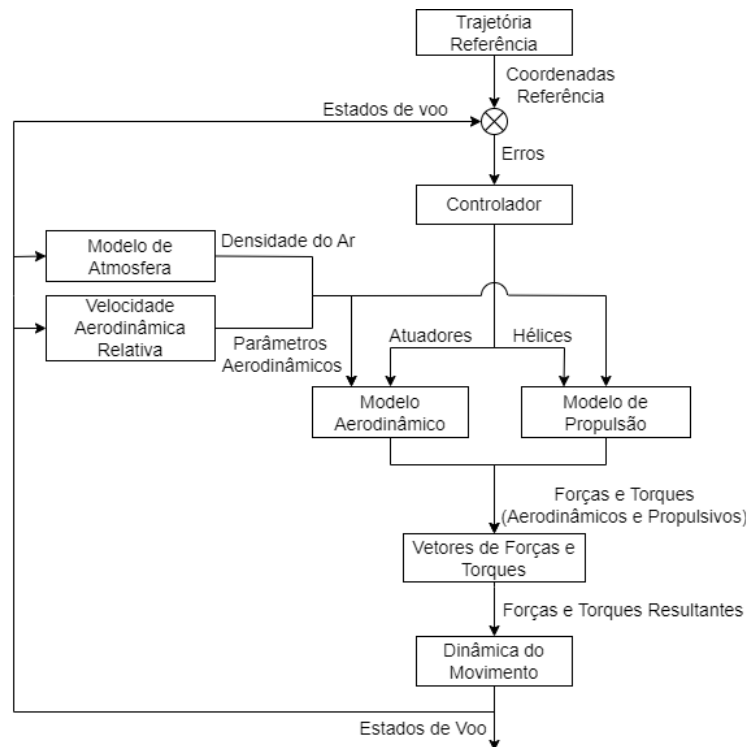


Figura 1 - Diagrama da arquitetura lógica da programação do software de simulação de voo de drones.

A abordagem inicial, no entanto, foi substituída na tentativa de se aumentar a flexibilidade do resultado final e também reduzir eventuais custos em termos de capacidade de ampliação futura do software. A nova abordagem também reduz riscos associados a perda de desempenho de programação e simulação. Assim, optou-se por adaptar um software de simulação do movimento dinâmico de aeronaves de código aberto para a aplicação no escopo deste projeto, ou seja, produzir um software capaz de realizar uma análise de viabilidade do processo de inspeção de rodovias utilizando drones. Neste contexto, o software de código aberto JSBSim [1] mostrou-se ideal. Este software é utilizado como base de cálculos de dinâmica de voo e controle de programas de simulação de aeronaves como por exemplo o *FlightGear Flight Simulator* [2]. Imagens deste simulador de voo de aeronaves são mostradas na Figura 2.

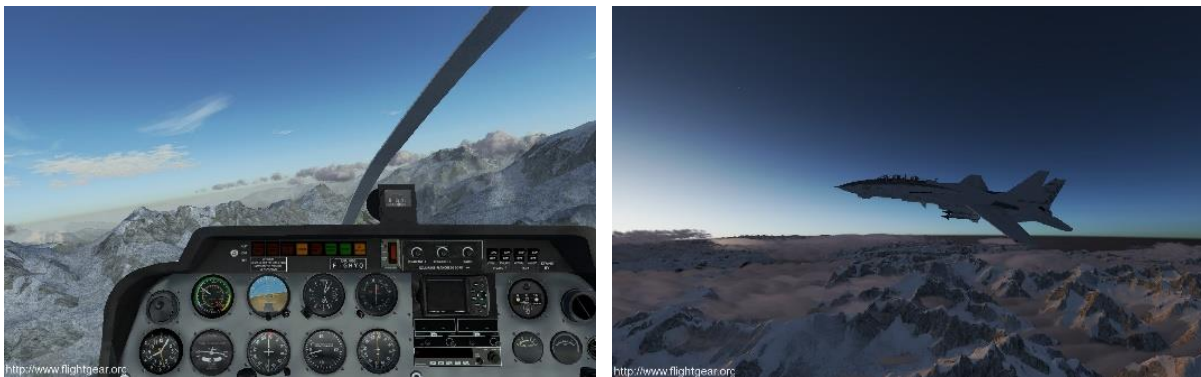


Figura 2 - Imagens do simulador de voo de aeronaves *FlightGear Flight Simulator*.

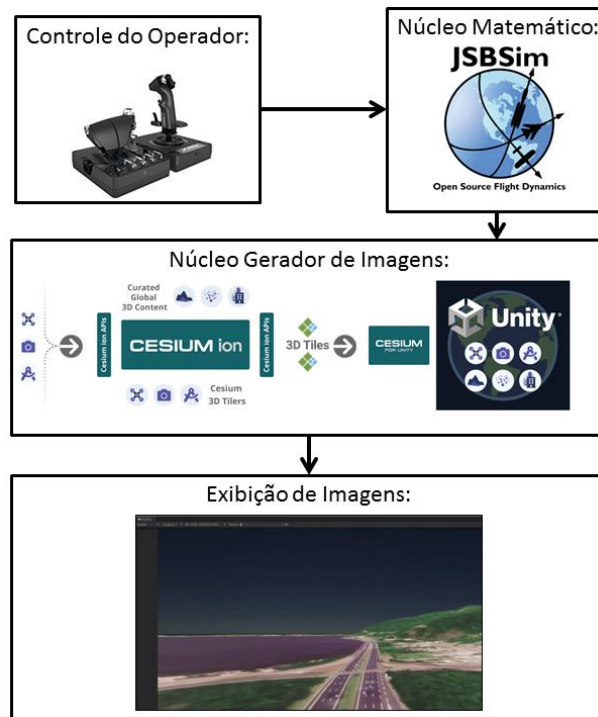
Portanto, o software JSBSim foi adaptado para a aplicação deste projeto, a saber, a simulação de drones em processo de inspeção de rodovias. Logo, os arquivos de entrada que descrevem as propriedades geométricas, inerciais e de respostas dinâmicas da aeronave a ser simulada podem ser implementados para drones disponíveis no mercado, possíveis candidatos a serem adotados na inspeção de rodovias.

Neste contexto, o software JSBSim é adotado como núcleo de cálculos matemáticos da simulação, ou seja, ele processa os dados referentes ao voo do drone, como por exemplo, qual a velocidade de voo, qual a orientação espacial do drone, qual a posição, qual a velocidade e direção do vento, e conseqüentemente, qual a resposta dinâmica fiel a uma condição real e física de voo, de forma que, a análise advinda dessa simulação virtual de desempenho de voo seja o mais próximo possível do que deve ocorrer no mundo real.

Desta forma, os dados processados por esse núcleo de cálculos matemáticos (software JSBSim) deve ser processado por um outro software de visualização de imagens para que o operador e usuário da ferramenta possam visualizar e interpretar qual o desempenho do drone sob análise. A visualização constitui o segundo subsistema de software deste projeto, como mencionado anteriormente.

Assim, a arquitetura do software de simulação de desempenho de drones para inspeção de rodovias pode ser visualizado na Figura 3, onde pode-se dividir os núcleos principais como: controle do operador, núcleo matemático, núcleo gerador de imagens e exibição de imagens.

Importante ressaltar, que a Figura 3, transmite a forma pela qual os dois subsistemas de software adotados neste projeto são integrados para atender os objetivos estabelecidos.



Controle do operador: a simulação de voo do drone foi planejada para ser feita de duas formas, ou seja:

1. Com o controle manual de um operador de voo, de modo que as reações visualizadas nas imagens se dão em tempo real à medida que comandos são aplicados nos controles físicos do tipo joystick (manche, manete de potência e pedais).

2. Com um roteiro de trajetória a ser percorrida. Logo, nesse modo não há comandos manuais durante a simulação.

Núcleo matemático: conjunto de algoritmos e cálculos matemáticos correspondentes à dinâmica de voo e controle de drones. Faz a interpretação dos comandos do operador a serem traduzidos em movimento no drone, ou calcula os comandos necessários a seguir determinado roteiro de trajetória de voo. Envia dados de posição e orientação espacial para geração de imagens.

Núcleo gerador de imagens: produz arquivos de geração de imagens em função dos dados recebidos de posição e orientação espacial, bem como em função de posição e direção da câmera virtual de observação do voo simulado.

Exibição de imagens: demonstra ao usuário a situação do voo simulado por meio de geração de imagens.

Para a criação e integração do ambiente 3D com a dinâmica de voo provida pelo JSBSim, foi utilizada uma plataforma de desenvolvimento chamada Unity [4] que atua como um “motor de jogos”, possuindo um sistema versátil e altamente capacitado que oferece recursos avançados, juntamente com suporte para uma ampla gama de plataformas.

Para a geração do ambiente geográfico virtual, encontrou-se uma situação comparável com a ocorrida no desenvolvimento do software de simulação da dinâmica de voo. A princípio, a abordagem utilizada lançou mão unicamente de ferramentas da Unity capazes de auxiliar a criação manual dos trechos das rodovias no simulador. Para tanto, utilizou-se a biblioteca *RoadArchitect*.



Figura 4 - Exemplos da biblioteca *RoadArchitect*.

Entretanto, ao longo do andamento do projeto, a empresa Cesium GS lançou a primeira versão de seu *plugin* para Unity. Esta empresa é desenvolvedora do software Cesium [3], o qual é capaz de condensar dados geográficos de imagens e relevo, e colocá-los em um ambiente interativo virtual. Neste sentido, a tarefa de desenvolvimento de um cenário que representasse a rodovia foi dividida em duas frentes, uma utilizando o *RoadArchitect* e a outra, o Cesium.

Ao final do projeto, devido à complexidade da concepção de um código que fosse capaz de gerar grandes ambientes 3D em *RoadArchitect*, optou-se pela sua utilização apenas em cenários pequenos, com foco em fotorrealismo, os quais podem ser utilizados para testes. Para a simulação do voo sobre longos trechos da rodovia, optou-se pela utilização do Cesium. Exemplos de ambientes geográficos virtuais que serão aplicados no escopo deste projeto, ou seja, uso de drones para realizar inspeção de rodovias, particularmente as rodovias administradas pela CCR ViaSul, são mostradas na Figura 5 com o ambiente virtual das cercanias da cidade de Osório (RS), por onde passa trecho da rodovia BR-290, na Figura 6 com uma visão mais aproximada da rodovia, e na Figura 7 uma visão de um trecho da BR-386 utilizando o *RoadArchitect*. Observa-se que o ambiente geográfico virtual reproduz imagens de satélite obtidas da região, bem como simula os relevos topográficos, ou seja, os morros presentes na beira da rodovia também estão representados neste ambiente virtual.



Figura 5 - Exemplo do ambiente virtual desenvolvido. (Imagem aérea da combinação de elementos geográficos na cidade de Osório).



Figura 6 - Exemplo do ambiente virtual desenvolvido. (Trecho de simulação de voo acima da BR-290, sentido de Osório para Porto Alegre).

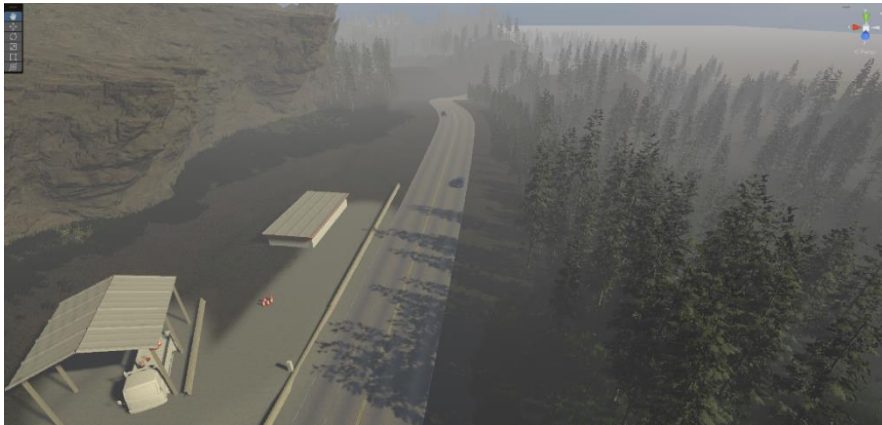


Figura 7 – Ambiente desenvolvido para representação de um trecho da BR-386 utilizando o *RoadArchitect*.

Com isso, para integrar os ambientes interativos com as simulações propriamente ditas, foram criados códigos computacionais capazes de tomar os resultados gerados pelo software de cálculos de dinâmica de voo (JSBSim) e implementá-los em um objeto dentro desse cenário virtual, representado pelo modelo 3D de um drone, alterando apenas algumas características das

informações transmitidas para se adequarem ao que é esperado pela *Unity*, assim foi possível gerar uma resposta visual das condições físicas dessa aeronave.

Os dados são incorporados usando as saídas obtidas da simulação do JSBSim o que permite a elaboração de rotas para os drones. Este software permite a transmissão em tempo real das informações de interesse à geração das imagens, que são a orientação espacial, isto é, ângulos de arfagem, rolagem e direção de voo, bem como as coordenadas de posicionamento espacial, ou seja, altitude, latitude e longitude.

Além da visualização do estado do drone no ambiente 3D, também foram desenvolvidos códigos computacionais para simular a aquisição e transmissão de imagens sob a perspectiva da câmera embarcada no drone. Assim, conforme a aeronave não tripulada se desloca pelo cenário, as imagens captadas por sua câmera podem ser transmitidas em tempo real a fim de aplicar alguma técnica de pós processamento. Para tanto, uma arquitetura de comunicação foi desenvolvida, a qual futuramente pode ser utilizada para o teste do envio de dados de outros sensores além da câmera.

3. ETAPAS

O projeto foi dividido em etapas para a realização dos estudos e para a execução das atividades planejadas

3.1 ETAPA 1 - ESTRUTURAÇÃO E MODELAGEM

Atividade 1.1 Montagem da estrutura de trabalho

- **Aquisição de equipamentos e montagem**

Foram adquiridos equipamentos computacionais para desenvolvimento do software de simulação de drones para inspeção de rodovias, sendo:

- a. 1 PC desktop para simulações 3D - MICROCOMPUTADOR DELL XPS 8950 COREI7-12700 RAM 16GB, GEFORCE RTX3060, HDD 1TB+512NVME WIN 11PRO
- b. 1 Notebook com placa gráfica: modelo Avell A70 HYB i7-12700H RTX, 3060 Black 165 Hz 32 GB (2x16) DDR5, NVME 1TB NVME 1TB Windows 11 HSL
- c. 2 Monitores para computador: modelo Dell E2222HS de 21,5 polegadas.

- **Aquisição de materiais de consumo e montagem de experimentos**

- **Aquisição de serviços de terceiros (licenças de software)**

- a. Uma Licença de software Matlab com as seguintes bibliotecas adicionais: Simulink, Aerospace Blockset, Aerospace Toolbox, Computer Vision Toolbox, Control System Toolbox, Image Processing Toolbox, Optimization Toolbox,

- Signal Processing Toolbox, Simulink 3D Animation, Simulink Control Design. O software se destina a atividades de modelagem, análise e simulação de aeronaves
- b. Uma Licença de software SOLIDWORKS Standard Network Package da empresa Dassault Systemes Americas Corp, na versão SOLIDWORKS 2023. O software se destina a trabalhos de desenho técnico em 3D em geral
 - c. Recursos de computação em nuvem AWS para processamento de alto desempenho

- **Instalação e colocação em funcionamento dos softwares-testes.**

Os softwares empregados neste projeto têm acesso livre e foram instalados nos equipamentos computacionais adquiridos, sendo eles:

- a. JSBSim: Open Source Flight Dynamics. Versão 1.1.13. 2023. Disponível em: <<https://jsbsim.sourceforge.net/index.html>>. Acesso em 14 de junho de 2023.
- b. FlightGear: Flight Simulator. Versão 2020.3.18. 2023. Disponível em: <<https://www.flightgear.org/>>. Acesso em 14 de junho de 2023.
- c. Cesium: The Platform for 3D Geospatial. Versão 0.2.0. 2023. Disponível em: <<https://cesium.com/>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.
- d. Unity: The Platform for Real-Time Development. Versão 3.30f1. 2020. Disponível em: <<https://unity.com/pt>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.
- e. RoadArchitect for Unity. Versão 2018.3.0 Disponível em: <https://github.com/MicroGSD/RoadArchitect>. Acesso em 15 de junho de 2023.

Atividade 1.2 Visita à CCR ViaSul

Nos dias 05 e 06 de outubro de 2022 parte da equipe da USP que trabalha no projeto foi até Porto Alegre para acompanhar algumas inspeções nas rodovias e para adquirir conhecimento dos desafios e demandas reais envolvidos na operação como um todo.

Lembrando que o objetivo geral do projeto é o de realizar uma análise de viabilidade do processo de inspeção de rodovias utilizando drones. Valendo-se de busca na literatura e simulação computacional, focando na avaliação de desempenho das aeronaves, considerando a autonomia de voo, alcance, rapidez, manobrabilidade, facilidade de operação, informações coletadas, qualidade de informações e possíveis dificuldades legislativas.

Assim, esse objetivo geral deve ser aplicado às rodovias sob concessão da CCR ViaSul (BR-290, BR-101, BR-448 e BR-386), as quais são mostradas na Figura 8, sendo a foto tirada no centro de controle operacional (CCO).



Figura 8 - Mapa das rodovias sob concessão da CCR ViaSul: BR-290, BR-101, BR-448 e BR-386.

Estes trechos de rodovias são atualmente monitorados a partir do centro de controle operacional (CCO) que possui sistema integrado de monitoramento, cuja interface visual é mostrada na Figura 9. Esse sistema atualmente integra diversas câmeras de filmagem fixas, e com capacidade de rotação, espalhadas ao longo das rodovias, e com controle remoto pelo operador no CCO.



Figura 9 - Interface visual ao operador do sistema de controle das rodovias.

O sistema atual possui limitações quanto à capacidade de detectar problemas ao longo e nos arredores das rodovias, o que justifica o estudo de aplicação de drones para realizar as atividades de inspeção nas rodovias. A equipe do projeto visitou os trechos para identificar as demandas da concessionária CCR ViaSul. No primeiro dia de visita, o trecho percorrido foi de Porto Alegre à divisa do Rio Grande do Sul com Santa Catarina, o qual corresponde aos trechos da BR-290 e BR-101. Neste contexto, a equipe elencou alguns desafios que envolvem a operação de drones no local. Dentre eles, destacam-se:

1. Presença de fios de alta tensão ao longo do trecho próximo à Porto Alegre;
2. Possibilidade de tráfego aéreo intenso nas proximidades da rodovia. Seja devido ao aeroporto da capital, a helipontos, bases aéreas ou até mesmo devido à utilização de aviões agrícolas em regiões periféricas à faixa de rolagem;

3. Ventos fortes e condições climáticas adversas, como no trecho da BR-290 mostrado na Figura 10, em que se observa um parque eólico nos seus arredores;



Figura 10 - Trechos da BR-290. Presença de muitos ventos evidenciado pelos geradores eólicos.

Ainda no dia 5 de outubro de 2022, também foi realizada uma visita ao Centro de Controle Operacional (CCO). Lá a equipe da USP pôde entender também como a rodovia é monitorada em todo o seu percurso, bem como entender as limitações atuais e a possibilidades de superar estas limitações ao se utilizar os drones. Nesse sentido, foi dado um exemplo em que acidentes com caminhões com produtos químicos poderiam ser mais bem gerenciados caso fosse possível a utilização de drones com sensores apropriados para a detecção de substâncias tóxicas.

Já no dia 6 de outubro de 2022, foi percorrido o trecho de Porto Alegre em direção a Carazinho, pelas BR-448 e BR-386. A equipe foi até a base que fica no topo da serra em Pouso Novo. Neste trecho, também foram elencados outros desafios para a operação com drone, dos quais destacam-se:

1. Curvas fechadas ao longo da serra;
2. Paredões verticais adjacentes à faixa de rolagem;
3. Vegetação alta nas proximidades da faixa de rolagem;
4. Alta recorrência de neblina e baixa visibilidade;
5. Ventos ascendentes que vão dos vales em direção à pista.

O conhecimento destes fatores é de grande importância para o desenvolvimento das etapas do projeto.

Atividade 1.3 Modelagem de drones e sensores

- **Modelagem da dinâmica de voo de drones.**

O software de simulação da dinâmica de voo de drones JSBSim realiza os cálculos matemáticos que quantificam o movimento do corpo sob estudo, no caso um drone, em função das propriedades inerciais, geométricas, aerodinâmicas e de propulsão que impõem forças e momentos atuantes neste corpo. A plataforma online desse software disponibiliza um manual completo com toda a descrição de suas funcionalidades e os modelos matemáticos adotados [5].

A simulação é inicializada por meio de arquivos de configuração:

1. Um conjunto de arquivos que descrevem as propriedades geométricas, inerciais, aerodinâmicas e de propulsão da aeronave

(Deve ser um arquivo salvo na pasta: **\JSBSim\aircraft**)

2. Um arquivo que descreve a condição inicial da aeronave (coordenadas de posição, velocidade, altitude, orientação espacial).

(Deve ser um arquivo salvo na pasta: **\JSBSim\aircraft**)

3. Um arquivo que descreve o controlador automático da aeronave.

(Deve ser um arquivo salvo na pasta: **\JSBSim\systems**)

4. Um arquivo de sequência de eventos a serem executados durante o tempo da simulação.

(Deve ser um arquivo salvo na pasta: **\JSBSim\scripts**)

Assim, os arquivos de configuração do software JSBSim podem ser modificados por meio de códigos no formato xml, cuja interface com o usuário é mostrada na Figura 11.

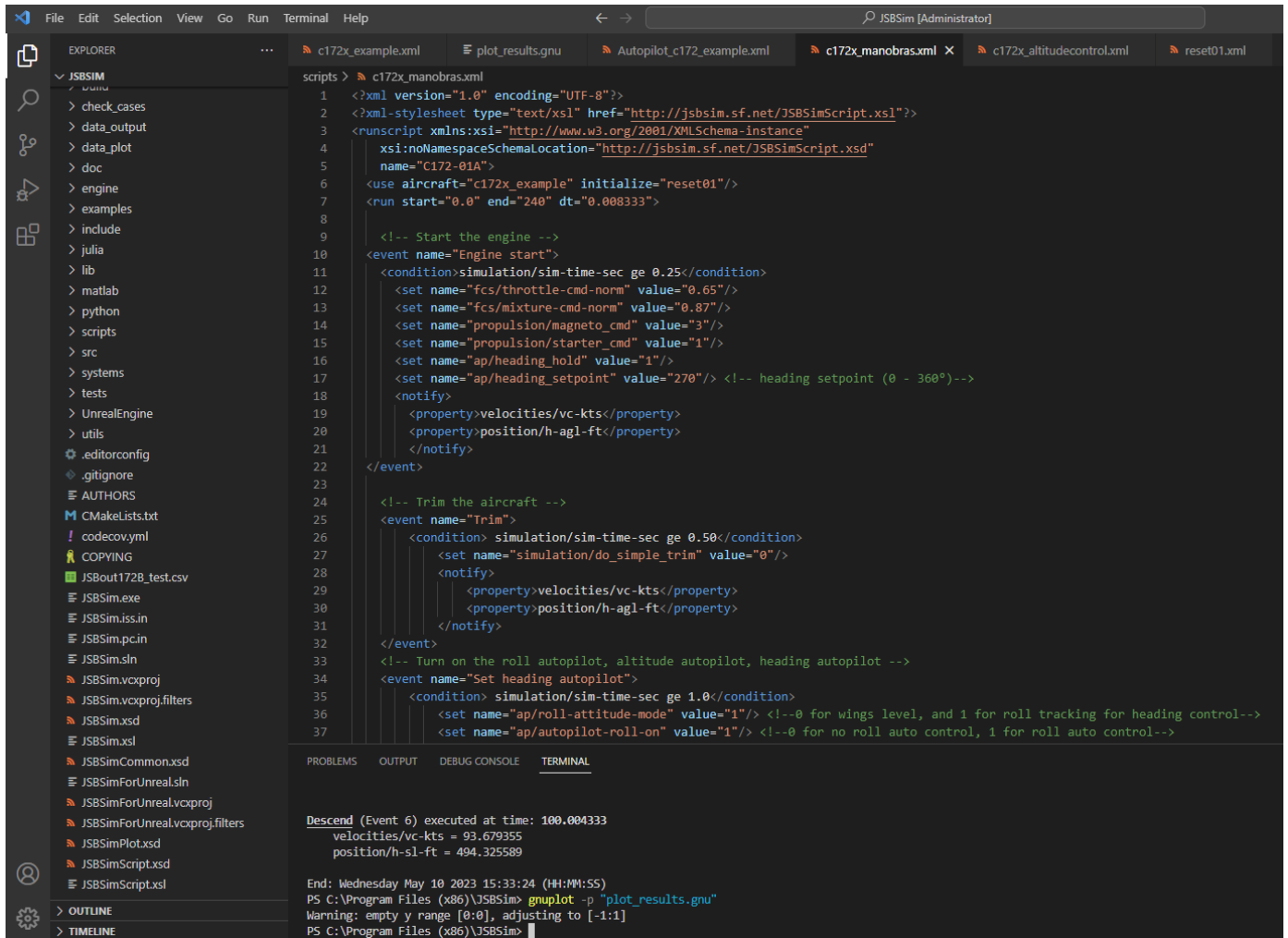


Figura 11 - Interface do software JSBSim com o usuário.

Assim, as propriedades geométricas da aeronave podem ser inseridas como no exemplo da Figura 12, onde estão listadas propriedades como: área de asa (wingarea), envergadura da asa (wingspan), corda da asa (chord), área do estabilizador horizontal (htailarea), distância do estabilizador horizontal ao centro de gravidade (htailarm), área do estabilizador vertical (vtailarea) e distância do estabilizador vertical ao centro de gravidade (vtailarm). No exemplo as propriedades estão em unidades imperiais de pés (FT) e pés² (FT2), mas podem ser inseridas em unidades do sistema internacional, m (M) e m² (M2).

Para realizar as simulações teste deste projeto utilizou-se das propriedades da aeronave Cessna 172 Skyhawk, que é uma aeronave pequena e possui ampla disponibilidade de informações geométricas, inerciais, aerodinâmicas e de propulsão.

```

<metrics>
  <wingarea unit="FT2"> 174.0 </wingarea>
  <wingspan unit="FT"> 36.0 </wingspan>
  <chord unit="FT"> 4.9 </chord>
  <htailarea unit="FT2"> 21.9 </htailarea>
  <htailarm unit="FT"> 15.7 </htailarm>
  <vtailarea unit="FT2"> 16.5 </vtailarea>
  <vtailarm unit="FT"> 15.7 </vtailarm>

```

Figura 12 – Exemplo de propriedades geométricas de aeronave em arquivo de configuração do JSBSim.

Ainda, tem-se o exemplo de propriedades de propulsão de aeronave na Figura 13, onde se define qual o motor, o qual deve possuir seu próprio arquivo de configuração, qual a hélice, sua posição e orientação espacial, a qual também deve possuir seu próprio arquivo de configuração. Além do mais, se houver tanque de combustível, qual a sua posição, sua capacidade máxima e quanto há de combustível no tanque no início da simulação.

```

<propulsion>
  <engine file="eng_io320">
    <feed>0</feed>
    <feed>1</feed>
    <thruster file="prop_75in2f">
      <location unit="IN">
        <x>-37.7</x>
        <y>0</y>
        <z>26.6</z>
      </location>
      <orient unit="DEG">
        <roll>0</roll>
        <pitch>0</pitch>
        <yaw>0</yaw>
      </orient>
      <sense>-1</sense>
      <p_factor>10.0</p_factor>
    </thruster>
  </engine>
  <tank type="FUEL"> <!-- Tank number 0 -->
    <location unit="IN">
      <x>48.0</x>
      <y>-112.0</y>
      <z>59.4</z>
    </location>
    <radius unit="IN">29.4</radius>
    <capacity unit="LBS">130</capacity>
    <contents unit="LBS">130</contents>
  </tank>

```

Figura 13 – Exemplo de propriedades de propulsão de aeronave em arquivo de configuração do JSBSim.

Um exemplo de arquivo de condição inicial de aeronave é mostrado na Figura 14, onde são definidas a velocidade de voo inicial (vt), a coordenada de latitude, a coordenada de longitude, o ângulo de rolagem (phi), o ângulo de arfagem (theta), o ângulo de direção de voo (psi) e altitude.

```

<initialize name="reset01">
  <!--
  -->
  <vt unit="KTS">      100.0 </vt>
  <latitude unit="DEG"> -29.897419 </latitude>
  <longitude unit="DEG"> -50.292771 </longitude>
  <phi unit="DEG">      0.0 </phi>
  <theta unit="DEG">    0.0 </theta>
  <psi unit="DEG">      270.0 </psi>
  <altitude unit="FT">  500.0 </altitude>
</initialize>

```

Figura 14 – Exemplo de condição inicial de aeronave em arquivo de configuração do JSBSim.

Os ganhos dos controles de voo podem ser ajustados conforme a Figura 15, onde se foi adaptado um arquivo de controlador automático de voo com controle automático de ângulo de rolagem, de direção de voo, de taxa de rolagem, de altitude e de amortecimento de guinada, sendo que todos utilizam o método Proporcional-Integral-Derivativo (PID). Os ganhos aplicáveis devem ser ajustados conforme fornecido pelo fabricante da aeronave a ser simulada.

Os ajustes dos ganhos fazem com que a aeronave tenha subida ou descida, mais ou menos intensa, execução de curva mais ou menos intensa, além de ajuste na inclinação lateral máxima permitida e máxima taxa de giro permitida.

Os diagramas lógicos dos controladores de automáticos de voo aplicados nas simulações usando o software JSBSim são mostrados na Figura 16 (controlador automático de altitude), Figura 17 (controlador automático de direção de voo), Figura 18 (controlador automático de amortecimento de guinada) e Figura 19 (controlador automático de rolagem de voo).

```

<property value="0.523"> guidance/roll-angle-limit </property> <!--30 degrees-->
<property value="0.174"> guidance/roll-rate-limit </property> <!--10 degrees/s-->

<property value="0"> ap/roll-angle-saturation </property>

<property value="3.0"> ap/roll-pid-kp </property> <!--6.0-->
<property value="0.5"> ap/roll-pid-ki </property> <!--5.0-->
<property value="0.5"> ap/roll-pid-kd </property> <!--0.435-->

<property value="1.0"> ap/heading-pid-kp </property> <!-->
<property value="0"> ap/heading-pid-ki </property> <!-->
<property value="0.5"> ap/heading-pid-kd </property> <!-->

<property value="2.0"> ap/rollrate-pid-kp </property> <!-->
<property value="0.0"> ap/rollrate-pid-ki </property> <!-->
<property value="0.0"> ap/rollrate-pid-kd </property> <!-->

<property value="0.01"> ap/altitude-pid-kp </property> <!--0.0001-->
<property value="0.00015"> ap/altitude-pid-ki </property> <!--0.00015-->
<property value="0.0003"> ap/altitude-pid-kd </property> <!--0.0003-->

<property value="10.0"> ap/yaw-damper-pid-kp </property> <!-->
<property value="0.0"> ap/yaw-damper-pid-ki </property> <!-->
<property value="0.0"> ap/yaw-damper-pid-kd </property> <!-->

```

Figura 15 – Exemplo de arquivo que descreve o controlador automático da aeronave em arquivo de configuração do JSBSim.

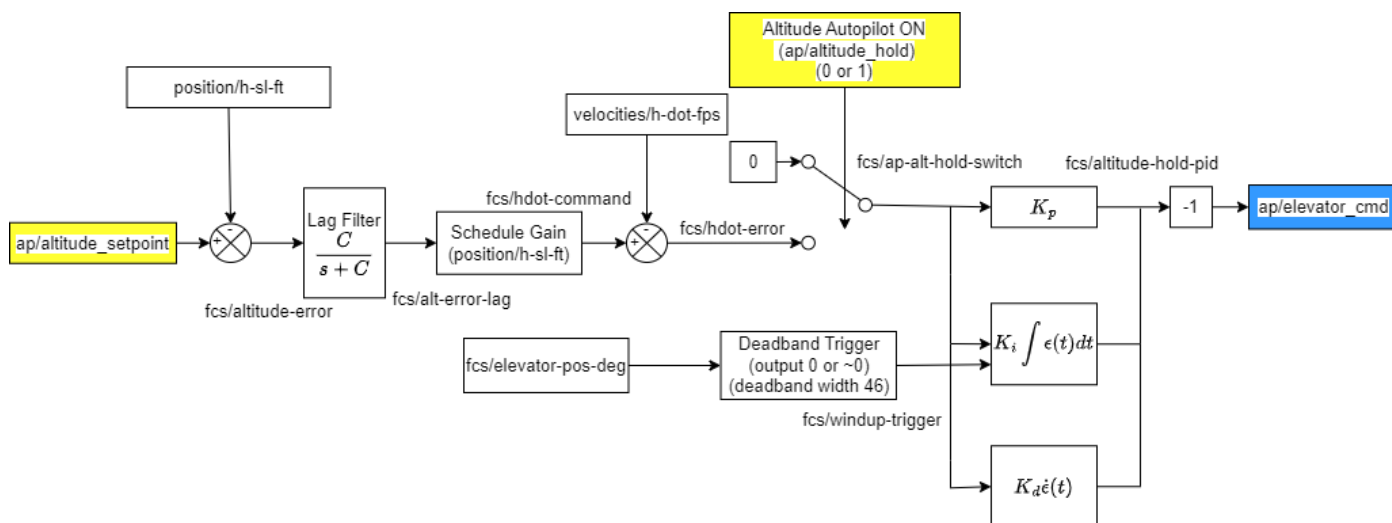


Figura 16 – Diagrama do controlador de altitude aplicado no software JSBSim.

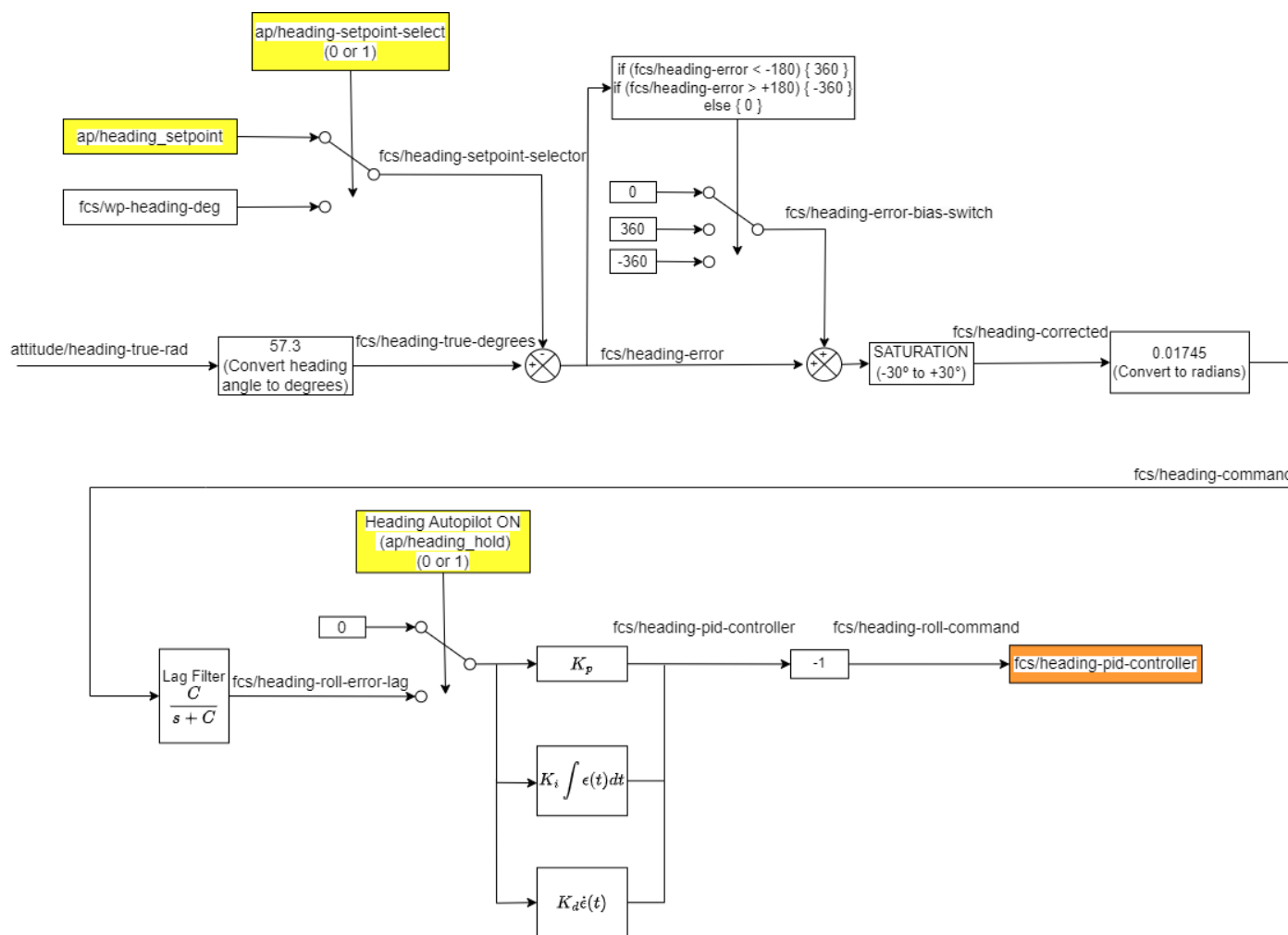


Figura 17 – Diagrama do controlador de direção de voo aplicado no software JSBSim.

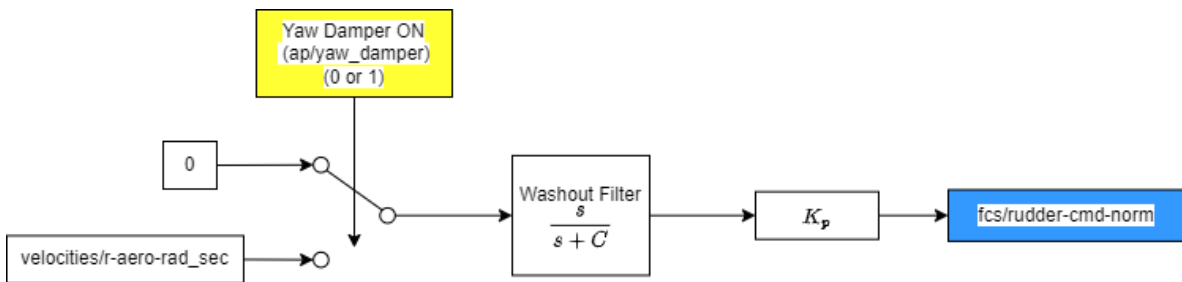


Figura 18 – Diagrama do controlador de amortecimento de guinada aplicado no software JSBSim.

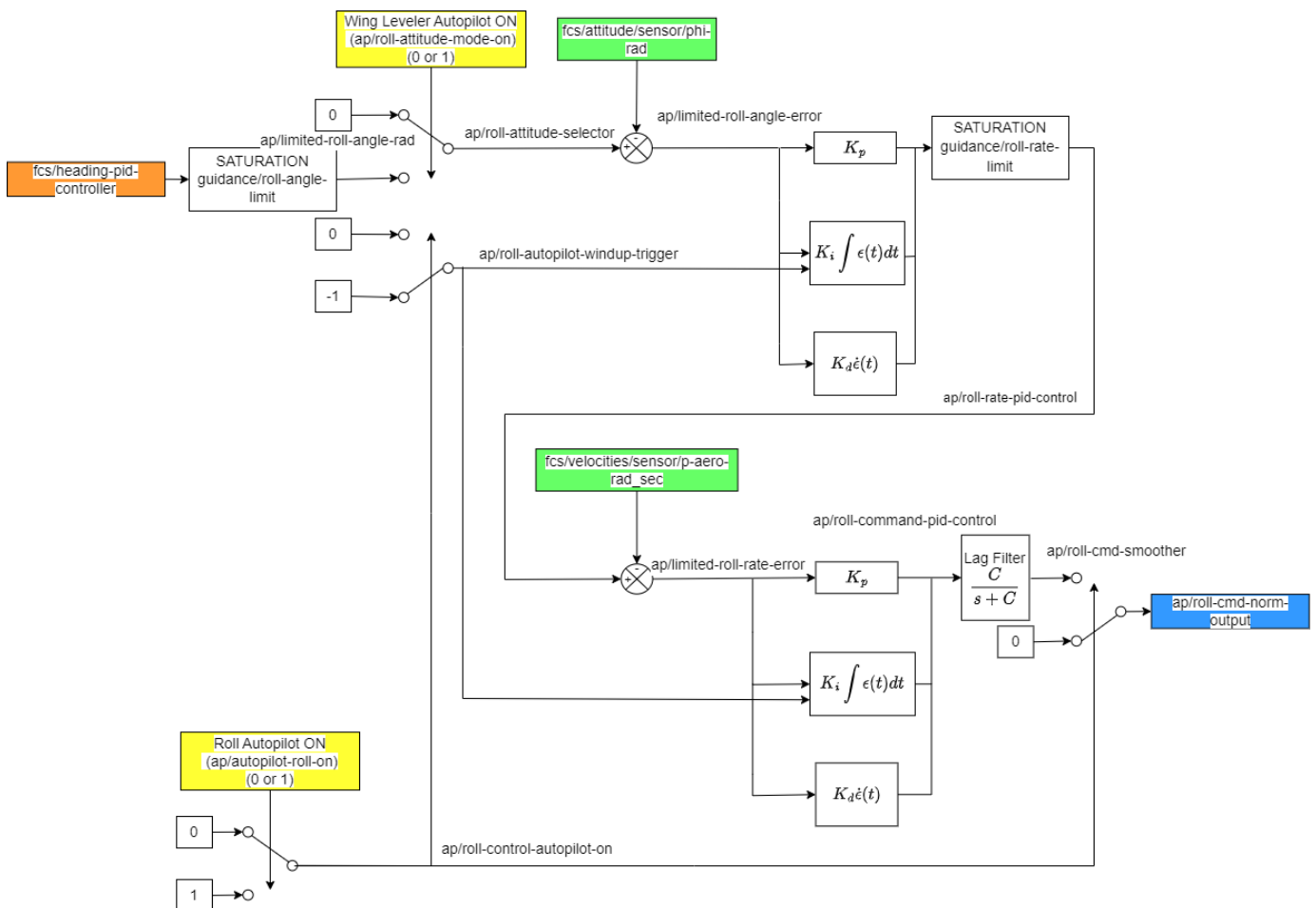


Figura 19 – Diagrama do controlador de rolagem de voo aplicado no software JSBSim.

O arquivo de sequência de eventos descreve os objetivos da missão a ser executada pela aeronave, o que significa que não necessariamente os objetivos serão cumpridos, ou seja, se o veículo não possuir o desempenho, agilidade, potência disponível para executar as manobras exigidas, pode significar que ao longo da simulação, parte, ou o total da missão não será

executada como exigido, assim a aeronave será identificada como não adequada para cumprir a aquelas tarefas.

Assim, o arquivo de sequência de eventos se inicia como mostrado na Figura 20, onde se mostra qual o arquivo de configuração de aeronave deve ser aplicado (c172x_example), qual o arquivo de condição inicial (reset01), o tempo de início da simulação em segundos (0.0), o tempo de encerramento da simulação em segundos (240) e o intervalo de tempo entre os ciclos de cálculos matemáticos (0.00833 segundos, ou 120 Hz).

```
<use aircraft="c172x_example" initialize="reset01"/>
<run start="0.0" end="240" dt="0.008333">
```

Figura 20 – Exemplo de início de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

O primeiro evento desse exemplo é mostrado na Figura 21, onde está mostrada a sequência de comandos para ligar um motor a combustão, a partir da condição do instante de tempo maior que 0.25 segundos.

```
<!-- Start the engine -->
<event name="Engine start">
  <condition>simulation/sim-time-sec ge 0.25</condition>
  <set name="fcs/throttle-cmd-norm" value="0.65"/>
  <set name="fcs/mixture-cmd-norm" value="0.87"/>
  <set name="propulsion/magneto_cmd" value="3"/>
  <set name="propulsion/starter_cmd" value="1"/>
  <set name="ap/heading_hold" value="1"/>
  <set name="ap/heading_setpoint" value="270"/> <!-- heading setpoint (0 - 360°)-->
  <notify>
    <property>velocities/vc-kts</property>
    <property>position/h-agl-ft</property>
  </notify>
</event>
```

Figura 21 – Exemplo de evento, ligar o motor, de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

O segundo evento desse exemplo é mostrado na Figura 22, com o comando de estabilizar a aeronave na velocidade de voo que se encontra, a partir da condição do instante de tempo maior que 0.50 segundos.

```
<!-- Trim the aircraft -->
<event name="Trim">
  <condition> simulation/sim-time-sec ge 0.50</condition>
  <set name="simulation/do_simple_trim" value="0"/>
  <notify>
    <property>velocities/vc-kts</property>
    <property>position/h-agl-ft</property>
  </notify>
</event>
```

Figura 22 – Exemplo de evento, estabilizar a aeronave, de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

Em seguida a partir da condição do instante de tempo maior que 1.0 segundo são ligados os controladores automáticos da aeronave, definida a altitude (500 pés) e direção de voo (ângulo da bússola 270°) a serem atingidos e mantidos, mostrado na Figura 23.

```
<!-- Turn on the roll autopilot, altitude autopilot, heading autopilot -->
<event name="Set heading autopilot">
  <condition> simulation/sim-time-sec ge 2.0</condition>
  <set name="ap/roll-attitude-mode" value="1"/> <!--0 for wings level, and 1 for roll tracking for heading control-->
  <set name="ap/autopilot-roll-on" value="1"/> <!--0 for no roll auto control, 1 for roll auto control-->
  <set name="ap/heading_hold" value="1"/> <!--0 for no heading auto control, 1 for heading auto control-->
  <set name="ap/heading_setpoint" value="270"/> <!-- heading setpoint (0 - 360°)-->
  <set name="ap/heading_setpoint-select" value="0"/> <!--0 for heading setpoint fixed, 1 for heading setpoint from waypoint navigation-->
  <set name="ap/altitude_hold" value="1"/> <!--0 for no altitude auto control, 1 for altitude auto control-->
  <set name="ap/altitude_setpoint" value="500"/> <!--altitude setpoint in FT-->
  <set name="ap/yaw-damper" value="1"/> <!--0 for yaw damper OFF, and 1 for yaw damper ON-->
  <notify>
    <property>velocities/vc-kts</property>
    <property>position/h-sl-ft</property>
  </notify>
</event>
```

Figura 23 – Exemplo de evento, ligar os controles automáticos e definir altitude e direção de voo a ser seguida, de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

Curvas para a direita e para a esquerda são definidas como na Figura 24, as quais são resultado de modificar a direção de voo a ser mantida. A direção de voo é equivalente ao ângulo da bússola de 0° a 360°, de forma que o ângulo 0° é a direção Norte, 90° é a direção Leste, 180° a direção Sul e 270° a direção Oeste, como mostrado na Figura 25.

<pre><event name="Turn Right"> <condition>simulation/sim-time-sec ge 5.0</condition> <set name="ap/heading_setpoint" value="280"/> <notify> <property>velocities/vc-kts</property> <property>position/h-sl-ft</property> </notify> </event></pre>	<pre><event name="Turn left"> <condition>simulation/sim-time-sec ge 35.0</condition> <set name="ap/heading_setpoint" value="260"/> <notify> <property>velocities/vc-kts</property> <property>position/h-sl-ft</property> </notify> </event></pre>
---	---

Figura 24 – Exemplo de eventos, fazer uma curva para a direita (ângulo da bússola 280°) e fazer uma curva para a esquerda (ângulo da bússola 260°), de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

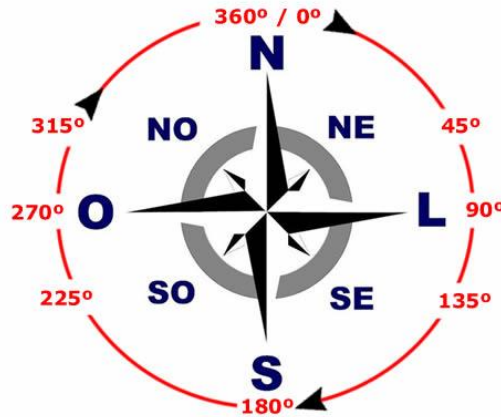


Figura 25 – Direção de voo de 0° a 360° de acordo com o referencial de bússola.

O comando de subir e descer a aeronave se dá pela modificação de altitude de voo a ser atingida e mantida, como mostrada na Figura 26, onde o comando é executado a partir da condição de tempo de simulação a partir de 100 segundos para modificar a altitude de referência de 100 pés.

```

<event name="Descend">
  <condition>simulation/sim-time-sec ge 100.0</condition>
  <set name="ap/altitude_setpoint" value="100"/>
  <notify>
    <property>velocities/vc-kts</property>
    <property>position/h-sl-ft</property>
  </notify>
</event>

```

Figura 26 – Exemplo de eventos, descer para a altitude de 100 pés, de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

Uma forma de controle de trajetória é através de navegação por sequência de pontos espaciais, ou seja, o par de coordenadas latitude e longitude. Assim, o controlador verifica qual a direção de voo deve ser mantida para voar em direção às coordenadas do ponto espacial objetivo. De forma que à medida que a aeronave esteja suficientemente próxima do primeiro ponto espacial, o controlador modifica o ponto objetivo para o segundo ponto espacial da sequência de pontos. Assim, é possível percorrer uma trajetória alvo, como por exemplo, um trecho de rodovia.

Um exemplo mostrado a seguir é de uma sequência de 8 pontos de coordenadas espaciais tomadas ao longo da rodovia BR-290, mostradas na Figura 27, cuja coordenada inicial (0) está na cidade de Osório-RS, e o objetivo é o de percorrer o trecho da rodovia no sentido Oeste, ou para Porto Alegre-RS. Os pontos de navegação de 0 a 8 têm suas coordenadas definidas na Tabela 1.

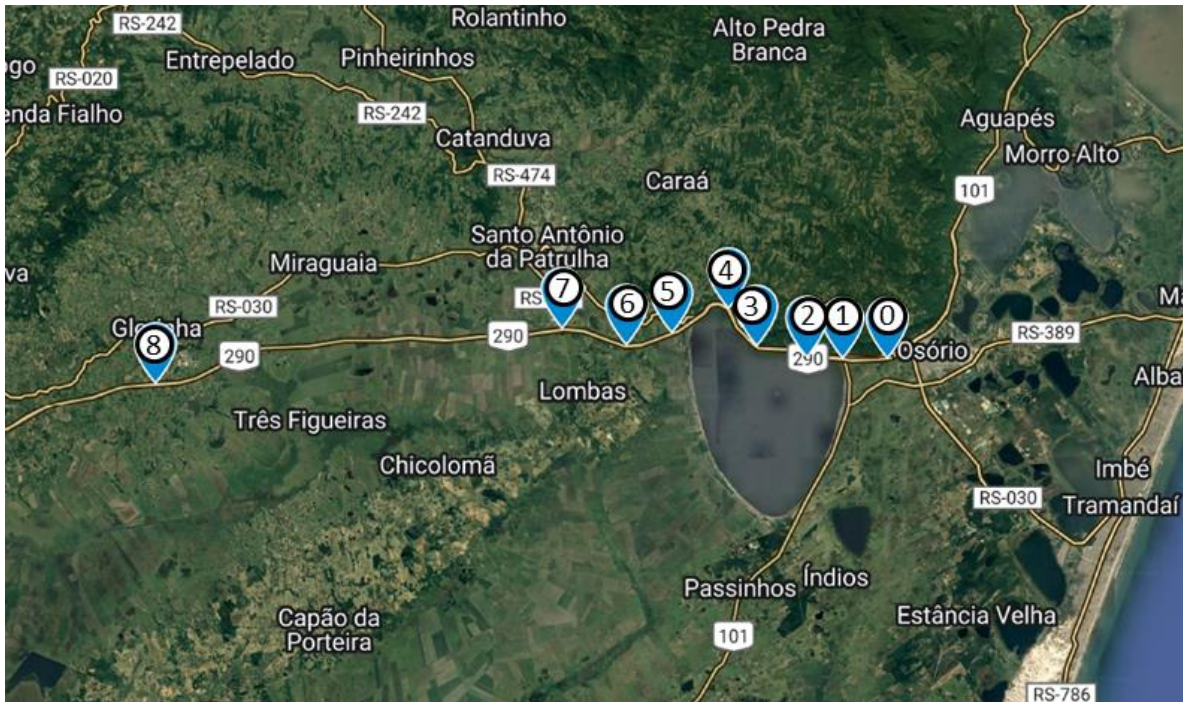


Figura 27 – Pontos de navegação para serem seguidos na simulação.

Tabela 1 - Sequência de pontos de navegação com coordenadas de latitude e longitude.

Ponto de Navegação	Latitude (graus)	Longitude (graus)
0	-29.897419	-50.292771
1	-29.897567	-50.322732
2	-29.896791	-50.347269
3	-29.890407	-50.381226
4	-29.868340	-50.400392
5	-29.882691	-50.438891
6	-29.889758	-50.469950
7	-29.880085	-50.513492
8	-29.912253	-50.789344

Desta forma, o primeiro evento dessa missão é o de seguir para o primeiro ponto de navegação (1), como mostrado na Figura 28, que é ativada na condição de tempo de simulação acima de 1.2 segundos.

```

<event name="Head to first waypoint">
  <condition>simulation/sim-time-sec ge 1.2</condition>
  <set name="ap/heading-setpoint-select" value="1"/>
  <set name="ap/active-waypoint" value="1"/>
  <set name="ap/wp_latitude_deg" value="-29.897567"/>
  <set name="ap/wp_longitude_deg" value="-50.322732"/>
  <notify>
    <property>fcs/wp-distance</property>
  </notify>
</event>

```

Figura 28 – Exemplo de eventos, seguir para o primeiro ponto de navegação (*waypoint*), de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

Além do mais, para esse tipo de sequência de eventos é importante determinar uma condição de finalização da simulação, caso ocorra antes do tempo final determinado no início do arquivo de sequência de eventos, isto para evitar que a aeronave permaneça sobrevoando continuamente o último ponto de navegação. Esse evento é mostrado na Figura 29, com a condição de finalizar a simulação quando a distância ao último ponto de navegação (8) for menor que 100 metros, e o ponto ativo de navegação for o ponto 8.

```

<event name="Terminate">
  <condition>
    fcs/wp-distance lt 100
    ap/active-waypoint eq 8
  </condition>
  <set name="simulation/terminate" value="1"/>
  <notify>
    <property>simulation/sim-time-sec</property>
  </notify>
</event>

```

Figura 29 – Exemplo de eventos, finalizar a simulação quando o último ponto de navegação for alcançado, de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

A partir de então, a sequência de pontos de navegação deve ser descrita de forma decrescente, ou seja, do último ponto para o segundo, como mostrado nas Figuras 30 a 32. Cada um desses eventos é acionado quando a distância ao ponto de navegação ativo estiver menor que 100 metros.


```

<event name="Set last waypoint">
  <condition>
    fcs/wp-distance lt 100
    ap/active-waypoint eq 7
  </condition>
  <set name="ap/wp_latitude_deg" value="-29.912253"/>
  <set name="ap/wp_longitude_deg" value="-50.789344"/>
  <set name="ap/active-waypoint" value="8"/>
  <notify>
    <property>fcs/wp-distance</property>
  </notify>
</event>

```

Figura 30 – Exemplo de eventos, definir último ponto de navegação, de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

```

<event name="Set seventh waypoint">
  <condition>
    fcs/wp-distance lt 100
    ap/active-waypoint eq 6
  </condition>
  <set name="ap/wp_latitude_deg" value="-29.880085"/>
  <set name="ap/wp_longitude_deg" value="-50.513492"/>
  <set name="ap/active-waypoint" value="7"/>
  <notify>
    <property>fcs/wp-distance</property>
  </notify>
</event>

```

Figura 31 – Exemplo de eventos, definir sétimo ponto de navegação, de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

```

<event name="Set second waypoint">
  <condition>
    fcs/wp-distance lt 100
    ap/active-waypoint eq 1
  </condition>
  <set name="ap/wp_latitude_deg" value="-29.896791"/>
  <set name="ap/wp_longitude_deg" value="-50.347269"/>
  <set name="ap/active-waypoint" value="2"/>
  <notify>
    <property>fcs/wp-distance</property>
  </notify>
</event>

```

Figura 32 – Exemplo de eventos, definir segundo ponto de navegação, de arquivo de sequência de eventos do JSBSim.

Portanto, o resultado da simulação em termos de trajetória final percorrida é mostrado na Figura 33, onde pode-se notar que a aeronave foi capaz de seguir o trecho da rodovia inicialmente planejado, principalmente entre o ponto inicial 0 até o ponto 7. Entre o ponto 7 e o ponto 8 há um grande trecho de rodovia com curvas e direções variadas, assim a aeronave não acompanhou o trecho precisamente, pois a sua referência de navegação nesta fase do voo foi o ponto 8. Logo, para trechos com muitas curvas e variações de direção da rodovia se faz

necessário definir uma grande quantidade de pontos de navegação de referência. Neste sentido, é importante também atentar para o critério de acionamento da sequência de pontos de navegação que é a distância da aeronave ao ponto objetivo menor que determinado valor pré-definido, a qual deve ser menor que a distância entre ponto de navegação objetivo e o último ponto de navegação percorrido.

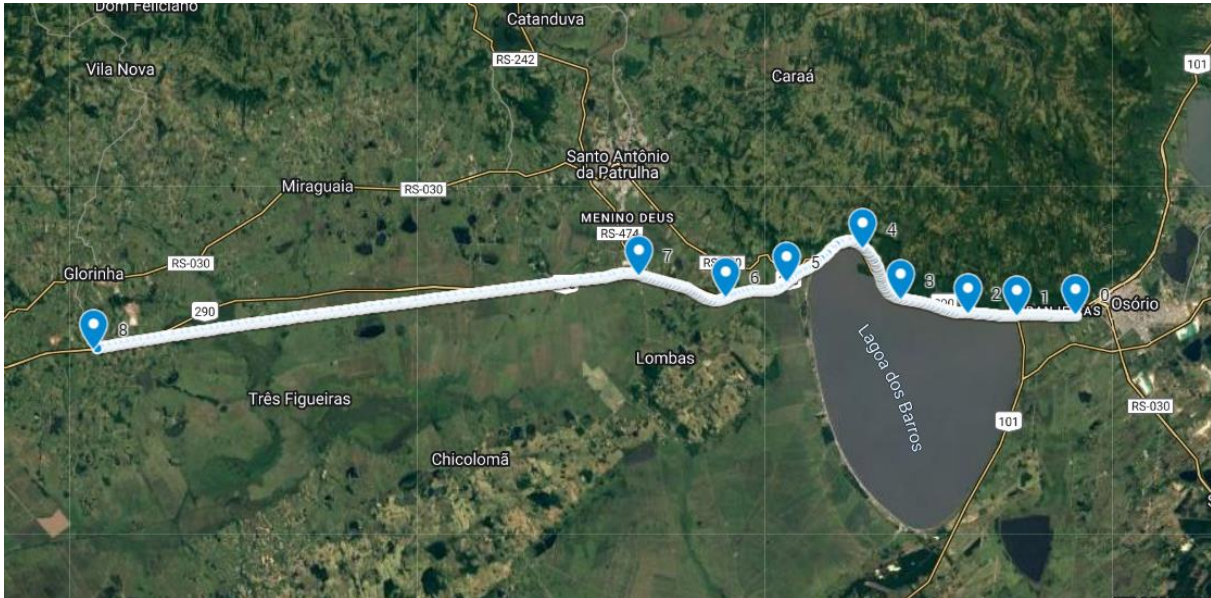


Figura 33 – Trajetória resultado da simulação dos oito pontos de navegação a serem percorridos.

Outro resultado da simulação é a série temporal dos estados de voo da aeronave ao percorrer a trajetória. Um exemplo desse resultado é mostrado na Figura 34, onde são mostrados velocidade de voo (velocity, em nós), ângulo de escorregamento lateral (beta, em graus), ângulo de ataque (alpha, em graus), velocidade angular de rolagem (p , em radianos por segundo), velocidade angular de arfagem (q , em radianos por segundo), velocidade angular de guinada (r , em radianos por segundo), ângulo de rolagem (roll, em graus), ângulo de arfagem (pitch, em graus), ângulo de direção de voo (yaw, em graus), distância horizontal na direção Sul-Norte percorrida (x , em metros), distância horizontal na direção Leste-Oeste (y , em metros), distância horizontal total percorrida (distance, em metros), altitude (em pés), erro de direção de voo (em graus) e distância ao ponto de navegação objetivo (em metros).

Assim, para fazer a sequência de eventos utiliza-se alguns comandos principais, os quais estão listados na Tabela 2. Ainda, na Tabela 3 são listados os comandos para inserir velocidades de vento. A lista de todos os comandos e variáveis disponíveis no software JSBSim pode ser obtida no Apêndice do manual referência do software [5].

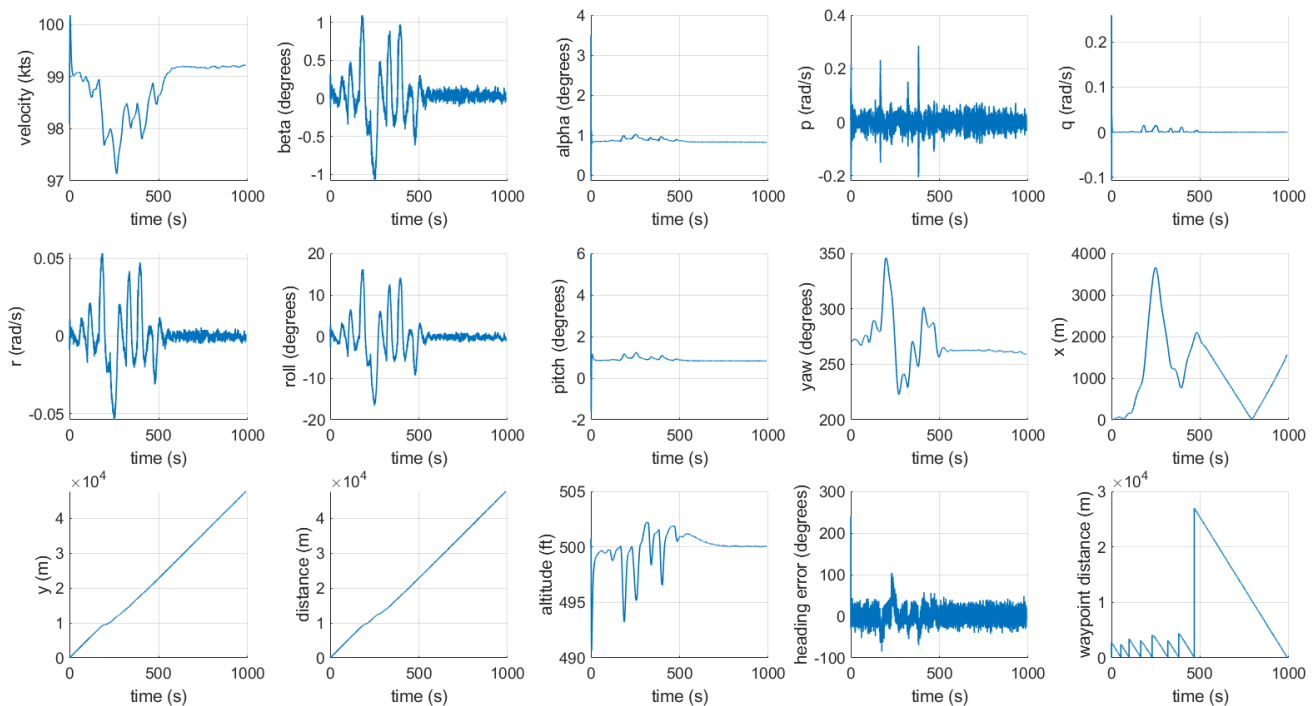


Figura 34 – Série temporal dos estados de voo da aeronave ao longo da simulação de percorrer os oito pontos de navegação.

Tabela 2 – Lista dos principais comandos para planejamento de eventos do software JSBSim.

Comando	Valores	Observação
simulation/do_simple_trim	0	Estabiliza a aeronave na velocidade inicial
cs/throttle-cmd-norm	0 a 1	Potência do motor (0 a 100%)
ap/heading_hold	0 ou 1	0 para sem controle automático de direção, 1 para controle automático de direção
ap/roll-attitude-mode	0 ou 1	0 para asa nivelada, 1 para controle de direção usando rolagem
ap/heading_setpoint	0 a 360	Ângulo da bússola magnética de direcionamento do voo (0 graus é o Norte, 90 graus o Leste)
ap/heading-setpoint-select	0 ou 1	0 para manter direção de voo fixa, 1 para direcionamento devido à navegação por pontos
ap/altitude_hold	0 ou 1	0 para desligar controle automático de altitude, 1 para ligar controle automático de altitude
ap/altitude_setpoint	0 a $+\infty$	Altitude em relação ao nível do mar para atingir e manter em pés (ft)
ap/yaw-damper	0 ou 1	0 para desligar amortecedor de direcionamento, 1 para ligar amortecedor de direcionamento
ap/wp_latitude_deg		coordenada da latitude do ponto a ser atingido, em graus
ap/wp_longitude_deg		coordenada da longitude do ponto a ser atingido, em graus
simulation/terminate	1	finaliza a simulação

Tabela 3 – Comandos de inserção de velocidades de vento.

Comando	Valores	Observação
atmosphere/gust-down-fps	$-\infty$ a $+\infty$	Sentido para baixo são valores positivos, para cima negativos, em pés por segundo
atmosphere/gust-east-fps	$-\infty$ a $+\infty$	Sentido para leste são valores positivos, para oeste valores negativos, em pés por segundo
atmosphere/gust-north-fps	$-\infty$ a $+\infty$	Sentido para norte são valores positivos, para sul são valores negativos, em pés por segundo

Por fim, para se executar a simulação utiliza-se o comando abaixo no terminal:

`\JSBSim.exe --script=scripts/c172x_manobras.xml --realtime`

De forma que:

- **`\JSBSim.exe`**: é o executável do software JSBSim.
- **`--script=scripts`**: indica qual o arquivo (script) de sequência de eventos deve ser executado.
- **`/c172x_manobras.xml`**: nome do arquivo de sequência de eventos na pasta `\JSBSim\scripts` que deve ser executado.
- **`--realtime`**: para se executar a simulação em tempo real é necessário adicionar esse comando.

Assim, o software vai iniciar os cálculos matemáticos da simulação e então vai constantemente transmitir as informações pertinentes ao software de geração de imagens.

As informações transmitidas são as propriedades mostradas na Figura 35, ou seja, a coordenada de latitude em graus, a coordenada de longitude em graus, altitude em relação ao nível do mar em metros, o ângulo de rolagem em radianos, o ângulo de arfagem em radianos, e o ângulo de direção de voo em radianos.

Esse trecho de código deve estar inserido ao final do arquivo de configuração das propriedades da aeronave. Deve ser definido o destino das informações do tipo socket para o IP local e porta do software de destino, utilizando o protocolo UDP na taxa a ser definitiva em Hertz, ou seja, tantas vezes por segundo.

```
<output name="10.41.70.136" type="SOCKET" protocol="UDP" port="1138" rate="20">
  <property> position/lat-gc-deg </property>
  <property> position/long-gc-deg </property>
  <property> position/h-sl-meters </property>
  <property> attitude/roll-rad </property>
  <property> attitude/theta-rad </property>
  <property> attitude/psi-rad </property>
</output>
```

Figura 35 - Configuração das informações de saída do JSBSim para o software de geração de imagens.

Portanto, ao se transmitir as informações de posição e orientação espacial para o software de geração de imagens, é possível acompanhar em tempo real o desenvolvimento da simulação de sobrevoio da aeronave em relação ao trecho da rodovia. Assim, são mostrados na Figura 36 quatro imagens tiradas da visualização da simulação de sobrevoio de trecho da rodovia BR-290 entre as cidades de Osório-RS e Porto Alegre-RS.

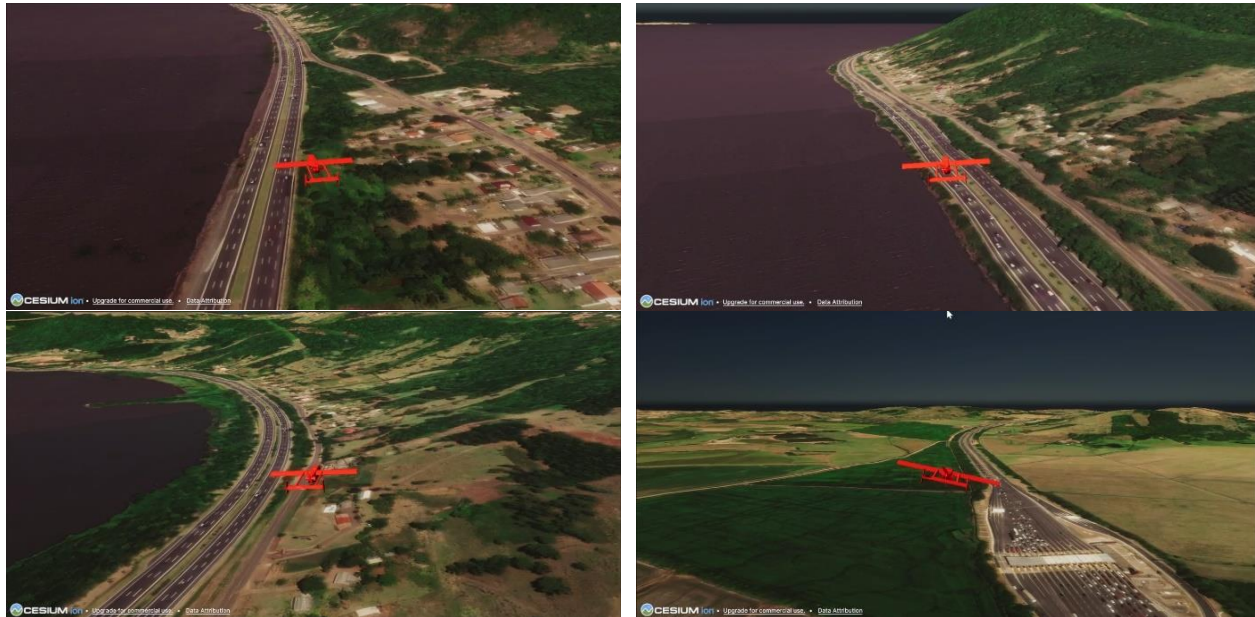


Figura 36 – Resultado visual da simulação de sobrevoio ao longo do trecho da rodovia BR-290.

As informações de saída também podem ser salvas em arquivo de texto, como mostrado na Figura 37. Neste arquivo se definem as propriedades a serem salvas, o nome de arquivo de saída do tipo CSV, em uma taxa definida em Hertz, ou seja, tantas vezes por segundo.

Neste arquivo podem ser salvas as mais variadas propriedades da simulação de voo, sendo que todas estão listadas no Apêndice do manual referência do software [5], dentre as quais está, por exemplo, a quantidade de combustível na aeronave (`propulsion/total-fuel-lbs`) a qual pode ser salva para se verificar a autonomia da aeronave durante a simulação de voo de aeronave movida a motor a combustão.

```
<output name="JSBout172_test.csv" type="CSV" rate="100">
  <property> position/lat-gc-deg </property>
  <property> position/long-gc-deg </property>
  <property> position/h-sl-meters </property>
  <property> attitude/roll-rad </property>
  <property> attitude/theta-rad </property>
  <property> attitude/psi-rad </property>
</output>
```

Figura 37 - Configuração das informações de saída do JSBSim para um arquivo de texto.

O software de simulação de voo JSBSim também possui a capacidade de inserção de comandos de voo em tempo real por parte de um piloto, ou operador da aeronave, ou seja, pode-se simular os controles efetuados por um piloto com um rádio controle em uma situação real de operação de drones.

Assim, foi montado um equipamento de computação integrada com os controles de voo, como mostrado na Figura 38. Nesta montagem tem-se manche, manete e pedais conectados ao computador em que está instalado os softwares de simulação de voo.



Figura 38 – Equipamentos para simulação de drones.

Além dos equipamentos de computação, e de forma complementar, os modelos dinâmicos de aeronaves necessitam ser alimentados por parâmetros como massa, dimensões geométricas, a saber, envergadura da asa, área da asa, coordenadas do centro de gravidade, entre outras.

Trabalhamos com a possibilidade destas informações serem fornecidas pelo fabricante (vide anexo D, seção 6.4 deste relatório), mas também desenvolvemos procedimentos exemplo de obtenção destes valores.

Alguns parâmetros podem ser estimados usando um desenho em arquivo computacional CAD 3D da aeronave. Para tanto foi utilizado no contexto deste projeto o software SOLIDWORKS. Exemplos de parâmetros que podem ser extraídos pela análise de seus projetos mecânicos:

- Área da Asa, Envergadura da Asa.
- Corda Média Aerodinâmica da Asa.
- Área do Estabilizador Horizontal.

- Distância Longitudinal do Estabilizador Horizontal ao C.G.
- Área do Estabilizador Vertical.
- Distância Longitudinal do Estabilizador Vertical ao C.G.
- Momento de Inércia da estrutura.
- Massa da aeronave em Vazio.
- Coordenadas do C.G. com a aeronave em Vazio.
- Coordenadas do Trem de Pouso.
- Ponto de Contato ao Solo, etc.

Outros parâmetros podem ser estimados usando estratégias experimentais com coletas de dados. Para tanto, foram adaptadas as bancadas experimentais disponíveis no Departamento de Engenharia Aeronáutica da EESC USP para a realização de diferentes experimentos de coletas de dados voltadas a caracterização de aeronaves.

A Figura 39 ilustra um dos ambientes experimentais utilizados. Trata-se de uma arena com dimensões aproximadas de 10 metros de largura por 10 metros de comprimento e 6 metros de altura. A instrumentação desta infraestrutura baseada em câmeras OptiTrak de rastreamento permite a realização de experimentos com resolução de posicionamento espacial ao nível de precisão sub-milimétrica.



Figura 39 – Arena de drones destinada a realização voos experimentais indoor e dotada de múltiplas câmeras de OptiTrak de rastreamento.

A adaptação da arena para levantamentos de dados específicos deste projeto exigiu adequações mecânicas, com a construção de dispositivos e estruturas de apoio, sustentação, posicionamento, fixação de equipamentos e sensores; ajustes elétricos e eletrônicos para cabeamento de dados, alimentação, isolamento e proteção de experimentos, bem como na adequação da rede de comunicação dos equipamentos e programação de sistemas de coleta de dados. A tela de proteção garante a integridade dos equipamentos e operadores em caso de mal funcionamento dos equipamentos

Após a coleta de dados, o software Matlab e seus *toolboxes* foram utilizados para análise de resultados e montagem de exemplos de extração de parâmetros adicionais da aeronave, bem como a realização de ajustes de parâmetros de controladores de voo.

Parâmetros aerodinâmicos podem ser estimados usando experimentos em túnel de vento como ilustrado na Figura 40 com coletas de dados. Um dos tuneis de vento do Departamento de Engenharia Aeronáutica da EESC USP foi utilizado para realizar experimentos com coletas de dados também destinados a demonstrar a capacidade de caracterização de VANTs.

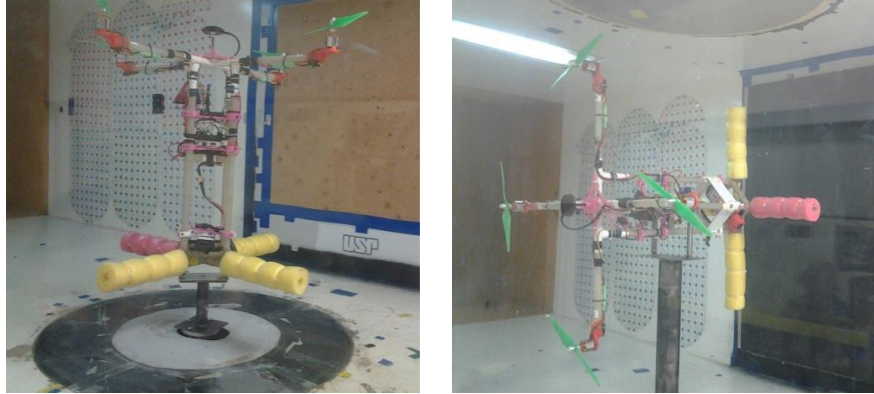


Figura 40 – Exemplo de experimentos em túnel de vento com a aeronave operando em diferentes orientações.

Neste caso, também o levantamento de dados exigiu adequações mecânicas, com a construção de dispositivos e estruturas de sustentação, posicionamento, fixação de equipamentos e sensores; ajustes elétricos e eletrônicos com passagem de cabeamento de dados, alimentação, isolamento e proteção.

Outra possível alternativa para a obtenção de dados de aeronaves é oferecida pelas simulações em computador utilizando recursos de computação de alto desempenho e software de CFD – Computer Fluid Dynamics, cujo exemplo pode ser observado na Figura 41, demonstrando a visualização de geração de malha computacional.

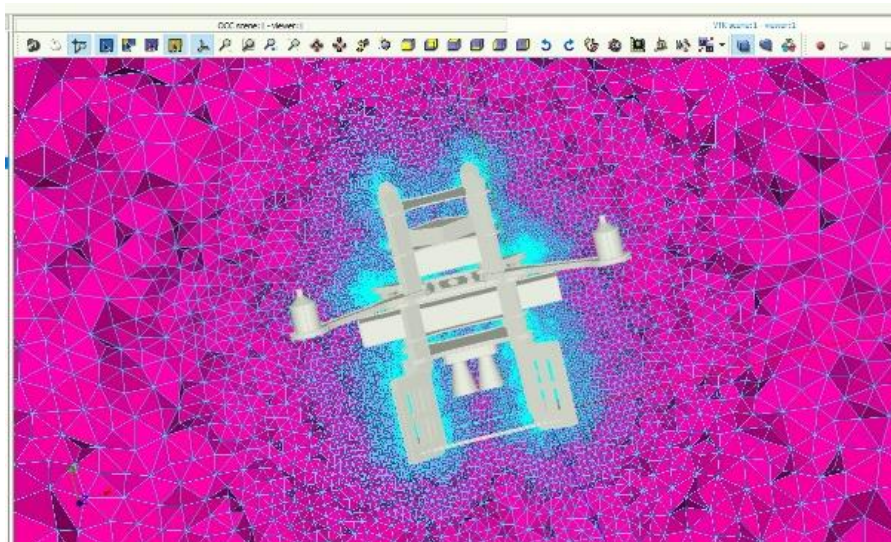


Figura 41 – Exemplo de uso de recursos CFD para a obtenção de características aerodinâmicas de um modelo de VANT.

Atividade 1.4 - Desenvolvimento da arquitetura de comunicação para a transmissão de imagens do drone

A simulação do drone é composta pela dinâmica de voo e a interação da aeronave com o cenário 3D. Uma vez que estes componentes são módulos independentes entre si, é necessário prover um meio pelo qual as informações geradas por cada componente sejam compartilhadas. Desta maneira, no início do projeto foi feita uma pesquisa a respeito de diferentes métodos de comunicação que poderiam ser adotados para a transmissão de dados, tendo como foco inicial os dados de posicionamento e câmera do drone. Neste sentido, foram levantadas informações sobre ferramentas de comunicação como ROS (Robot Operating System), ZeroMQ, Unix sockets, dentre outros. Além de formatos de dados que permitissem a rápida codificação e decodificação das informações, como bytes e Json.

Como resultado, uma vez que a biblioteca ZeroMQ possui suporte nas linguagens de programação utilizadas no projeto (C# e python), optou-se por sua utilização para a transmissão de imagens da câmera do drone virtual. Desta forma, tornou-se facilmente possível o processamento das imagens provindas do cenário 3D utilizando OpenCV e Python, por exemplo.



Figura 42 - Transmissão de dados da simulação 3D para códigos externos, utilizando ZeroMQ.

Com o ZeroMQ, foi implementado um publisher, em C#, responsável por publicar os bytes das imagens provindas da câmera do drone virtual. Para acessar as mensagens transmitidas, foi criado um subscriber em Python, o qual é responsável decodificar os bytes e convertê-los novamente em imagens.



Figura 43 - Arquitetura *Publisher - Subscriber* para transmissão de imagens do ambiente simulado.

Posteriormente as imagens podem ser processadas em tempo real utilizando-se a biblioteca OpenCV, de maneira que futuramente seja possível alterar o comportamento do drone conforme informações adquiridas através das imagens. Na exemplificação da Figura 44, a imagem obtida da perspectiva do drone simulado é codificada e publicada. Um servidor subscreve o endereço em que a mensagem está sendo publicada, decodifica-a e aplica um algoritmo de processamento de imagem, como a alteração do espaço de cores RGB para HSV, conforme o exemplo ilustrado.

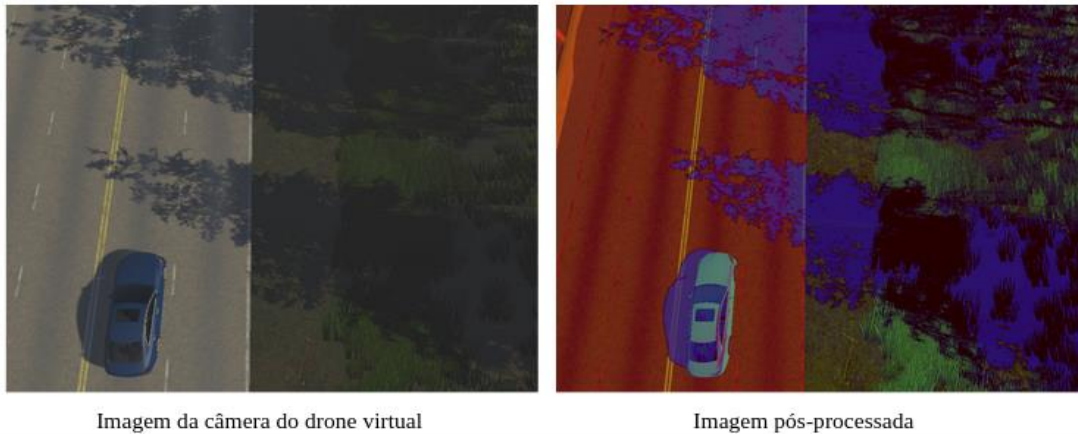


Figura 44 - Processamento da imagem transmitida do cenário 3D para o Python.

Atividade 1.5 - Desenvolvimento de ferramentas de coletas de dados na simulação

Dentre os desafios da utilização de inteligência artificial está a obtenção e categorização de dados. Neste sentido, além da ferramenta de comunicação para o envio de imagens e posterior processamento com OpenCV, foi desenvolvida uma ferramenta para facilitar a aquisição e categorização de imagens do cenário 3D. Desta forma, pode-se gerar dados sintéticos para o treinamento de redes neurais.

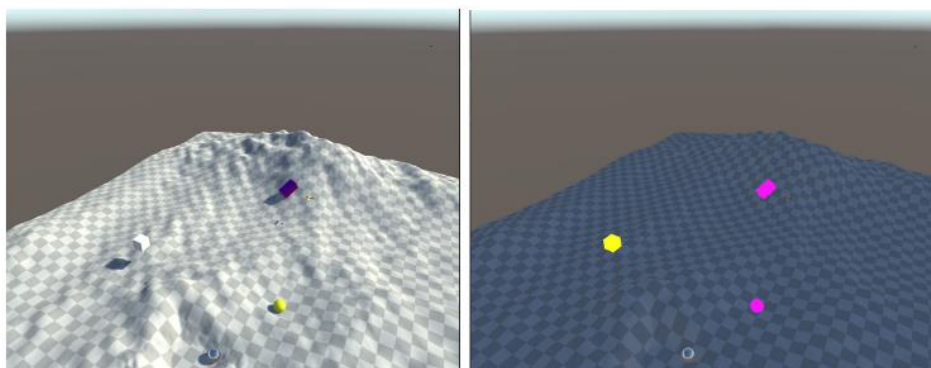


Figura 45 - *Script* desenvolvido para facilitar a categorização de objetos alvos da detecção.

Utilizando a Unity Engine é possível acessar propriedades de iluminação e materiais dos objetos presentes na cena. Assim, pode-se obter imagens da perspectiva do drone, destacando os pixels dos objetos os quais deseja-se detectar. Desta maneira, é possível compor diferentes bancos de dados de imagens para futuras aplicações, como por exemplo a detecção de objetos na faixa de rolagem, conforme a Figura 46.

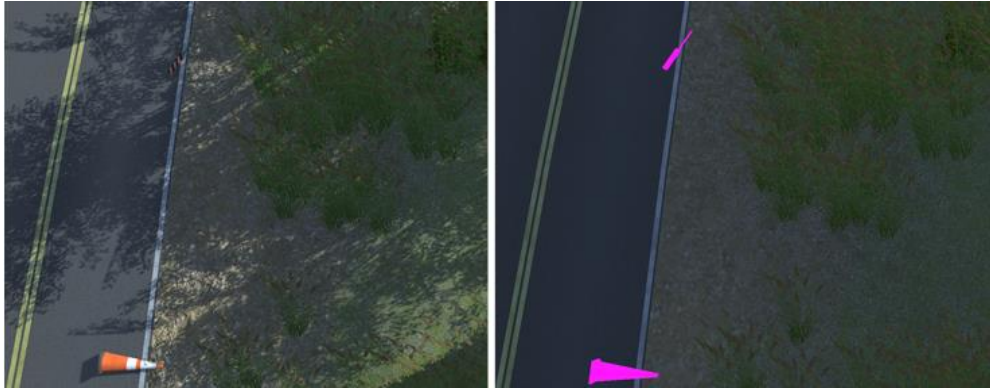


Figura 46 - Exemplo de aplicação prática utilizando a ferramenta de categorização: criação de *datasets* para detecção de objetos na pista.

Atividade 1.6 - Modelagem do ambiente utilizando RoadArchitect

Utilizando a biblioteca RoadArchitect e outras bibliotecas para construção do cenário, é possível o desenvolvimento de ambientes de simulação foto realistas. Neste sentido, foi criado o cenário reduzido conforme a Figura 47, o qual foi utilizado para realização de testes de assets em Unity, modelagem de pistas e terrenos, bem como para o teste dos algoritmos de comunicação e transmissão de imagens.

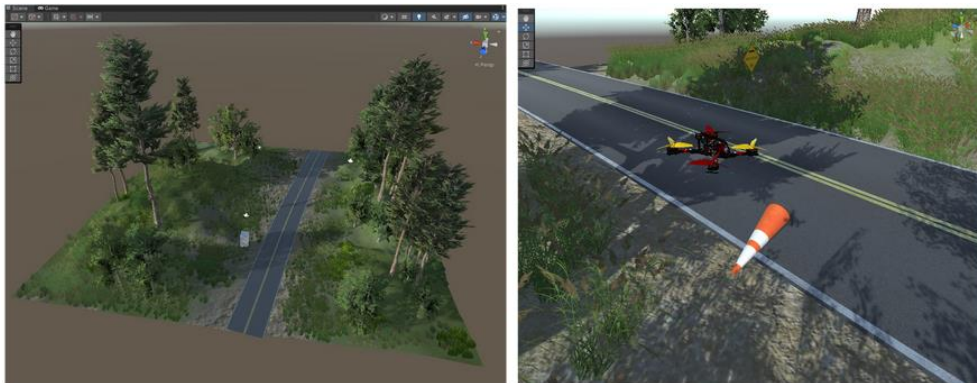


Figura 47 - Cenário reduzido criado ao longo do projeto para a realização de testes.

Posteriormente ao início do projeto, parte da equipe da EESC - USP realizou uma visita técnica à CCR ViaSul. Na visita foi possível conhecer as características do relevo da região, além das condições climáticas. Na Figura 48, foi registrada a mudança brusca de visibilidade em um trecho da BR-386.



Figura 48 - Alteração de visibilidade em trecho da BR 386.

Para a estimativa da topografia da rodovia, foram utilizados os dados de latitude e longitude da faixa de domínio de um trecho da BR 386, fornecidos pela CCR ViaSul, conforme ilustrado na Figura 49.

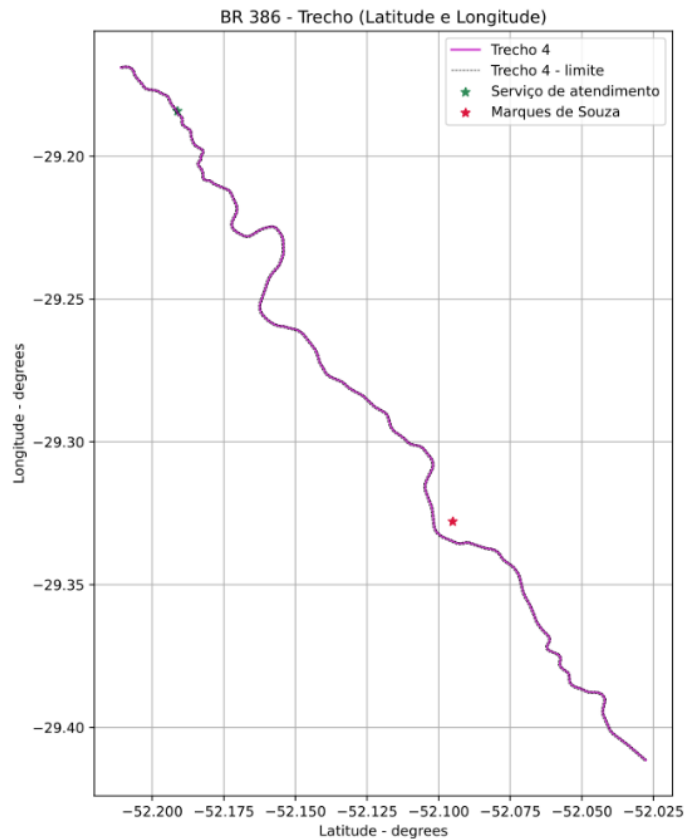


Figura 49 - Disposição do trecho da BR-386.

As medidas de latitude e longitude foram convertidas para metros, tendo como ponto de referência a Base de Atendimento ao Usuário da CCR ViaSul, posicionada no ponto de latitude –

29,1841726° e longitude $-52,1911807^\circ$. Após a conversão, obtém-se a forma plana do trecho de interesse, conforme a Figura 50.

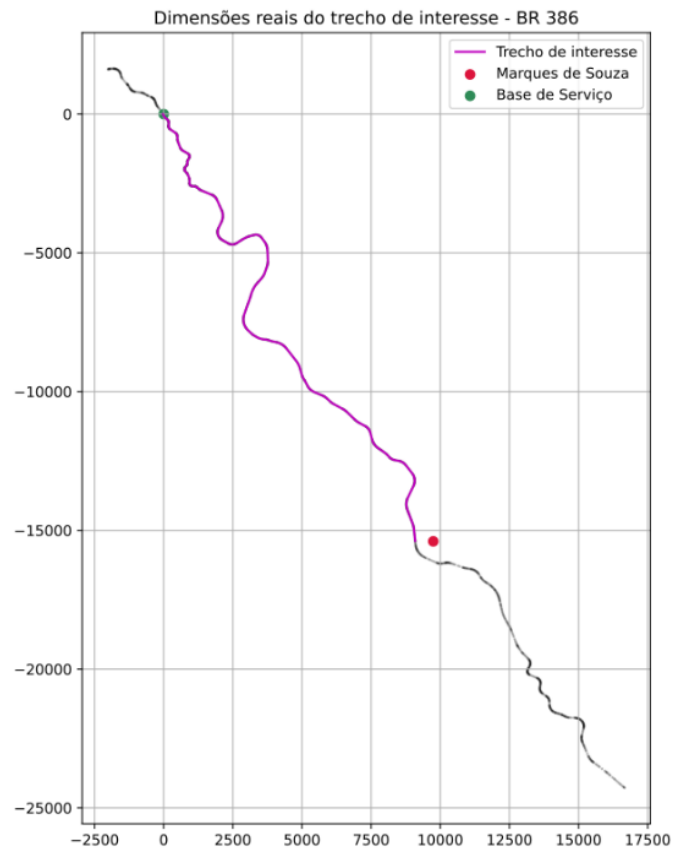
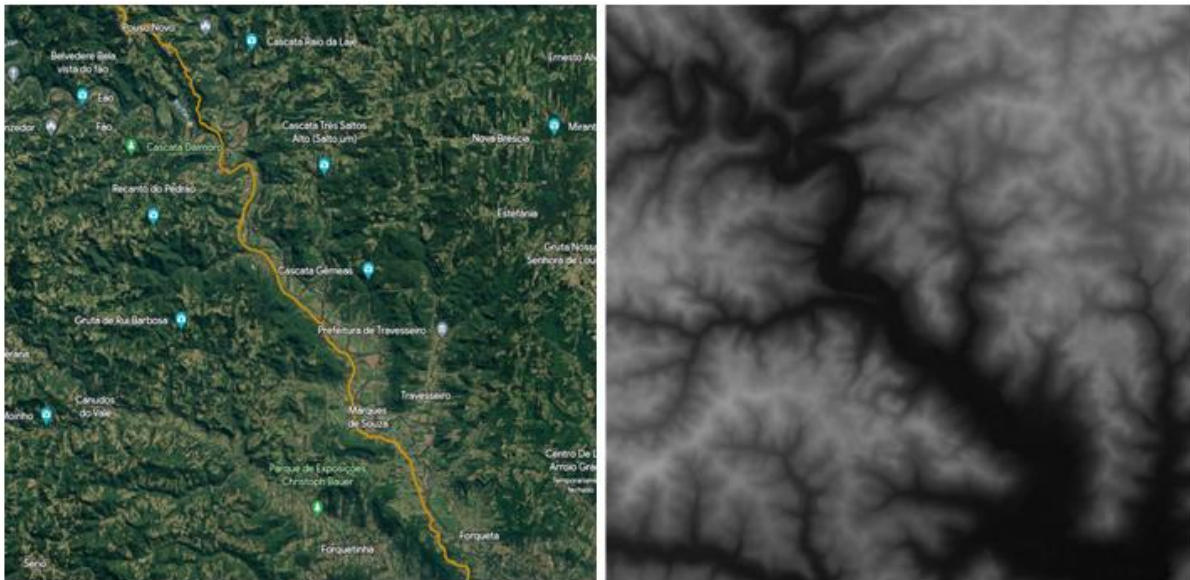


Figura 50 - Disposição do trecho da BR-386, em metros.

A estimativa da topografia implica na associação de valores de altitude a cada um dos pontos da pista. Para isso, em conjunto com os dados de posicionamento citados anteriormente, foram utilizados algoritmos de processamento de imagem para relacionar a imagem de satélite com a imagem topográfica local, conforme a Figura 51.

Da imagem de satélite colorida foram obtidas as posições dos pixels alaranjados, relativos à rodovia. A associação destes pixels com os pixels do mapa topográfico depende de dois pontos conhecidos, usados como referência. Para isto, foram utilizados os pontos da Base de Atendimento ao Usuário da BR-386 e a cidade Marques de Souza – RS.



(a) Imagem de satélite.

(b) Mapa topográfico da região.

Figura 51 - Imagens utilizadas para estimativa de topografia de um trecho da BR-386.

Como resultado, tem-se a estimativa da topografia do trecho em estudo, conforme a Figura 52.

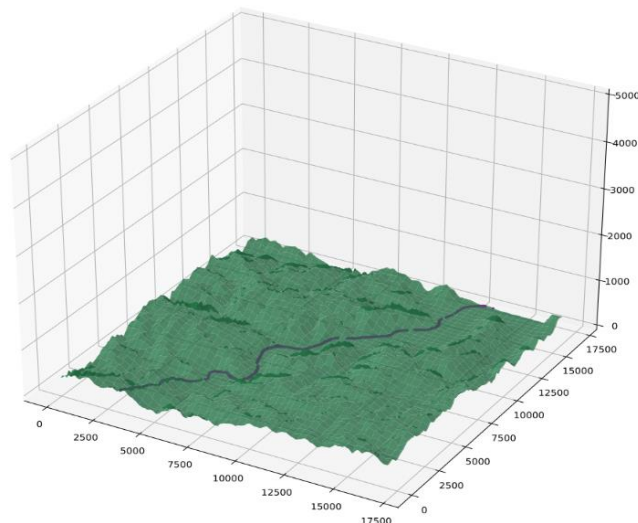


Figura 52 - Estimativa da topografia local e da rodovia.

Por fim, pontos (x,y,z) obtidos dos cálculos anteriores foram utilizados para a modelagem do trecho da BR-386 dentro do Unity, utilizando o RoadArchitect. Para a criação do cenário, o trecho tomado como referência foi o da região da Base de Atendimento ao Usuário, representado na Figura 53 obtida no Google Earth. Já as Figuras 54 e 55 mostram as versões simuladas em diferentes condições de visibilidade.



Figura 53 – Base de Atendimento ao Usuário, na BR-386.



Figura 54 - Cenário 3D referente à Base de Atendimento ao Usuário da BR-386, em condição de boa visibilidade.



Figura 55 - Cenário 3D referente à Base de Atendimento ao Usuário da BR-386, em condição de baixa visibilidade.

O modelo criado foi testado em conjunto com o simulador da dinâmica de voo, JSBSim. Como vantagem em relação à utilização do Cesium, a utilização do RoadArchitect permite a criação mais customizada do cenário. Sendo possível adicionar mais detalhes à rodovia, a criação

de estruturas complexas, como pontes, além da possibilidade de modelar a vegetação local. Por outro lado, a modelagem de grandes trechos se torna pouco prática, uma vez que é necessário o fornecimento de todos os pontos da pista do trecho de interesse, bem como a modelagem do relevo ao redor da pista.



Figura 56 – Voo do drone sobre o modelo do trecho da BR-386.

Atividade 1.7 - Modelagem do ambiente utilizando Cesium

O motor de jogos Unity foi empregado na modelagem dos elementos gráficos do projeto, como mencionado anteriormente. Esta plataforma permite a construção de um cenário virtual interativo de maneira simplificada e intuitiva, sua interface com o usuário é mostrada na Figura 57.

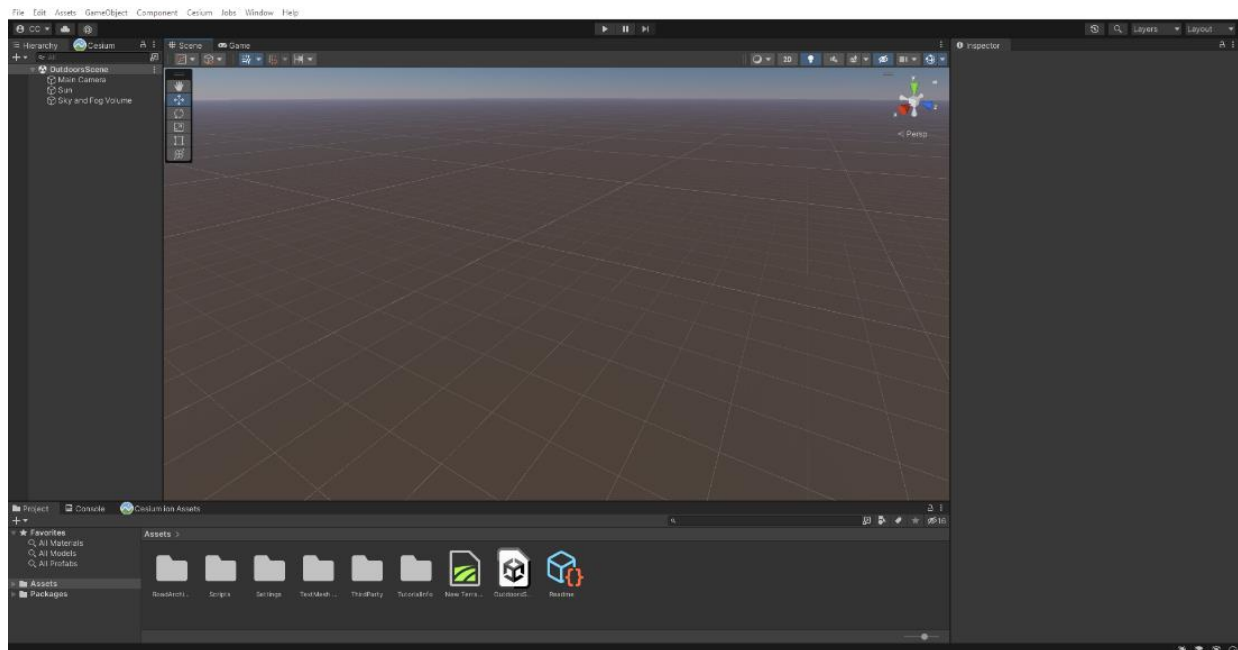


Figura 57 – Interface da Unity.

A Unity oferece uma variedade de opções para customização e personalização do projeto, com todas as alterações possíveis de serem feitas através do seu amplo leque de objetos e recursos. Isso inclui a possibilidade de adicionar novas funcionalidades via scripts na linguagem de programação C#, possibilitando aos desenvolvedores realizarem uma série de modificações e inovações.

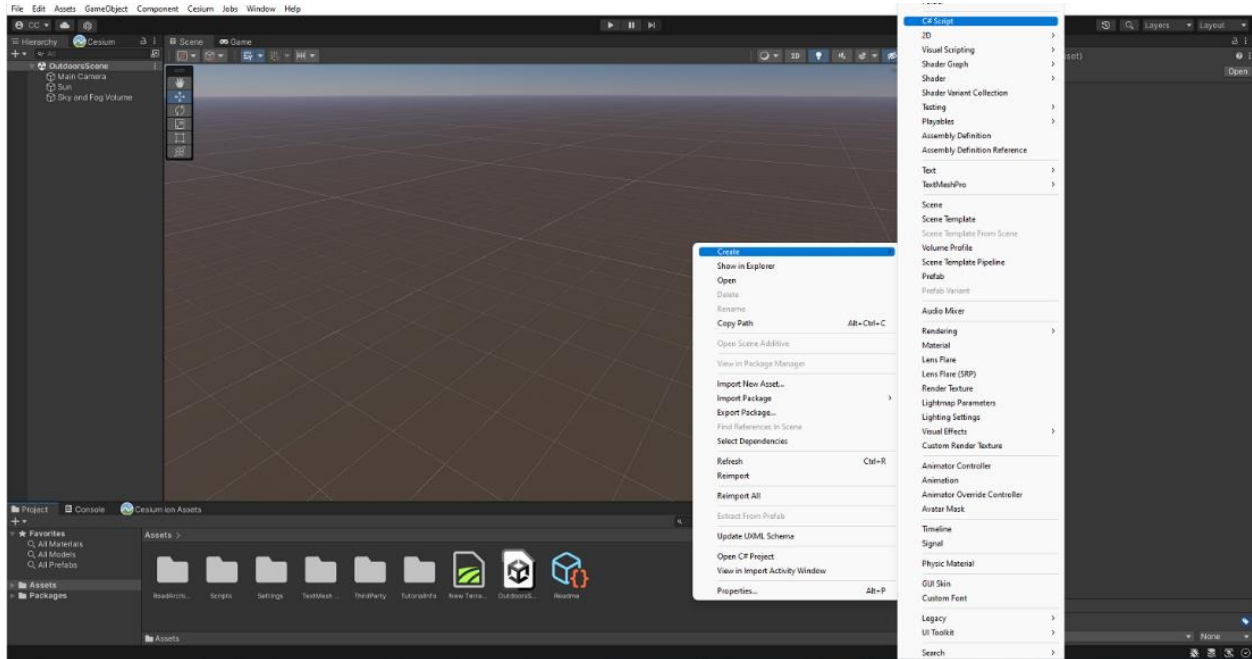


Figura 58 - Opções para personalizar o ambiente.

Para assegurar que o cenário virtual tivesse características fiéis às geográficas terrestres, foi necessário implementar um complemento que dispusesse dessas informações. O framework Cesium [3] foi utilizado, pois compila eficientemente uma série de dados geográficos obtidos via satélite, abrangendo desde informações sobre textura até o relevo das regiões analisadas. Para acompanhar o desenvolvimento dessa biblioteca e conseguir importá-la à Unity, pode-se entrar no seu [repositório](#) do GitHub que contém guias rápidos e exemplos de como prosseguir com esses passos iniciais.

Além disso, seus recursos podem ser facilmente acessados através do seu [site](#) oficial, cuja visualização é mostrada na Figura 59.

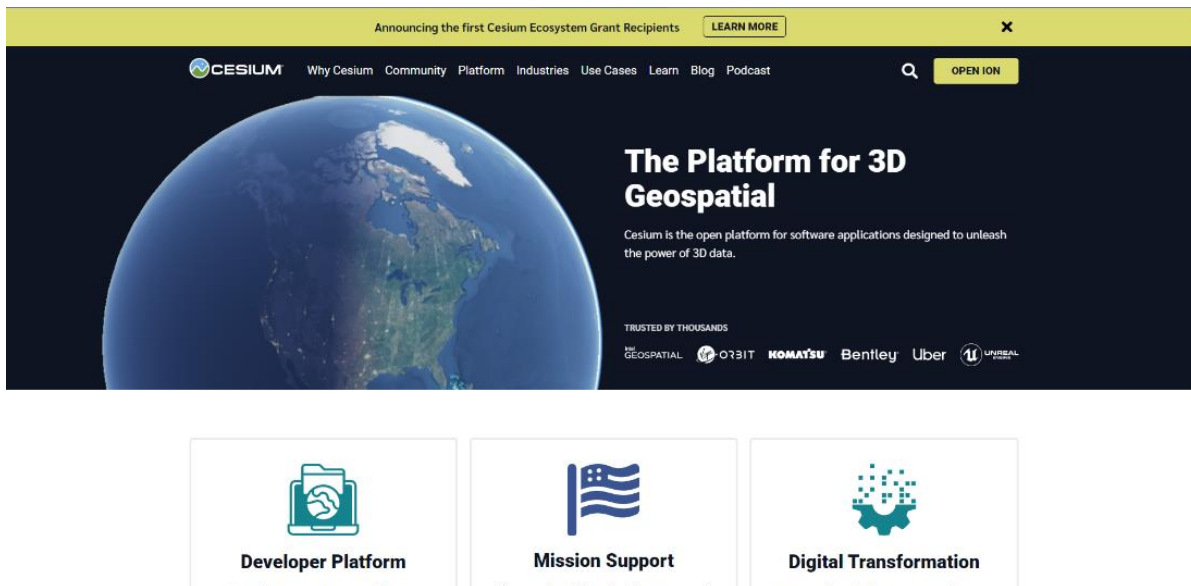


Figura 59 – Site do Cesium [3].

O framework foi escolhido principalmente devido à sua alta compatibilidade com a Unity. Essa compatibilidade reduz a probabilidade de erros e inconsistências no resultado final, além de facilitar a manutenção gráfica do simulador.

Através do site, é possível gerar uma chave API, responsável por manter a conexão com os servidores do Cesium e garantir o recebimento dos dados necessários para a geração estável do ambiente.

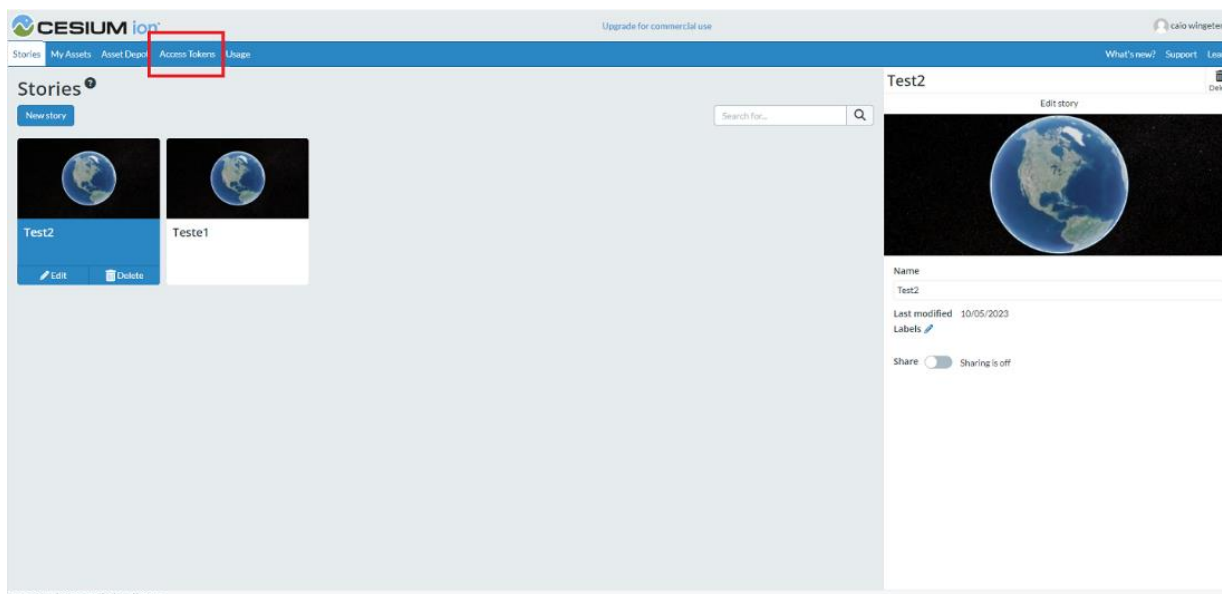


Figura 60 - Opção para gerar a chave API.

Com o token gerado, é necessário abrir o projeto e selecionar a opção "Cesium" no canto superior esquerdo, onde será possível inserir o valor da chave API a ser utilizado nesta aplicação. É importante ressaltar que todas as taxas e/ou análises de uso serão baseadas nesta chave.

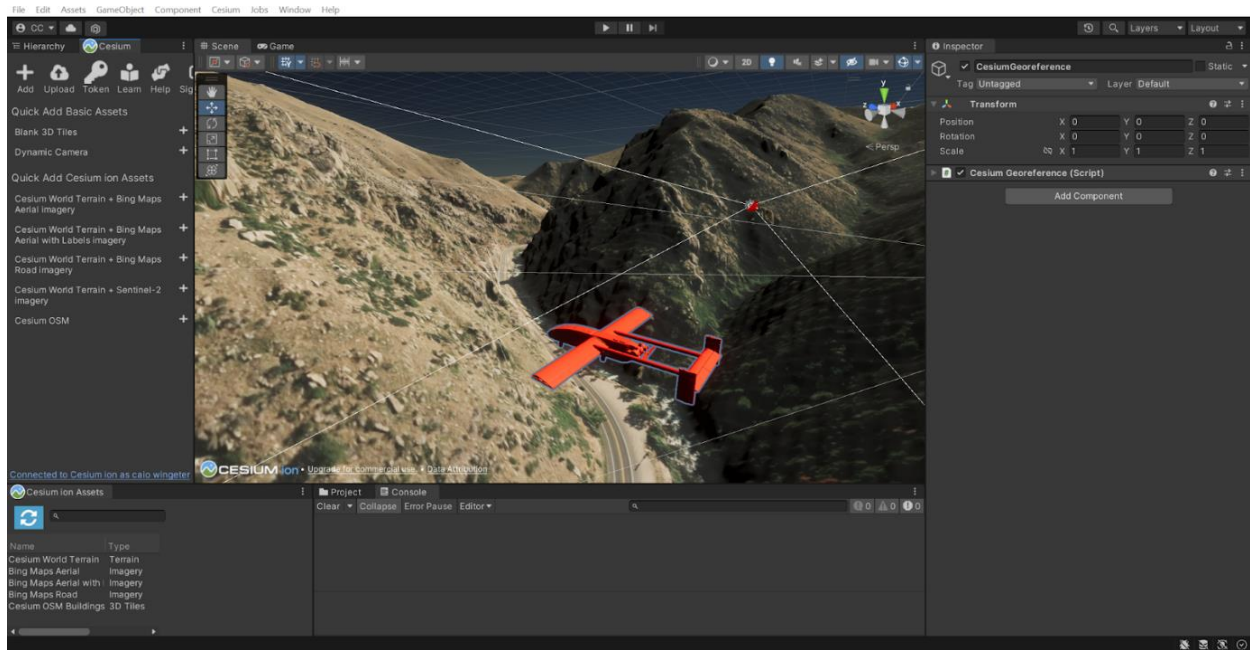


Figura 61 - Utilização do token.

Nota-se na figura acima, a presença de outras opções da série “*Quick add cesium ion assets*”, que se referem a alguns conjuntos de dados pré-estabelecidos pelo site do Cesium e que podem ser rapidamente adicionados à sua cena apenas clicando no botão de “+”. Para que outras opções surjam na interface da Unity, é necessário retornar ao site e analisar as opções presentes em “*Asset Depot*”.

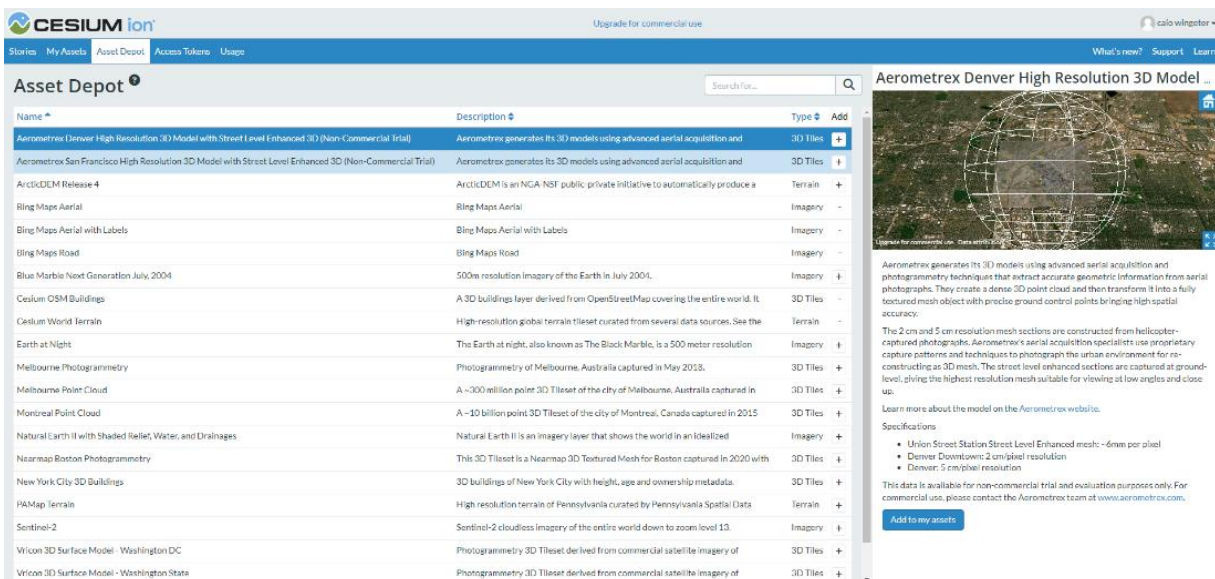


Figura 62 - Adicionando um asset ao projeto da Unity.

Os recursos (assets) disponíveis não se limitam aos modelos pré-estabelecidos pelo Cesium. A plataforma também permite a criação de cenários personalizados usando a ferramenta "Add data", a qual permite a inserção de diferentes elementos no mapa, como construções e objetos em rodovias. Sendo que os tipos de arquivos suportados se encontram [aqui](#).

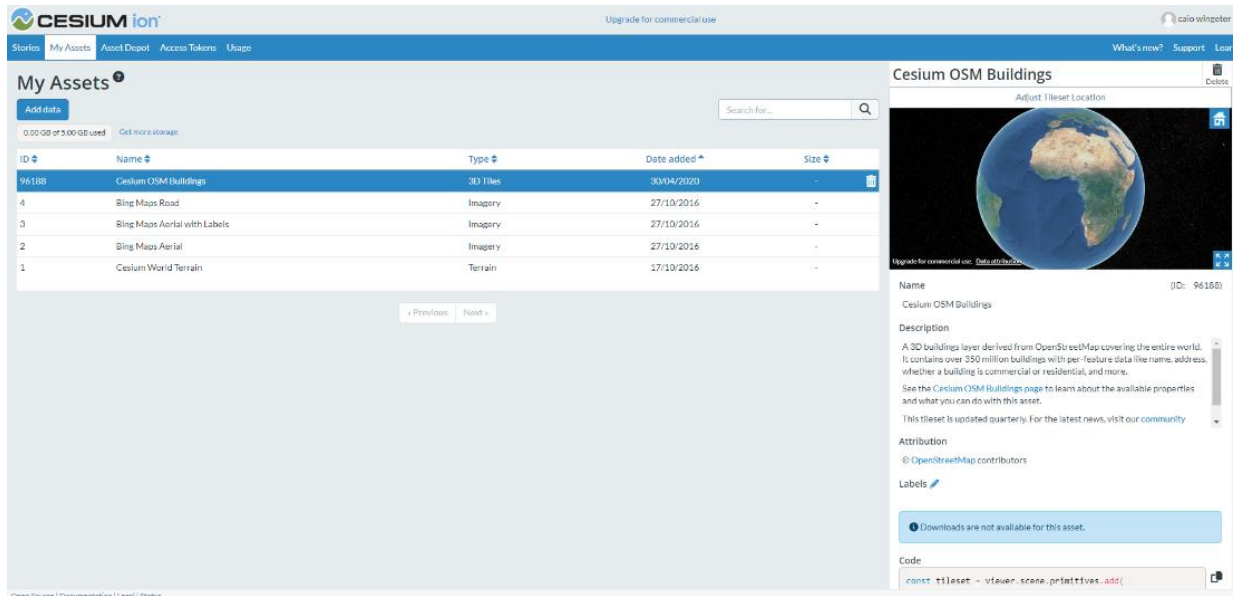


Figura 63 - Opção para adicionar tiles personalizados.

Para iniciar a simulação, basta pressionar o botão "Play" localizado na parte superior da interface da Unity, representada pelo retângulo vazado da Figura 64 abaixo:

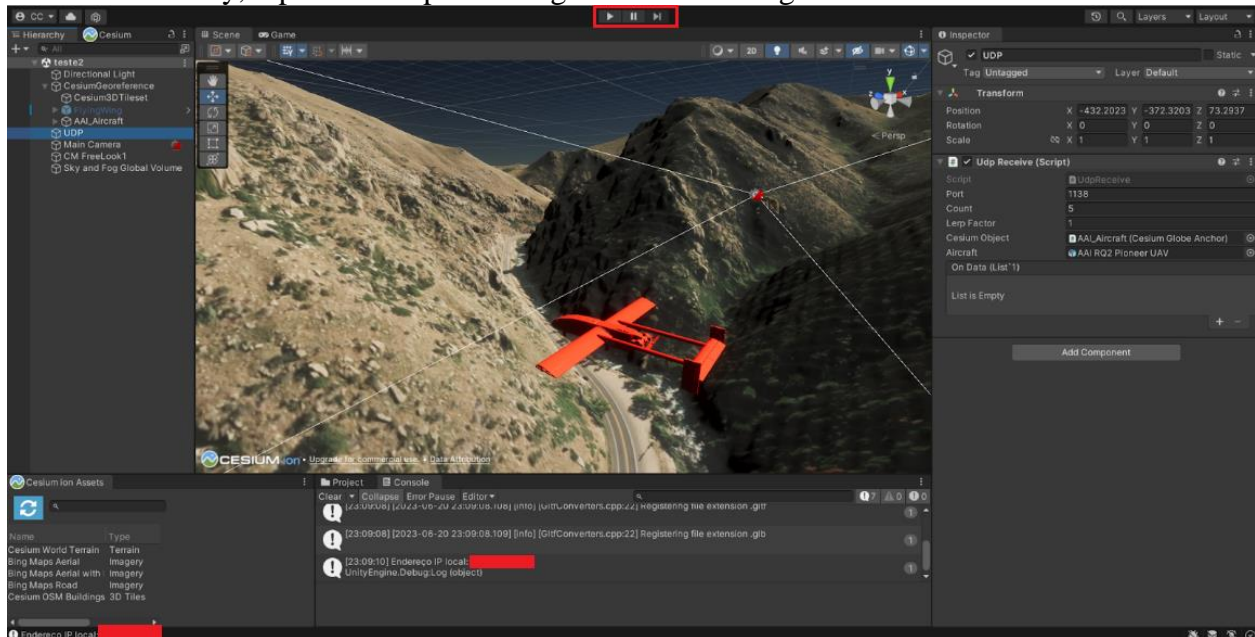


Figura 64 - Localização do botão de início da simulação gráfica e dos endereços de IP.

Ao iniciar a simulação, deve-se substituir os valores indicados na Figura 62 pelo endereço IP localizado nos dois retângulos em vermelho. Isso permitirá estabelecer efetivamente a conexão UDP e, conseqüentemente, garantir uma representação gráfica bem-sucedida da dinâmica da aeronave simulada.

3.2 ETAPA 2 - CAPACITAÇÃO TÉCNICA

Atividade 2.1 - Compartilhamento de informações e abordagens entre equipe da IES e a equipe da concessionaria

Foram realizadas reuniões semanais entre a equipe USP e a equipe da CCR ao longo de todo o projeto às segundas feiras.

Atividade 2.2 - Workshop de RDT

No dia 25 de maio de 2023 promovemos um workshop para apresentação do conjunto de softwares de simulação desenvolvido no projeto. O workshop foi realizado de forma híbrida com equipes distribuídas em salas distintas. A equipe USP se reuniu em São Carlos – SP, a equipe CCR se encontrava distribuída em seus escritórios. A plataforma Teams foi disponibilizada pela CCR.

Participaram do evento as seguintes pessoas:

Nome	Empresa
Thiago Paixao Portugal	CCR GBS
Fabio Portela Rodrigues	CCR GBS
Glauco A. P. Caurin	EESC - USP
Lucas Harim Gomes Cavalcanti	EESC - USP
Antonio Carlos Daud Filho	EESC - USP
Caio Wingeter de Castilho	EESC - USP
Murilo Candido Ferreira	CCR ViaSul
Pedro Sibinel Stach	CCR
Marco Antonio Zaluski	CCR GBS
Michele Beatriz Bonne	CCR ViaSul

A apresentação se dividiu em duas partes. Inicialmente, usando-se um exemplo de missão de monitoramento da própria rodovia BR-290 nas proximidades de Osório–RS, foram apresentadas as funcionalidades gerais do sistema e uma visão holística da forma de criar e operar as simulações, a saber, a capacidade de simulação visual e tridimensional da operação de monitoramento aéreo, sobrevoando trechos de rodovia, e incorporando a rota que se deseja percorrer. O sistema permite também incorporar um modelo da dinâmica da aeronave.

O workshop procurou apresentar o sistema de forma a oferecer uma perspectiva de usuário, ou seja, o software foi apresentado de forma a estimular os membros da CCR a se sentirem confortáveis e confiantes para adotar, implementar e fazer uso da tecnologia.

Numa segunda fase do workshop foram apresentados detalhes técnicos de cada um dos componentes principais do sistema e suas bibliotecas: JSBSim, Cesium e Unity. A própria implementação e uso do modelo da aeronave exemplo foi descrita em maior detalhe, ilustrando como os parâmetros físicos e geométricos (dados fornecidos pelo fabricante) são introduzidos no código. Também utilizamos o exemplo para ilustrar aos participantes do workshop como as rotas de interesse são incorporadas no simulador. O mapa não é estático, ele permite que informações relevantes sejam incorporadas e mantidas no ambiente virtual, oferecendo a possibilidade de se prestar também como ferramenta de discussão, análise e acompanhamento de diferentes aspectos da rodovia.

3.3 ETAPA 3 – RELATÓRIOS

Atividade 3.1 – Desenvolvimento de relatório parcial incluindo atividades de gestão e documentação de projeto

Como previsto na proposta original, foi composto um relatório parcial e entregue para análise.

Atividade 3.2 - Desenvolvimento de relatório final incluindo atividades de conclusão de estrutura de documentação de projeto

Foi elaborado este relatório final com o conjunto de anexos complementando a descrição de atividades desenvolvidas, recursos utilizados, resultados obtidos e apresentando sugestões de perspectivas futuras.

4. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRODUTOS

Ao confrontarmos as atividades propostas com os objetivos específicos verificamos que o sistema de software desenvolvido é capaz de incorporar diferentes modelos e tamanhos de drones (asa móvel, asa fixa, e variantes híbridas) para fins de análise e simulação. Nesse contexto a capacidade de incorporar, de forma padronizada, diferentes modelos de drones disponíveis no mercado e oriundos de diversos fabricantes, também se mostrou possível. Para tanto, foi elaborada uma planilha de orientação (vide anexo D, seção 6.4 deste relatório) para solicitação de dados junto aos fornecedores de VANTs contendo as informações necessárias para viabilizar a estruturação completa de um modelo da aeronave para simulação.

De forma alternativa e caso haja interesse, os dados de uma aeronave específica podem ser extraídos de seu desenho, de medidas diretas no equipamento, bem como de experimentos e testes em laboratório. O Departamento de Engenharia Aeronáutica da EESC USP apresenta condições de recursos humanos e infraestrutura para conduzir tais experimentos. De forma ilustrativa, alguns destes experimentos foram conduzidos ao longo deste projeto como descrito na seção 1.3 deste relatório - (Atividade 1.3), corroborando também para ilustrar a viabilidade desta proposta.

Como ilustrado pelos resultados deste relatório, a combinação de bibliotecas de software JSBSim, Cesium e Unity oferece ferramentas de monitoramento e análise das simulações, como arquivos de dados, gráficos e animações. A biblioteca de modelagem JSBSim oferece formas de interação direta com os atuadores como também o design de controladores. O ambiente de visualização disponibilizado pelo pacote de software Unity também permite emular as respostas de sensores interagindo do ambiente simulado, inclusive a capacidade de reproduzir virtualmente as imagens de câmeras instaladas no VANT

A biblioteca Cesium foi a resposta encontrada para incorporar modelos de ambiente 3D de relevo, incluindo os detalhes de traçado de rodovias a serem inspecionados. O Cesium em conjunto com o Unity permitem inserir de forma realista elementos relevantes de inspeção detectados. Por motivos de simplicidade, esta primeira versão do projeto restringe o estudo à incorporação de modelos do ambiente, numa primeira etapa a trechos isolados da rodovia destinados a inspeção. Como ilustrado nas Figuras 54 e 55 o sistema implementado oferece a capacidade de incorporar efeitos climáticos. Evidentemente qualquer adição de novas funcionalidades, características e fenômenos complexos implica em maior demanda de recursos computacionais de processamento.

Ao confrontarmos os resultados obtidos com o objetivo geral do projeto constatamos que foi realizada a análise de viabilidade do processo de inspeção de rodovias utilizando drones. O sistema de simulação gerado é capaz avaliar o desempenho de VANTs levando em consideração a autonomia de voo, alcance, rapidez, manobrabilidade, facilidade de operação. Ainda à luz da ICA 100-40/2023 [6] que foi atualizada durante o desenvolvimento deste projeto (vide anexo E na seção 6.5 deste relatório), existe a possibilidade de realização de voos em condições BVLOS.

Quando consideramos os resultados alcançados neste projeto, bem como a atualização das normas técnicas e também os avanços tecnológicos apresentados pelas empresas fabricantes de VANTs chegamos à conclusão que a operação de monitoramento de rodovias usando drones pode ser viável, se respeitadas as condições do ambiente e um processo rigoroso de seleção de aeronaves. Incluímos no anexo F deste relatório alguns exemplos de aeronaves disponíveis no mercado e que se posicionam como fortes candidatos a esse tipo de missão. No entanto, estudos adicionais necessitam ser realizados, com uma maior coleta de dados para qualificar qualquer uma destas aeronaves, ou outras a tal tarefa. Resumindo, como conclusão técnica deste relatório, existem condições tecnológicas e recursos para se realizar a missão. Incluímos no Anexo F, exemplos de aeronaves com potencial para aplicação no monitoramento de rodovias, atendendo os requisitos desafiadores impostos por esse tipo de missão. Destacamos duas características destas aeronaves. Primeiramente, o fato de serem fabricadas no Brasil, e em segundo lugar, se

tratar de aeronaves de maior porte, maior robustez à influência de ventos e rajadas, bem como maior autonomia de voo. Enfatizamos que os requisitos da missão apontam para aeronaves de caráter profissional.

Como resultado complementar não previsto originariamente na proposta, foi possível verificar que o software de simulação se constitui como uma ferramenta muito apropriada para as discussões de engenharia relacionadas às operações da rodovia, inclusive oferecendo-se como ambiente adequado para referenciamento de dados armazenados e para servir como mentoria interativa e amigável para diferentes atividades da concessionária.

Como o trabalho foi realizado com sucesso ele também abre espaço para pesquisas complementares. Assim, como sugestões de trabalhos futuros indicamos a possibilidade de desenvolver experimentos de implementação gradativa das operações de monitoramento da rodovia, partindo-se das operações simuladas e migrando-se gradativamente para o emprego de drones reais, por meio de análise envolvendo distâncias percorridas de operação inicialmente pequenas e aumentando-se gradativamente, testando equipamentos, capacitando as equipes locais, coletando resultados reais e conseqüentemente aumentando a maturidade tecnológica da proposta, aproximando-a cada vez mais da demanda por uma operação segura, confiável e regular de inspeção de rodovias.

O conjunto de softwares produto deste projeto pode ser acessado no site da CCR ViaSul:

<https://rodovias.grupoccr.com.br/content/dam/conteudo-multicanal/rodovias/conteudo/pt/midia/viasul/relatorios-de-obras/SimuladorCCR.zip>

Uma versão física do conjunto de softwares também foi entregue à concessionária CCR Viasul em um Pendrive marca SanDisk Cruzer Blade USB 2.0 com capacidade de 16 GB.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JSBSim: Open Source Flight Dynamics. Versão 1.1.13. 2023. Disponível em: <<https://jsbsim.sourceforge.net/index.html>>. Acesso em 14 de junho de 2023.
- [2] FlightGear: Flight Simulator. Versão 2020.3.18. 2023. Disponível em: <<https://www.flightgear.org/>>. Acesso em 14 de junho de 2023.
- [3] Cesium: The Platform for 3D Geospatial. Versão 0.2.0. 2023. Disponível em: <<https://cesium.com/>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.
- [4] Unity: The Platform for Real-Time Development. Versão 3.30f1. 2020. Disponível em: <<https://unity.com/pt>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2023.
- [5] Berndt, Jon S., et al. **JSBSim, an open source, platform-independent, flight dynamics model in C++**, 2011.
- [6] ICA-100-40/2023 Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro de 15.06.2023 <<https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40>>
- [7] RoadArchitect for Unity. Versão 2018.3.0. Disponível em: <<https://github.com/MicroGSD/RoadArchitect>>. Acesso em 15 de junho de 2023.
- [8] ANAC Agencia Nacional de Aviação Civil. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>> Acesso em: 24 Jun. 2023.
- [9] Homologar produtos de telecomunicações - ANATEL. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/servicos/homologar-produtos-de-telecomunicacoes-anatel>> Acesso em: 24 Jun. 2023.
- [10] BOUABDALLAH, S. Design and control of quadrotors with application to autonomous flying. EPFL, Lausanne, p. 155, 2007.
- [11] BOUABDALLAH, S.; NOTH, A.; SIEGWART, R. Pid vs lq control techniques applied to an indoor micro quadrotor. 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Piscataway, NJ: IEEE,2004. v. 3, p. 2451 – 2456. ISBN 0-7803-8463-6. Conference Location: Sendai, Japan;Conference Date: September 28 - October 2, 2004.
- [12] BOUABDALLAH, S.; SIEGWART, R. Backstepping and sliding-mode techniques applied to an indoor micro quadrotor. ICRA. IEEE, 2005. p. 2247–2252.
- [13] CHISCI, L.; ROSSITER, J. A.; ZAPPA, G. Systems with persistent disturbances: predictive control with restricted constraints. Automatica, Elsevier, v. 37, n. 7, p. 1019–1028, 2001
- [14] CHOW, R. Evaluating inertial measurement units. Test & Measurement World, v. 31, n 10, pp 34-37, 2011

- [15] DEPARTAMENTO de Controle do Espaço Aéreo. Disponível em: <<https://www.decea.mil.br/drone/>>. Acesso em: 24 Jun. 2023.
- [16] GIBIANSKY, A. Quadcopter Dynamics, Simulation , and Control. 2012. 1–18 p. Disponível em: <http://andrew.gibiansky.com/blog/physics/quadcopter-dynamics/>, Acesso em: 24 Jun. 2023.
- [17] HEHN, M.; D’ANDREA, R. A flying inverted pendulum. In:2011 IEEE 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation : (ICRA 2011) ;Shanghai, China, 9 - 13 May 2011. Piscataway, NJ: IEEE, 2011. (Proceedings of the IEEE International Conference on robotics and automation, v. 2011), p. 763 – 770.ISBN 978-1-612-84386-5. ISSN 1050-4729. International Conference on Robotics and Automation; Conference Location: Shanghai, China; Conference Date: May 19-13, 2011.
- [18] HOFFMANN, G.; HUANG, H.; WASLANDER, S.; TOMLIN, C. Quadrotor helicopter flight dynamics and control: Theory and experiment. 08 2007.
- [19] HUANG, H.; HOFFMANN, G. M.; WASLANDER, S. L.; TOMLIN, C. J. Aerodynamics and control of autonomous quadrotor helicopters in aggressive maneuvering. In: 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. , 2009.
- [20] KIM, H. S.; KIM, Y. Trajectory optimization for unmanned aerial vehicle formation reconfiguration. Engineering Optimization, v. 46, n. 1, p. 84–106, 2014. ISSN 0305215X
- [21] LEISHMAN, G. Principles of Helicopter Aerodynamics. Cambridge University Press, 2006. (Cambridge aerospace series). ISBN 9780521858601.
- [22] LUPASHIN, S.; SCHÖLLIG, A.; SHERBACK, M.; D’ANDREA, R. A simple learning strategy for high-speed quadcopter multi-flips. In:2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010. p. 1642–1648.
- [23] MELLINGER, D.; KUMAR, V. Minimum snap trajectory generation and control for quadrotors. In:2011 IEEE International Conference on Robotics andAutomation, 2011. p. 2520–2525.
- [24] MELLINGER, D.; MICHAEL, N.; KUMAR, V. Trajectory generation and control for precise aggressive maneuvers with quadrotors.The International Journal of Robotics Research, v. 31, n. 5, p. 664–674, 2012.
- [25] MICHAEL, N.; FINK, J.; KUMAR, V. Cooperative manipulation and transportation with aerial robots. In: . [S.l.: s.n.], 2009. v. 30.
- [26] MÜLLER, M.; LUPASHIN, S.; D’ANDREA, R. Quadrocopter ball juggling. In: 2011IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2011. p. 5113–5120.
- [27] PARK, J.; CHO, N. Collision avoidance of hexacopter uav based on lidar data in dynamic environment. Remote Sensing, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 12, n. 6, p. 975, 2020.

- [28] POUNDS, P.; MAHONY, R.; CORKE, P. Modelling and control of a large quadrotor robot. *Control Engineering Practice*, v. 18, n. 7, p. 691 – 699, 2010. ISSN 0967-0661. Special Issue on Aerial Robotics.
- [29] SEDDON, J.; NEWMAN, S. *Basic Helicopter Aerodynamics*. [S.l.]: Wiley, 2011. (Aerospace Series). ISBN 9781119972723.
- [30] SISTEMAS de Aeronaves Remotamente Pilotadas. Disponível em: <<https://servicos.decea.gov.br/sarpas/>> Acesso em: 24 Jun. 2023.
- [31] SONG, Y.; NAJI, S.; KAUFMANN, E.; LOQUERCIO, A.; SCARAMUZZA, D. Flightmare: A Flexible Quadrotor Simulator. In: CONFERENCE ON ROBOT LEARNING (CORL), 4., 2020, Cambridge. 4th Conference on Robot Learning (CoRL 2020). Cambridge, 2020. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2009.00563>. Acesso em: 24 Jun. 2023.
- [32] UAV Coach. Disponível em: < <https://uavcoach.com/drone-flight-simulator/>> Acesso em: 24 Jun. 2023.
- [33] UAV Toolbox Mathworks. Disponível em <<https://www.mathworks.com/products/uav.html>>. Acesso em: 24 Jun. 2023.
- [34] WANG, L. *Model predictive control system design and implementation using MATLAB®*: Springer Science & Business Media, 2009.
- [35] WHITE, B. A.; SHIN, H. S.; TSOURDOS, A. UAV obstacle avoidance using differential geometry concepts. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, IFAC, . 44, n. 1 PART 1, p. 6325–6330, 2011. ISSN 14746670.
- [35] WIESELSBERGER, C. Beitrag zur Erklärung des Winkelfluges einiger Zugvogel, z. *Flugtechnik & Motorluftschiffahrt*, v. 5, p. 225–229, 1914

6. ANEXOS

6.1 Anexo A – Glossário de termos e abreviações

BVLOS – (Beyond Visual Line of Sight, em inglês) - Operação na qual o piloto não consegue manter o drone dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador.

VLOS – (*Visual Line of Sight*, em inglês) Operação na qual o piloto mantém o contato visual direto com o drone (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos).

EVLOS – Operação na qual o piloto remoto só é capaz de manter contato visual direto com o drone com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e precisa do auxílio de observadores de drone.

RPAS - Sistemas e veículos aéreos pilotados (operados) remotamente. Se distinguem de “aeromodelos” pelo fato de terem uso e aplicação não recreativos.

VANT – Veículo aéreo não tripulado.

UAV – Unmanned Aerial Vehicles.

IES - Instituição de Ensino Superior

6.2 Anexo B – Itens Adquiridos

Foram adquiridos equipamentos computacionais para desenvolvimento do software de simulação de drones para inspeção de rodovias, sendo:

- 1 PC Desktop para simulações 3D: modelo Dell XPS 8950, processador Intel® Core™ i7-12700 (2.10 GHz, 12ª geração), memória de 16 GB, sistema operacional Windows 11 Pro, armazenamento SSD 512 GB + HD de 1TB, placa de vídeo NVIDIA GeForce RTX 3060 com 20 GB, mouse Dell MS116.



- 1 Notebook com placa gráfica: modelo Avell A70 HYB, processador Intel® Core™ i7-12700 (2.30 GHz, 12ª geração), memória de 32 GB, armazenamento SSD 1TB + SSD 1TB, placa de vídeo NVIDIA GeForce RTX 3060 com 22 GB.



- 2 Monitores para computador: modelo Dell E2222HS de 21,5 polegadas.



- Uma Licença de software Matlab com as seguintes bibliotecas adicionais: Simulink, Aerospace Blockset, Aerospace Toolbox, Computer Vision Toolbox, Control System Toolbox, Image Processing Toolbox, Optimization Toolbox, Signal Processing Toolbox, Simulink 3D Animation, Simulink Control Design. O software se destina a atividades de modelagem, análise e simulação de aeronaves
- Uma Licença de software SOLIDWORKS Standard Network Package da empresa Dassault Systemes Americas Corp, na versão SOLIDWORKS 2023. O software se destina a trabalhos de desenho técnico em 3D em geral
- Recursos de computação em nuvem AWS para processamento de alto desempenho. Tenancy (Shared Instances), Operating system (Linux), Workload (Consistent, Number of instances: 1), Advance EC2 instance (p3.2xlarge), Pricing strategy (On-Demand Utilization: 100 %Utilized/Month), Enable monitoring (disabled), EBS Storage amount (6 TB), DT Inbound: Not selected (0 TB per month), DT Outbound: Not selected (0 TB per month), DT Intra-Region: (0 TB per month)

6.3 Anexo C – Relatórios de Atividades dos Bolsistas

- **Bolsa Mestrado 1:**

Bolsista: Antonio Carlos Daud Filho

CPF: 403.934.208-92

Telefone: (16) 99207-1692

Email: antonio.daud.filho@usp.br

Período de recebimento da bolsa: início 01/10/2022 e término em 31/05/2023.

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Título do projeto: Modelagem matemática para simulação numérica computacional da dinâmica de voo, controle e cálculo de trajetórias de drones aplicados em inspeções de rodovias.

Atividades Desenvolvidas:

O objetivo principal do trabalho do bolsista foi o de fazer a modelagem matemática da dinâmica de voo, controle e cálculo de trajetórias aplicadas a drones que possam ser usados em missões de inspeções de rodovias. Assim, essa modelagem serviu de base para a realização de simulações numéricas computacionais, onde o desempenho da aeronave pôde ser investigado para os casos de interesse de operador de rodovias.

A primeira atividade foi participar da visita às instalações da CCR ViaSul em Porto Alegre-RS e acompanhar algumas inspeções nas rodovias para adquirir conhecimento dos desafios e demandas reais envolvidos na operação como um todo.

Em seguida, o bolsista trabalhou no desenvolvimento completo do subsistema de software de modelagem e de simulação de voo de drones, ou seja, desde a sua concepção e programação mais básica. Desenvolvendo assim estruturas lógica-matemáticas de simulação de dinâmica de voo para cada tipo de configuração de drone esperado de utilização na operação de inspeção de rodovias. Contudo, essa abordagem se mostrou bastante custosa em termos de trabalho envolvido, além de envolver riscos em termos de funcionalidade e de desempenho computacional.

Logo essa abordagem foi substituída na tentativa de se aumentar a flexibilidade do resultado final e também reduzir eventuais custos em termos de capacidade de ampliação futura do software. A nova abordagem também reduz riscos associados a perda de desempenho de programação e simulação. Assim, optou-se por adaptar um software de simulação do movimento dinâmico de aeronaves de código aberto para a aplicação no escopo deste projeto, ou seja, produzir um software capaz de realizar uma análise de viabilidade do processo de inspeção de

rodovias utilizando drones. Neste contexto, o software de código aberto JSBSim [1] mostrou-se ideal.

Portanto, o bolsista fez as adaptações necessárias ao software de código aberto JSBSim para que pudesse ser aplicado às aeronaves objetos de estudo de inspeção de rodovias, além de possibilitar a comunicação funcional e correta das informações necessárias ao software gerador de imagens, bem como disponibilizar os parâmetros de interesse à análise de desempenho e sobrevoos corretos dos trechos de rodovia.

São Carlos, 27 de junho de 2023.

Antonio Carlos Daud Filho

Antonio Carlos Daud Filho



Coordenador: Glaucio Augusto de Paula Caurin

Responsável Concessionária: Breno Ferreira Leal

- **Bolsa Mestrado 2:**

Bolsista: Henrique Borges Garcia

CPF: 403.934.208-92

Telefone: (16) 98804-7784

Email: henrique.borges.garcia@usp.br

Período de recebimento da bolsa: início 01/10/2022 e término em 31/05/2023.

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Título do projeto: Programação, representação e visualização gráfica 3D em computador

Atividades Desenvolvidas:

O objetivo principal do trabalho do bolsista foi desenvolver um sistema de programação em computador, representação e visualização gráfica 3D para drones utilizados em missões de inspeção de rodovias. Esse sistema serviu como base para simulações numéricas computacionais, permitindo investigar o desempenho da aeronave em casos de interesse dos operadores de rodovias.

A primeira atividade envolveu a configuração dos computadores e a instalação do sistema operacional e do software necessários para estabelecer uma estrutura organizada e eficiente para as atividades dos demais bolsistas.

Durante essa etapa, foram realizadas diversas tarefas, como a configuração personalizada dos computadores, garantindo que estivessem otimizados para as necessidades específicas do projeto. Foram instalados sistemas operacionais adequados, bem como as últimas atualizações e pacotes de segurança para garantir um ambiente de trabalho seguro e estável.

Além disso, foram instaladas e configuradas ferramentas de colaboração, como softwares de comunicação e compartilhamento de arquivos, que permitiram a troca eficiente de informações e o trabalho em equipe entre os bolsistas. Também foram implementadas soluções de gerenciamento de projetos para organizar as tarefas, atribuir responsabilidades e acompanhar o progresso das atividades.

A atividade de configuração dos computadores e do software teve como objetivo criar um ambiente propício para a colaboração e o desenvolvimento eficiente do projeto. Isso proporcionou aos bolsistas as ferramentas necessárias para realizar suas tarefas de forma integrada, facilitando a comunicação, a organização e a execução das atividades em equipe.

Em seguida, o bolsista trabalhou no desenvolvimento completo de um subsistema de software para programação, representação e visualização gráfica 3D do voo dos drones. Esse

trabalho abrangeu desde a concepção até a programação mais básica do subsistema. Foram desenvolvidas estruturas lógicas e matemáticas para simular a dinâmica de voo de diferentes configurações de drones utilizados na operação de inspeção de rodovias. No entanto, essa abordagem exigiu um esforço significativo e apresentou riscos em termos de funcionalidade e desempenho computacional.

Finalmente optou-se pela adoção de uma abordagem capaz de aumentar a flexibilidade do resultado final e reduzir potenciais custos relacionados à capacidade de expansão futura do software. A nova abordagem também visou mitigar riscos relacionados à perda de desempenho da programação e da simulação. Optou-se por adaptar a biblioteca Cesium e a engine de jogos Unity, para aplicação neste projeto. O objetivo era produzir um software capaz de realizar análises de viabilidade do processo de inspeção de rodovias utilizando drones. Nesse contexto, os pacotes Cesium e Unity, mostraram-se ideais.

Dessa forma, o bolsista utilizou a biblioteca Cesium e a engine Unity, para que pudesse ser utilizada na criação e exibição de representações 3D da rodovia. Além disso, o sistema permitiu a comunicação adequada e funcional das informações necessárias ao software de geração de imagens, bem como disponibilizou os parâmetros relevantes para a análise de desempenho e o correto sobrevoo dos trechos de rodovia.

São Carlos, 27 de junho de 2023.



Henrique Borges Garcia



Coordenador: Glauco Augusto de Paula Caurin

Responsável Concessionária: Breno Ferreira Leal

- **Bolsa Iniciação Científica 1:**

Bolsista: Caio Wingeter de Castilho

CPF: 447.989.078-55

Telefone: (17) 98154-9320

Email: castilhocaio@usp.br

Período de recebimento da bolsa: início 01/10/2022 e término em 31/05/2023.

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Título do projeto: Desenvolvimento de superfícies alvo através de diferentes recursos de modelagem computacional.

Atividades Desenvolvidas:

O principal objetivo do bolsista foi o de desenvolver um ambiente virtual capaz de simular as propriedades de um ambiente real de forma a manter suas principais características, sendo que o ambiente a ser trabalhado é dinâmico e alterável de acordo com as necessidades do usuário.

A primeira atividade realizada foi a de buscar referências para a criação do terreno virtual de forma realística, e também para o entendimento do software da Unity [4]. Decidida a ferramenta final que auxiliaria nesse processo, ou seja, o Cesium [3], passou-se para a fase de integração de suas funcionalidades com o ambiente onde toda a simulação seria executada graficamente, etapa que foi finalizada com o desenvolvimento de alguns códigos computacionais capazes de alterar a posição da aeronave dentro do mapa virtual seguindo seus parâmetros de latitude, longitude e ângulos de rotação.

Em seguida, o bolsista ficou responsável por desenvolver, em conjunto com o time, um algoritmo de conexão UDP e integrá-lo com o objeto da aeronave, o que permitiu com que os dados enviados pelo software JSBSim [1] fossem transmitidos sem interferência para dentro do ambiente gráfico, de forma com que os resultados da dinâmica da aeronave fossem analisados visualmente.

São Carlos, 27 de junho de 2023.



Caio Wingeter de Castilho

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gaurin', is centered at the top of the page.

Coordenador: Glauco Augusto de Paula Caurin

Responsável Concessionária: Breno Ferreira Leal

- **Bolsa Iniciação Científica 2:**

Bolsista: Lucas Harim Gomes Cavalcanti

CPF: 054.764.121-40

Telefone: (12) 98133-6928

Email: harimlgc@usp.br

Período de recebimento da bolsa: início 01/10/2022 e término em 31/05/2023.

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Título do projeto: Desenvolvimento de software de simulação e aplicação de algoritmos de visão computacional para estudo e validação de operações com drones em inspeções de rodovias.

Atividades Desenvolvidas:

O objetivo principal do bolsista consistiu em auxiliar no desenvolvimento de um software de simulação de drone que simule a operação de inspeção de rodovias.

Como primeira etapa, o bolsista pesquisou sobre possíveis bibliotecas de comunicação que poderiam ser usadas para transmissão de dados entre as partes do simulador. Posteriormente ele foi responsável por implementar as ferramentas de transmissão de imagem para que pudessem ser pós-processadas por um algoritmo externo. Neste sentido, cumpriu-se a modelagem da câmera do drone.

Como segunda etapa, o bolsista desenvolveu códigos computacionais para manipulação dos materiais do cenário para aquisição de dados que pudessem ser posteriormente utilizados para a criação de um dataset de imagens. O dataset seria utilizado para aplicação de algoritmos de visão computacional. Entretanto, após uma reunião com equipe da CCR ViaSul, foi levantada a informação de que a utilização de câmeras RGB poderia ser inviabilizada devido às condições de baixa visibilidade da região da rodovia. Por outro lado, observou-se a necessidade em focar no desenvolvimento de cenários que representassem o revelado da rodovia para que posteriormente fosse sobrevoada utilizando um drone.

Neste sentido, como terceira etapa realizada pelo bolsista, optou-se pela modelagem da rodovia utilizando-se de assets em Unity, como o RoadArchitect, além de métodos de processamento de imagens para estimar a topografia da região. Como resultado, o bolsista criou um cenário para representar um trecho da BR-386.

Como atividades paralelas, o estudante também foi responsável por estudar bibliotecas que pudessem ser utilizadas para a modelagem da dinâmica de voo, bem como do cenário 3D. Estes estudos resultaram na adoção do JSBSim e do Cesium, os quais foram utilizados como ferramentas de desenvolvimento pelos demais membros da equipe.

São Carlos, 27 de junho de 2023.

Lucas Harim Gomes Cavalcanti

Lucas Harim Gomes Cavalcanti



Coordenador: Glauco Augusto de Paula Caurin

Responsável Concessionária: Breno Ferreira Leal

- **Bolsa Iniciação Científica 3:**

Bolsista: Clayton Sant'ana

CPF: 444182368-13

Telefone: (16) 98829-8037

Email: clayton.santanastz@usp.br

Período de recebimento da bolsa: início 01/10/2022 e término em 31/05/2023.

Instituição: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Título do projeto: Desenvolvimento de superfícies alvo através de diferentes recursos de modelagem computacional.

Atividades Desenvolvidas:

O principal objetivo do bolsista foi o desenvolvimento de códigos utilizando o software MATLAB e seus toolboxes para análise de resultados e montagem de exemplos de extração de parâmetros adicionais da aeronave, bem como a realização de ajustes de parâmetros de controladores de voo. Também foi realizado o desenvolvimento de desenho em arquivo computacional CAD 3D da aeronave, a fim de coletar e estimar alguns parâmetros da aeronave, neste contexto foi utilizado o software SOLIDWORKS.

A primeira atividade a ser realizada, foi a busca por cotação dos softwares a serem utilizados pelo projeto, a pesquisa foi efetuada buscando diferentes fornecedores dos programas e então foi escolhido aquele que, além de apresentar um preço competitivo e que fosse condizente com o orçamento disponível, oferece um suporte ativo, de longa duração e meios de capacitação com emissão de certificado, para a qualificação de mais bolsistas presentes no projeto.

Em seguida o bolsista ficou responsável por desenvolver, em conjunto com outros membros do time o código de análise dos resultados obtidos através da simulação da aeronave, sendo um deles a série temporal dos estados de voo da aeronave ao percorrer a trajetória, que apresenta parâmetros de velocidade de voo, ângulo de escorregamento lateral, ângulo de ataque, velocidade angular de rolagem, dentre outros.

O programa de CAD SOLIDWORKS foi utilizado para a análise de engenharia reversa de parâmetros de aeronaves candidatas, usando modelos (desenhos) computacionais tridimensionais, foi possível estimar e compartilhar com os demais membros da equipe parâmetros de aeronaves necessários para os trabalhos de simulação como valores geométricos, de massa, de inércia, coordenadas de interesse e etc. O software permite também a realização de algumas análises estruturais prévias avaliando a capacidade de aeronaves resistirem a esforços adicionais causados, por exemplo, por rajadas de vento ou outros tipos de esforços de interesse.

Outros parâmetros referentes à aeronave foram obtidos de forma experimentalmente, para tal, algumas peças para a montagem do experimento foram desenvolvidas dentro do SOLIDWORKS.

São Carlos, 27 de junho de 2023.



Clayton Sant'ana



Coordenador: Glauco Augusto de Paula Caurin

Responsável Concessionária: Breno Ferreira Leal

6.4 Anexo D – Planilha de orientação para solicitação de dados de fabricantes de VANTs

1	2	A	B	C	D	E
	1	Parâmetros para Simulação no Software JSBSim				
	2	Propriedades Aeronave Asa Fixa	Valor	Unidade (Imperial)	Valor	Unidade (SI)
	3	Área da Asa		ft^2		m^2
	4	Envergadura da Asa		ft		m
	5	Corda Média Aerodinâmica da Asa		ft		m
	6	Área do Estabilizador Horizontal		ft^2		m^2
	7	Distância Longitudinal do Estabilizador Horizontal ao C.G.		ft		m
	8	Área do Estabilizador Vertical		ft^2		m^2
	9	Distância Longitudinal do Estabilizador Vertical ao C.G.		ft		m
	10	Coordenadas do Centro Aerodinâmico (X)		in		m
+	13	Coordenadas do Ponto de Cálculos de forças G (Piloto) (X)		in		m
+	16	Coordenadas do Ponto de Visualização do Voo (X)		in		m
+	19	Inércia Ixx		slug*ft^2		kg*m^2
+	23	Peso Vazio		lbs		kg
	24	Coordenadas do C.G. do Peso Vazio (X)		in		m
+	27	Coordenada de Trem de Pouso, Ponto de Contato ao Solo 1 (X)		in		m
+	36	Coordenada de Base da Cauda, Ponto de Contato ao Solo 4 (X)		in		m
+	39	Coordenada de Ponta da Asa Direita, Ponto de Contato ao Solo 5 (X)		in		m
+	42	Coordenada de Ponta da Asa Esquerda, Ponto de Contato ao Solo 5 (X)		in		m
+	45	Coordenadas de Propulsor 1 (Hélice) (X)		in		m
+	48	Orientação do Propulsor 1 (roll)		deg		deg
+	51	Coordenadas de Propulsor 2 (Hélice) (X)		in		m
+	54	Orientação do Propulsor 2 (roll)		deg		deg
+	57	Coordenadas de Tanque de Combustível 1 (X)		in		m
+	60	Capacidade do Tanque de Combustível 1		lbs		kg
	61	Coordenadas de Tanque de Combustível 2 (X)		in		m
+	64	Capacidade do Tanque de Combustível 2		lbs		kg
	65	Limite Superior de Deslocamento do Profundor		deg		deg
	66	Limite Inferior de Deslocamento do Profundor		deg		deg
	67	Limite Superior de Deslocamento do Aileron		deg		deg
	68	Limite Inferior de Deslocamento do Aileron		deg		deg
	69	Limite Superior de Deslocamento do Leme		deg		deg
	70	Limite Inferior de Deslocamento do Leme		deg		deg
	71	Limite Superior de Deslocamento do Flap		deg		deg
	72	Limite Inferior de Deslocamento do Flap		deg		deg

1	2	A	B	C	D	E
74		Aerodinâmica	Valor	Unidade (Imperial)	Valor	Unidade (SI)
75		Curva CL x alpha da aeronave				
76		Incremento de CL devido à deflexão de flap				
77		Derivada de CL em relação à deflexão de profundor (CL_delta_e)		1/rad		1/rad
78		Derivada de CL em relação à derivada de alpha (alpha_ponto) (CL_alphadot)		s/rad		s/rad
79		Derivada de CL em relação velocidade angular de arfagem (q) (CL_q)		s/rad		s/rad
80		Derivada de CL por alpha (CL_alpha)		1/rad		1/rad
81		CD em sustentação nula (CD_0)				
82		Incremento de CD devido à deflexão de flap				
83		Curva de CD x alpha da aeronave				
84		Derivada de CD em relação à deflexão de profundor (CD_delta_e)		1/rad		1/rad
85		Derivada de CD em relação à beta (CD_beta)		1/rad		1/rad
86		Derivada de CY em relação à beta (CY_beta)		1/rad		1/rad
87		Derivada de CY em relação à deflexão de aileron (CY_delta_a)		1/rad		1/rad
88		Derivada de CY em relação à deflexão de leme (CY_delta_r)		1/rad		1/rad
89		Derivada de CY em relação à velocidade angular de rolagem (CY_p)		s/rad		s/rad
90		Derivada de CY em relação à velocidade angular de guinada (CY_r)		s/rad		s/rad
91		Derivada de CI em relação a beta (CI_beta)		1/rad		1/rad
92		Derivada de CI em relação a velocidade angular de rolagem (CI_p)		s/rad		s/rad
93		Derivada de CI em relação a velocidade angular de guinada (CI_r)		s/rad		s/rad
94		Derivada de CI em relação à deflexão de aileron (CI_delta_a)		1/rad		1/rad
95		Derivada de CI em relação à deflexão de leme (CI_delta_r)		1/rad		1/rad
96		Derivada de Cm em relação a alpha		1/rad		1/rad
97		Incremento de Cm devido à deflexão de flap		1/rad		1/rad
98		Derivada de Cm em relação a velocidade angular de arfagem (Cm_q)		s/rad		s/rad
99		Derivada de Cm em relação a derivada de alpha (alpha_ponto) (Cm_alphadot)		s/rad		s/rad
100		Cm em zero alpha				
101		Derivada de Cm em relação à deflexão de profundor (Cm_delta_e)		1/rad		1/rad
102		Derivada de Cn em relação a beta (Cn_beta)		1/rad		1/rad
103		Derivada de Cn em relação à velocidade angular de rolagem (Cn_p)		s/rad		s/rad
104		Derivada de Cn em relação à velocidade angular de guinada (Cn_r)		s/rad		s/rad
105		Derivada de Cn em relação à deflexão de aileron (Cn_delta_a)		1/rad		1/rad
106		Derivada de Cn em relação à deflexão de leme (Cn_delta_r)		1/rad		1/rad

1	2	A	B	C	D	E
107						
108		Propulsão	Valor	Unidade (Imperial)	Valor	Unidade (SI)
109		Diâmetro da hélice		in		m
110		Número de pás				
111		Momento de inércia (Ixx)		slug*ft^2		kg*m^2
112		Curva de CT da hélice em função de razão de avanço por diâmetro (J)				
113		Curva de CP da hélice em função de razão de avanço por diâmetro (J)				
114						
115		Se Motor Pistão	Valor	Unidade (Imperial)	Valor	Unidade (SI)
116		Cilindradas		in^3		
117		Potência Máxima		hp		
118		Consumo específico (bsfc)				
119		idle rpm		rpm		
120		max rpm		rpm		
121						
122		Se Motor Elétrico	Valor	Unidade (Imperial)	Valor	Unidade (SI)
123		max volts		v		
124		kV		rpm/V		

Figura 62 - Planilha de orientação para solicitação de dados de fabricantes de VANTs.

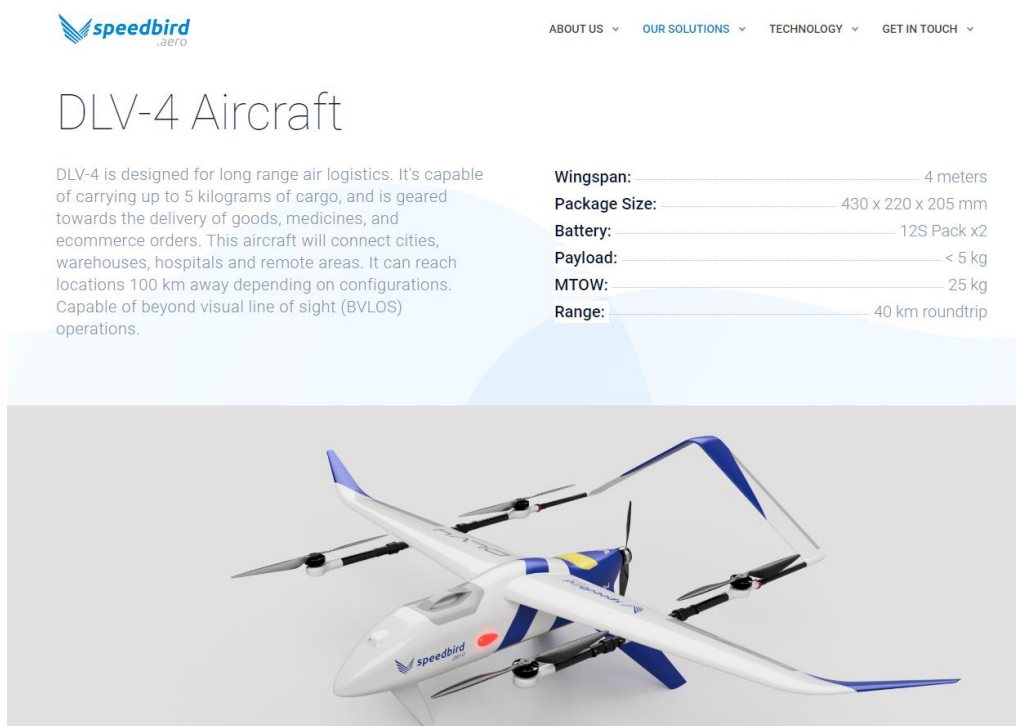
6.5 Anexo E – Regras para Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro segundo a ICA 100-40/2023, “Aeronaves não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”

REGRAS PARA ACESSO AO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO	PMD ≤ 25 KG												PMD > 25 KG (6)	
TIPO DE OPERAÇÃO	VLOS												BVLOS	VLOS/BVLOS
ALTURA	Até 100 ft		100/200 ft		200/300 ft		300/400 ft		> 400 ft	NO ENTORNO DE ESTRUTURA (4)	ATÍPICA	(7)	(8)	
GROUND SPEED MÁX	30 Kt		60 Kt		60 Kt		60 Kt		(9)	30Kt	(9)	(9)	(9)	
DISTÂNCIA DE AERÓDROMOS NAS ZAD (METROS)	≥ 3550	< 3550	≥ 4480	< 4480	≥ 5400	< 5400	≥ 6320	< 6320	(9)	Não Aplicável	(9)	(9)	(9)	
DISTÂNCIA DE AERÓDROMOS NO ENTORNO (METROS)	≥ 1740	< 1740	≥ 2350	< 2350	≥ 2960	< 2960	≥ 3570	< 3570	(9)	≥ 500	< 500	(9)	(9)	
DISTÂNCIA DE HELIPONTOS (METROS)	≥ 1740	< 1740	≥ 2350	< 2350	≥ 2960	< 2960	≥ 3570	< 3570	(9)	≥ 200	< 200	(9)	(9)	
DISTÂNCIA DE PESSOAS NÃO ANUENTES (9)	CONFORME REQUISITOS ESTABELECIDOS PELA ANAC													
DISTÂNCIA DE PATRIMÔNIOS (10)	≥ 30 Metros		≥ 30 Metros		≥ 30 Metros		≥ 30 Metros		(9)	≤ 30 Metros	≥ 30 Metros		(9)	(9)
PERÍODO DA OPERAÇÃO	DIURNO OU NOTURNO													
SOLICITAÇÃO	SARPAS													
PRAZO PARA SOLICITAÇÃO (11)	30 min	4 Dias Corridos	30 min	4 Dias Corridos	30 min	4 Dias Corridos	30 min	4 Dias Corridos	12 Dias Corridos	30 min	4 Dias Corridos	12 Dias Corridos	12 Dias Corridos	12 Dias Corridos
AUTORIZAÇÃO IMEDIATA	SEM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
ANÁLISE ATM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM
TERMO DE COORDENAÇÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
COMUNICAÇÃO BILATERAL COM ORGÃO ATS	CONFORME ANÁLISE ATM									SIM	CONFORME ANÁLISE ATM	CONFORME ANÁLISE ATM	SIM	SIM
EMIÇÃO DE NOTAM	CONFORME ANÁLISE ATM													
(1) Significa o afastamento horizontal da projeção vertical da aeronave no solo.														
(2) independem de valores, pois deverão ser cumpridas as condicionantes operacionais previstas na autorização e/ou no NOTAM.														
(3) O prazo de quatro dias corridos, quando envolver divulgação por meio de Produto AIS, poderá ser estendido para doze dias corridos														
(3) Operação em Área de Segurança, quando solicitada pelo responsável da área, terá prazo de 30 min de antecedência. Para os demais usuários o prazo será de quatro dias corridos.														
(3) A Operação de Aerolevante, mesmo que cumpra as condicionantes operacionais relacionadas com altura e distância dos aeródromos, deverá ser solicitada com prazo de quatro dias corridos de antecedência.														
(4) As Operações No Entorno de Estruturas em Aeródromos/Helipontos homologados para Operação IFR deverão respeitar os parâmetros de FRZ previstos no item 6.2.3.2.1.														
(5) As Operações Aero agrícolas realizadas por aeronaves com PMD maior que 25 Kg deverão respeitar as condicionantes previstas no item 6.2.11														

Figura 63 - Regras para Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro.

6.6 Anexo F – Exemplos de aeronaves candidatas

As aeronaves comerciais apresentadas a seguir apresentam potencial para atender as demandas de missão de monitoramento em rodovias. Destacamos o fato de serem produzidas no Brasil.



speedbird
aero

ABOUT US ▾ OUR SOLUTIONS ▾ TECHNOLOGY ▾ GET IN TOUCH ▾

DLV-4 Aircraft

DLV-4 is designed for long range air logistics. It's capable of carrying up to 5 kilograms of cargo, and is geared towards the delivery of goods, medicines, and ecommerce orders. This aircraft will connect cities, warehouses, hospitals and remote areas. It can reach locations 100 km away depending on configurations. Capable of beyond visual line of sight (BVLOS) operations.

Wingspan: 4 meters
Package Size: 430 x 220 x 205 mm
Battery: 12S Pack x2
Payload: < 5 kg
MTOW: 25 kg
Range: 40 km roundtrip




Figura 64 – Aeronave DLV-4, fabricante speedbird, fonte: <https://www.speedbird.aero/#solutions>



SISTEMA NAURU 1000C
by xmobots®

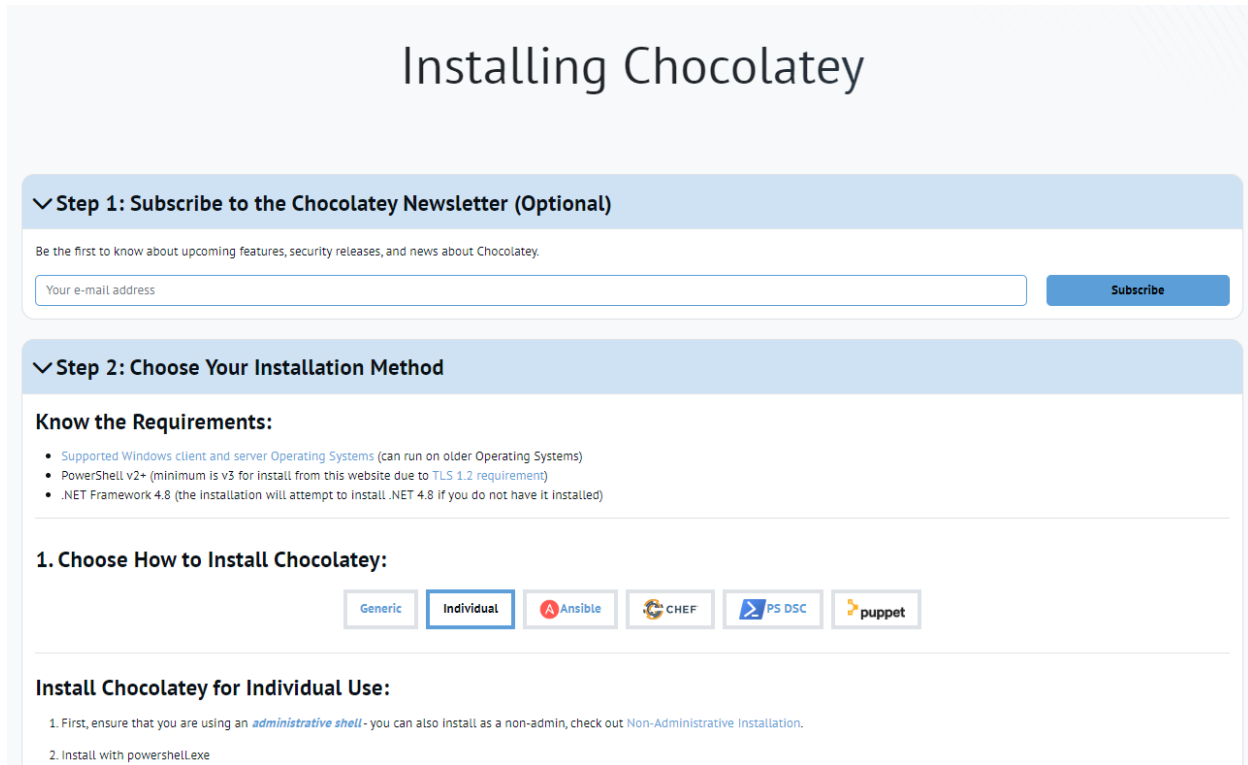
Dimensões	
- Envergadura	7,7 metros
- Comprimento	2,9 metros
- Altura	0,98 metro
VTOL	Pouso e decolagem verticais
Autonomia	10 horas
Peso Máximo de Decolagem (MTOW)	150 kg.
Peso Máximo de Cargas Pagas	18 kg.
Propulsão híbrida	Combustão e elétrica
Tanque de combustível	50 litros
Sistema VTOL elétrico	8 motores com baterias independentes
Composição	Alumínio e materiais compósitos
Alcance	60 km.
Velocidade cruzeiro	60 kt (112 km/h)
Teto de serviço	10.000 ft.



Figura 65 – Aeronave Nauru 1000C, fabricante Xmobots, fonte: <https://xmobots.com.br/nauru1000c/>

6.7 Anexo G – Tutorial de instalação do software JSBSim

1. Primeiramente é preciso instalar o software GNU MAKE. Uma forma de instalar esse software é por meio do software CHOCOLATEY, que é encontrado em (<https://chocolatey.org/install>).



Installing Chocolatey

▼ Step 1: Subscribe to the Chocolatey Newsletter (Optional)

Be the first to know about upcoming features, security releases, and news about Chocolatey.

Your e-mail address

▼ Step 2: Choose Your Installation Method

Know the Requirements:

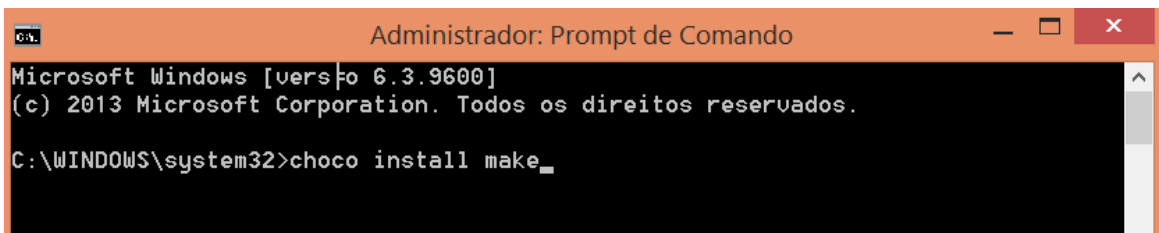
- Supported Windows client and server Operating Systems (can run on older Operating Systems)
- PowerShell v2+ (minimum is v3 for install from this website due to [TLS 1.2 requirement](#))
- .NET Framework 4.8 (the installation will attempt to install .NET 4.8 if you do not have it installed)

1. Choose How to Install Chocolatey:

Install Chocolatey for Individual Use:

1. First, ensure that you are using an *administrative shell* - you can also install as a non-admin, check out [Non-Administrative Installation](#).
2. Install with powershell.exe

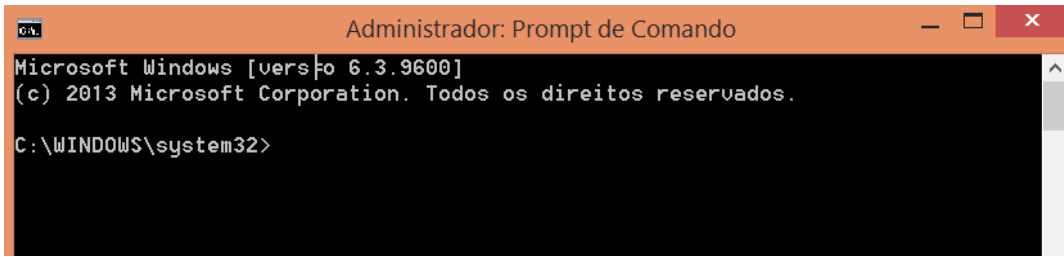
2. Então o software GNU MAKE pode ser então facilmente instalado, como descrito em (<https://community.chocolatey.org/packages/make>).
3. Execute o Prompt de Comando do Windows como administrador, e digite: **choco install make** e tecla ENTER.



```
Administrador: Prompt de Comando
Microsoft Windows [versão 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\WINDOWS\system32>choco install make_
```

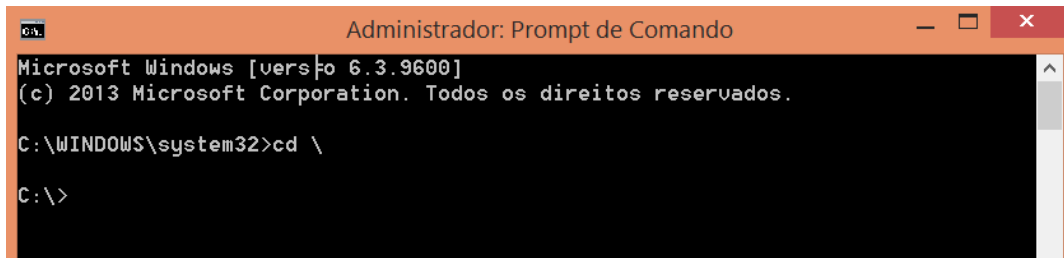
4. Copiar a pasta de arquivos do JSBSim no diretório Arquivos de Programas (x86).
5. Execute o Prompt de Comando do Windows como administrador. Aparecerá a tela abaixo.



```
Administrador: Prompt de Comando
Microsoft Windows [versão 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\WINDOWS\system32>
```

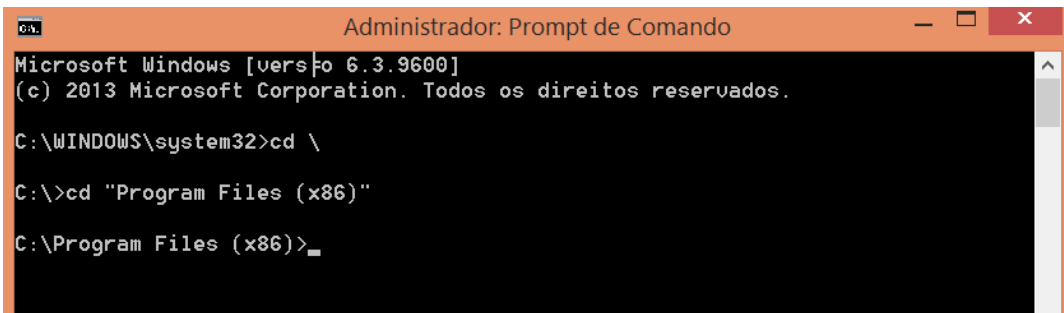
6. Digite: `cd \` e tecla ENTER, para entrar no diretório C:\.



```
Administrador: Prompt de Comando
Microsoft Windows [versão 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\WINDOWS\system32>cd \
C:\>
```

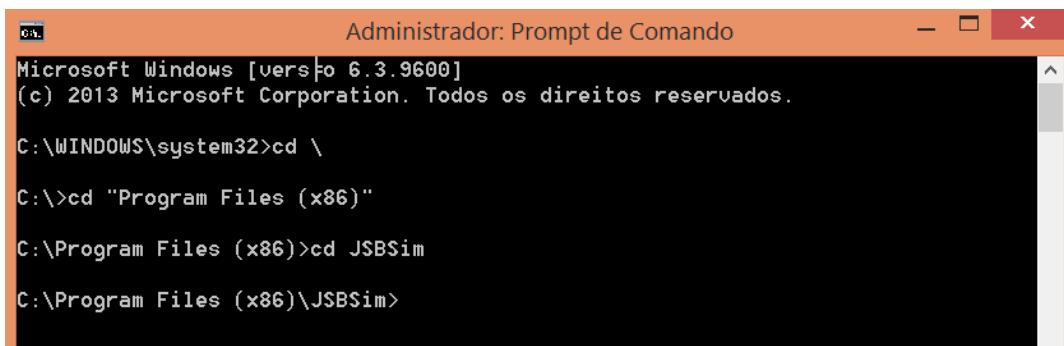
7. Digite: `cd "Program Files (x86)"` e tecla ENTER, para entrar na pasta em que foram salvos os arquivos do JSBSim.



```
Administrador: Prompt de Comando
Microsoft Windows [versão 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\WINDOWS\system32>cd \
C:\>cd "Program Files (x86)"
C:\Program Files (x86)>_
```

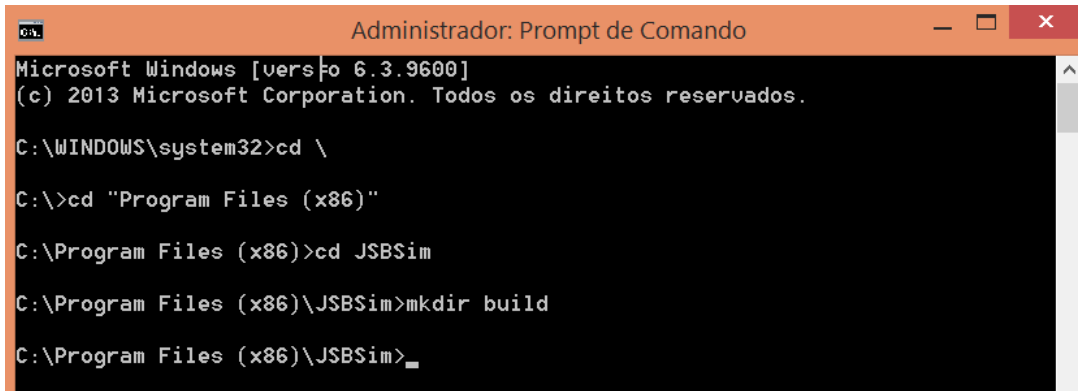
8. Digite: `cd JSBSim` e tecla ENTER.



```
Administrador: Prompt de Comando
Microsoft Windows [versão 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\WINDOWS\system32>cd \
C:\>cd "Program Files (x86)"
C:\Program Files (x86)>cd JSBSim
C:\Program Files (x86)\JSBSim>
```

9. Digite: `mkdir build` e tecla ENTER.



```
Administrador: Prompt de Comando
Microsoft Windows [vers#o 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\WINDOWS\system32>cd \

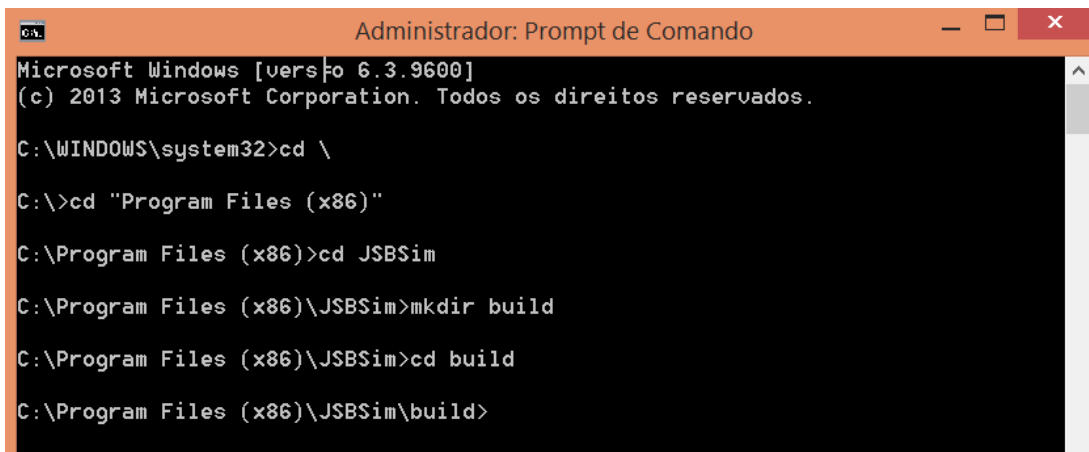
C:\>cd "Program Files (x86)"

C:\Program Files (x86)>cd JSBSim

C:\Program Files (x86)\JSBSim>mkdir build

C:\Program Files (x86)\JSBSim>_
```

10. Digite: **cd build** e tecle ENTER.



```
Administrador: Prompt de Comando
Microsoft Windows [vers#o 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\WINDOWS\system32>cd \

C:\>cd "Program Files (x86)"

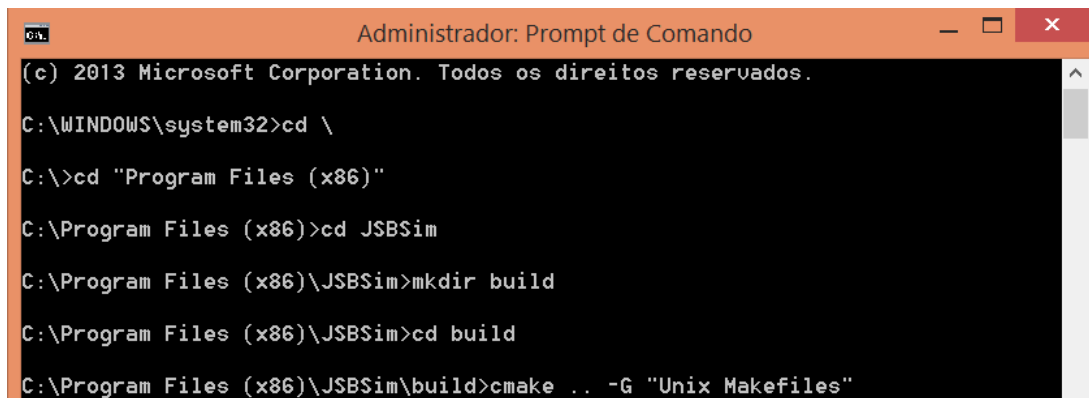
C:\Program Files (x86)>cd JSBSim

C:\Program Files (x86)\JSBSim>mkdir build

C:\Program Files (x86)\JSBSim>cd build

C:\Program Files (x86)\JSBSim\build>
```

11. Digite: **cmake .. -G "Unix Makefiles"** e tecle ENTER.



```
Administrador: Prompt de Comando
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\WINDOWS\system32>cd \

C:\>cd "Program Files (x86)"

C:\Program Files (x86)>cd JSBSim

C:\Program Files (x86)\JSBSim>mkdir build

C:\Program Files (x86)\JSBSim>cd build

C:\Program Files (x86)\JSBSim\build>cmake .. -G "Unix Makefiles"
```

12. Digite: **make** e tecle ENTER, e aguarde.

```
Administrador: Prompt de Comando
Running plantuml with JAUA...
Running dot...
Running dot for graph 1/1
type lookup cache used 53/65536 hits=479 misses=188
symbol lookup cache used 0/65536 hits=0 misses=0
finished...
-- Found Python3: C:/Users/Toni/AppData/Local/Programs/Python/Python311/python.exe (found version "3.11.1") found components: Interpreter Development Development.Module Development.Embed
-- Could NOT find Cython (missing: CYTHON_EXECUTABLE)
-- Could NOT find CxxTest (missing: CXXTEST_INCLUDE_DIR CXXTEST_PYTHON_TESTGEN_EXECUTABLE)
-- Configuring done (40.9s)
-- Generating done (1.2s)
-- Build files have been written to: C:/Program Files (x86)/JSBSim/build

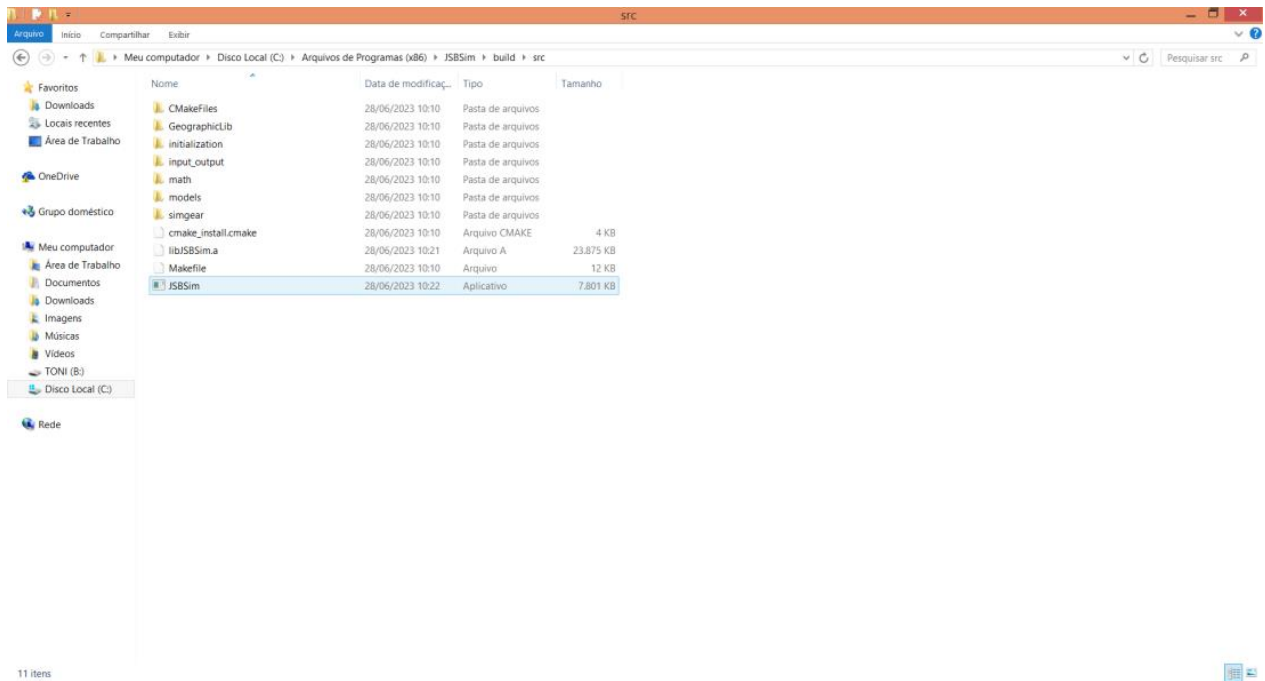
C:\Program Files (x86)\JSBSim\build>make
```

13. Digite: **make install** e tecle ENTER, e aguarde.

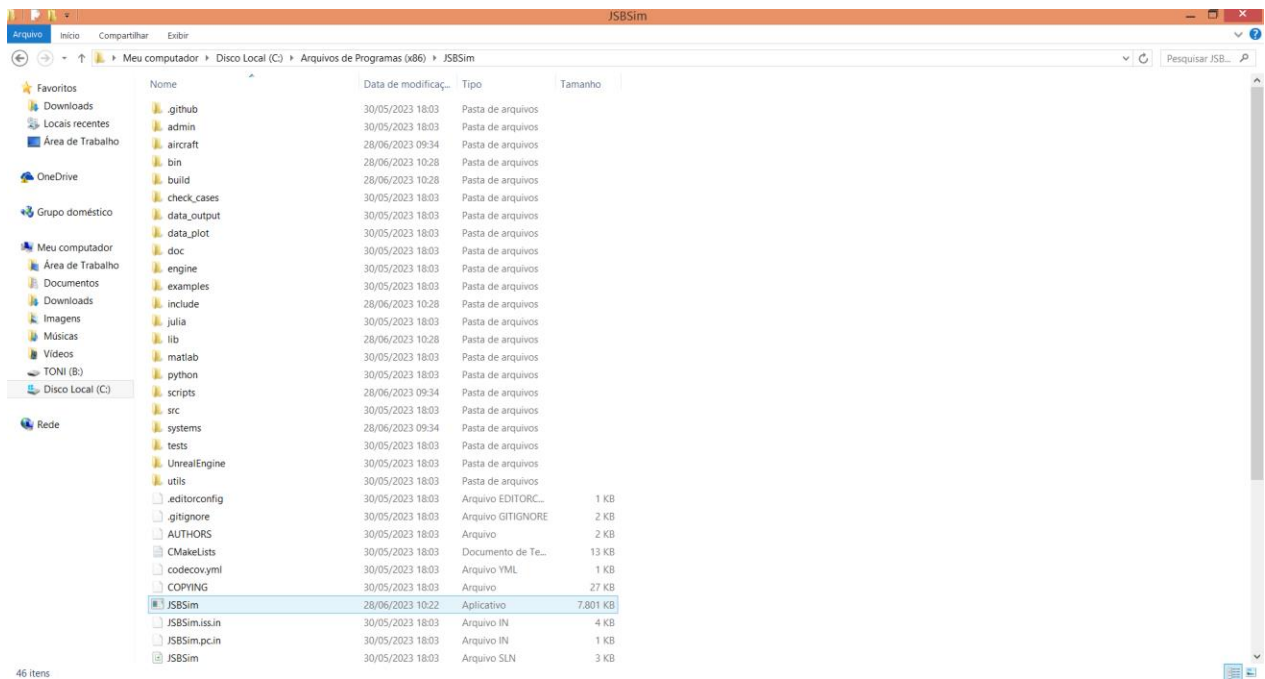
```
Administrador: Prompt de Comando
LandingGear.cpp.obj
[ 92%] Building CXX object utils/aeromatic++/CMakeFiles/Aeromatic++.dir/Systems/Propulsion.cpp.obj
[ 93%] Building CXX object utils/aeromatic++/CMakeFiles/Aeromatic++.dir/Systems/Speedbrake.cpp.obj
[ 93%] Building CXX object utils/aeromatic++/CMakeFiles/Aeromatic++.dir/Systems/Chute.cpp.obj
[ 94%] Building CXX object utils/aeromatic++/CMakeFiles/Aeromatic++.dir/Systems/ArrestorHook.cpp.obj
[ 95%] Building CXX object utils/aeromatic++/CMakeFiles/Aeromatic++.dir/Systems/Spoilers.cpp.obj
[ 96%] Building CXX object utils/aeromatic++/CMakeFiles/Aeromatic++.dir/Systems/Thruster.cpp.obj
[ 96%] Building CXX object utils/aeromatic++/CMakeFiles/Aeromatic++.dir/Systems/ThrustReverse.cpp.obj
[ 97%] Building CXX object utils/aeromatic++/CMakeFiles/Aeromatic++.dir/Systems/Catapult.cpp.obj
[ 98%] Linking CXX static library libAeromatic++.a
[ 98%] Built target Aeromatic++
[100%] Building CXX object utils/aeromatic++/CMakeFiles/aeromatic.dir/aeromatic.cpp.obj
[100%] Linking CXX executable aeromatic.exe
[100%] Built target aeromatic

C:\Program Files (x86)\JSBSim\build>make install_
```

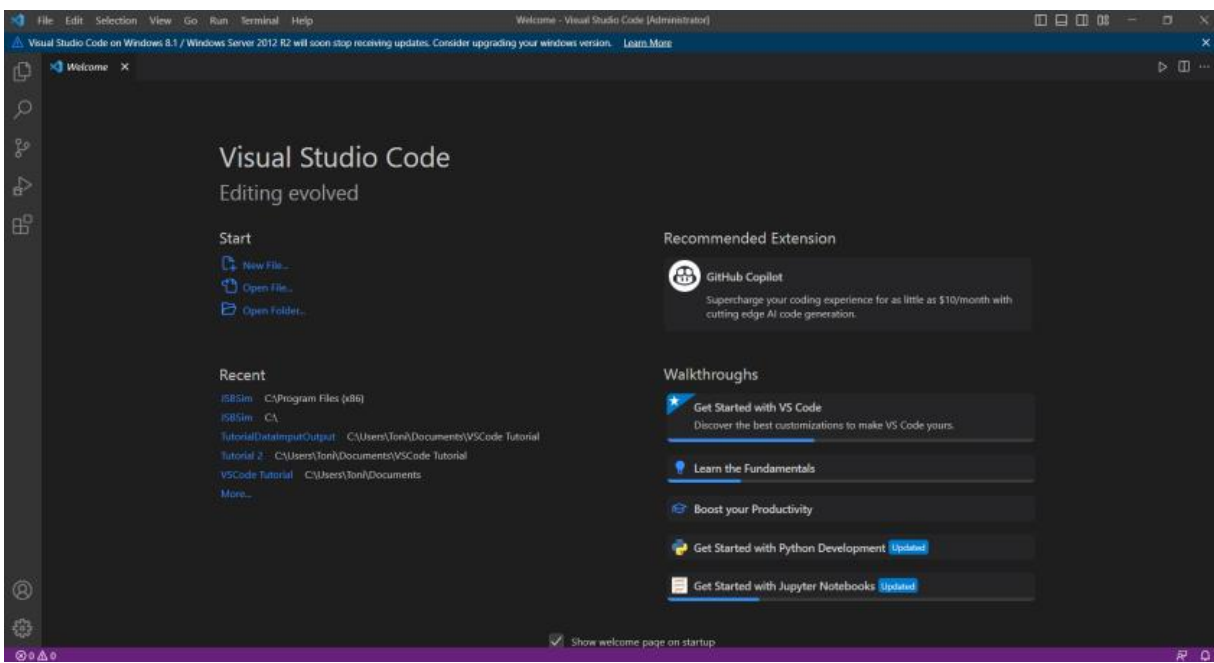
14. Acesse a pasta: **C:\Program Files (x86)\JSBSim\build\src**, haverá o arquivo **JSBSim.exe**.



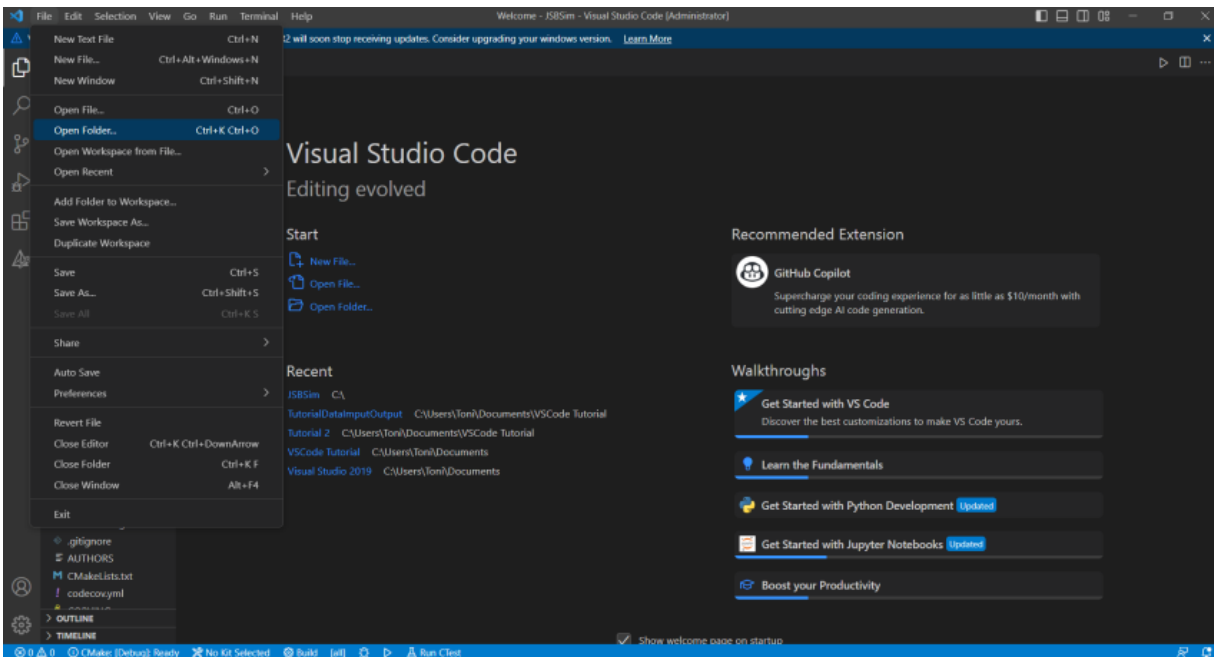
15. Recorte esse arquivo e cole na pasta C:\Program Files (x86)\JSBSim



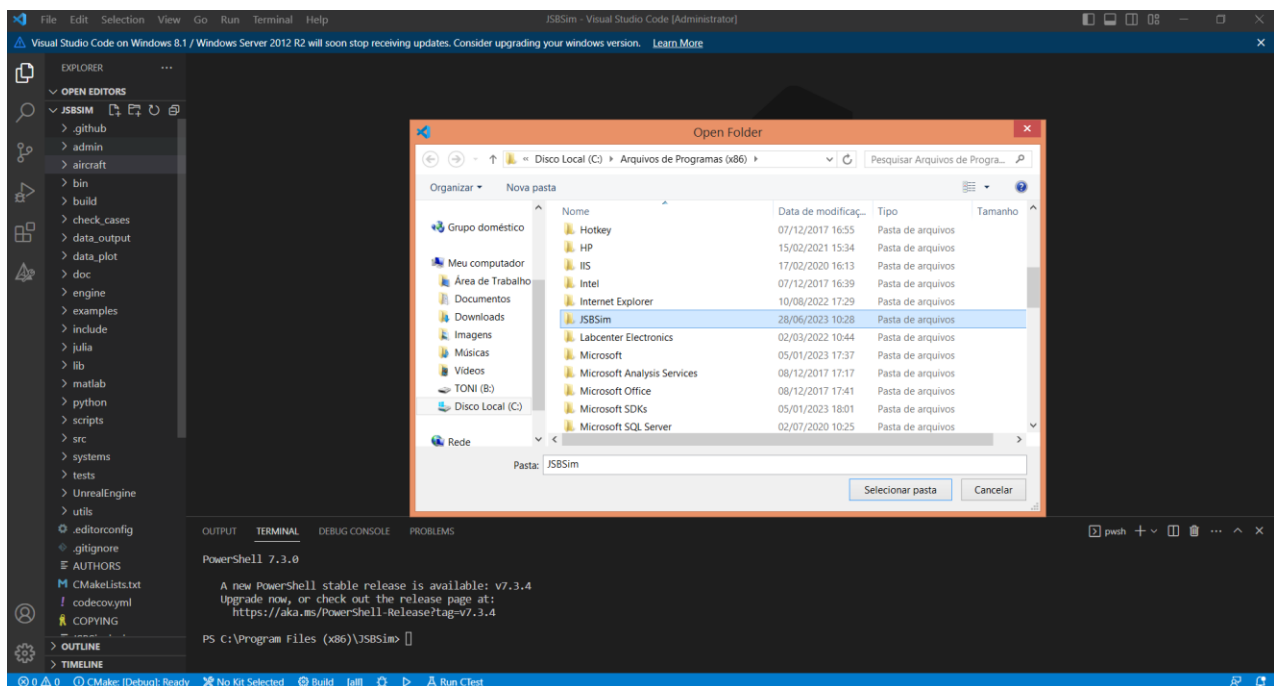
16. Execute o programa Visual Studio Code como administrador.



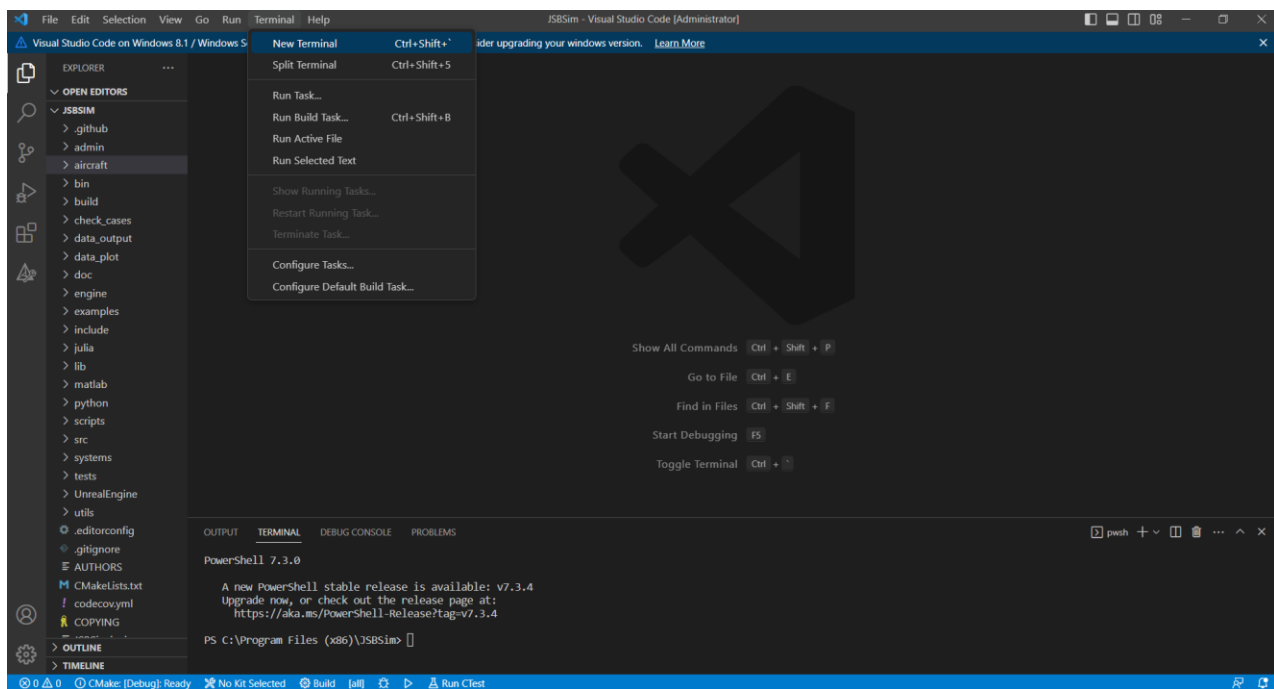
17. Seleccione: **File** depois **Open Folder...**



18. Vá até a pasta: **C:\Program Files (x86)** e seccione a pasta **JSBSim**



19. Abra um novo terminal em: **Terminal** e depois **New Terminal**.



20. Um caso de simulação pode ser então iniciado pelo comando:

.\JSBSim.exe -script=scripts/c172x_manobras_2.xml

OUTPUT TERMINAL DEBUG CONSOLE PROBLEMS

PowerShell 7.3.0

A new PowerShell stable release is available: v7.3.4
Upgrade now, or check out the release page at:
<https://aka.ms/PowerShell-Release?tag=v7.3.4>

PS C:\Program Files (x86)\JSBSim> **.\JSBSim.exe** --script=scripts/c172x_manobras_2.xml

**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES
PARA
INSPEÇÃO DE RODOVIAS**

Certificado de participação

2023

RECONHECEMOS QUE

Antonio Carlos Daud Filho

PARTICIPOU NO WORKSHOP DO PROJETO



GLAUCO CAURIN, USP
Coordenação



**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES
PARA
INSPEÇÃO DE RODOVIAS**

Certificado de participação

2023

RECONHECEMOS QUE

Caio Wingeter de Castilho

PARTICIPOU NO WORKSHOP DO PROJETO



GLAUCO CAURIN, USP
Coordenação



**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES
PARA
INSPEÇÃO DE RODOVIAS**

Certificado de participação

2023

RECONHECEMOS QUE

Fábio Portela Rodrigues

PARTICIPOU NO WORKSHOP DO PROJETO



GLAUCO CAURIN, USP
Coordenação



**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES
PARA
INSPEÇÃO DE RODOVIAS**

Certificado de participação

2023

RECONHECEMOS QUE

Lucas Harim Gomes Cavalcanti

PARTICIPOU NO WORKSHOP DO PROJETO



GLAUCO CAURIN, USP
Coordenação



**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES
PARA
INSPEÇÃO DE RODOVIAS**

Certificado de participação

2023

RECONHECEMOS QUE

Marco Antonio Zaluski

PARTICIPOU NO WORKSHOP DO PROJETO



GLAUCO CAURIN, USP
Coordenação



**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES
PARA
INSPEÇÃO DE RODOVIAS**

Certificado de participação

2023

RECONHECEMOS QUE

Michele Beatriz Bonne

PARTICIPOU NO WORKSHOP DO PROJETO



GLAUCO CAURIN, USP
Coordenação



**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES
PARA
INSPEÇÃO DE RODOVIAS**

Certificado de participação

2023

RECONHECEMOS QUE

Murilo Candido Ferreira

PARTICIPOU NO WORKSHOP DO PROJETO



GLAUCO CAURIN, USP
Coordenação



**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES
PARA
INSPEÇÃO DE RODOVIAS**

Certificado de participação

2023

RECONHECEMOS QUE

Pedro Sibinel Stach

PARTICIPOU NO WORKSHOP DO PROJETO



GLAUCO CAURIN, USP
Coordenação



**SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DE DRONES
PARA
INSPEÇÃO DE RODOVIAS**

Certificado de participação

2023

RECONHECEMOS QUE

Thiago Paixão Portugal

PARTICIPOU NO WORKSHOP DO PROJETO



GLAUCO CAURIN, USP
Coordenação

