

# Arquitetura HIL para teste de sistemas embarcados como *vehicle interface* de veículos autônomos baseados no Autoware

Projeto – Etapa 4

Gabriel Toffanetto França da Rocha

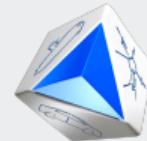
g289320@dac.unicamp.br

Professor Dr. Rodrigo Moreira Bacurau

IM420X – Projeto de Sistemas Embarcados de Tempo Real

Faculdade de Engenharia Mecânica  
Universidade Estadual de Campinas

26 de novembro de 2024



# Agenda

1 Introdução

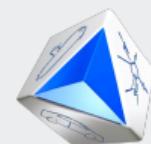
2 Proposta

3 Resultados

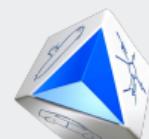
4 Conclusão

5 Referências bibliográficas

6 Apêndices



# Introdução



# Contextualização



Figura 1: Veículo Autônomo do LMA.

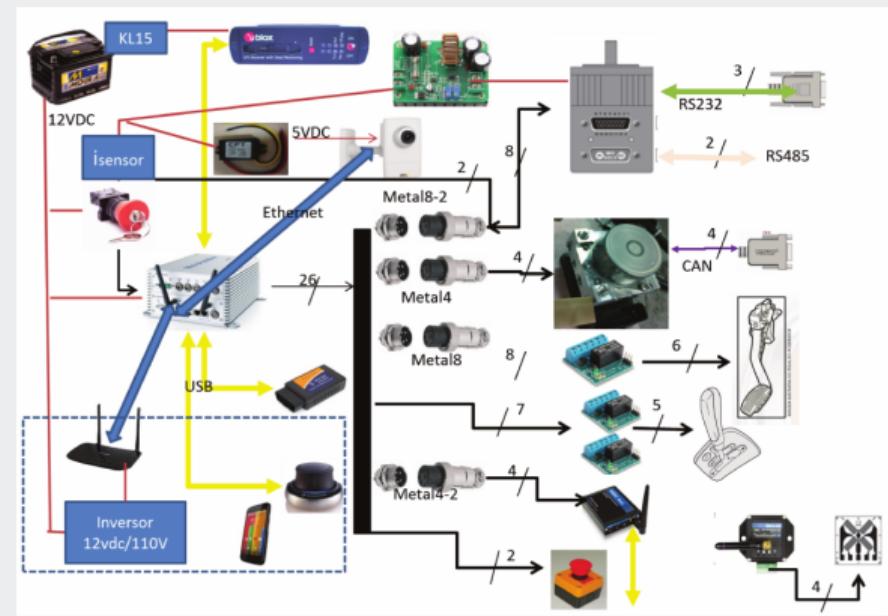


Figura 2: Diagrama de hardware do VILMA01 (BEDOYA, 2016).

# Autoware



**Autoware**

Figura 3: Logomarca do Autoware.



# Autoware



## Autoware

Figura 3: Logomarca do Autoware.

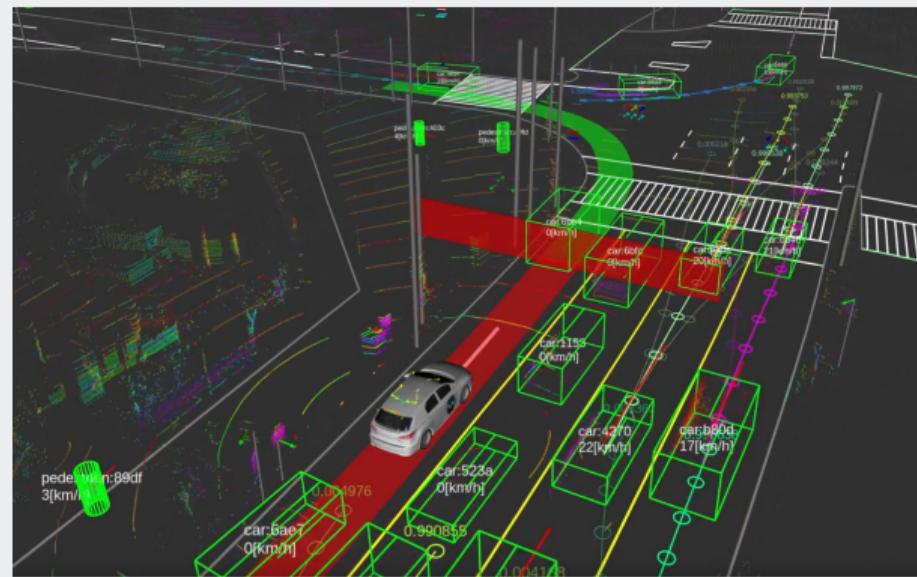


Figura 4: Visualização do Autoware em operação (The Autoware Fundation, 2024)



# Arquitetura

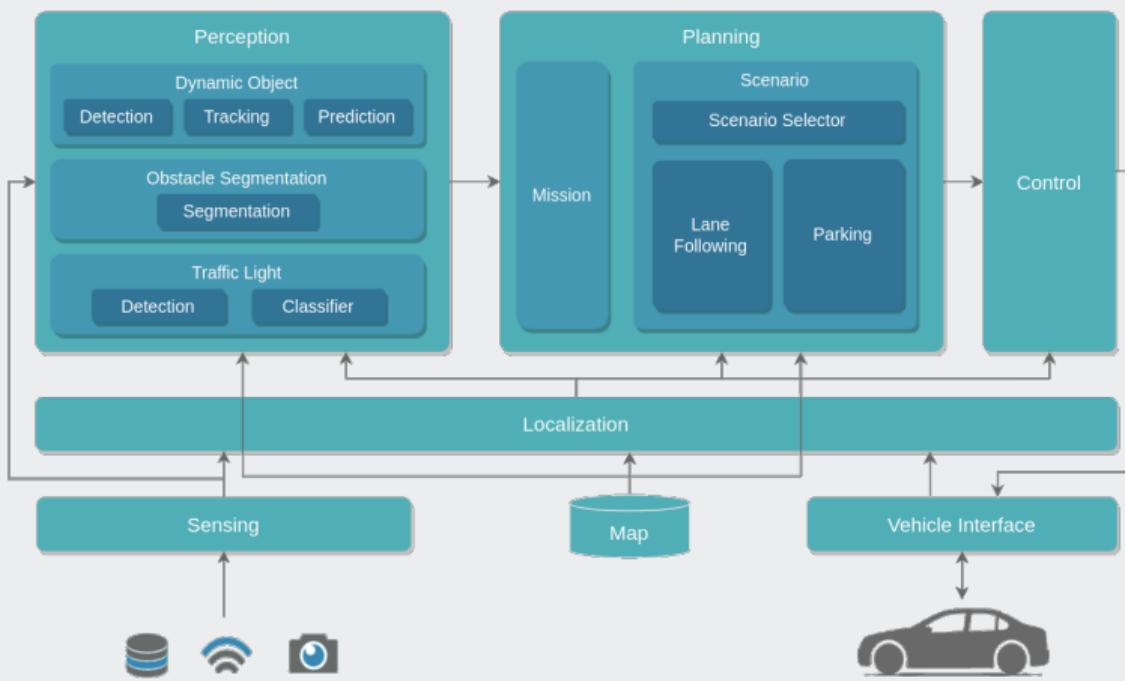
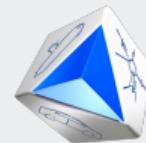


Figura 5: Arquitetura de alto nível (The Autoware Fundation, 2023).

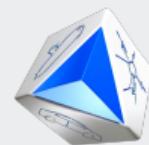


# Proposta



# Proposta

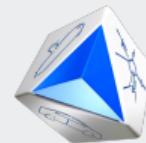
Trazer o Autoware para dentro do microcontrolador de forma confiável e de fácil implementação.



# Proposta



Figura 6: Ferramentas para viabilização do projeto.



# Proposta

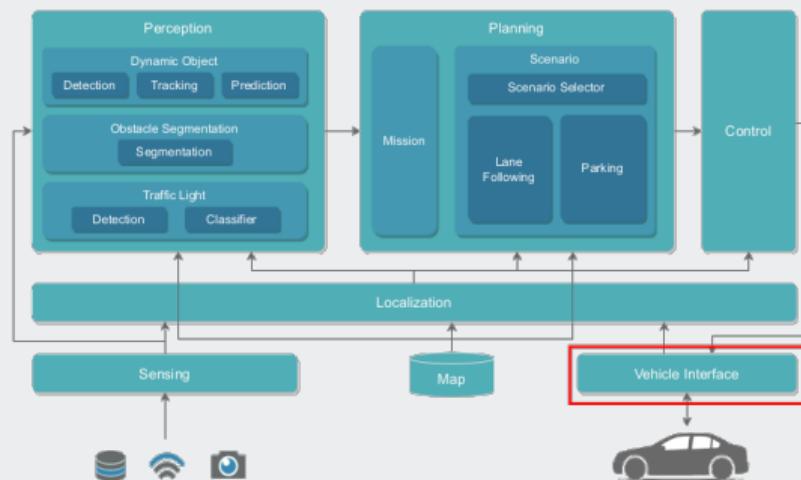


Figura 7: Escopo do projeto na arquitetura Autoware.



# Proposta

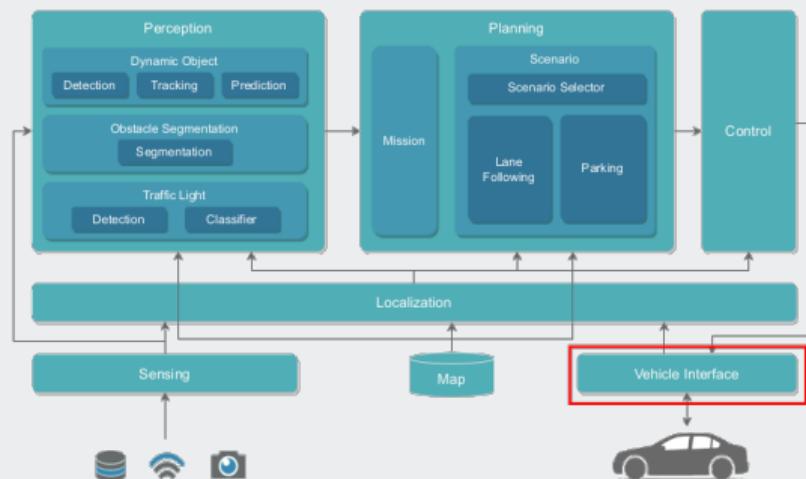


Figura 7: Escopo do projeto na arquitetura Autoware.

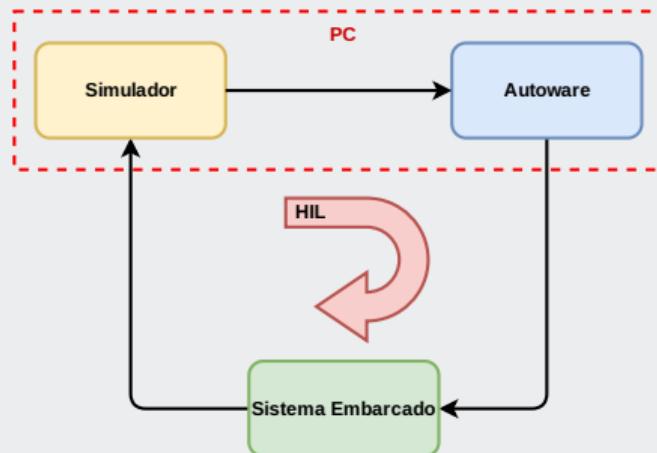


Figura 8: Arquitetura de teste do *hardware*.

# Vehicle interface

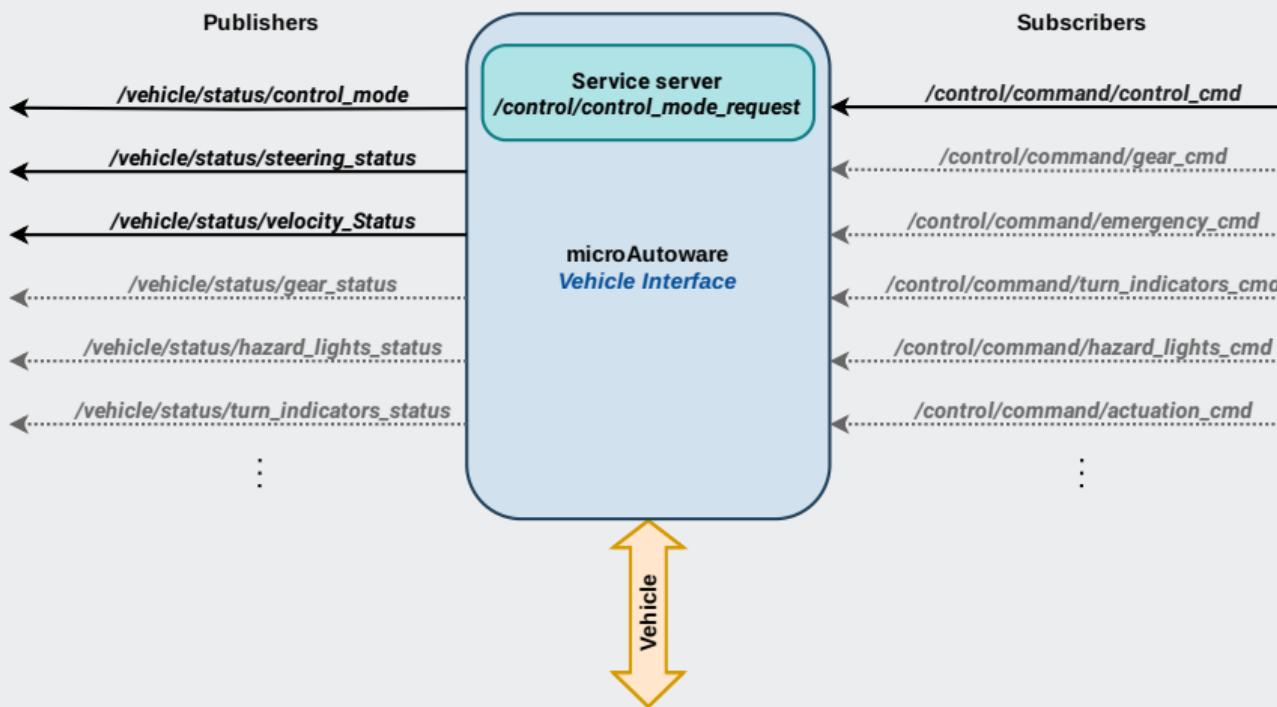
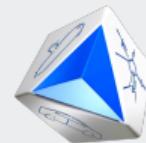


Figura 9: Diagrama de tópicos da *vehicle interface*.



# Requisitos

## Requisitos funcionais

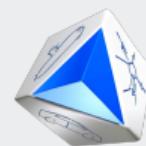
- Comunicação com o Autoware;
- Controle da aceleração, frenagem e direção do veículo;
- Controle dos faróis e luzes de sinalização (seta) do veículo;
- Teleoperação do veículo por um *joystick* em *hardware*;
- Troca do modo de operação por meio da *switch* do *joystick*;
- Subscrição por meio do micro-ROS em todos os tópicos necessários do Autoware;
- Publicação a partir micro-ROS em todos os tópicos necessários do Autoware;
- Comunicação a partir micro-ROS em todos os serviços necessários do Autoware.



# Requisitos

## Requisitos funcionais

- Comunicação com o Autoware;
- Controle da aceleração, frenagem e direção do veículo;
- Controle dos faróis e luzes de sinalização (seta) do veículo;
- Teleoperação do veículo por um *joystick* em *hardware*;
- Troca do modo de operação por meio da *switch* do *joystick*;
- Subscrição por meio do micro-ROS em todos os tópicos necessários do Autoware;
- Publicação a partir micro-ROS em todos os tópicos necessários do Autoware;
- Comunicação a partir micro-ROS em todos os serviços necessários do Autoware.



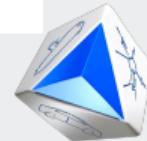
# Requisitos

## Requisitos funcionais

- Comunicação com o Autoware;
- Controle da aceleração, frenagem e direção do veículo;
- Controle dos faróis e luzes de sinalização (seta) do veículo;
- Teleoperação do veículo por um *joystick* em *hardware*;
- Troca do modo de operação por meio da *switch* do *joystick*;
- Subscrição por meio do micro-ROS em todos os tópicos necessários do Autoware;
- Publicação a partir micro-ROS em todos os tópicos necessários do Autoware;
- Comunicação a partir micro-ROS em todos os serviços necessários do Autoware.

## Requisitos não-funcionais

- A *vehicle interface* deve ser construída na forma de um pacote portátil para outros microcontroladores STM32;
- O interfaceamento com o veículo deve ser intercambiável com diferentes configurações;
- Deve-se garantir sincronização de *timestamp* entre o Autoware e o microcontrolador;
- O sistema embarcado deve abstraír o veículo como um sistema *Drive-By-Wire* (DBW) para o Autoware.



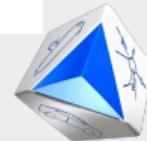
# Requisitos

## Requisitos funcionais

- Comunicação com o Autoware;
- Controle da aceleração, frenagem e direção do veículo;
- Controle dos faróis e luzes de sinalização (seta) do veículo;
- Teleoperação do veículo por um *joystick* em *hardware*;
- Troca do modo de operação por meio da *switch* do *joystick*;
- Subscrição por meio do micro-ROS em todos os tópicos necessários do Autoware;
- Publicação a partir micro-ROS em todos os tópicos necessários do Autoware;
- Comunicação a partir micro-ROS em todos os serviços necessários do Autoware.

## Requisitos não-funcionais

- A *vehicle interface* deve ser construída na forma de um pacote portátil para outros microcontroladores STM32;
- O interfaceamento com o veículo deve ser intercambiável com diferentes configurações;
- Deve-se garantir sincronização de *timestamp* entre o Autoware e o microcontrolador;
- O sistema embarcado deve abstraír o veículo como um sistema *Drive-By-Wire* (DBW) para o Autoware.



## Diagrama de blocos

## Diagrama de blocos

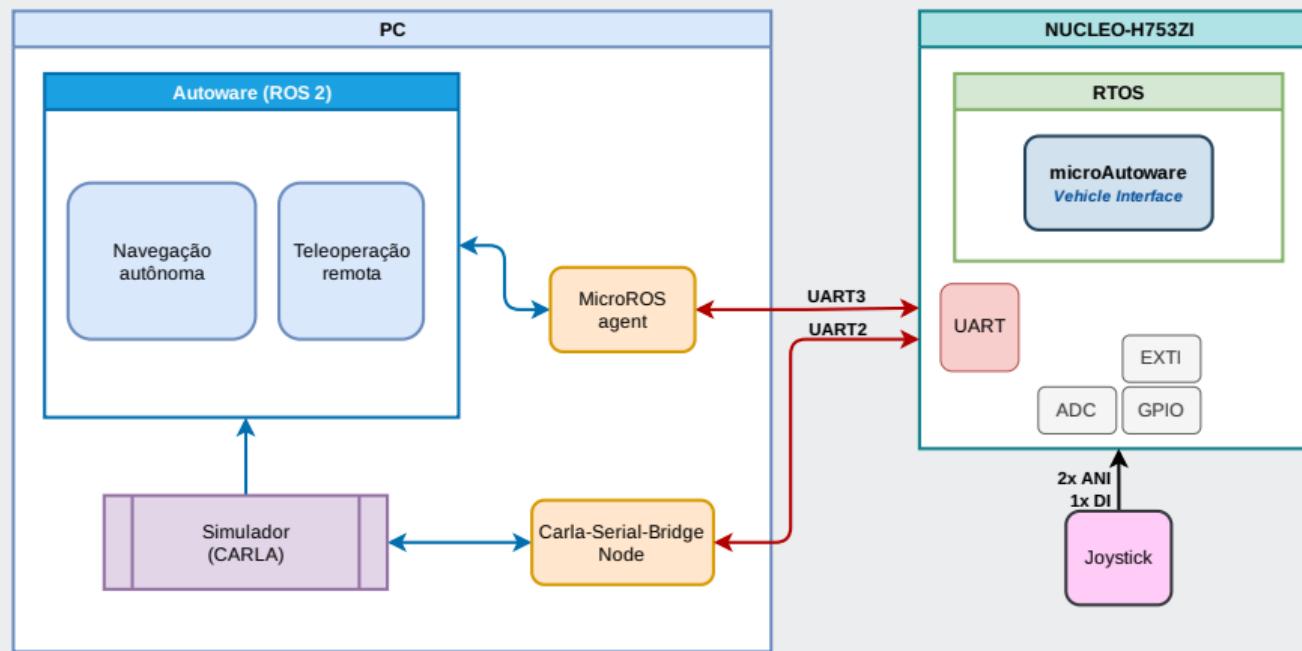
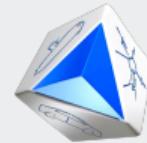


Figura 10: Diagrama de blocos atualizado.



## Resultados



## Inicialização do Autoware

## Inicialização do Autoware

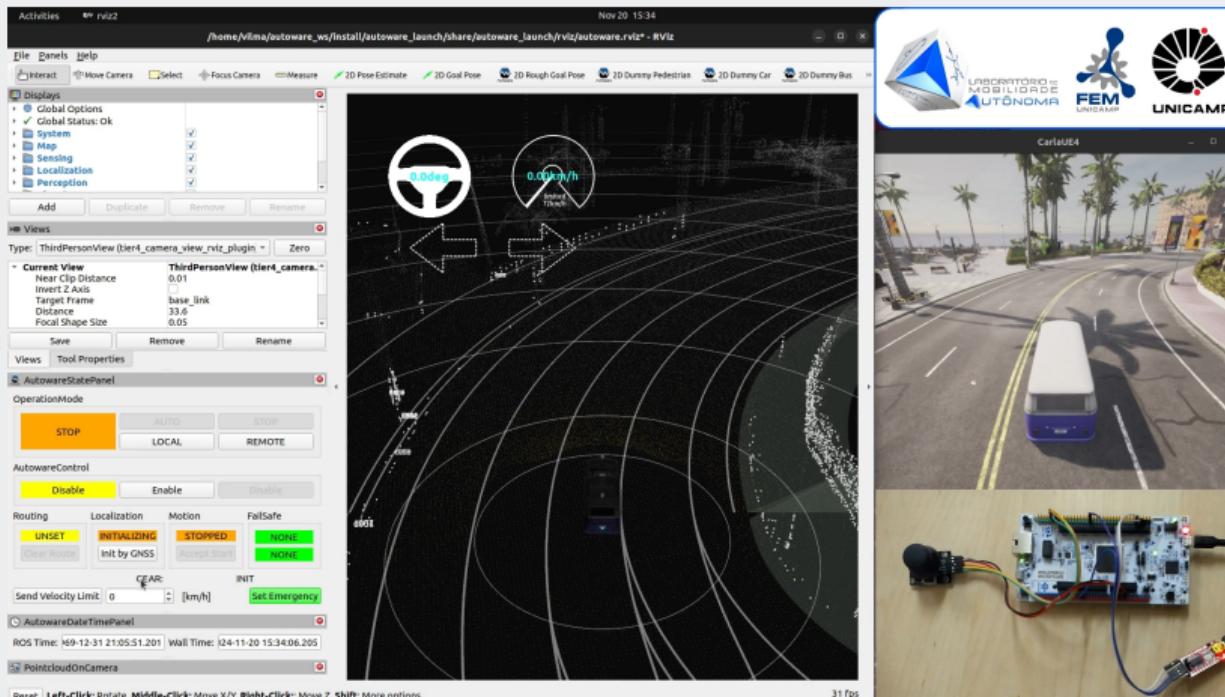


Figura 11: Inicialização.

Controle manual

# Controle manual

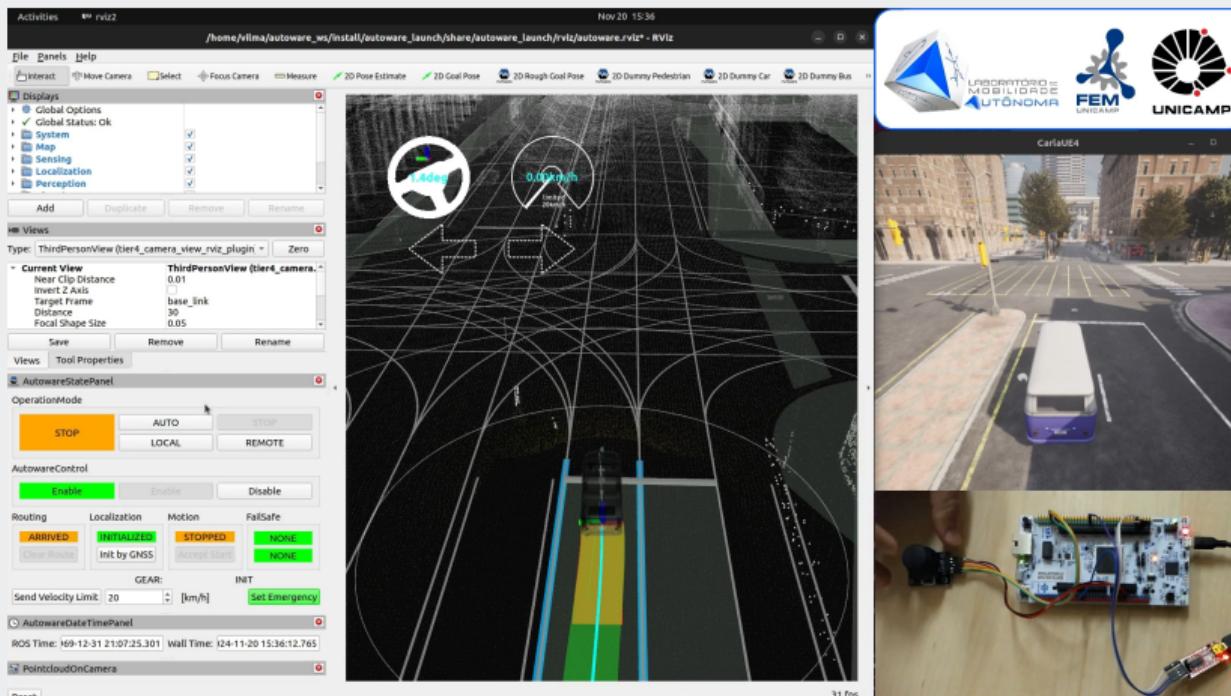


Figura 12: Controle manual.

Controle autônomo

# Controle autônomo

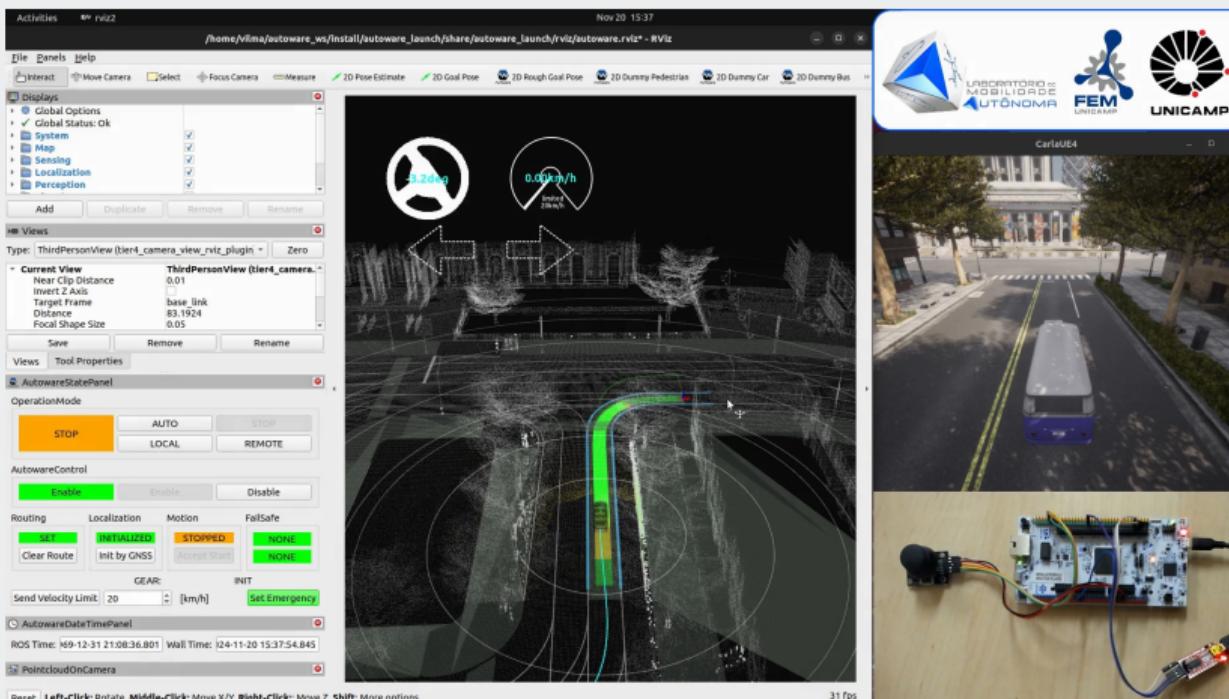


Figura 13: Controle autônomo.

Troca de modo de controle

# Troca de modo de controle – Joystick

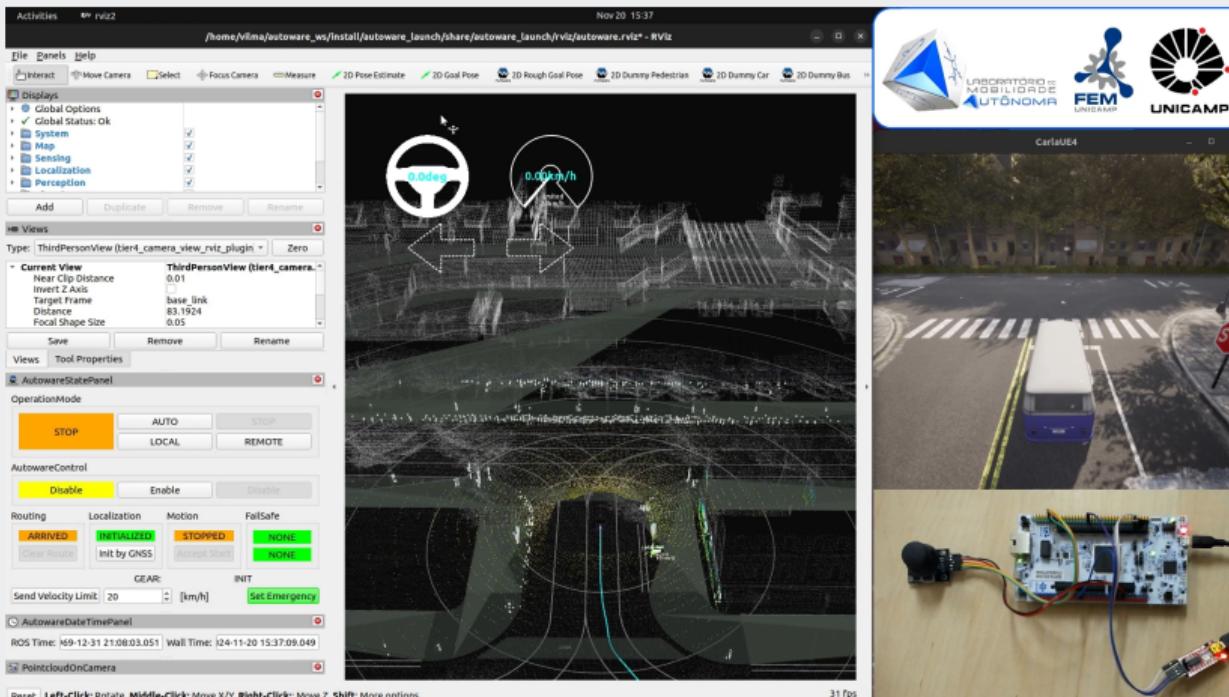


Figura 14: Troca do modo de controle pelo joystick.

Trocade modo de controle

# Trocade modo de controle – Autoware

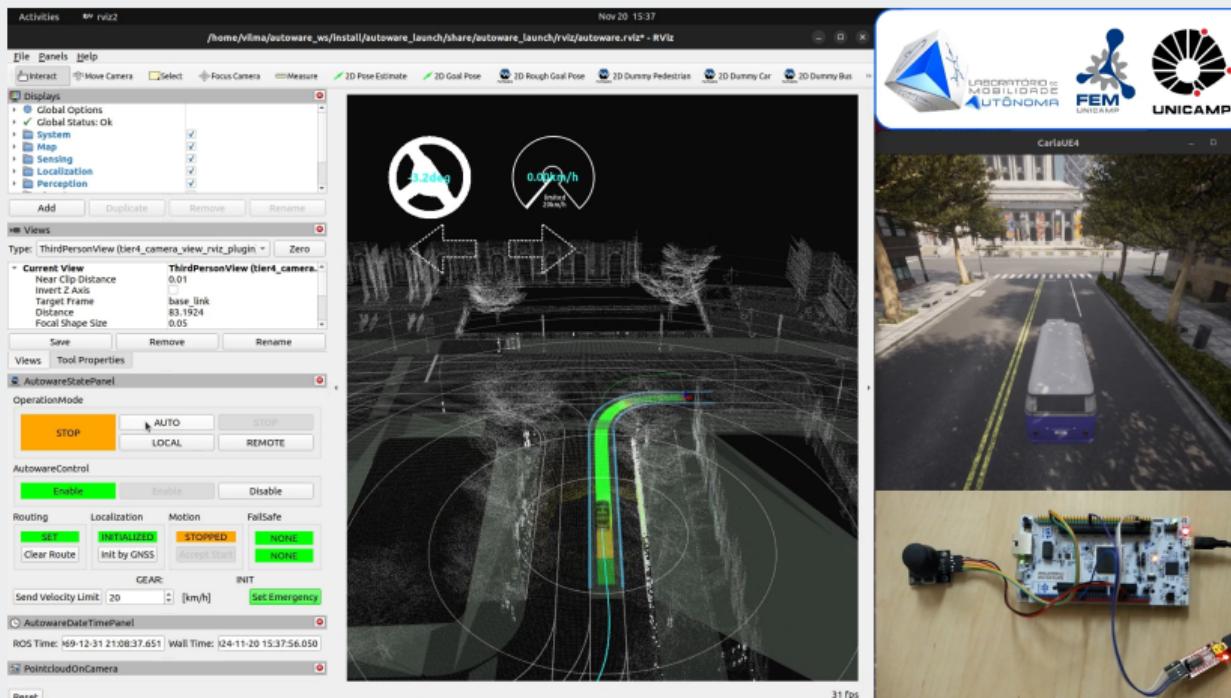
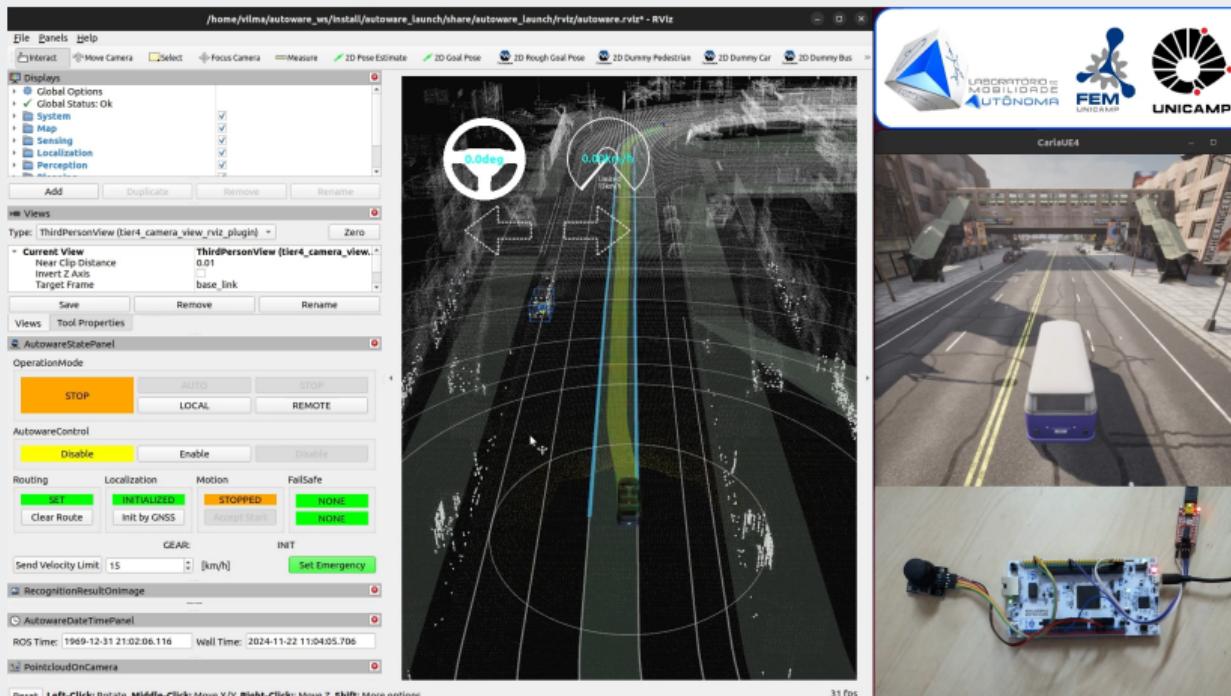


Figura 15: Tomada de condução para modo manual e troca de modo de operação pelo Autoware.

Modo de emergência

# *Fail-safe: perda comunicação com Autoware*



**Figura 16:** Troca automática para modo manual ao perder comunicação com o Autoware (Agente micro-ros desligado).

Modo de emergência

# Modo de emergência: Perda de sinais do veículo

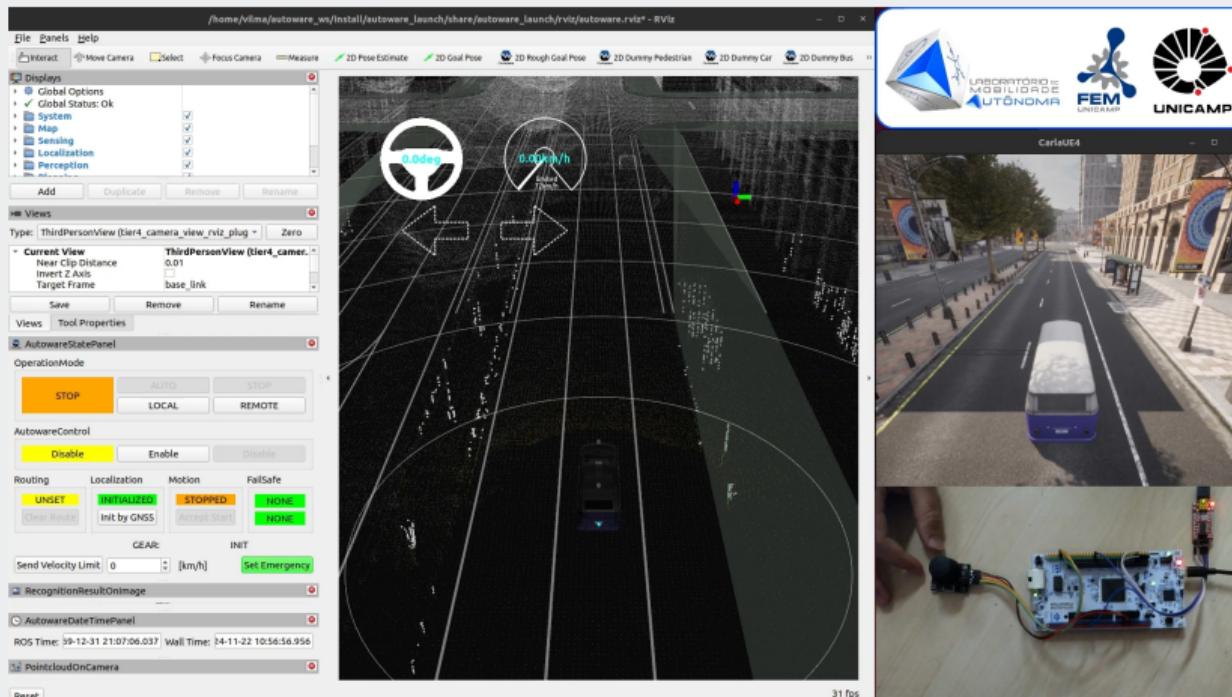
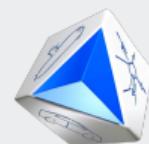


Figura 17: Modo de emergência ao perder conexão com o CARLA (UART2 RX desconectado).

# Repositório no GitHub



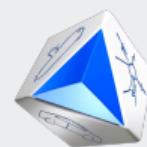
## Conclusão



# Conclusão

## Problemas encontrados

- Perda de resposta do serviço  
control\_mode\_request;



# Conclusão

## Problemas encontrados

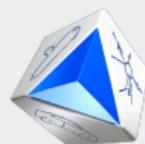
- Perda de resposta do serviço  
`control_mode_request;`
- Perda de deadline causada pela instabilidade do recebimento de comandos;



# Conclusão

## Problemas encontrados

- Perda de resposta do serviço  
`control_mode_request;`
- Perda de deadline causada pela instabilidade do recebimento de comandos;
  - Acentuado quando o PC é sobrecarregado.



# Conclusão

## Problemas encontrados

- Perda de resposta do serviço `control_mode_request`;
- Perda de deadline causada pela instabilidade do recebimento de comandos;
  - Acentuado quando o PC é sobrecarregado.
- Reconexão automática com o micro-ROS *agent*.



# Conclusão

## Problemas encontrados

- Perda de resposta do serviço `control_mode_request`;
- Perda de deadline causada pela instabilidade do recebimento de comandos;
  - Acentuado quando o PC é sobrecarregado.
- Reconexão automática com o micro-ROS *agent*.

## Trabalhos futuros

- Portabilidade do microAutoware para outros microcontroladores;



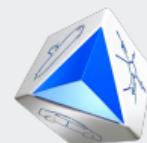
# Conclusão

## Problemas encontrados

- Perda de resposta do serviço `control_mode_request`;
- Perda de deadline causada pela instabilidade do recebimento de comandos;
  - Acentuado quando o PC é sobrecarregado.
- Reconexão automática com o micro-ROS *agent*.

## Trabalhos futuros

- Portabilidade do microAutoware para outros microcontroladores;
- Implementação de bibliotecas auxiliares para controle de acelerador e freio;



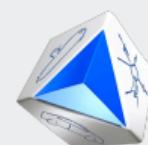
# Conclusão

## Problemas encontrados

- Perda de resposta do serviço `control_mode_request`;
- Perda de deadline causada pela instabilidade do recebimento de comandos;
  - Acentuado quando o PC é sobrecarregado.
- Reconexão automática com o micro-ROS *agent*.

## Trabalhos futuros

- Portabilidade do microAutoware para outros microcontroladores;
- Implementação de bibliotecas auxiliares para controle de acelerador e freio;
- Compatibilidade com diferentes periféricos de comunicação com o agente do micro-ROS;
  - e.g. Ethernet.



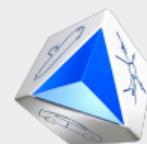
# Conclusão

## Problemas encontrados

- Perda de resposta do serviço `control_mode_request`;
- Perda de deadline causada pela instabilidade do recebimento de comandos;
  - Acentuado quando o PC é sobrecarregado.
- Reconexão automática com o micro-ROS *agent*.

## Trabalhos futuros

- Portabilidade do microAutoware para outros microcontroladores;
- Implementação de bibliotecas auxiliares para controle de acelerador e freio;
- Compatibilidade com diferentes periféricos de comunicação com o agente do micro-ROS;
  - e.g. Ethernet.
- Protocolos de detecção de erros.



# Conclusão

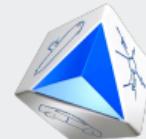
## Problemas encontrados

- Perda de resposta do serviço `control_mode_request`;
- Perda de deadline causada pela instabilidade do recebimento de comandos;
  - Acentuado quando o PC é sobrecarregado.
- Reconexão automática com o micro-ROS *agent*.

## Trabalhos futuros

- Portabilidade do microAutoware para outros microcontroladores;
- Implementação de bibliotecas auxiliares para controle de acelerador e freio;
- Compatibilidade com diferentes periféricos de comunicação com o agente do micro-ROS;
  - e.g. Ethernet.
- Protocolos de detecção de erros.

- Foi possível integrar ao sistema embarcado a função de *vehicle interface* para o Autoware.

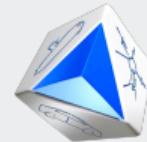


# Cronograma

Atividade/Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Proposta do projeto									
Projeto de <i>hardware e software</i>									
Integração do STM com o micro-ROS									
Integração do micro-ROS com o Autoware									
Implementação das tarefas do sistema embarcado									
Construção do ambiente de testes									
Realização dos testes									
Escrita do relatório									

Tabela 1: Cronograma de atividades.

- Semana 2: Apresentação Etapa 1
- Semana 4: Apresentação Etapa 2
- Semana 7: Apresentação Etapa 3
- Semana 9: Apresentação Final

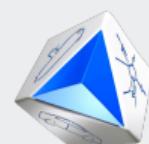


## Referências bibliográficas



# Referências bibliográficas

-  **BEDOYA, O. G.** **Análise de risco para a cooperação entre o condutor e sistema de controle de veículos autônomos.** Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, fev. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=471471>>.
-  The Autoware Fundation. **Architecture overview.** 2023. Disponível em: <<https://autowarefoundation.github.io/autoware-documentation/main/design/autoware-architecture/>>.
-  The Autoware Fundation. **Github: Autoware Repository.** 2024. Disponível em: <[github.com/autowarefoundation/autoware](https://github.com/autowarefoundation/autoware)>.



## Apêndices



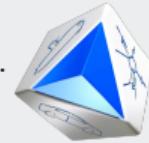
## Apêndices



Figura 18: Vídeo de validação do microAutoware na Integra.



Figura 19: Repositório do microAutoware no GitHub.



# Obrigado!

Dúvidas?

