

# Simulação de Sistemas Embarcados

---

Drone: FCU+FIRMWARE+MAVROS+GAZEBO



José Colombini, Tiago Takeda, Emanuel Iwanow  
Fernando Zolubas Preto



# Aula de hoje

---

- Complexidade de sistemas Ciber-físicos
- FCU: Pixhawk
- Firmware: PX4
- Middleware e pacotes: ROS + MAVROS
- Protocolo de Comunicação: MAVLINK
- Simulador de sistemas físicos: GAZBO



# Das aulas anteriores...

---



- Vimos que um sistema embarcado exige um controle de tempo real com diversas informações de sensores para atuadores e entre scripts de automação.

Mas como implementar isso?

- Tudo isso precisa ser processado de forma DETERMINÍSTICA, em TEMPO REAL e em processadores (controladores) DEDICADOS.

Alguns Desafios

- Scripts de automação podem ser previstos para ODDs muito idealizados
- Sistema operacional pode travar
- Firmware/Configurações/Pacotes podem conter bugs



# Confiabilidade em Complexos

---

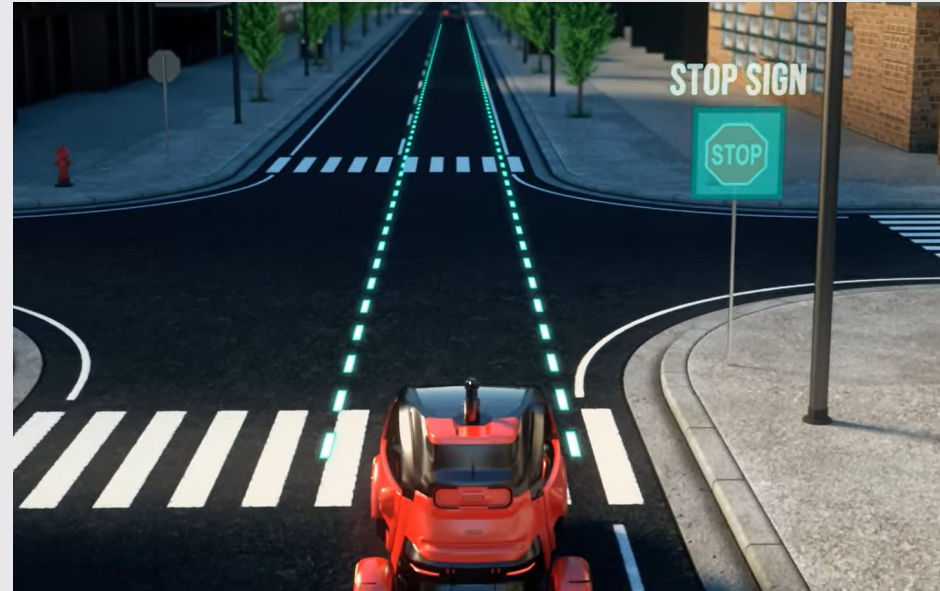


# ODD: Operational Design Domain

---

“Condições operacionais sob as quais um determinado sistema de automação de direção, ou recurso do mesmo, é especificamente projetado para funcionar, incluindo, mas não limitado a, restrições ambientais, geográficas e de horário do dia e/ou a presença ou ausência de certas características do tráfego, ou da via”.

<https://www.sae.org/standards/content/j3259/>



<https://www.youtube.com/watch?v=gEy91PGGLR0>

# Erros de configuração do Firmware

---

- Em um projeto complexo como um drone não é muito difícil configurar alguma coisa errada, o que pode levar a acidentes

## Case Real:

“Em 2019 instalamos um Lidar unidirecional para medir a altitude do drone até 12m para depois trocar para o Barômetro em altitudes maiores. Porém, a configuração do Lidar no firmware falhou. O sensor estava instalado mas, não configurado provocando a perda de referência do drone e queda”.



# Erros de configuração do Firmware

## PX4 Quadrotor

Open 3D View

Open PID Analysis

Airframe:	DJI F450 w/ DJI ESCs Quadrotor x (4011)
Hardware:	PX4_FMU_V5 (V500)
Software Version:	v1.9.2 (10690587)
OS Version:	NuttX, v7.28.0
Estimator:	EKF2
Logging Start ?:	29-09-2019 11:29
Logging Duration:	0:03:57
Vehicle Life Flight Time:	1 hours 24 minutes 44 seconds
Vehicle UUID:	

Distance:	1.05 km
Max Altitude Difference:	197 m
Average Speed:	15.9 km/h
Max Speed:	93.3 km/h
Max Speed Horizontal:	60.2 km/h
Max Speed Up:	20.4 km/h
Max Speed Down:	91.4 km/h
Max Tilt Angle:	174.4 deg
Max Rotation Speed:	1253.8 deg/s
Average Current:	20.2 A
Max Current:	51.5 A



# Erros de configuração do Firmware

## PX4 Quadrotor

Open 3D View

Open PID Analysis

Drone médio 20A  
Máx 50A

Airframe: DJI F450 w/ DJI ESCs  
Quadrotor x (4011)

Hardware: PX4\_FMU\_V5 (V500)

Software Version: v1.9.2 (10690587)

OS Version: NuttX, v7.28.0

Estimator: EKF2

Logging Start ? : 29-09-2019 11:29

Logging Duration: 0:03:57

Vehicle Life

Flight Time: 1 hours 24 minutes 44 seconds

Vehicle UUID: 0002000C

Distance: 1.05 km

Max Altitude Difference: 197 m

Average Speed: 15.9 km/h

Max Speed: 93.3 km/h

Max Speed Horizontal: 60.2 km/h

Max Speed Up: 20.4 km/h

Max Speed Down: 91.4 km/h

Max Tilt Angle: 174.4 deg

Max Rotation Speed: 1253.8 deg/s

Average Current: 20.2 A

51.5 A

Casa comum com 1  
geladeira,1 chuveiro,  
algumas lampadas ligados.  
Aproximadamente 40A





# Erros de configuração do Firmware

---



# Exemplos de outros problemas

- Antena

- Perda de pacotes
- perda de potência (distância)
- Direção da antena e região de máxima transmissão de potência

- Câmera

- Espelhos: Criam objetos com velocidade que não existem na vida real
- Superfícies reflexivas: cegam câmera
- Vidros: Obstáculos não detectáveis



# FCU-Flight Unit Control: Pixhawk

---



# xCU: x Unit Control

---

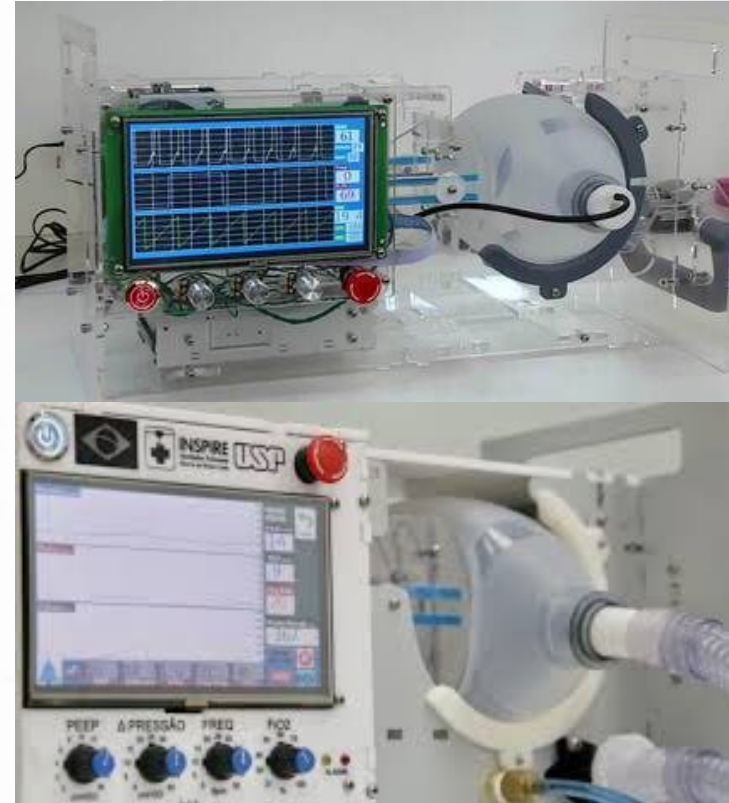
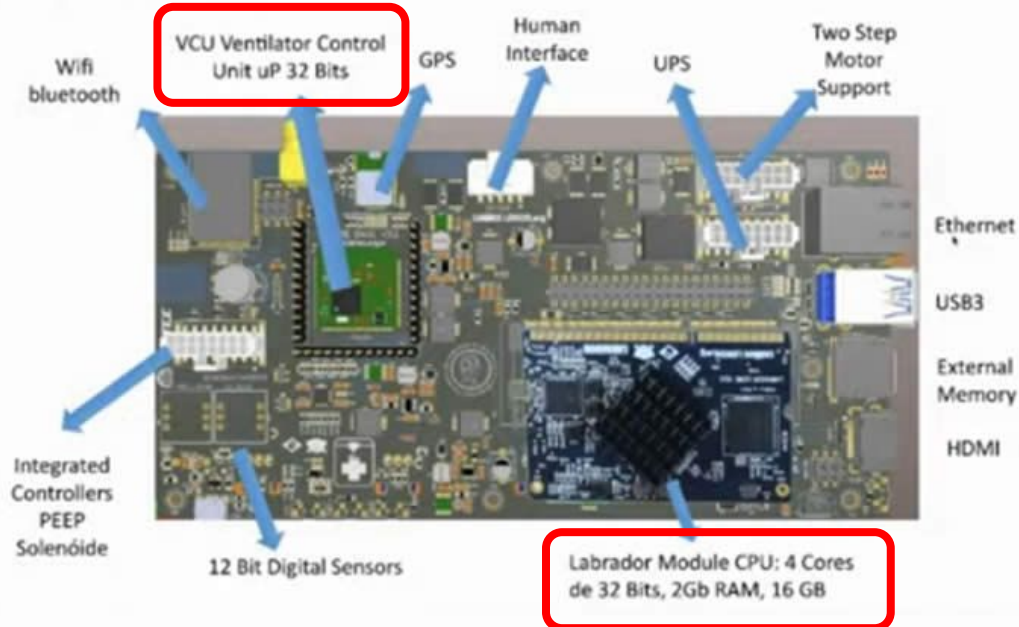
Este processador/controlador dedicado a aplicação de sistemas embarcados é o xCU

- (x Control Unit), onde x pode ser:
  - Engine ECU (automóveis)
  - Flying FCU (tudo que voa)
  - Ventilator VCU (ventilador Inspire)



# VCU: Ventilator Unit Control

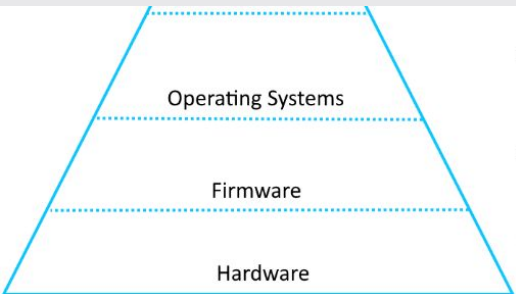
## Inspire Base V3.2





# FCU: Flight Unit Control

A pixhawk é uma FCU comumente usada em drones. Ela pode rodar o firmware PX4 sobre o Nuttx: sistema operacional de tempo real (RTOS)



OS: Nuttx (RTOS)  
Firmware: PX4  
FCU: PIXHAWK



# Firmware: PX4

---





# Firmware:PX4

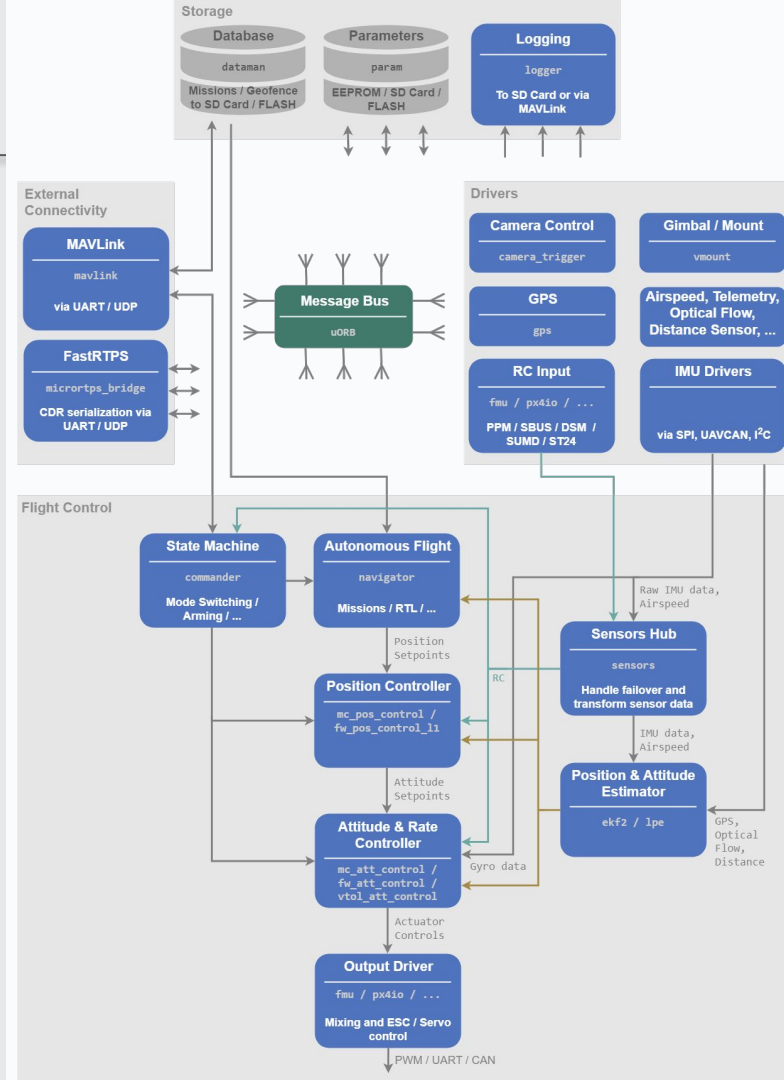
---

- A PX4 é um Firmware de piloto automático open-source amplamente utilizado para drones
  - Como é organizado?
    - Modularizado (Reactive Manifesto, uORB (publish/subscriber))
    - Módulos independentes
      - Podem ser trocados
      - Evita bugs por substituição de drivers/hardwares



# Firmware:PX4

[https://github.com/SkyRats/psi3442/tree/master/Curso2023/4a\\_aula](https://github.com/SkyRats/psi3442/tree/master/Curso2023/4a_aula)



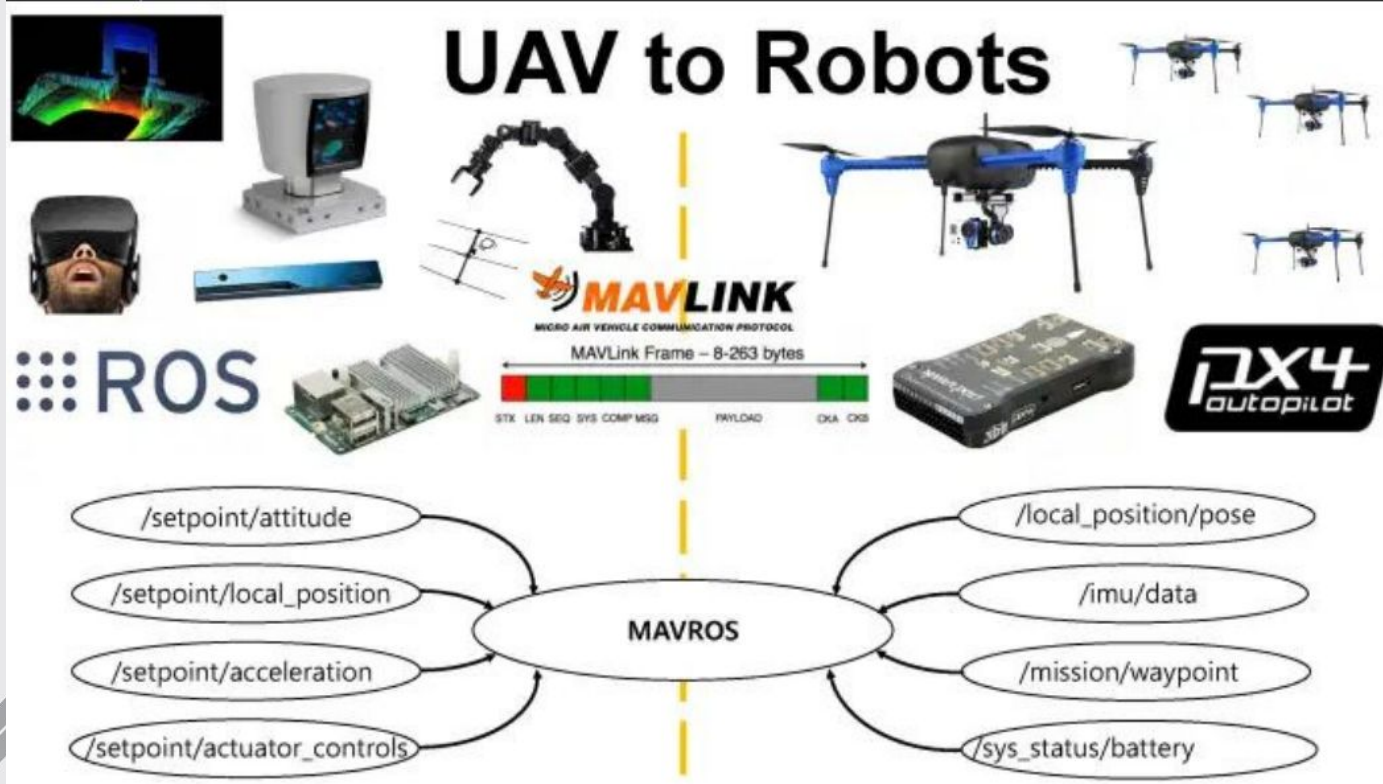
# Middleware e pacotes: ROS + MAVROS

---



# MAVROS

Rospackage: Interliga ROS e PX4



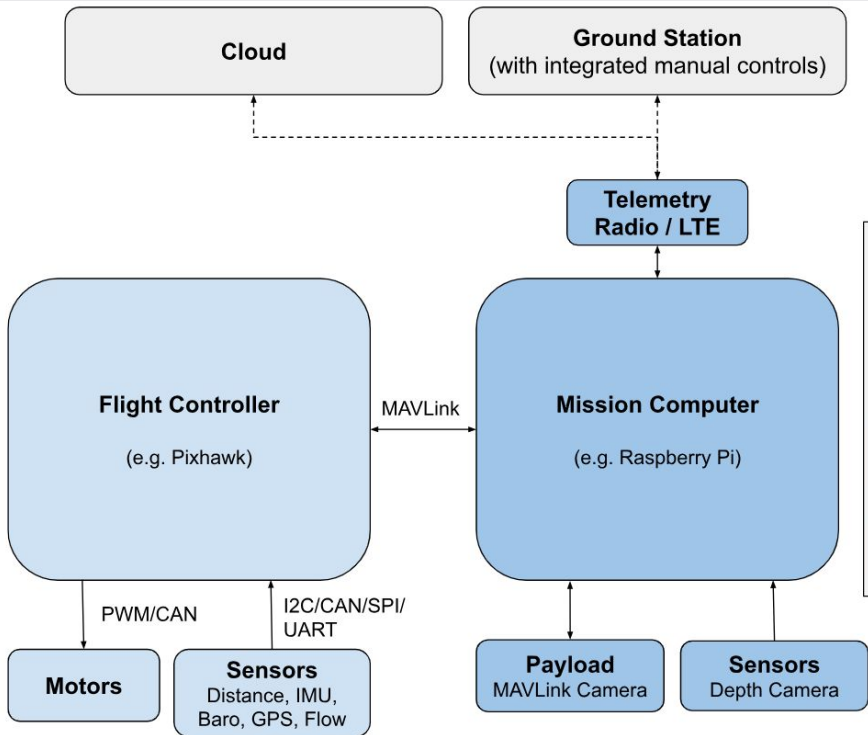
# Protocolo de Comunicação: MAVLINK

---



# MAVLINK

Protocolo de comunicação leve para UAV.



## WIFI\_CONFIG\_AP\_RESPONSE

[Enum] Possible responses from a WIFI\_CONFIG\_AP message.

Value	Field Name	Description
0	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_UNDEFINED	Undefined response. Likely an indicative of a system that doesn't support this request.
1	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_ACCEPTED	Changes accepted.
2	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_REJECTED	Changes rejected.
3	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_MODE_ERROR	Invalid Mode.
4	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_SSID_ERROR	Invalid SSID.
5	WIFI_CONFIG_AP_RESPONSE_PASSWORD_ERROR	Invalid Password.

Software (Linux)

**Apps**  
Collision Avoidance,  
Collision Prevention,  
Safe landing, VIO

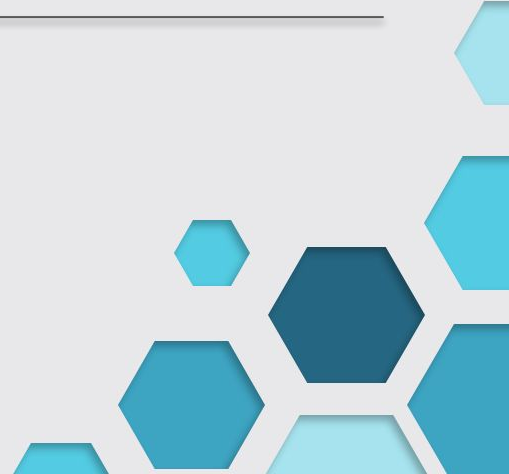
**Middleware**  
RTPS, MAVLink,  
UORB, Intel Router

**Drivers**  
Actuators, Sensors



# Simulador de sistemas físicos: GAZBO

---





# SITL: Software in the loop

Emula FCU+SCRITPS+GroundControl+Mundo Físico (Gazebo)

