

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

RELATÓRIO RESUMO DE ATIVIDADES
Período de abrangência: 01/10/2022 a 30/06/2023

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

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

SUMÁRIO

1. RESUMO.....	3
2. ATIVIDADES PREVISTAS PARA O PERIODO.....	3
3. ATIVIDADES EXECUTADAS NO PERIODO.....	5
4. JUSTIFICATIVAS.....	6
5. RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	6
6. QUADRO RESUMO - ATIVIDADES PREVISTAS X DESENVOLVIDAS ...	9

1. RESUMO

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 às aquelas encontradas nas rodovias alvo.

A inspeção de rodovias é uma obrigação contratual das concessionárias que implica em trabalho repetitivo, envolvendo mão de obra de pelo menos dois trabalhadores (motorista e inspetor) 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.

2. ATIVIDADES PREVISTAS PARA O PERÍODO

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 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.

3. ATIVIDADES EXECUTADAS NO PERIODO

3.1 ETAPA 1 - ESTRUTURAÇÃO E MODELAGEM

Atividade 1.1 Montagem da estrutura de trabalho.

Atividade 1.2 Visita à CCR Via-Sul.

Atividade 1.3 Modelagem de drones e sensores.

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

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

Atividade 1.6 - Modelagem do ambiente utilizando RoadArchitect.

Atividade 1.7 - Modelagem do ambiente utilizando Cesium.

3.2 ETAPA 2 - CAPACITAÇÃO TÉCNICA

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

Atividade 2.2 - Workshop de RDT.

3.3 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

3.4 ETAPA 4 - MÃO DE OBRA

Atividade 4.1 - Alocação de pessoas as tarefas.

Atividade 4.2 – Gestão.

4. JUSTIFICATIVAS

Todas as atividades previstas no cronograma físico-financeiro foram executadas.

5. RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

3.1 ETAPA 1 - ESTRUTURAÇÃO E MODELAGEM

Esta etapa envolveu atividades de preparação do projeto, estudo das necessidades operacionais da concessionária em relação à operação de inspeção de rodovias utilizando drones e desenvolvimento das atividades de programação computacional tanto do modelo de cálculos dinâmicos e de controle de aeronaves, quanto da computação gráfica para visualização da simulação.

Atividade 1.1 Montagem da estrutura de trabalho.

Foram adquiridos equipamentos computacionais para desenvolvimento do software de simulação de drones para inspeção de rodovias, bem como materiais de consumo, licenças de softwares comerciais, softwares de acesso livre, e os equipamentos foram integrados e softwares instalados.

Atividade 1.2 Visita à CCR Via-Sul.

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 de inspeção de rodovias como um todo.

Atividade 1.3 Modelagem de drones e sensores.

Adaptou-se o software de acesso livre JSBSim para a aplicação de inspeção de rodovias utilizando 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.

Este software transmite informações de coordenadas de posição e orientação da aeronave para o software gerador de imagens, para que a simulação possa ser acompanhada visualmente.

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. 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 providas do cenário 3D utilizando OpenCV e Python, por exemplo.

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.

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 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.

Atividade 1.7 - Modelagem do ambiente utilizando Cesium.

O motor de jogos Unity foi empregado na modelagem dos elementos gráficos do projeto. Esta plataforma permite a construção de um cenário virtual interativo de maneira simplificada e intuitiva. 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.

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. 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.

3.2 ETAPA 2 - CAPACITAÇÃO TÉCNICA

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

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.

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.

6. QUADRO RESUMO - ATIVIDADES PREVISTAS X DESENVOLVIDAS

Atividades Previstas	Produtos Esperados	Atividades Executadas	Status das Atividades Executadas	Produtos Gerados
Atividade 1.1 - Montagem da estrutura de trabalho.	Aquisição de equipamentos, materiais e montagem de estrutura de pesquisa, licenças de software, aquisição de materiais de consumo para desenvolvimento das atividades propostas	Atividade 1.1 - Montagem da estrutura de trabalho.	Concluída	Aquisição de equipamentos, materiais e montagem de estrutura de pesquisa, licenças de software, aquisição de materiais de consumo para desenvolvimento das atividades propostas.
Atividade 1.2 - Modelagem de drones e sensores	Organização de viagens, Desenvolvimento de protocolo geral de introdução de modelos, estudo do controle de baixo nível, planejamento e execução de rotas e trajetórias, painel de monitoramento e controle de aeronave, Estudo de sistemas de comunicação disponíveis.	Atividade 1.2 Visita à CCR Via-Sul. Atividade 1.3 Modelagem de drones e sensores.	Concluída	Identificação das necessidades da concessionária para a realização de inspeção de rodovias. Adaptação do software de código aberto JSBSim para aplicação de simulação de drones para inspeção de rodovias.
Atividade 1.3 - Modelagem de ambiente	Protocolo geral de introdução de modelos, Inserção de obstáculos e objetos de interesse, painel de monitoramento e controle de ambiente.	Atividade 1.5 - Modelagem do ambiente utilizando RoadArchitect. Atividade 1.6 - Modelagem do ambiente utilizando Cesium.	Concluída	Criação de cenários virtuais representativos de trechos da rodovia.
Atividade 1.4 - Integração de drones e ambiente	Visualização do ambiente a partir dos sensores (câmeras do drone), comparação de resultados obtidos por drones com perspectivas convencionais.	Atividade 1.4 - Desenvolvimento da arquitetura de comunicação para a transmissão de imagens do drone.	Concluída	Criação de ferramenta para facilitar a aquisição e categorização de imagens do cenário 3D.
Atividade 2.1 - Compartilhamento de informações e abordagens entre equipe da IES e a equipe da concessionária.	Realização de reuniões, troca de informações e dinâmicas.	Atividade 2.1 - Compartilhamento de informações e abordagens entre equipe da IES e a equipe da concessionária.	Concluída	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	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.	Atividade 2.2 - Workshop de RDT.	Concluída	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.
Atividade 3.1 – Desenvolvimento de relatório parcial incluindo atividades de gestão e documentação de projeto	Relatório parcial.	Atividade 3.1 – Desenvolvimento de relatório parcial incluindo atividades de gestão e documentação de projeto	Concluída	Relatório parcial.
Atividade 3.2 - Desenvolvimento de relatório final incluindo atividades de conclusão de estrutura de documentação de projeto	Relatório final.	Atividade 3.2 - Desenvolvimento de relatório final incluindo atividades de conclusão de estrutura de documentação de projeto	Concluída	Relatório final.

7. ANEXOS DO RELATÓRIO RESUMO DE ATIVIDADES

7.1 Anexo A – Cronograma físico-financeiro

		CONCESSIONÁRIA											
		TÍTULO DO PROJETO											
ELEMENTOS	CRONOGRAMA	UNIDADE	QUANTIDADE (A)	VALOR UNITÁRIO (R\$) (B)	TOTAL (AxB)	MÊS 1 (R\$)	MÊS 2 (R\$)	MÊS 3 (R\$)	MÊS 4 (R\$)	MÊS 5 (R\$)	MÊS 6 (R\$)	MÊS 7 (R\$)	MÊS 8 (R\$)
11.3. serviços de terceiros (serviços de processamento)	físico	mês (*)	7	1.428,57	R\$ 10.000,00	25%	25%	25%	25%				
	financeiro					2500,00	2500,00	2500,00	2500,00				
11.4. material de consumo	físico	mês (*)	7	3.583,33	R\$ 25.125,30	25,0%	25,0%	25,0%	25,0%				
	financeiro					6281,33	6281,33	6281,33	6281,33				
11.5. Gestão Financeira Administrativa a ser realizada pela Fundação de apoio interinstitucional junto a USP e a FAFD, incluindo a gestão de bolsas, aquisição de equipamentos e em especial no apoio a prestação de contas	físico					25,0%	25,0%	25,0%	25,0%				
	financeiro	mês (*)	1	21.322,94	R\$ 21.322,94	5330,74	5330,74	5330,74	5330,74				
Atividade 1.2					R\$ 20.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
12.1. passagens - 2 viagens Campinas - Porto Alegre ida e volta para 4 pessoas	físico	mês (*)	7	1.428,57	R\$ 10.000,00	25%	25%	25%	25%				
	financeiro					2500,00	2500,00	2500,00	2500,00				
12.2. diárias - 14 diárias para 4 pessoas	físico	mês (*)	7	1.428,57	R\$ 10.000,00	25%	25%	25%	25%				
	financeiro					2500,00	2500,00	2500,00	2500,00				
12.3. Desenvolvimento de protocolo	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00		50%	50%					
	financeiro					0,00	0,00	0,00					
12.4. Estudo do controle de baixo nível	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00		50%	50%					
	financeiro					0,00	0,00	0,00					
12.5. Planejamento e execução de rotas e trajetórias	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00		50%	50%					
	financeiro					0,00	0,00	0,00					
12.6. Painel de monitoramento	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00			50%	50%				
	financeiro					0,00	0,00	0,00					
12.7. sistemas de comunicação	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00			50%	50%				
	financeiro					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
13.1. Protocolo de introdução de modelos	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00				50%	50%			
	financeiro					0,00	0,00	0,00	0,00				
13.2. Inserção de obstáculos e objetos	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00					50%	50%		
	financeiro					0,00	0,00	0,00	0,00				
13.3. Painel de monitoramento e controle	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00					50%	50%		
	financeiro					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
14.1. Visualização do ambiente	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00					50%	50%		
	financeiro					0,00	0,00	0,00	0,00				
14.2. Comparação de resultados	físico	h	620	0,00	R\$ 0,00					40%	40%	20%	
	financeiro					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	físico	h	32	0,00	R\$ 0,00		25%		25%		25%		25%
	financeiro					0,00	0,00	0,00	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	físico	h	160	0,00	R\$ 0,00					100%			
	financeiro					0,00	0,00	0,00	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 parcial	físico	h	320	0,00	R\$ 0,00				100%				
	financeiro					0,00	0,00	0,00	0,00				
3.2. Relatório final	físico	h	520	0,00	R\$ 0,00								100%
	financeiro					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETAPA 4 MÃO DE OBRA					R\$ 55.334,24	R\$ 12.383,56	R\$ 12.383,56	R\$ 12.383,56	R\$ 12.383,56	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00
4.1. Coordenador - Professor Doutor em Engenharia Bolsa tipo Treinamento Técnico IV - (TT-IV)	físico	h	16	143,43	R\$ 13.134,24	25%	25%	25%	25%				
	financeiro					4783,56	4783,56	4783,56	4783,56				
4.2. Mestrando com Formação em Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Aeronáutica.	físico					25%	25%	25%	25%				
	financeiro	h	320	3,38	R\$ 24.000,00	6000,00	6000,00	6000,00	6000,00				
Bolsa tipo Mestrado I (M5-I)	físico					13%	13%	13%	13%				
4.3. Graduando em Eng. Mecânica, Eng. Mecatrônica, Eng. de Computação ou Eng. Aeronáutica	físico	h	640	2,50	R\$ 12.800,00	1600,00	1600,00	1600,00	1600,00	1600,00	1600,00	1600,00	1600,00
	financeiro					1600,00	1600,00	1600,00	1600,00	1600,00	1600,00	1600,00	1600,00
TOTAIS					R\$ 234.552,33	R\$ 133.665,47	R\$ 31.495,62	R\$ 31.495,62	R\$ 31.495,62	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00	R\$ 1.600,00

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

7.2 Anexo B – 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 sobrevoo correto dos trechos de rodovia.

São Carlos, 27 de junho de 2023.

Antonio Carlos Daud Filho

Antonio Carlos Daud Filho

Gaurin

Coordenador: Glauco 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.

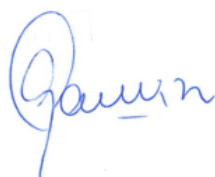
Finalmente optou-se pela adoção de uma abordagem capaz de aumentar a flexibilidade do resultado final e reduzir potenciais custos relacionados à capacidade de expansão futura do software. A nova abordagem também visou mitigar riscos relacionados à perda de desempenho da programação e da simulação. Optou-se 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 relevo 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

7.3 Anexo C – Relatórios de Visita Técnica

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.

Participantes EESC - USP:

1. Glauco Augusto de Paula Caurin
2. Lucas Harim Gomes Cavalcanti
3. Antonio Carlos Daud Filho

Participantes CCR Viasul:

1. Thiago Paixão Portugal
2. Michele Beatriz Bonne
3. Diogo Elias Stiebler
4. Rogerio Aparecido Moreira
5. Cristiano da Rosa Kowalski
6. Murilo Candido Ferreira
7. Peixoto

- Relatório de visita técnica: Glauco Augusto de Paula Caurin

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). Assim, foi visitado o centro de controle operacional (CCO) dessas rodovias, cuja Figura 1 mostra o mapa dos trechos que devem ser inspecionados pela concessionária.



Figura 1 - 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 2. 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.

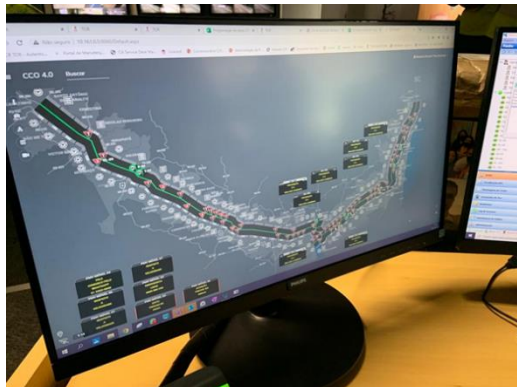


Figura 2 - Interface visual ao operador do sistema de controle das rodovias.

Verificou-se que 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.

São Carlos, 27 de junho de 2023.



Coordenador: Glauco Augusto de Paula Caurin

Responsável Concessionária: Breno Ferreira Leal

- Relatório de visita técnica: Lucas Harim Gomes Cavalcanti

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 3, em que se observa um parque eólico nos seus arredores;



Figura 3 - 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.

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

- Relatório de visita técnica: Antonio Carlos Daud Filho

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.

Essas condições meteorológicas adversas podem ser observadas na Figura 4, onde se verificou fortes chuvas e muitos ventos, além da presença de torres de iluminação e de transmissão de energia ao longo da rodovia.

Ainda, nessa rodovia havia trechos com obras de duplicação, e ao longo da serra havia a presença de árvores altas, como mostrado na Figura 5.



Figura 4 - Trecho com forte chuva, torres de iluminação, transmissão e obras.



Figura 5 - Trecho com obras de duplicação, e região com árvores altas na beira da rodovia.

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

São Carlos, 27 de junho de 2023.

Antonio Carlos Daud Filho

Antonio Carlos Daud Filho

Gaurin

Coordenador: Glauco Augusto de Paula Caurin

Responsável Concessionária: Breno Ferreira Leal