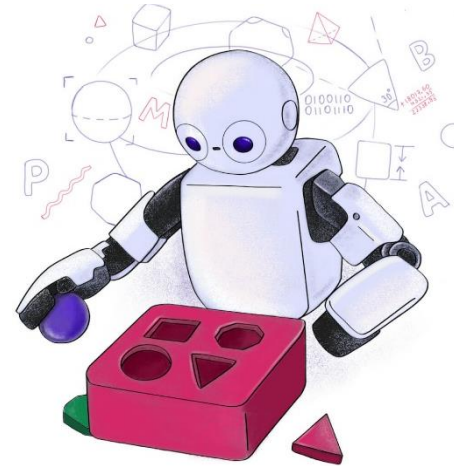


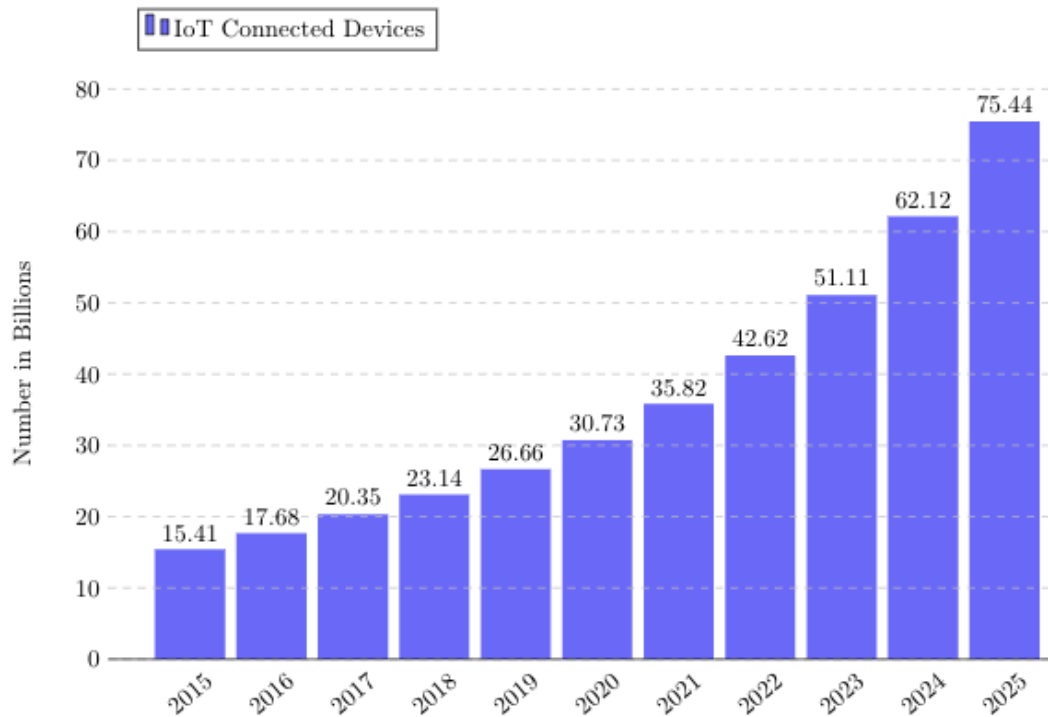
TP557 - Tópicos avançados em IoT e Machine Learning: *Introdução ao curso*



Inatel

Felipe Augusto Pereira de Figueiredo
felipe.figueiredo@inatel.br

Motivação: Quantidade



- Estima-se que teremos ***mais de 75 bilhões de dispositivos*** IoT até 2025.
- A grande maioria desses dispositivos estão ***equipados com microprocessadores*** ou ***microcontroladores***, (vários) ***sensores*** e ***atuadores***.

Motivação: Economia



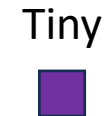
NVIDIA Ampere A100
Graphics Processing
Unit (GPU)
400 Watts
826 mm²



Apple A12 (iPhone)
System on a chip (SoC):
CPUs, GPU e Video Codec
3.64 Watts
83 mm²



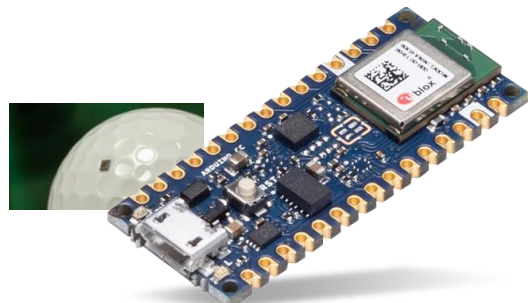
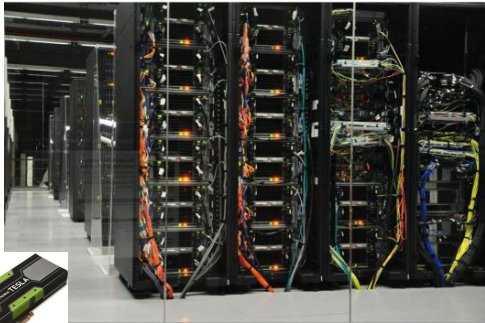
Apple APL0778 (iWatch)
Application Processor
Unit (APU): CPU+GPU
< 0.78 Watts
32 mm²



Syntiant NDP100
Neural Decision
Processor (NDP)
140 μ Watts
2.52 mm²

- Se comparados com servidores, equipados com dezenas de CPUs e GPUs, os processadores e microcontroladores desses dispositivos são muito **menores** e consomem muito **menos energia** e são **mais baratos**, devido a alta demanda.

Motivação: Baixo consumo de energia



- O baixíssimo consumo de energia possibilita que os dispositivos:
 - ***Funcionem por longos períodos*** de tempo sem trocar a bateria (e.g., anos);
 - E executem aplicações “***Always On***”:
 - ✓ Aplicação constantemente ativa e monitorando o ambiente ao seu redor, coletando informações, as processando e respondendo em tempo real, sem interrupção.
 - ✓ Característica muito importante em aplicações que exigem monitoramento constante, como sistemas de ***segurança***, monitoramento de ***saúde***, sistemas de ***automação industrial*** ou dispositivos de ***assistência virtual***.

Motivação: Sensores

- Dispositivos IoT, também chamados de ***endpoints***, possuem muitas vezes uma grande variedade de sensores!

Sensores de movimento

Giroscópios, radares (e.g., LiDAR), magnetômetros, acelerômetros.

Sensores de acústicos

Microfones, ultrassônicos, vibrômetros, geofones.

Sensores ambientais

Temperatura, humidade, pressão, infra-vermelho.

Sensores de toque

Capacitivos, Resistivos.

Sensores de imagem

RGB, Térmicos, LiDAR.

Sensores biométricos

impressão digital, batimento cardíaco, glicose.

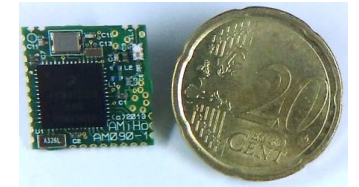
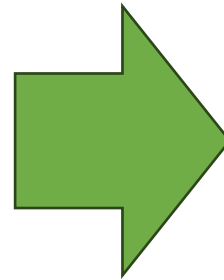
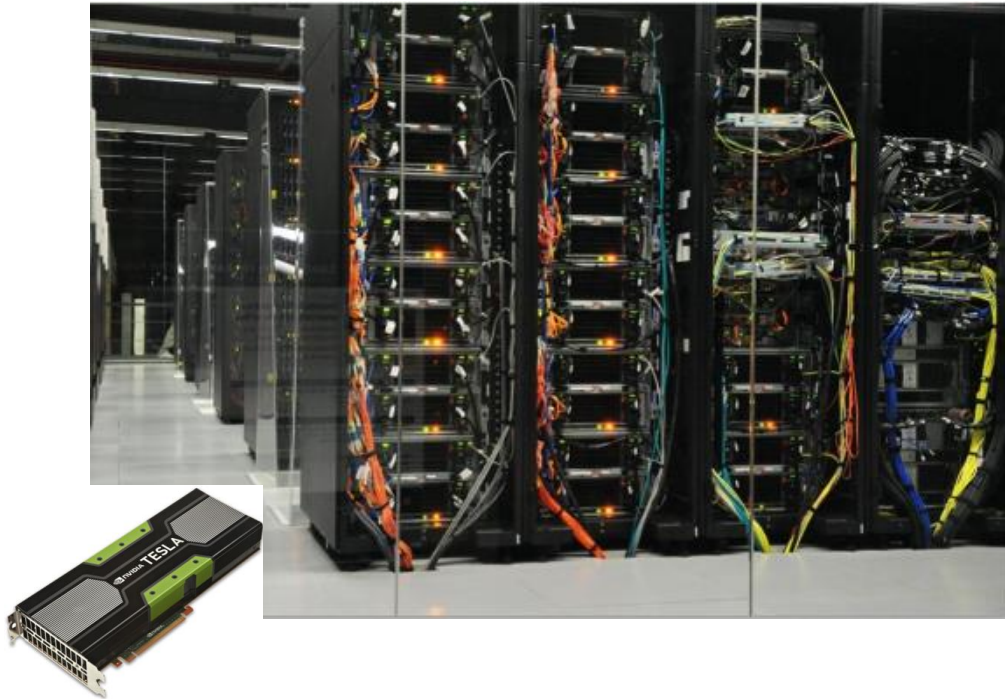
Sensores de força

Pressão, deformação/tensão.

Sensores de rotação

Encoders, potenciômetros.

Motivação: *Always On* ML



E se nós pudéssemos executar aplicações Always-On baseadas em inteligência artificial (IA), mais especificamente machine learning (ML), nesses dispositivos?

O que poderíamos fazer?

EdgeML versus TinyML

Hardware



TinyML

- CPU de baixo consume (32 bits single core)
- Pouca memória (RAM/Flash)
- Bateria com baixa capacidade
- Foco na longa duração da bateria

Anomaly Detection
Sensor Classification
20 KB

KeyWord Spotting
Audio Classification
50 KB

Image
Classification
250 KB+



Rpi-Pico
(Cortex-M0+)



Arduino Nano
(Cortex-M4)



Arduino Pro
(Cortex-M7)



EdgeML

EdgeML

- CPU mais poderosa (64 bits e 2+ cores)
- GPU
- + Memória (RAM/Flash)
- Bateria com maior capacidade
- Sem foco na longa duração da bateria

Object Detection
Complex Voice
Processing
1 MB+

Video
Classification
2 MB+



RaspberryPi
(Cortex-A)



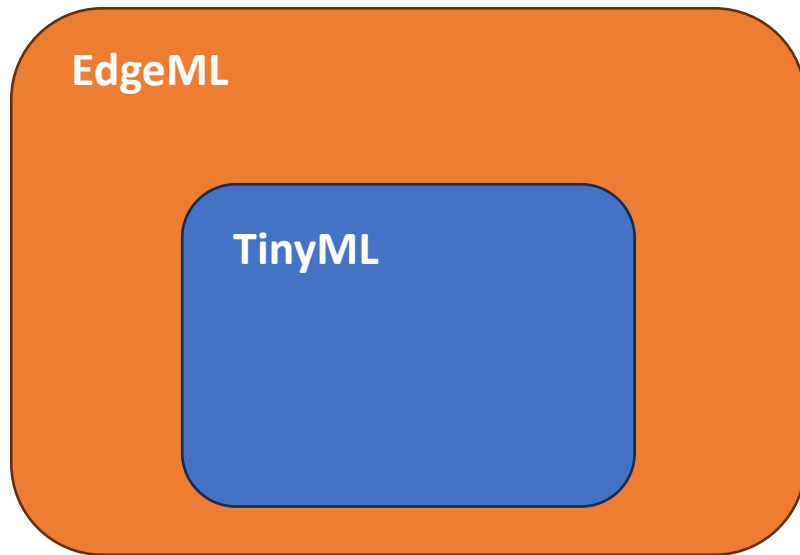
SmartPhone
(Cortex-A)



Jetson Nano
(Cortex-A + GPU)

Diferenciação
de hardware e
terminologia

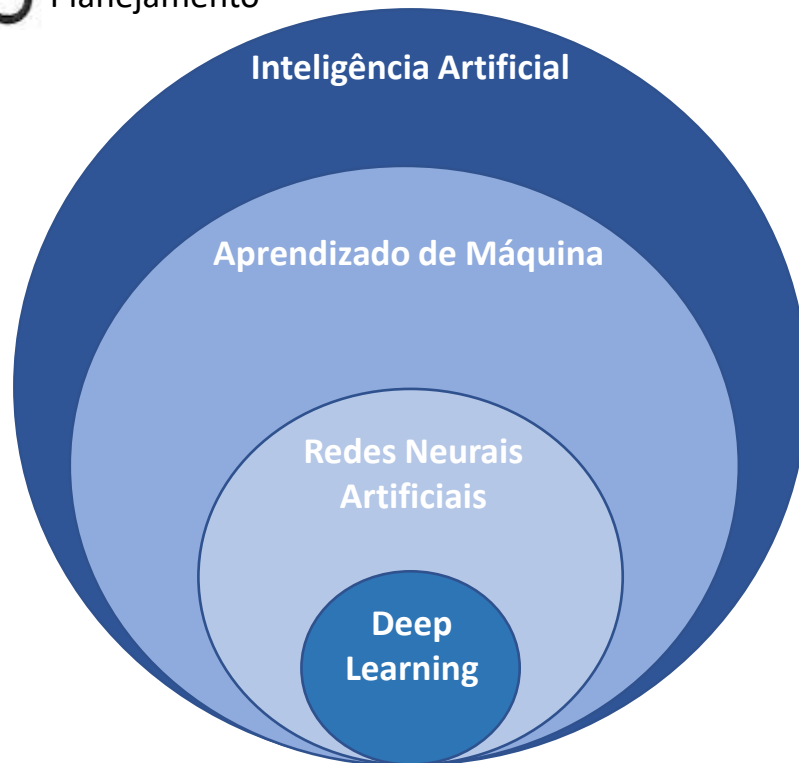
Edge Computing versus EdgeML versus TinyML



*Nosso curso focará no uso
de dispositivos tinyML.*

- **Edge Computing:** processamento e armazenamento de dados é feito ***próximo ou nos dispositivos que coletam os dados*** (ou seja, na borda da rede) e não na nuvem.
- **EdgeML:** processamento de algoritmos de IA na borda, ou seja, nos dispositivos e sensores.
- **TinyML:** subconjunto do ***EdgeML***, onde os dispositivos coletam e processam dados com ***consumo de energia ultrabaixo*** (baterias), possibilitando ***a execução contínua de modelos de ML*** (i.e., dispositivos “***always on***”).

Mas o que são IA e ML?

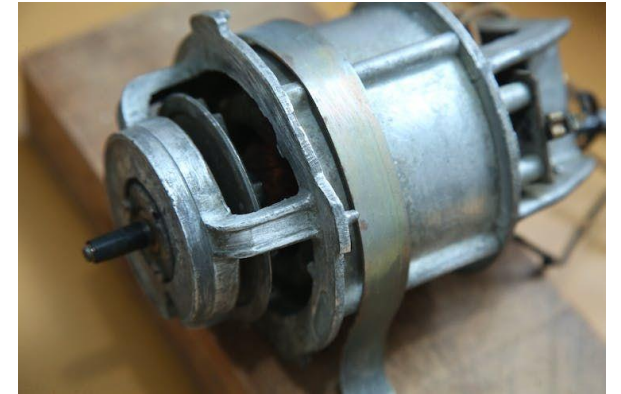


- **IA:** técnicas que façam as *máquinas imitarem o comportamento humano*.
- **ML:** algoritmos que *aprendem uma tarefa sem serem explicitamente programados para tal*.
- **RNAs:** modelos *inspirados no funcionamento do cérebro humano*. Consistem em neurônios artificiais interconectados, que são organizados em camadas e capazes de aprender a partir de experiências prévias.
- **DL:** modelos que extraem (i.e., aprendem) padrões complexos de dados usando redes neurais com várias camadas (i.e., profundas).
 - Por terem *maior capacidade, necessitam de grandes quantidades de dados* para aprender.

Aplicações do tinyML

Manutenção preventiva

- **Aplicação:** *monitoramento contínuo* de equipamentos com o objetivo de *prever falhas*.
- **Sensores que podem ser utilizados:** movimento, corrente, áudio, câmera.



Aplicações do tinyML

Monitoramento e rastreio de bens

- **Aplicações:**
 - Monitoramento da saúde de animais e lavouras.
 - Detecção de doenças em plantações.
 - Detecção de incêndios.
- **Sensores que podem ser utilizados:**
movimento, temperatura, humidade, posição, acústico, câmera.



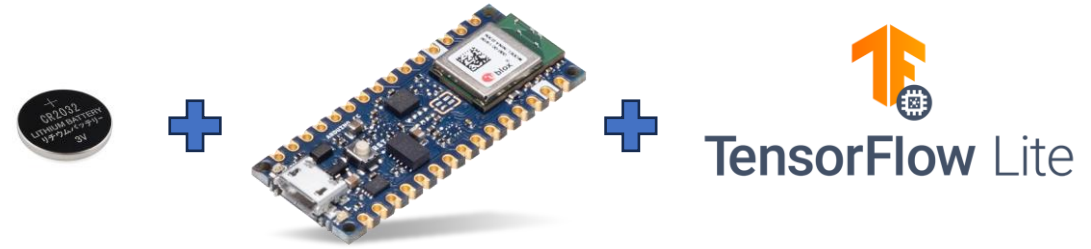
Aplicações do tinyML

E-health

- **Aplicações:**
 - Detecção de fibrilação arterial em sinais eletrocardiograma.
 - Detecção de doenças pulmonares (e.g., COVID, pneumonia).
 - Detecção de apneia do sono.
 - Detecção de posturas incorretas.
 - Previsão de hospitalização por insuficiência cardíaca
- **Sensores que podem ser utilizados:** movimento, acústico, imagem e ECG.



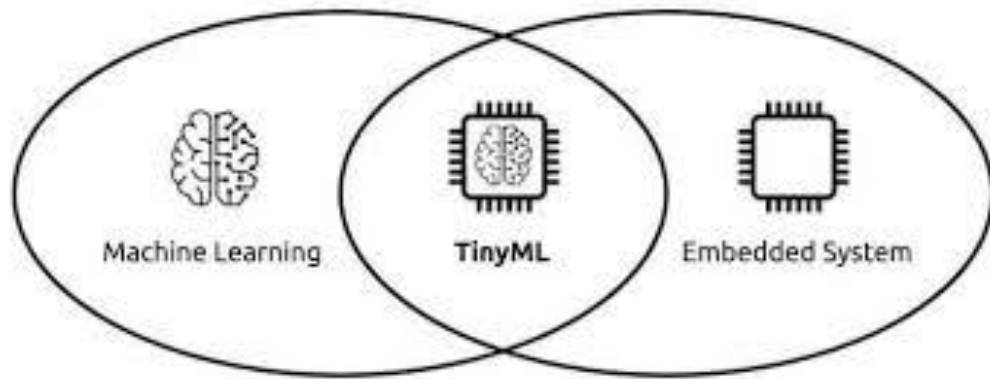
Sobre o curso



- A difusão de dispositivos de ***(ultra)baixo consumo de energia***, equipados com sensores (e atuadores), juntamente com a introdução de ***bibliotecas de IA para microcontroladores***, têm permitido a proliferação em massa de dispositivos de ***Internet das Coisas (IoT) Inteligentes***, ou seja, que executam algoritmos de ML.
- Esse novo paradigma é chamado de ***TinyML: IoT + Sensores + IA (ML)***.

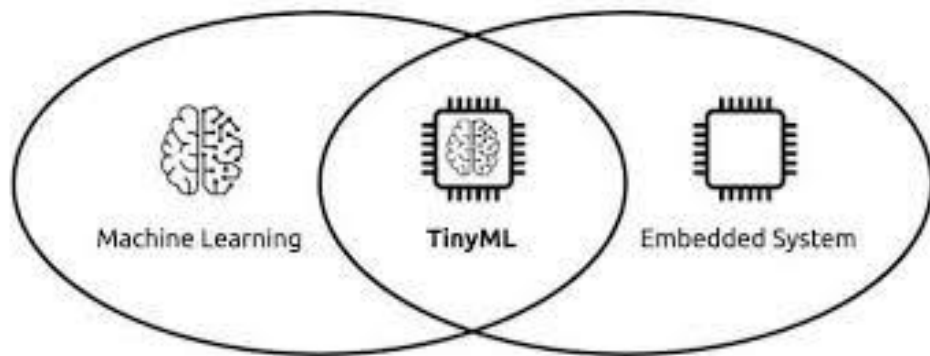


Sobre o curso



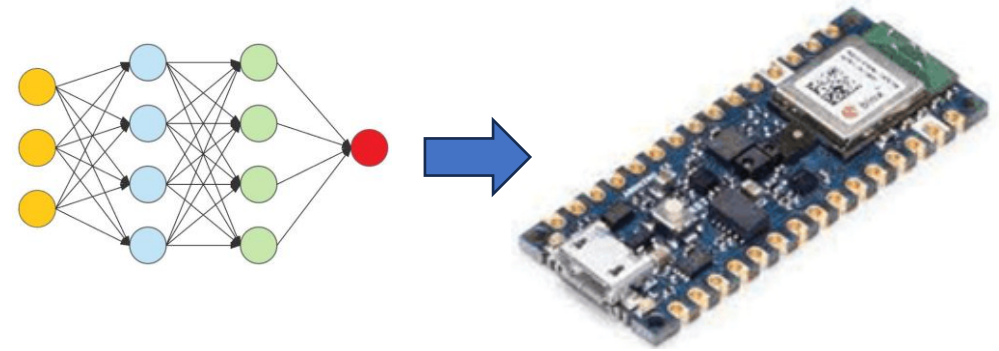
- **TinyML**: subárea da IA que lida com a *implementação de algoritmos e ferramentas otimizadas para a execução de modelos de ML em dispositivos de baixo consumo de energia*, como sensores IoT, wearables e dispositivos portáteis.
- Envolve a *minimização do tamanho do modelo*, o *uso de algoritmos de ML leves* e a *otimização do uso dos recursos computacionais* dos dispositivos.

Sobre o curso



- O ***processamento local*** dos dados em ***dispositivos de borda*** traz benefícios como:
 - ***Menor latência***: não é necessário o envio dos dados para um servidor na nuvem, possibilitando aplicações que operem em tempo real;
 - ***Maior privacidade***: dados sensíveis não são transferidos para servidores;
 - ***Menor dependência de conexões***: reduz ou elimina a necessidade de transferência de dados para servidores.
 - ***Maior autonomia energética***: o uso de microcontroladores com baixo consumo de energia reduz o consumo de energia, uso de recursos e custos.
 - ***Reduzido consumo de memória***: modelo e binário (i.e., executável) menores.

Sobre o curso



- Portanto, o curso mistura ML com dispositivos IoT, cujas principais características são:
 - **Baixo poder computacional:** geralmente equipados com CPUs single core de 32 bits, poucos quilobytes de memória RAM e alguns megabytes de memória de longo prazo (*flash*).
 - **Baixíssimo consumo de energia:** são geralmente alimentados à bateria, as quais devem durar um longo período de tempo.
 - **Sensores:** temperatura, pressão, humidade, ópticos (e.g., câmeras RGB, térmicas), movimento (e.g., giroscópio e acelerômetro), biométricos (e.g., impressão digital, batimento cardíaco), etc.
- Nosso curso é baseado nos cursos de ***TinyML*** de Harvard e da UNIFEI.
 - <https://scholar.harvard.edu/vijay-janapa-reddi/classes/cs249r-tinyml>
 - <https://github.com/Mjrovai/UNIFEI-UESTI01-TinyML-2022.1>

Sobre o curso



TensorFlow Lite



- O curso será dividido em duas partes:
 - **Fundamentos:** Introdução e desafios do TinyML, paradigma do ML, introdução ao *Deep Learning*, modelos de DL para regressão e classificação, redes convolucionais, como evitar problemas de sobreajuste e introdução ao **Edge Impulse**;
 - **Aplicação prática dos fundamentos:** ciclo de vida e de trabalho de aplicações de ML, introdução às bibliotecas **TFLite** e **TFLite-Micro**, visão geral do kit de desenvolvimento, laboratórios práticos usando o kit (ou celulares pessoais) e modelos de ML e apresentação de trabalhos práticos.
- **Pré-requisitos** (*não mandatórios*):
 - Conceitos básicos de **álgebra linear** (e.g., matrizes e vetores), **cálculo** (e.g., algoritmos de otimização, como o gradiente descendente), **probabilidade e estatística** (e.g., distribuições de probabilidade, média, desvio padrão, validação cruzada) e **processamento de sinais** (e.g., FFT, filtragem);
 - Conhecimentos básicos de programação em C/C++ e Python.

Sobre o curso

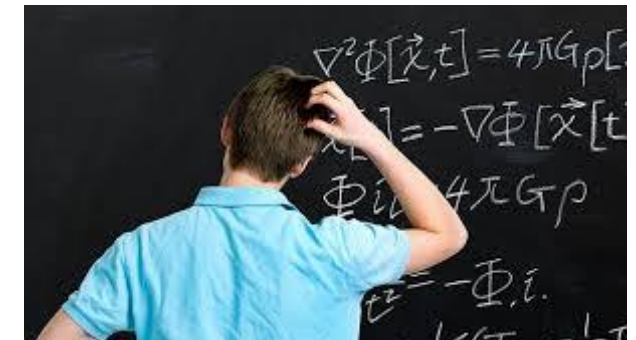


Avaliações

- Atividades (A): 30%
 - Exercícios de programação
 - Quizzes
 - Proposta de projeto final prático (ao final do segundo mês)
- Relatórios dos Laboratórios (R): 30%
 - Cinco (5) laboratórios com experimentos práticos.
- Projeto final (P): 40%
 - Projeto prático unindo IoT e ML.
 - Até dois (2) alunos por projeto.
 - Tema deve ser escolhido por vocês.

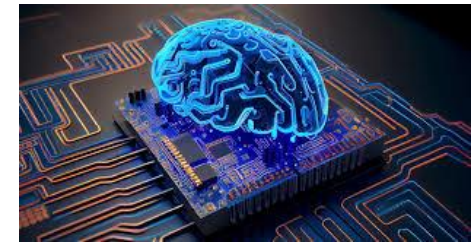
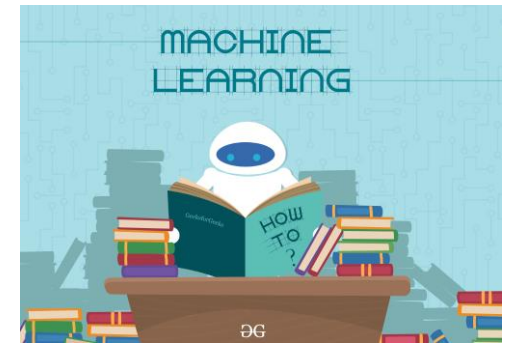


$$NF = A * 30\% + R * 30\% + P * 40\%$$

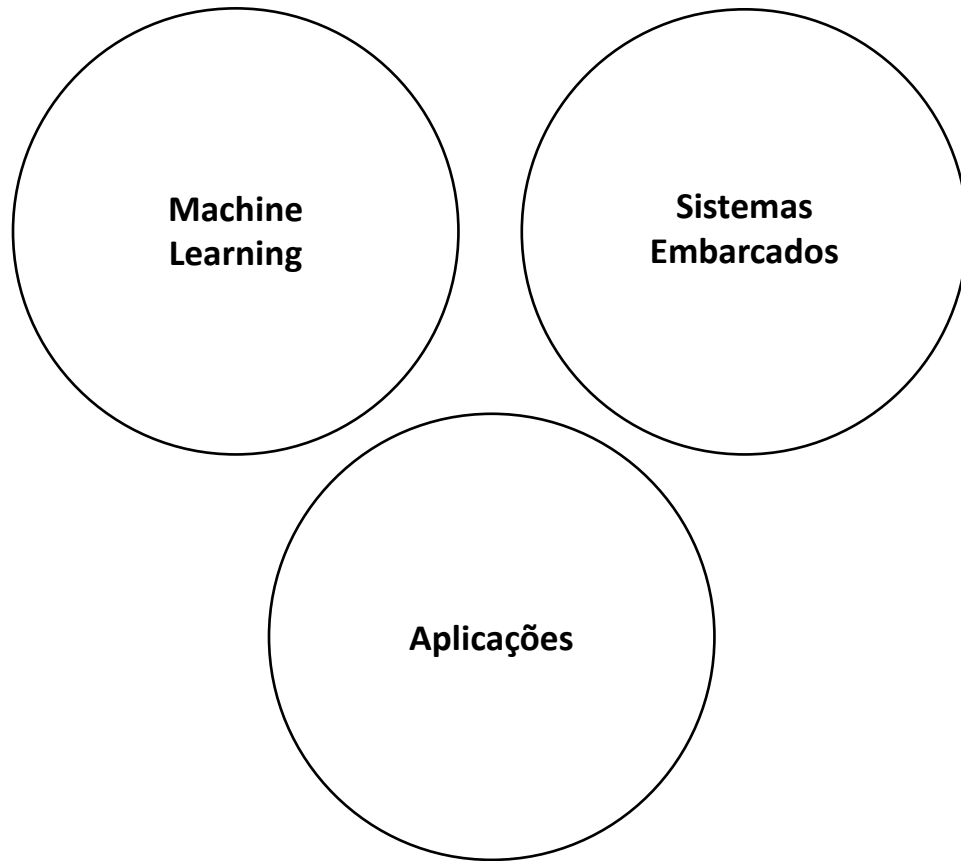


Objetivos do curso

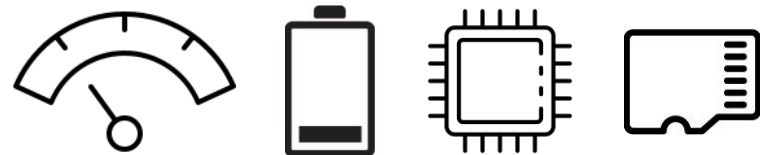
- Apresentar os ***fundamentos de IoT e ML***, bem como explorar a ***interseção*** entre essas áreas.
- ***Familiarizar*** os alunos com a ***literatura e os conceitos-chave da área de TinyML***.
- Capacitar os alunos a ***conceber, treinar e implantar aplicações TinyML em sistemas embarcados*** (e.g., smartphones e dispositivos IoT).
- Proporcionar ***experiência prática por meio de laboratórios e projetos práticos***, permitindo que os alunos apliquem seus conhecimentos de TinyML em cenários do mundo real.



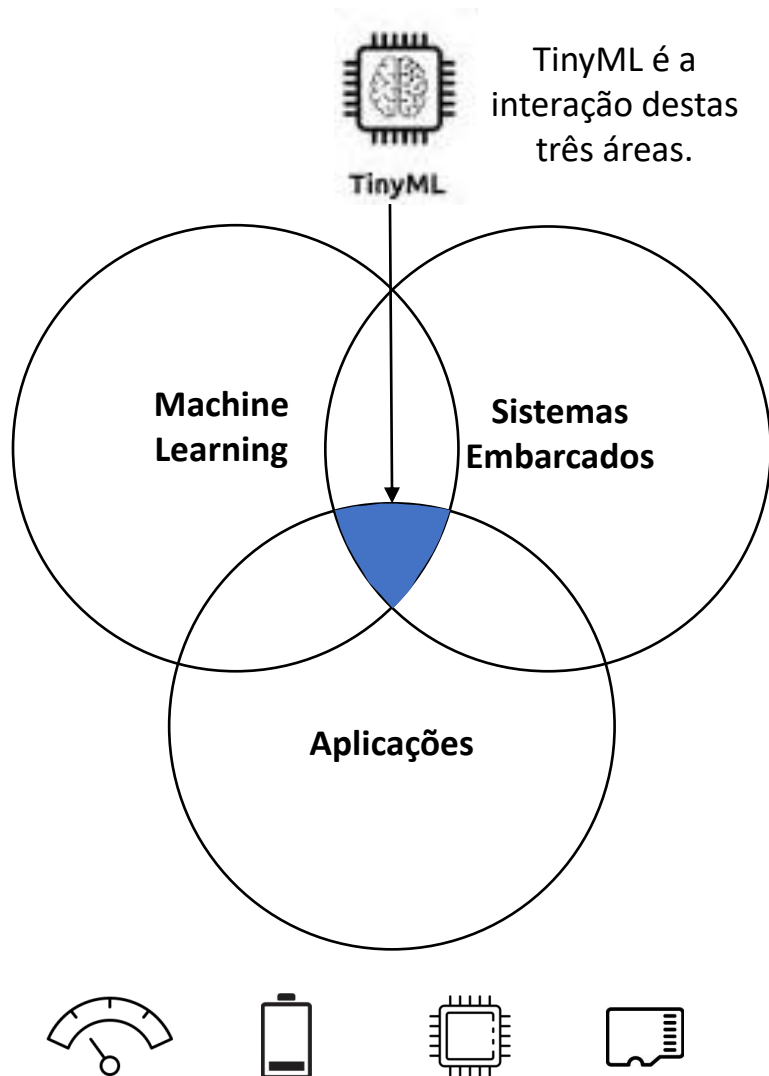
O que vamos aprender?



- Aprenderemos os ***fundamentos*** de cada uma dessas áreas, mas apenas o ***suficiente*** para focarmos na construção de ***aplicações*** que apresentem:
 - Baixa latência;
 - Maior autonomia energética;
 - Eficiência computacional;
 - Baixo consumo de memória.



O que vamos aprender?

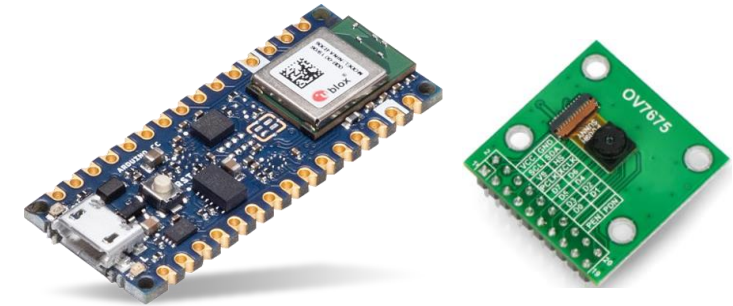


- Trabalharemos na **interseção dessas três áreas**, que dá origem ao **tinyML**.
- Para isso, devemos levar em consideração algumas questões importantes:
 - Como o ML pode **viabilizar novas aplicações** em dispositivos embarcados?
 - Quais são os **desafios de implementar ML em dispositivos com recursos limitados**?
 - ✓ Temos que considerar problemas de **latência** (e.g., tempo para classificação de objetos em uma imagem) e restrições de **consumo, processamento e memória**.
 - Quais **novos casos de uso podem ser habilitados com o uso de TinyML**, que não eram possíveis antes?

O que vamos usar?

Hardware

- Smartphones
- Arduino Nano 33 BLE Sense
- Sensores



Software

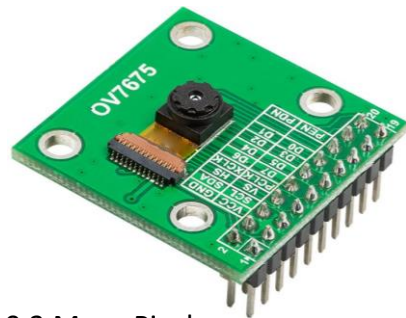
- **Bibliotecas de ML:** Tensorflow, TFLite e TFLite Micro.
- **Ambientes de programação:** Google Colab (com Jupyter notebooks) e Arduino IDE.
- **Ambiente de desenvolvimento de ML:** Edge Impulse Studio.



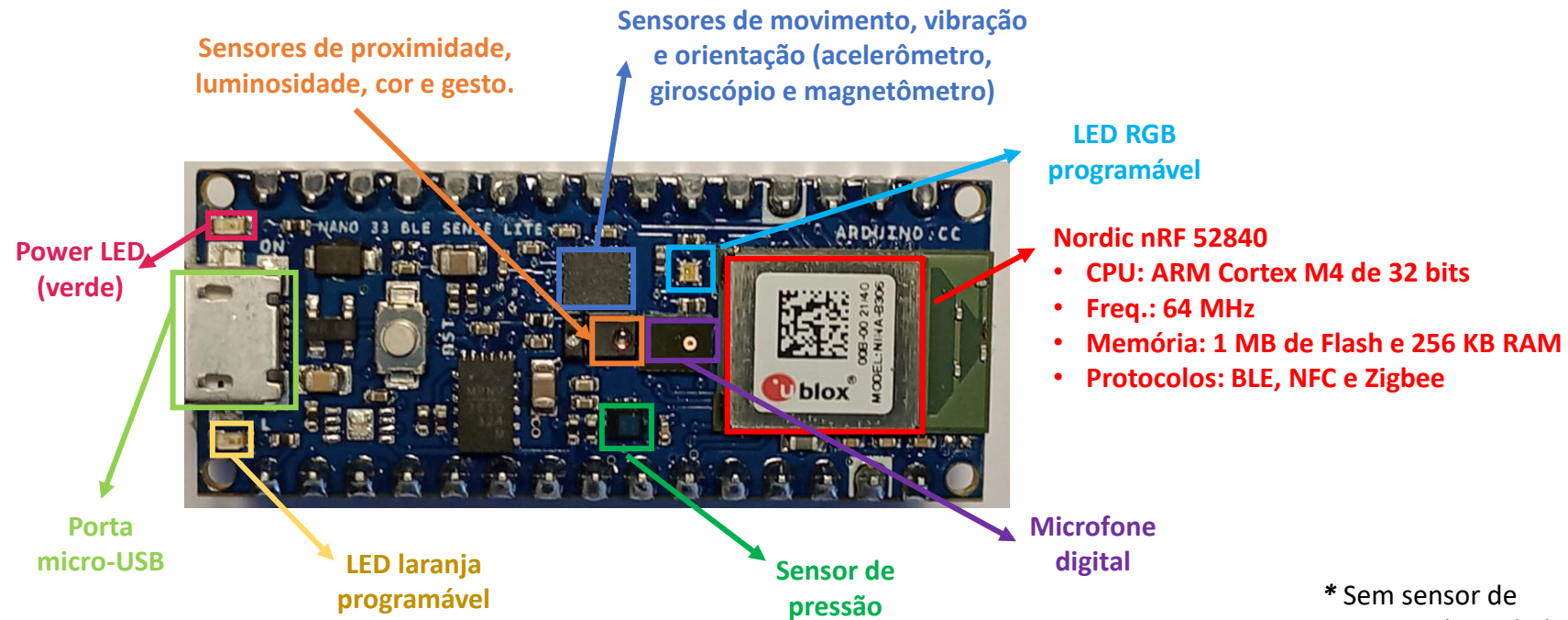
O kit TinyML

O kit contém:

- 1 x Arduino Nano 33 BLE Sense **Lite***
- 1 x Shield
- 1 x Câmera OV7675
- 1 x Cabo USB A



Câmera de 0.3 Mega Pixels
Resoluções (pixels): 640x480 (VGA), 320x240 (QVGA) e 160x120 (QQVGA)
Frames por segundo: 30 (VGA), 60 (QVGA) e 240 (QQVGA)



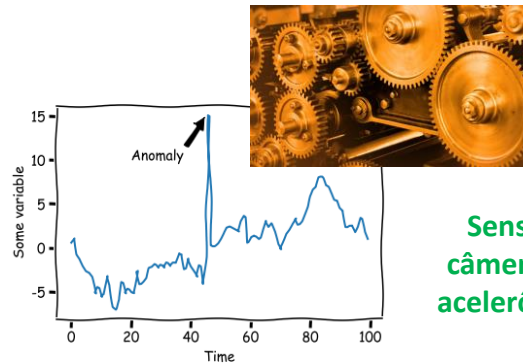
* Sem sensor de temperatura e humidade.

Atividades práticas



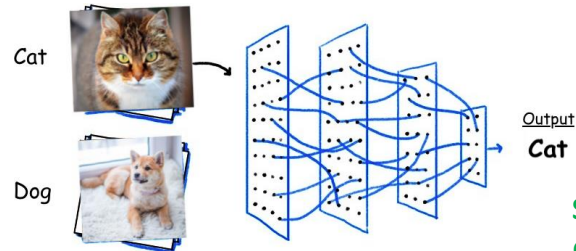
Classificação de movimento ou atividade

Sensores: acelerômetro, giroscópio, magnetômetro



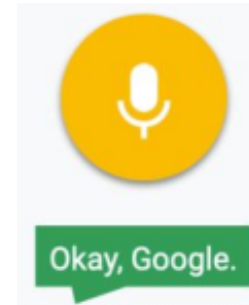
Detecção/previsão de anomalias

Sensores: câmera e/ou acelerômetro.



Classificação de imagens

Sensor: câmera



Keyword spotting

Sensor: microfone.



Visual wake words

Sensor: câmera.



Classificação de gestos

Sensores: câmera e/ou acelerômetro.



Referências

- [1] Daniel Situnayake and Pete Warden, *"TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers"*, 1st ed., O'Reilly Media, 2019.
- [2] Aurélien Géron, *"Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems"*, 1st ed., O'Reilly Media, 2017.
- [3] Agus Kurniawan, *"IoT Projects with Arduino Nano 33 BLE Sense: Step-By-Step Projects for Beginners"*, Apress, 2020.
- [4] Stuart Russell and Peter Norvig, *"Artificial Intelligence: A Modern Approach"*, Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, 3rd ed., 2015.
- [5] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville. *"Deep Learning"*, MIT Press, 2016.
- [6] Hakima Chaouchi, *"The Internet of Things: Connecting Objects"*, Wiley, 2010.
- [7] Jun Zheng and Abbas Jamalipour, *"Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective"*, Wiley, 2009.
- [8] [Coleção de livros](#)

Avisos

- Todo material do curso está disponível no GitHub:
 - <https://github.com/zz4fap/tp557-iot-ml>
- Google Colab + Python Crash Course
 - https://www.youtube.com/watch?v=inN8seMm7UI&ab_channel=TensorFlow
 - <https://www.youtube.com/watch?v=inN8seMm7UI>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=pq4NNIYar9o&list=PLRc6ZYt68prVXAhwY1JD6DFc3BJGmJriq&pp=gAQBiAQB>
- Introdução ao TensorFlow
 - https://www.youtube.com/watch?v=yjprpOoH5c8&ab_channel=TensorFlow
- Horário de Atendimento
 - Todas as quartas-feiras das 17:30 às 18:30.
 - Presencialmente ou remotamente.

Ideias para projetos finais

1. [Identificação de falhas em rolamentos](#)
2. [Identificação de doenças respiratórias](#)
3. [Detectando falhas em automóveis através de seu som](#)
4. [Identificação de pragas](#)
5. [Identificação de posturas incorretas](#)
6. [Inspeção automática de qualidade](#)
7. [Classificador de Vogais em Libras](#)
8. [Detecção de doença pulmonar](#)
9. [Detecção de algarismos em hidrômetros](#)
10. [Detecção de Roncos](#)
11. [Detecção de tumores cancerígenos](#)
12. [Detecção e prevenção de abalos sísmicos](#)
13. [Detecção de incêndios](#)
14. [Detecção de COVID através da tosse](#)
15. [Detecção do uso de máscaras](#)
16. [Personal Trainer](#)
17. <https://www.tensorflow.org/lite/examples?hl=pt-br>
18. <https://experiments.withgoogle.com/collection/tfliteformicrocontrollers>

Atividades

- Quiz: “***TP557 – Introdução***”
- Exercícios: Programação em Python.

Perguntas?

Obrigado!