



Aplicações de Ciência de Dados e Inteligência Artificial à Infraestrutura

Lucas Babadopulos

+ Equipe do



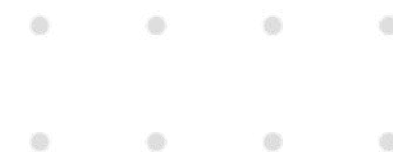
UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ



Estrutura da Apresentação



- Reflexões Iniciais e Conteúdo Preliminar
- Os mil ensaios em todos os tempos ou as dez milhões de imagens por ano
- Histórico no INCT-Infra e PC06 (Ciência de Dados)
- MIDR/Horus como exemplo de parcerias e Outras aplicações (GRiR, e-VIBE, AggregateScan, SenseAr, ...)
- Foco no MIDR/Horus
- "Futuro" pelo olhar da literatura
- "Futuro" no INCT-Infra
- Agradecimentos

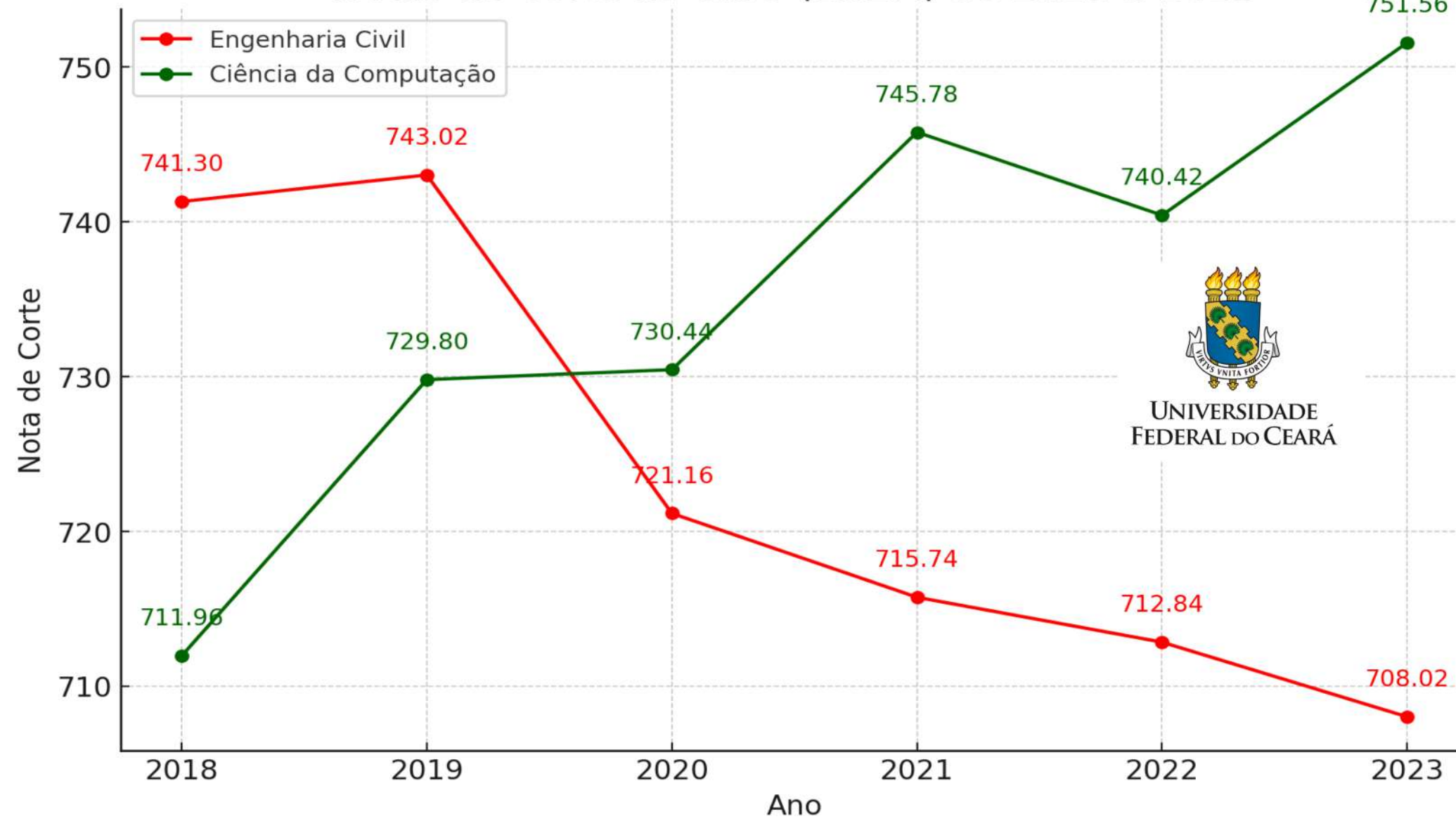


Reflexões Iniciais

Eng. Civil / Infraestrutura (fim/domínio)

+ Ciência Computação (meio/ferramenta)

Notas de Corte no SISU (ENEM) de 2018 a 2023



Notas da Engenharia Civil apresentam **tendência de queda.**



Risco: vista como curso de categoria inferior?

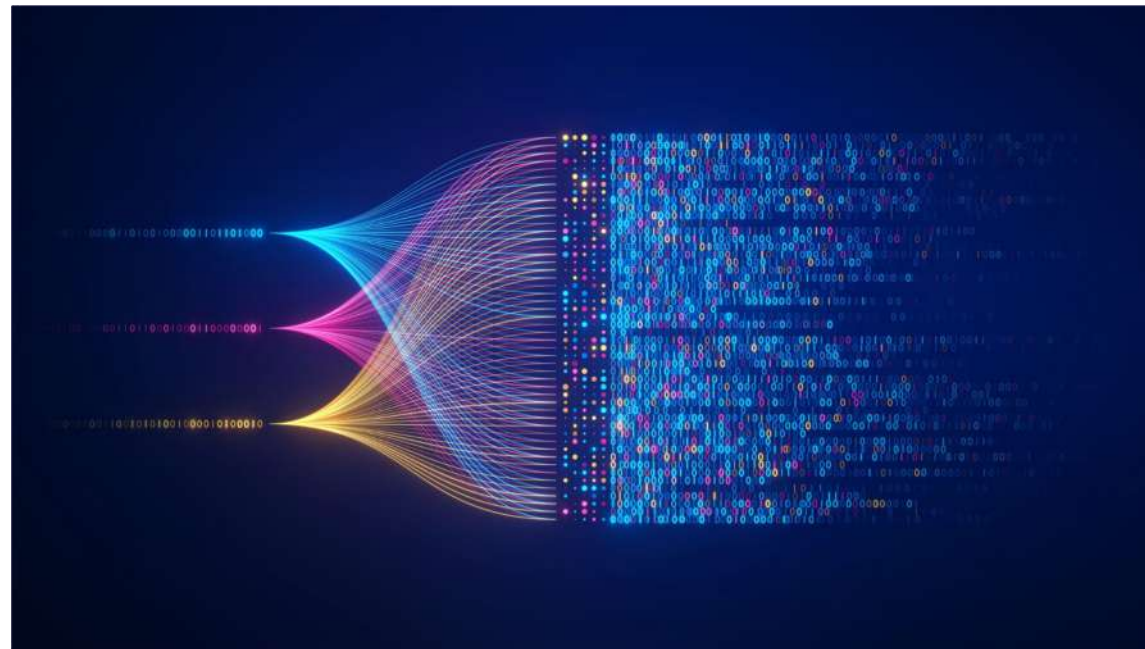
Deveríamos nos “**tecnologizar**” + ...
Aproximar + das Ciências da Computação.

Aproveitemos a **onda da IA** para **revitalizar o interesse e a valorização** da Engenharia Civil.

Como construiremos o país sem qualificação máxima dos nossos Engenheiros?

Reflexões Iniciais

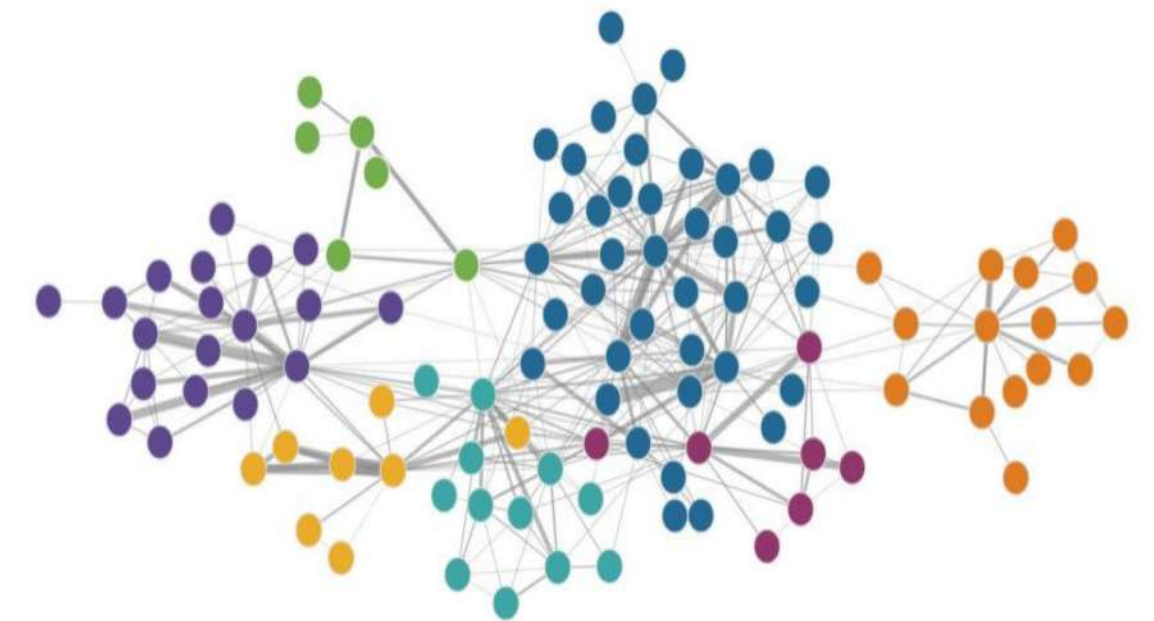
Inteligência Artificial (IA) / Ciência de Dados (CD)



ORGANIZAR E
ANALISAR GRANDES
QUANTIDADES DE
DADOS



AUTOMAÇÃO DE
TAREFAS



ENTENDER RELAÇÕES
COMPLEXAS ENTRE
DADOS

Como nossos órgãos e empresas, envolvidos com Engenharia, podem ganhar eficiência em seus processos?

Reflexões Iniciais

PROPOSTA EM DISCUSSÃO

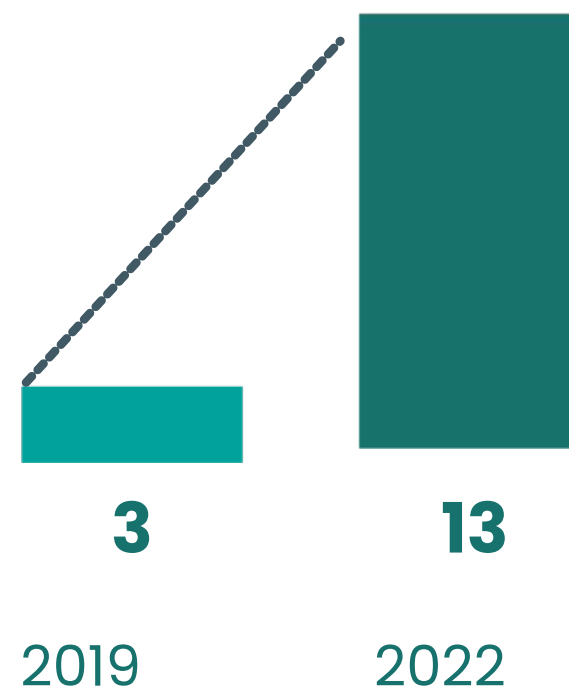
PLANO ESTRATÉGICO DE IA NO CEARÁ: criação de um Distrito de Inovação em IA no Ceará

Alinhamento com:



CONTEXTO

Data Centers instalados no Ceará

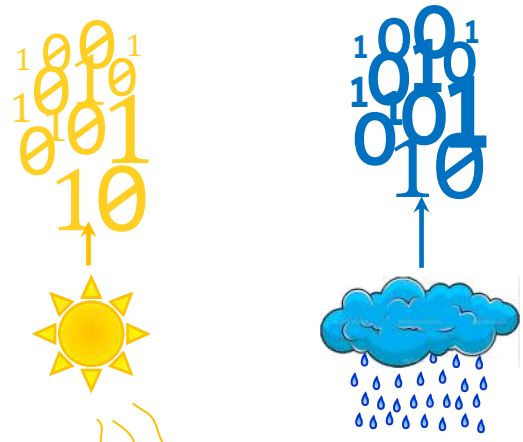


Cobertura de fibra ótica do Centurão Digital do Ceará

Reflexões Iniciais

IA/CD para infraestrutura rodoviária

Temperatura Pluviometria



Tráfego



Defeitos



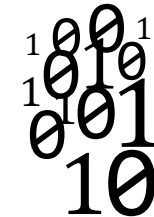
Jazida de Solo



Dados dos Agregados



Usina de asfalto



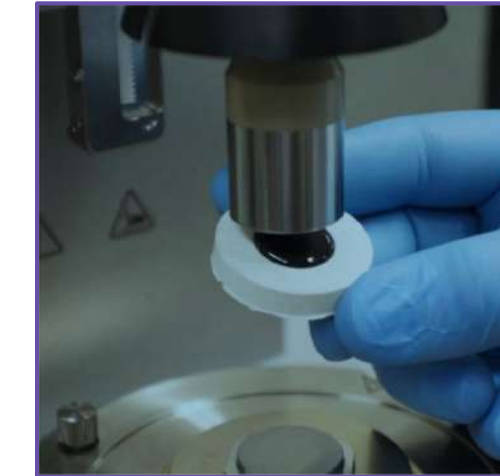
Campo

Afundamento de trilha de roda (ATR)

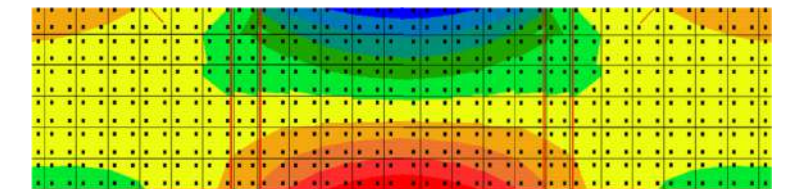
%Trincas



Laboratório



Simulação

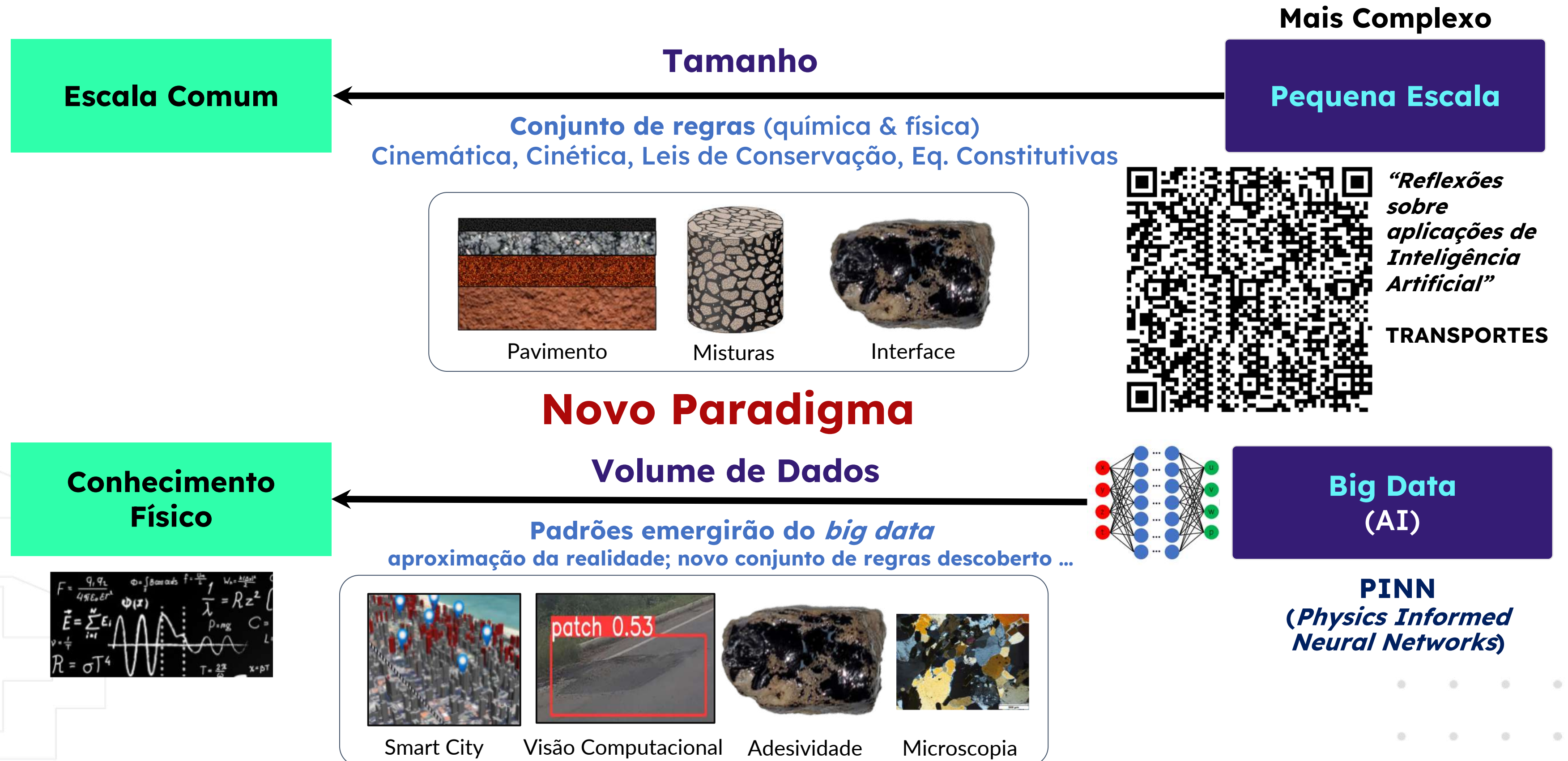


Aumento de Competência e Entendimento

Time Multidisciplinar

Reflexões Iniciais

Com o nossos grupos *evoluirão* com a IA? Mundo Físico & Mundo dos Dados



Conteúdo Preliminar



Curso UFC-IPR/DNIT

APLICAÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) PARA GERAÇÃO DE DADOS PARA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Dia 1



Instrutores:

- Lucas F. de A. L. Babadopulos - Marcelo B. de A. Veras
- João Paulo Pordeus Gomes - Carlos David R. Melo



11/10/2022 e 14/10/2022

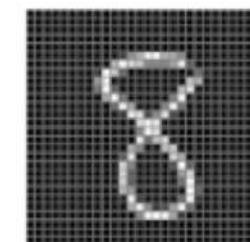


Conteúdo Preliminar

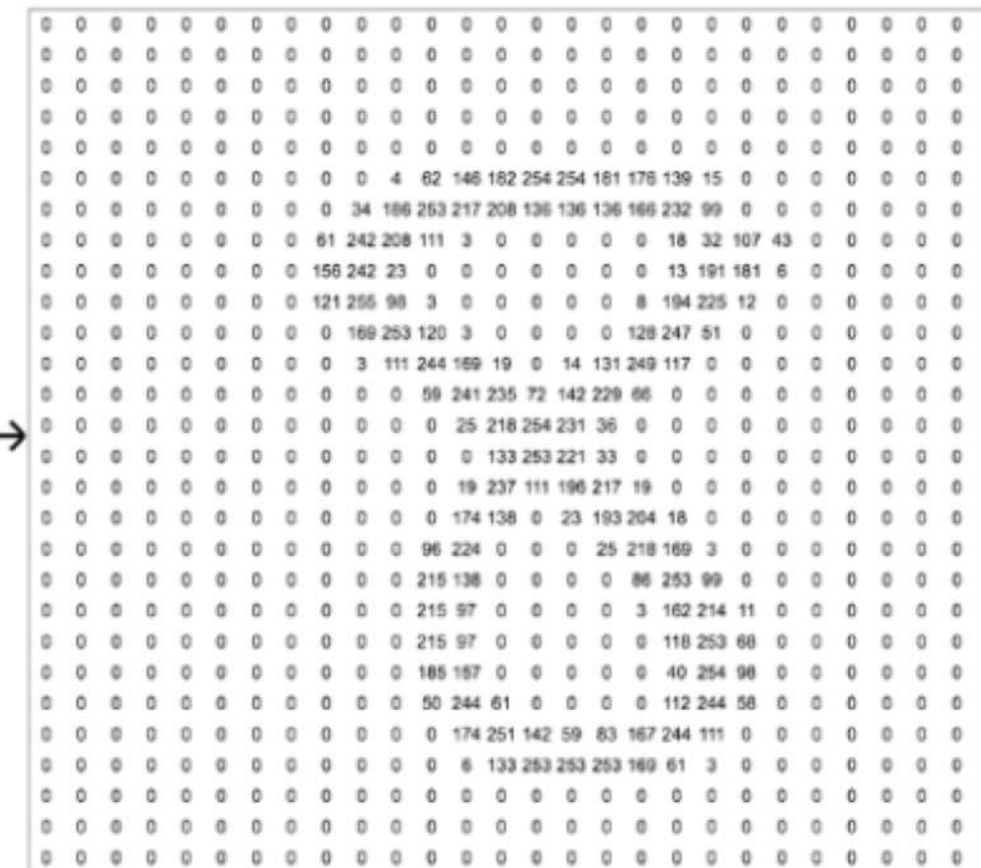
Representação dos Dados

- Computador digital
 - Quaisquer informações são representadas por números

000	016 ▶	032	048 0	064 @	080 P	096 `	112 p
001 ☺	017 ◀	033 !	049 1	065 A	081 Q	097 a	113 q
002 ☻	018 ⬆	034 "	050 2	066 B	082 R	098 b	114 r
003 ♥	019 !!	035 #	051 3	067 C	083 S	099 c	115 s
004 ♦	020 ™	036 \$	052 4	068 D	084 T	100 d	116 t
005 ♣	021 Ⓓ	037 %	053 5	069 E	085 U	101 e	117 u
006 ♠	022 ■	038 &	054 6	070 F	086 V	102 f	118 v
007	023 ⬆	039 '	055 7	071 G	087 W	103 g	119 w
008	024 ⬆	040 (056 8	072 H	088 X	104 h	120 x
009	025 ⬇	041)	057 9	073 I	089 Y	105 i	121 y
010	026 →	042 *	058 :	074 J	090 Z	106 j	122 z
011 ♂	027 ←	043 +	059 ;	075 K	091 [107 k	123 {
012 ♀	028 L	044 ,	060 <	076 L	092 \	108 l	124
013	029 ↔	045 -	061 =	077 M	093]	109 m	125 }
014 ♪	030 ▲	046 .	062 >	078 N	094 ^	110 n	126 ~
015 ☼	031 ▼	047 /	063 ?	079 O	095 _	111 o	127 ∆



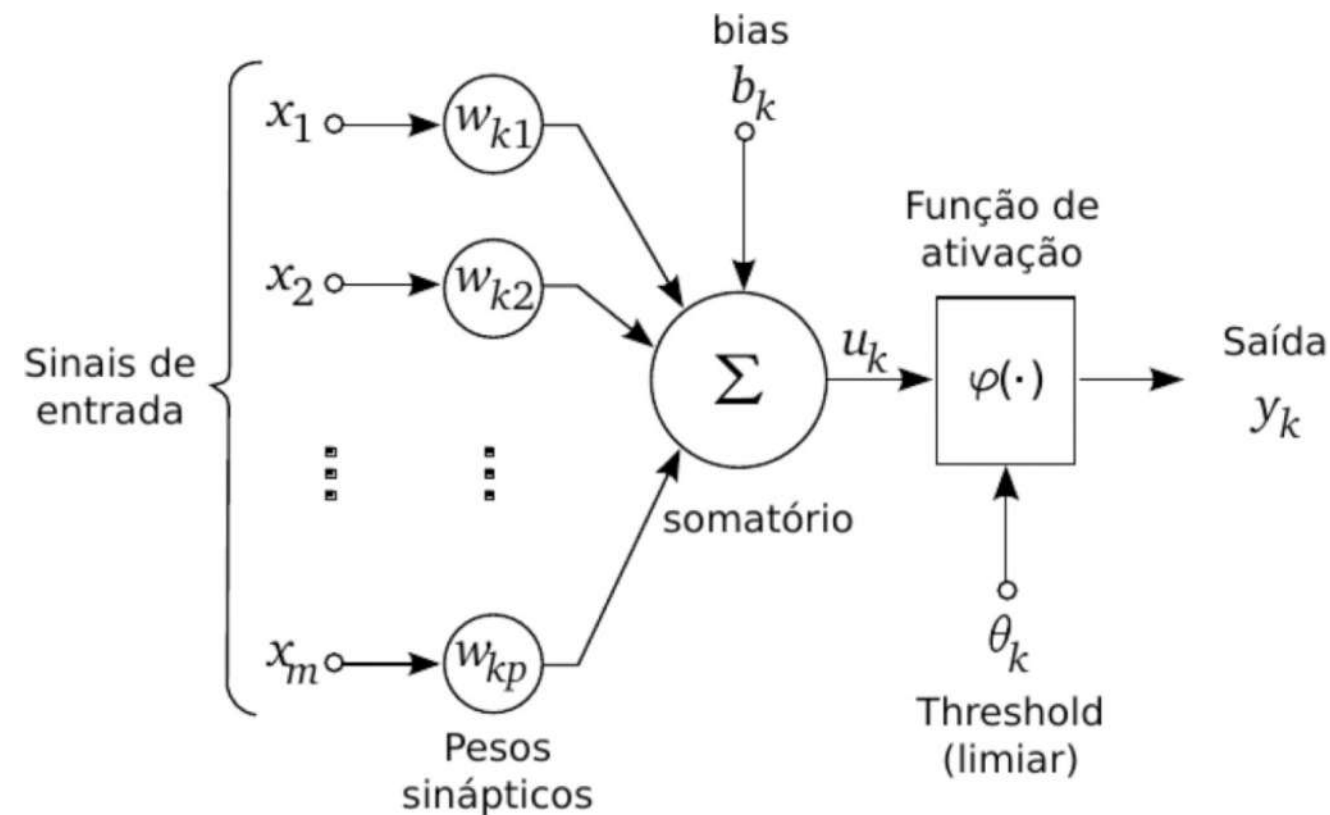
28 x 28
784 pixels



Conteúdo Preliminar

Neurônio Artificial

- Reconhecer pequenos padrões numéricos
 - Ajustes dos parâmetros do modelo

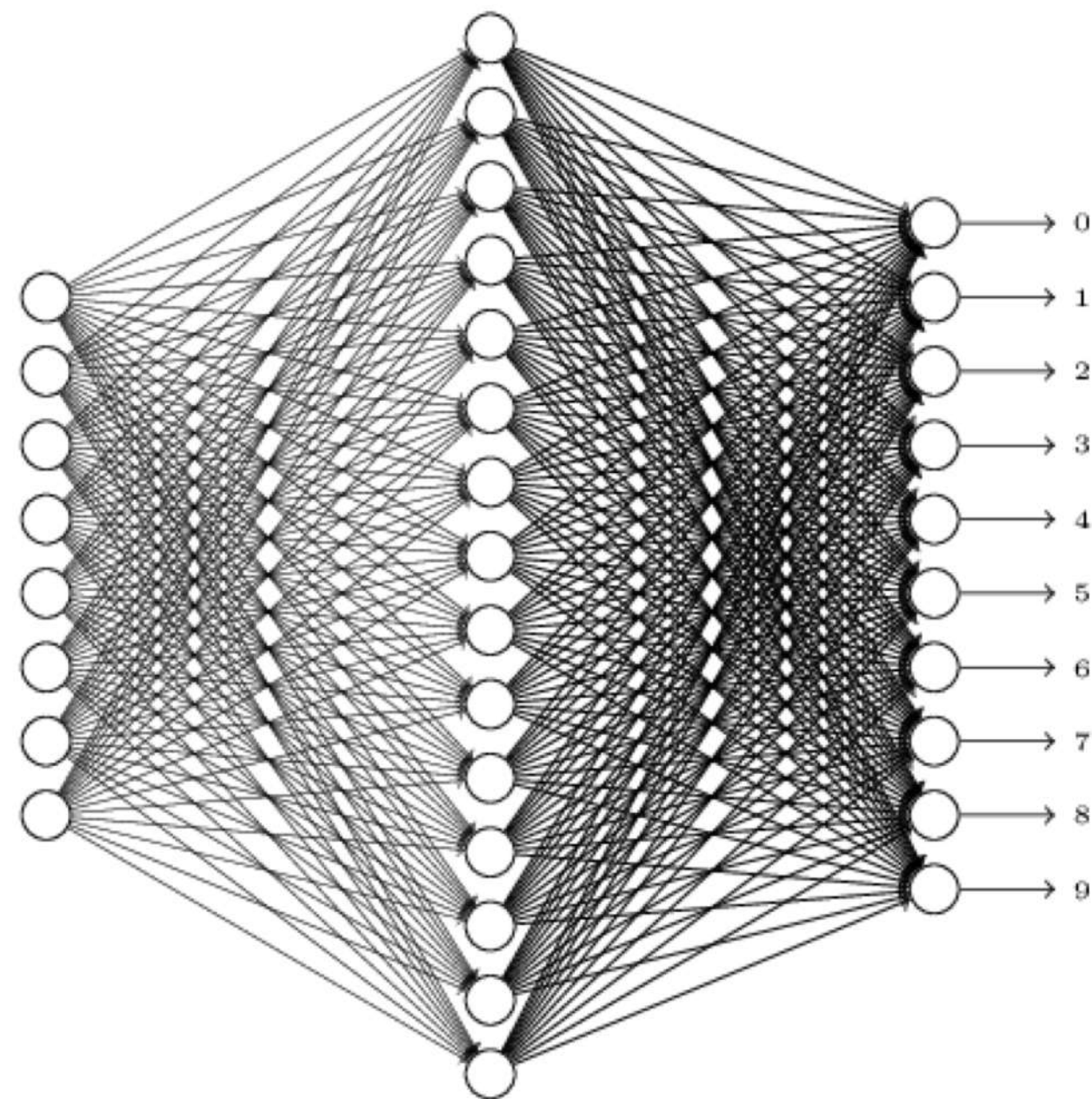


=> "treinamento" (ajuste)
no caso do aprendizado
supervisionado

Em geral, para resolver problemas
de classificação e de regressão

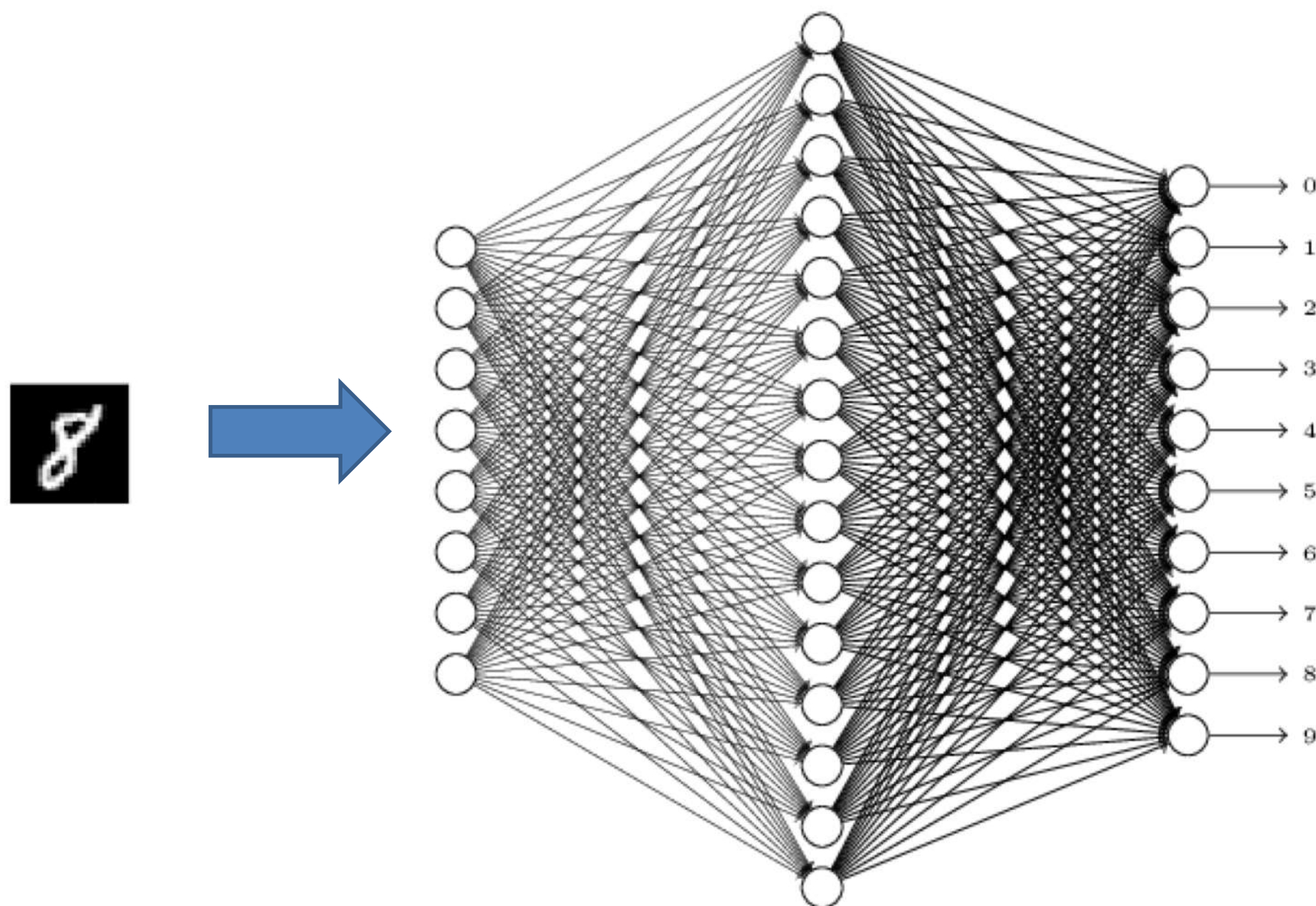
Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



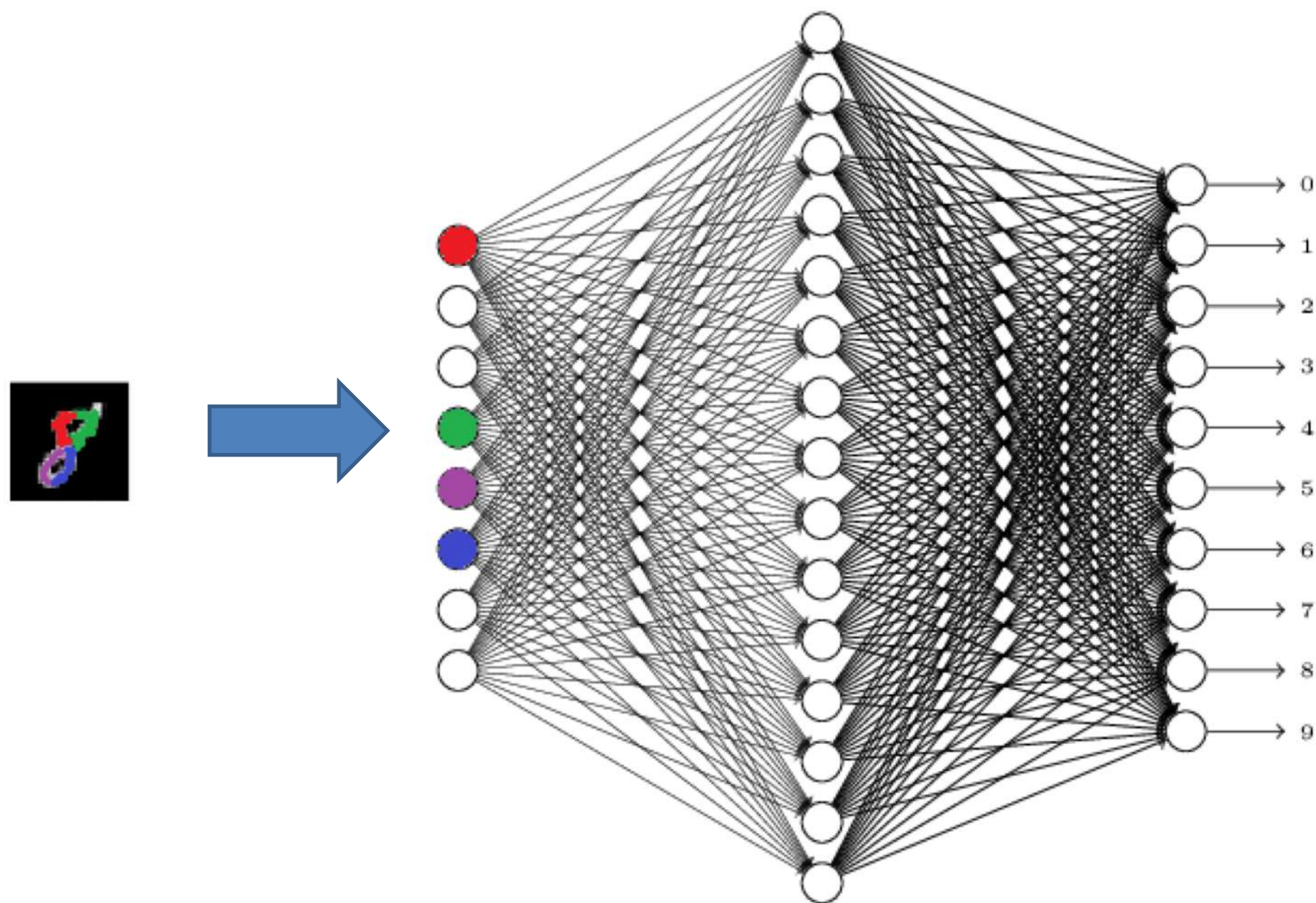
Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



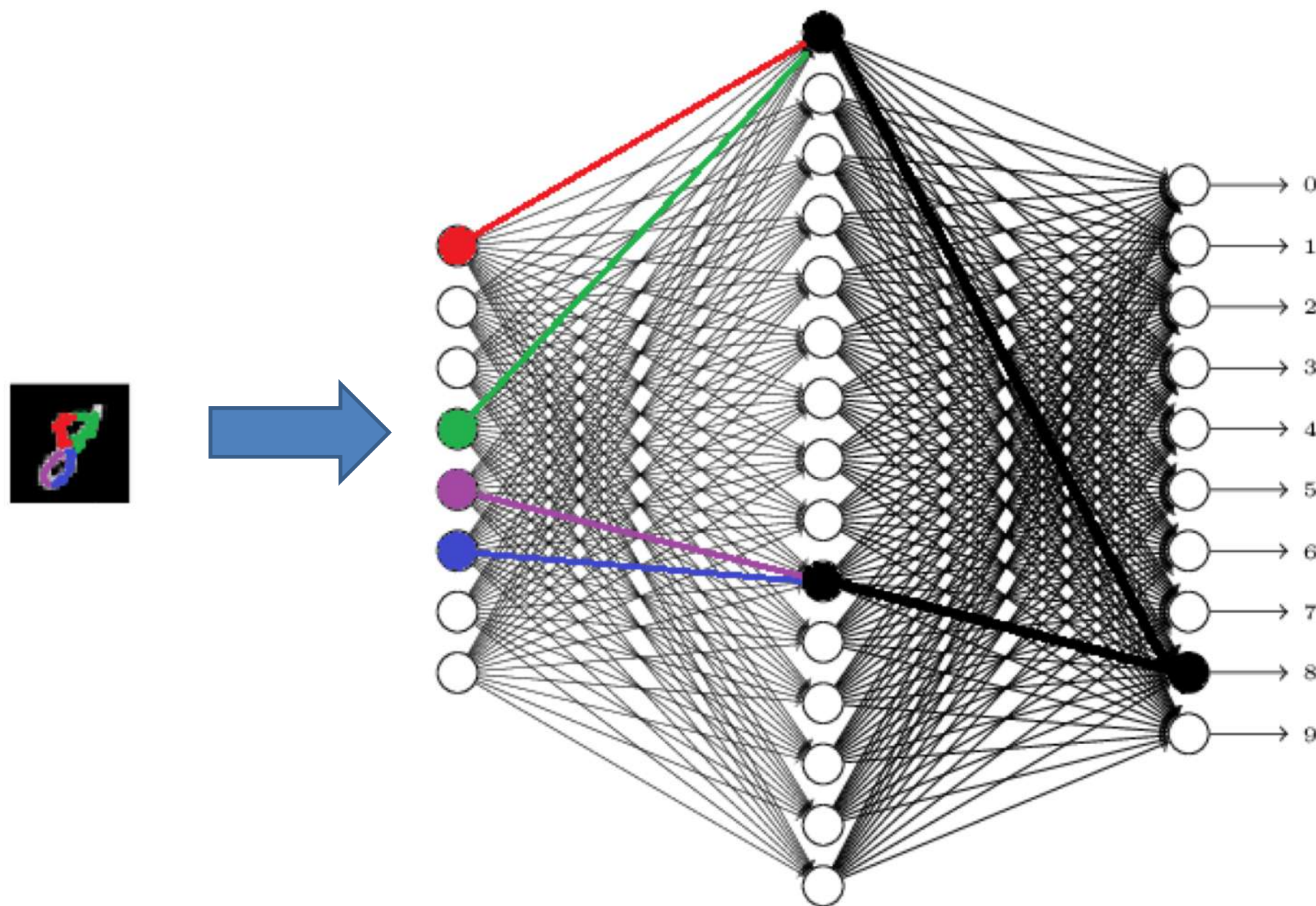
Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



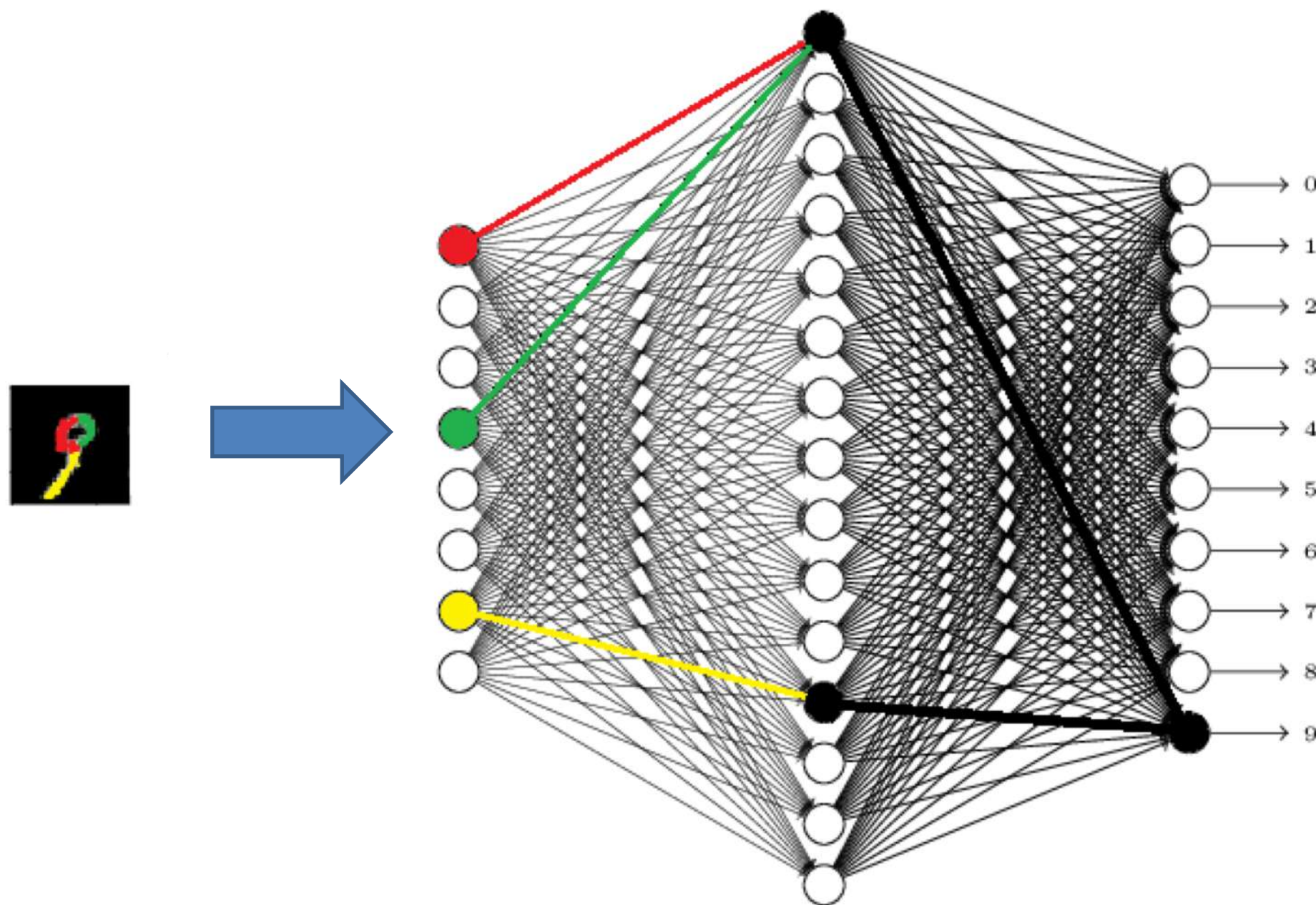
Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



Mil ensaios vs. Dez milhões de imagens e o histórico do INCT-Infra

Rede Prévia ao INCT-Infra



vários profs. em várias instituições locais no CE

Michéle Casagrande /
Evangelista Júnior



Kamilla Vasconcelos



ESCOLA
POLITÉCNICA
DA USP

Cláudia Pereira



Aline do Vale



Lêda Lucena



Universidade Federal
de Campina Grande

Reuber Freire



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

Caroline de Lima



UFBA
Universidade
Federal da Bahia

Jamilla Teixeira

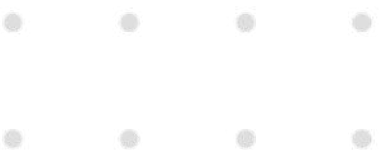
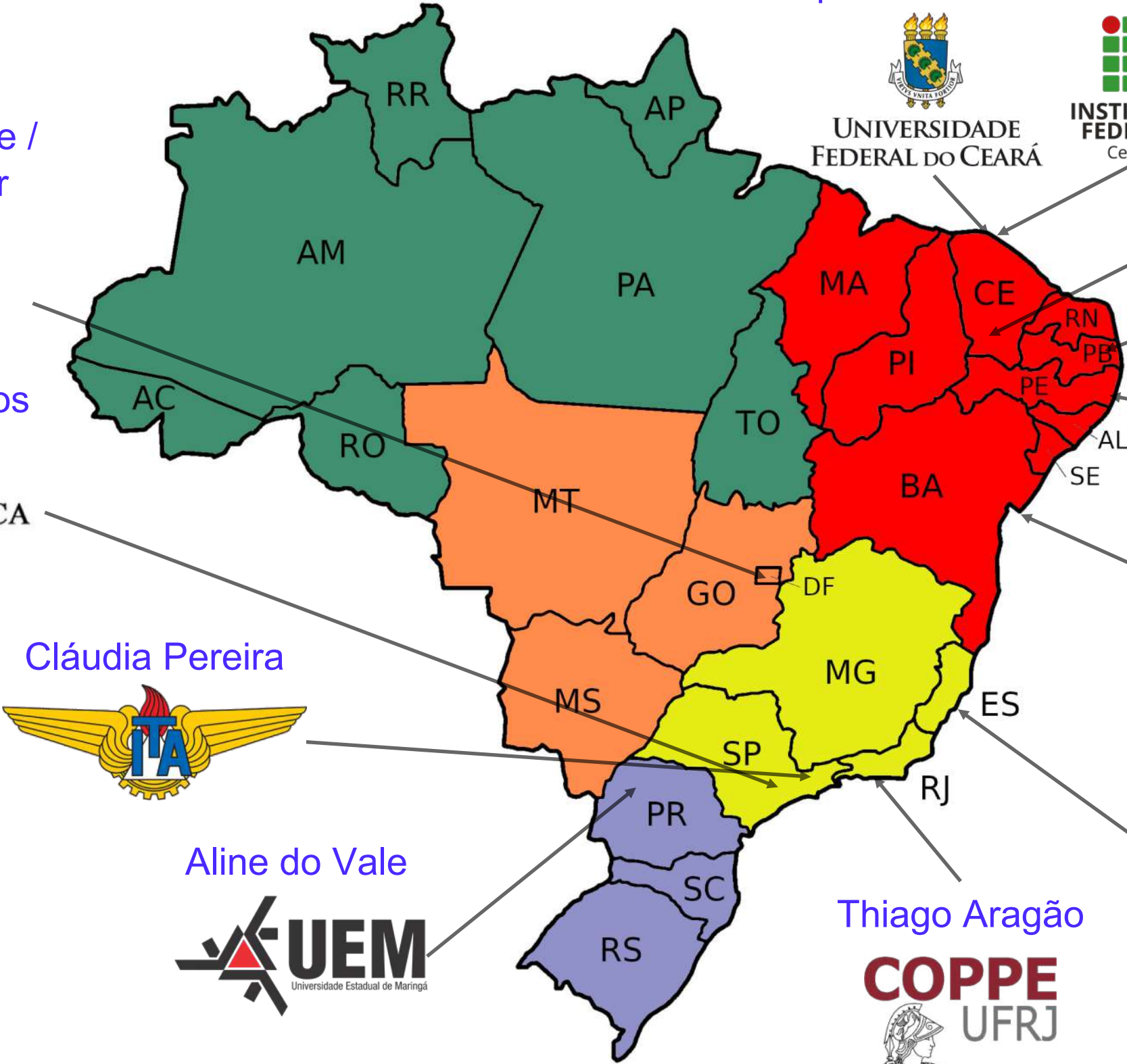


UNIVERSIDADE FEDERAL
DO ESPÍRITO SANTO

Thiago Aragão



Nebraska
Lincoln



O PC06 no INCT-Infra



243 INCTs ativos em diferentes áreas temáticas



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Caracterização de Materiais para Infraestrutura - INCT-Infra
1ª aprovação em 2017 (chamada de 2014 - sem financiamento)

Aprovação (edital 58/2022 - financiado desde 2024 - parceria do CNPq com FUNCAP e CAPES)

PC00: GESTÃO

Jorge Soares (coord.) / Lucas Babadopulos (vice)

+ comitê gestor Lêda Lucena (repr. NE) / Kamilla Vasconcelos (repr. SE) / Davidson Dias (repr. iniciativa privada) / Beatriz Gouveia (repr. órgão público)

PC01: BIOMATERIAIS APLICADOS A INFRAESTRUTURA

Lêda Lucena (UFCEG) / Sandra Soares (UFC)

PC02: GERÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO AVANÇADA

Reuber Freire (UFPE) / Héber Lacerda (UFC)

PC03: RECICLAGEM E SUSTENTABILIDADE

Kamilla Vasconcelos (USP) / Juceline Bastos (IFCE)

PC04: GEOMATERIAIS E COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Caroline Lima (UFBA) / Eduardo Cabral (UFC)

PC05: MODELAGEM ESTRUTURAL

Evandro Parente Jr (UFC) / Lícia da Costa (UFPE)

PC06: CIÊNCIA DE DADOS PARA INFRAESTRUTURA

Lucas Babadopulos (UFC) / JP Pordeus (UFC)

Lab de *Hardware*
e *Software* para
Infraestrutura



Saída para Dr. empresa de Tecnologia (chegada da Profa Lara Furtado)

Mil ensaios vs. Dez milhões de imagens

Deteção de objetos é um problema clássico das áreas de Aprendizado de Máquina e Visão Computacional!

Exemplos de soluções em operação fora da UFC:

Input: imagem

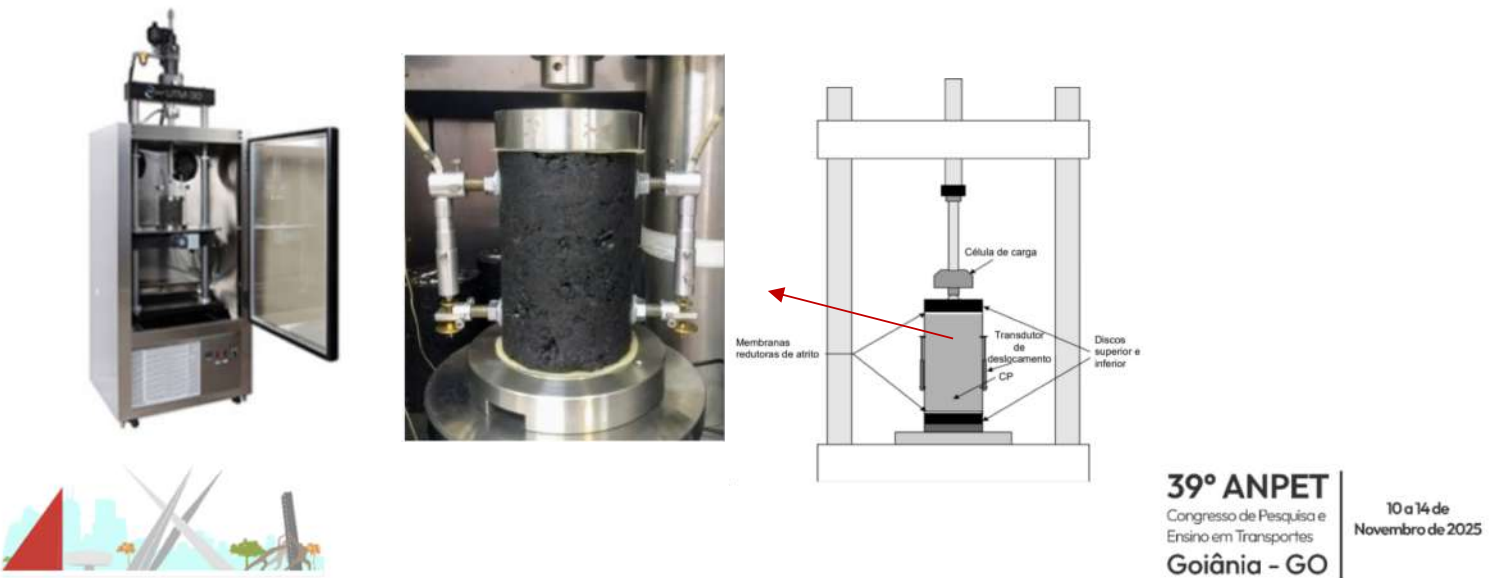
Output: defeito classificado

LabTrans - ICM-DNIT: UFSC

<https://www.labtrans.ufsc.br/ferramenta-e-metodologia-de-apoio-ao-levantamento-do-indice-de-condicao-de-manutencao-icm/>



Fonte: <https://www.roadbotics.com/>



PROPOSTA PRELIMINAR DE UM REPOSITÓRIO NACIONAL ABERTO DE ENSAIOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Melo C.D.R.^{1,2}, Carvalho P.H.J.¹, Mariano, L.G.², Babadopulos L.F.A.L.³, Parente Junior, E.³, Soares, J.B.²

VS.



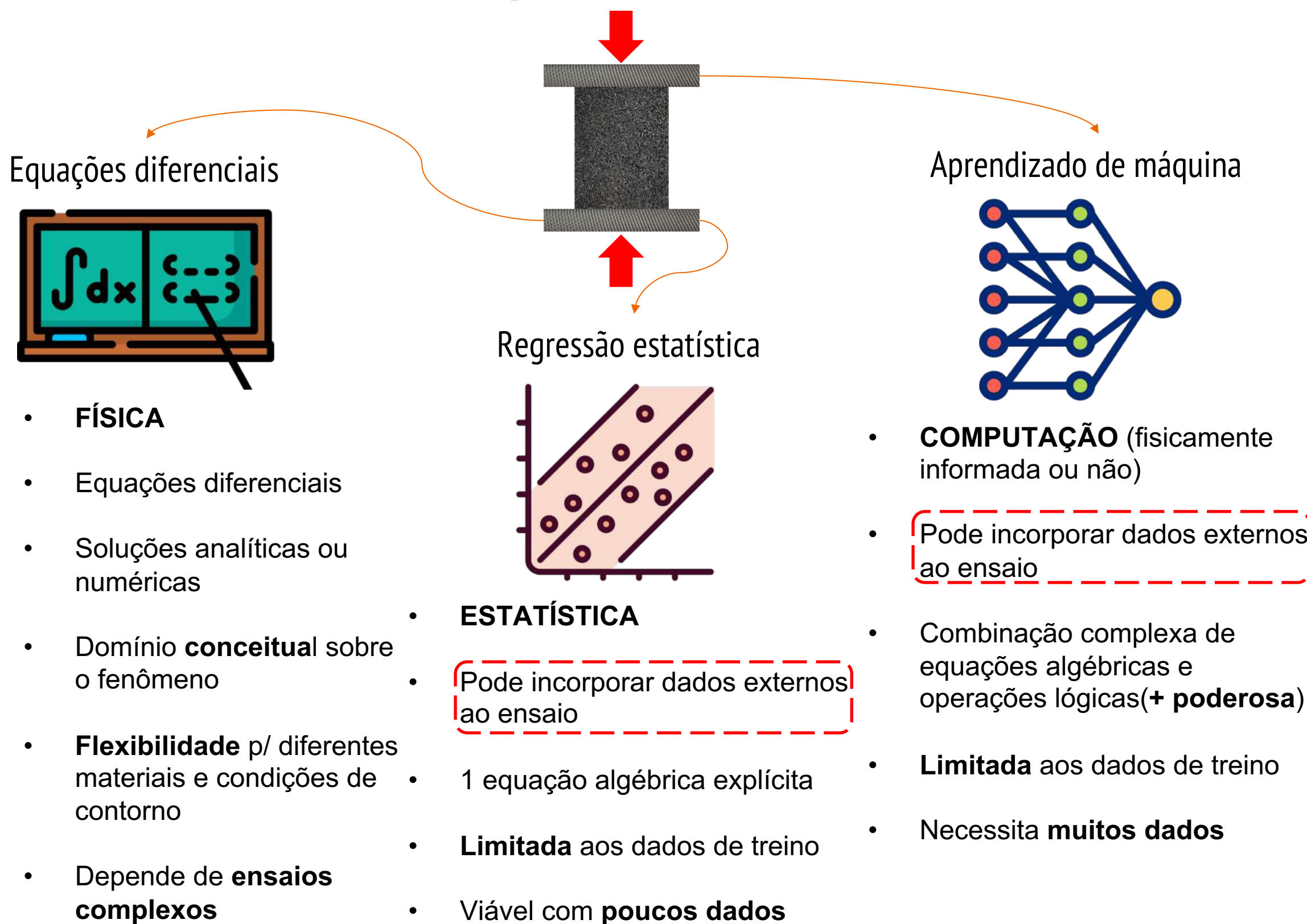
FOTOS PANORÂMICAS
CADÊNCIA: 20m

FOTOS DO PAVIMENTO
CADÊNCIA: 1m



Malha de cerca
de 10 mil km
(1x/ano)

Exemplo de Aplicação de IA: Deformação Permanente de misturas asfálticas



ID	Ligante	PEN	VIS	PA	P1_2	P3_8	P4	P200	TMN	Vv	TL	FN
1	AMP	54.0	1258.0	58.8	79.20	72.58	54.49	3.88	19.0	4.00	5.00	406
2	CAP	28.0	587.5	53.2	79.20	72.58	54.49	3.88	19.0	4.00	5.00	169
3	CAP	28.0	587.5	53.2	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	213
4	AB	69.0	1732.0	55.6	79.20	72.58	54.49	3.88	19.0	4.00	5.40	110
5	CAP	43.0	445.0	48.7	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	140
6	CAP	43.0	445.0	48.7	79.20	72.58	54.49	3.88	19.0	4.00	5.00	95
7	AMP	51.0	810.0	55.1	82.77	76.12	50.81	4.68	19.0	4.00	4.60	339
8	AMP	44.0	1048.7	59.6	82.77	76.12	50.81	4.68	19.0	4.90	4.50	4237
9	AMP	53.0	1229.0	60.9	82.68	64.69	46.58	4.33	19.0	4.00	4.70	3016
10	AMP	53.0	1229.0	60.9	100.00	98.12	74.65	6.44	9.5	2.20	7.30	448
11	AMP	47.0	460.8	52.6	82.68	64.69	46.58	4.33	19.0	4.00	4.60	2288
12	CAP	46.0	458.3	50.2	91.38	77.65	54.20	6.46	12.5	3.70	6.00	27
13	CAP	46.0	458.3	50.2	67.57	62.16	50.62	8.52	25.0	4.80	5.00	49
14	CAP	54.0	350.0	52.1	77.00	64.30	56.20	20.74	19.0	4.00	4.15	354
15	AMP	50.0	995.8	57.6	83.63	68.08	40.54	4.29	19.0	5.48	4.50	1685
16	AMP	50.0	995.8	57.6	83.63	68.08	40.54	4.29	19.0	4.57	4.80	1318
17	CAP	31.0	458.3	53.6	74.71	65.15	43.04	4.72	19.0	4.10	4.95	315
18	CAP	30.0	522.5	55.4	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	215
19	CAP	33.0	477.5	55.4	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	166
20	CAP	32.0	438.3	54.4	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	220
21	CAP	33.0	482.5	53.6	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	177
22	CAP	55.0	387.8	50.1	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	133
23	CAP	55.0	310.0	50.0	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	107
24	CAP	58.0	387.5	50.0	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	110
25	AMP	47.5	1030.0	54.1	88.50	82.90	50.00	5.40	19.0	4.22	5.50	1953
26	CAP	57.6	370.0	47.1	88.50	82.90	50.00	5.40	19.0	4.22	5.50	448
27	CAP	31.0	585.0	52.1	88.50	82.90	50.00	5.40	19.0	4.22	5.50	895

Tecnologias já Desenvolvidas / em Dev

Dashboard alimentado a partir de Fichas de Controle Tecnológico. Uma obra: 13 mil linhas (necessidade OCR).

- TRL 9 – Incorporação da tecnologia
- TRL 8 – Produto testado e qualificado
- TRL 7 – Tecnologia validada em escala
- TRL 6 – Tecnologia validada no mundo real
- TRL 5 – Validação do protótipo
- TRL 4 – Tecnologia validada em laboratório
- TRL 3 – Prova experimental de conceito
- TRL 2 – Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulado
- TRL 1 – Princípios básicos observados e relatados





Impacto

Acelerômetro



GRiR DASHBOARD

6 Projetos 75% 34 Medições 50% 100 Ensaios 35%

Coefficiente de Variação

CE	CV
CE 178	9.6
CE 155	10
CE 010	5.6
CE 050	15.5
CE 040	9
CE 085	8

Medições

CE	Medição	Data	Status
CE 085	Medição 12	03/12/2022	Última medição
CE 265	Medição 12	01/06/2021	Última medição
CE 240	Medição 12	01/02/2021	Última medição

Mapa





+Avaliação de tráfego com IA

+AggregateScan

+SenseAr

+...

MIDR/Horus: fruto do Cientista Chefe



Número de imagens utilizadas para treinamento da IA

Trincas: 1.942

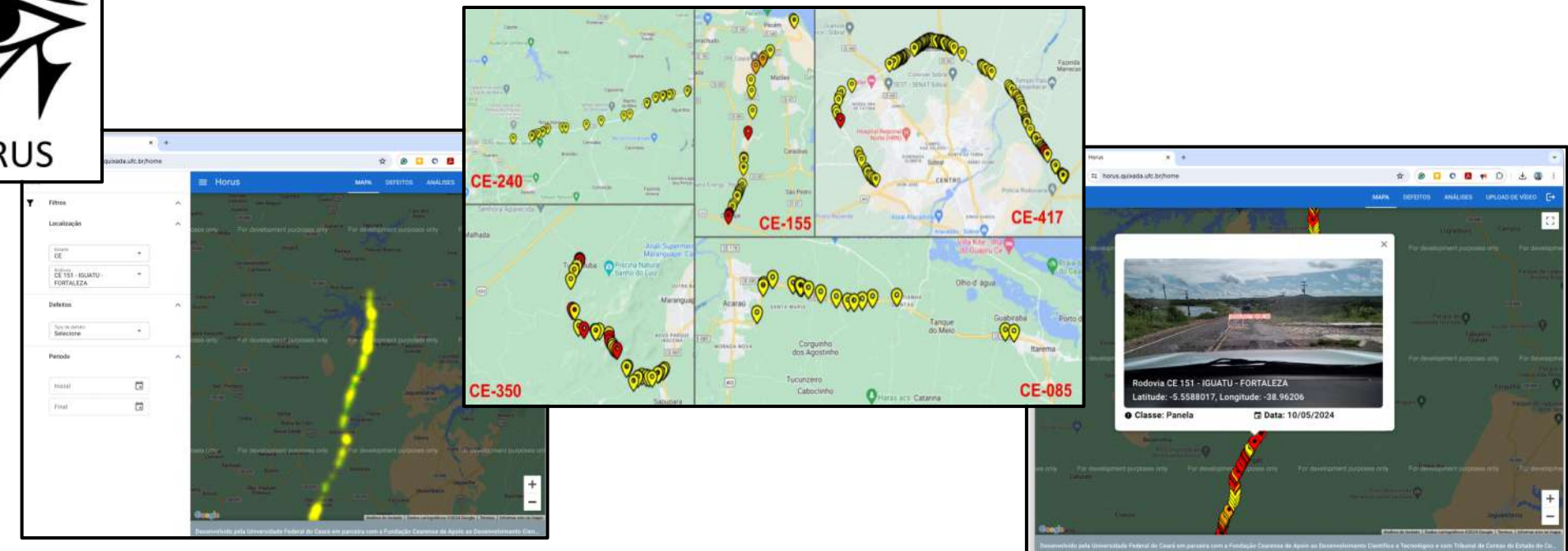
Remendos: 5.166

Panelas: 1.175

Sinalização (warning): 4.549

Sinalização (regulamentação): 5.222

Sinalização (indicação): 2.071

The login form for the HORUS application features the HORUS logo at the top. Below the logo are two input fields: 'Email' and 'Senha' (Password). The 'Senha' field has a toggle icon for visibility. At the bottom, there are two buttons: 'LOGIN' and 'Criar conta' (Create account).

MIDR/Horus: fruto do Cientista Chefe



Treinamento com Motoristas
(4 treinados, 2 usando atualmente)



Acompanhamento de
desempenho do sistema



Novas avaliações
a cada viagem

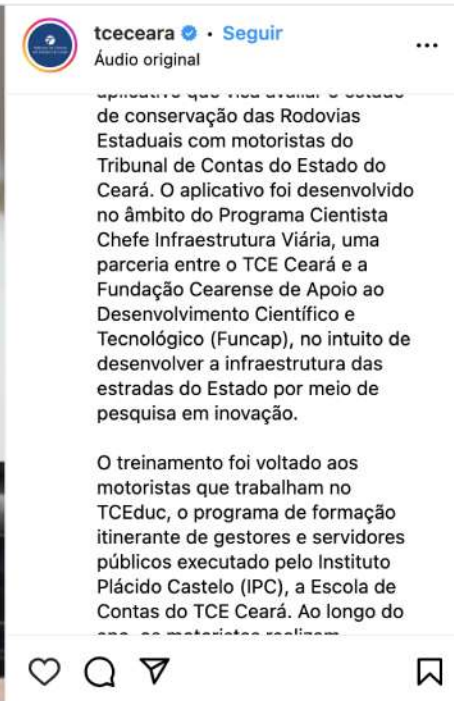
Missões dos motoristas do TCE => dados MIDR

MIDR/Horus: fruto do Cientista Chefe

Geração de Expectativa de Controle Comunicação

Instagram

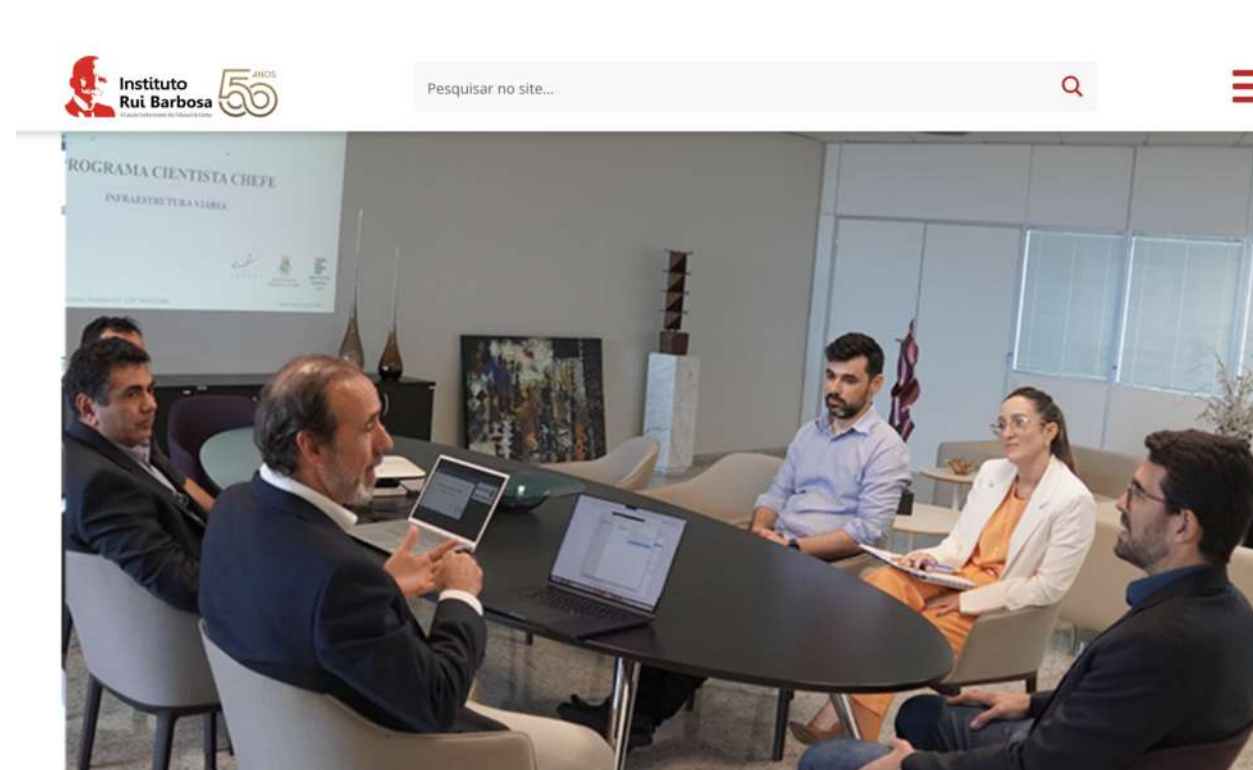
Entrar Cadastre-se



<https://www.instagram.com/reel/C6WlJlar4gg/?igsh=MWp3YWZ2NjNpc3h1Mg%3D%3D>



Siga @inct_infra



Inteligência artificial fortalecerá fiscalização de rodovias no Ceará

21 março, 2024 Equipe Instituto Rui Barbosa

<https://irbcontas.org.br/inteligencia-artificial-fortalecera-fiscalizacao-de-rodovias-no-ceara/>



<https://www.youtube.com/watch?v=Hyvav9rZJ7w&t=8251s>

<https://www.youtube.com/@cientistachefeinfrastrutu8584>

<https://irbcontas.org.br/evento-faz-balanco-das-acoes-do-cientista-chefe-infraestrutura-viaria-e-informa-novo-ciclo-de-atividades/>

<https://irbcontas.org.br/irb-apoia-o-lancamento-do-novo-ciclo-do-projeto-cientista-chefe-no-dia-13-de-maio/>



Futuro do CE: facilitação de tomadas de decisão baseada em evidência



Foco no MIDR/Horus

Imagens e Gerência de Pavimentos

Mapeamento de defeitos em rodovias
para o Tribunal de Contas do Estado
do Ceará




MIDR



Inputs

GPS

Imagem de
defeitos

Estampa
temporal

Output



Uso de imagens de smartphones e
Inteligência Artificial para reconhecer
defeitos automaticamente.

Atualmente o modelo é especializado
em Trincas, Remendos e Panelas.

Equipe MIDR/Horus



Jorge Soares



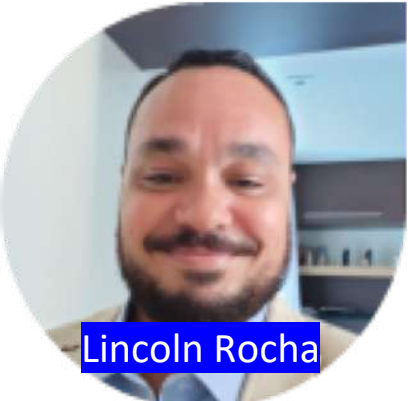
Lucas Babadopulos



Haikel Busgaib



Saulo Freitas



Lincoln Rocha



Bruno Gois



Raul Bezerra



Ramon Ruan



Mateus Lima



Klayver Paz



Bruno Lopes



Heron Veríssimo



Jônatas Brito

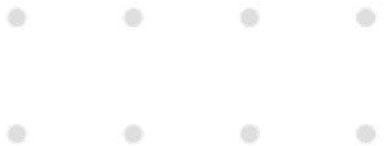


Juliana Figueiredo



Lucas Silva

Interlocutores do TCE e de outros parceiros (*product owners*
"externos")

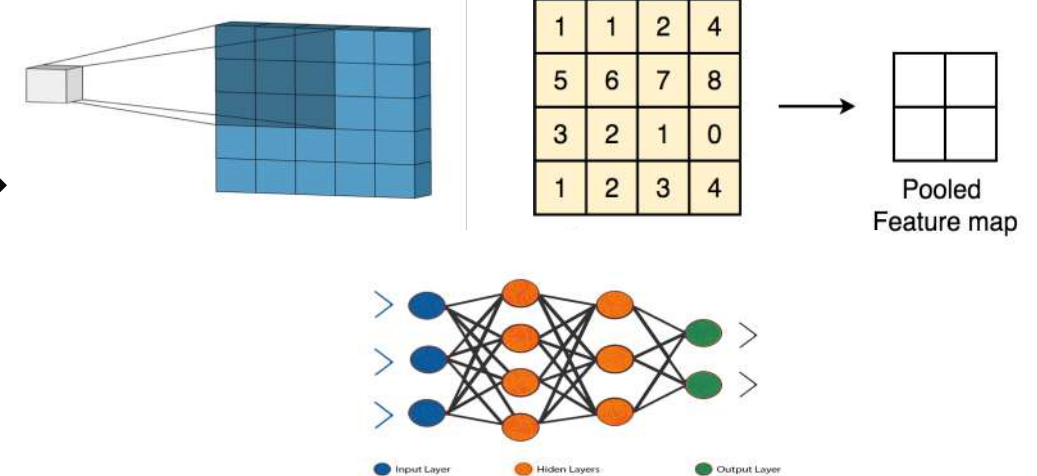
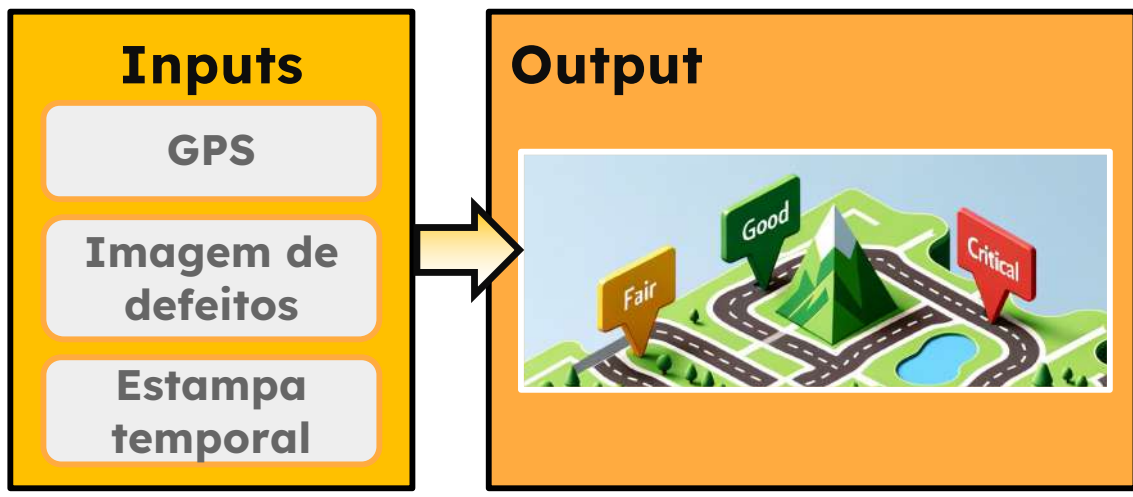


Detecção Automática de Defeitos

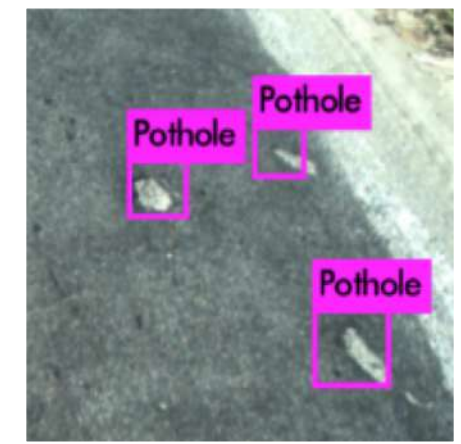
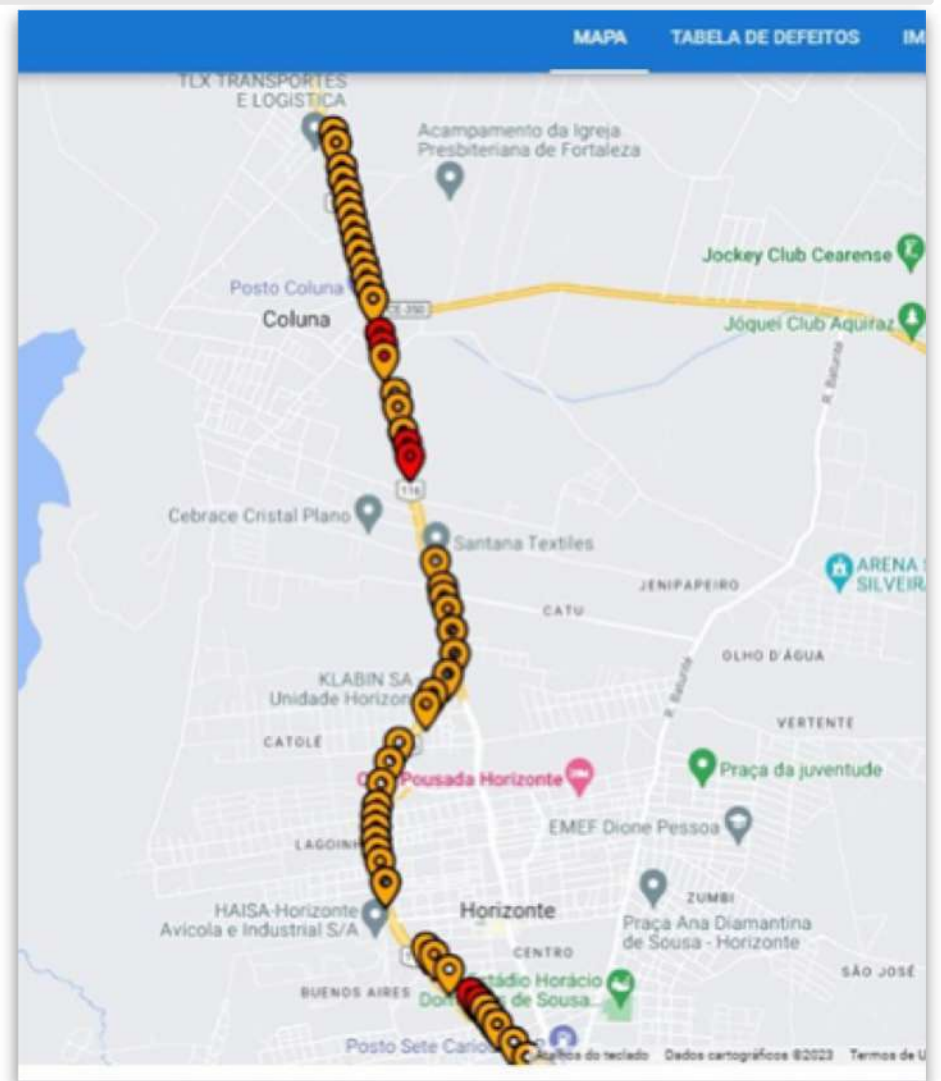
Coleta de grandes quantidades de imagens



Processamento das imagens com Deep Learning



Manejo de dados em larga escala



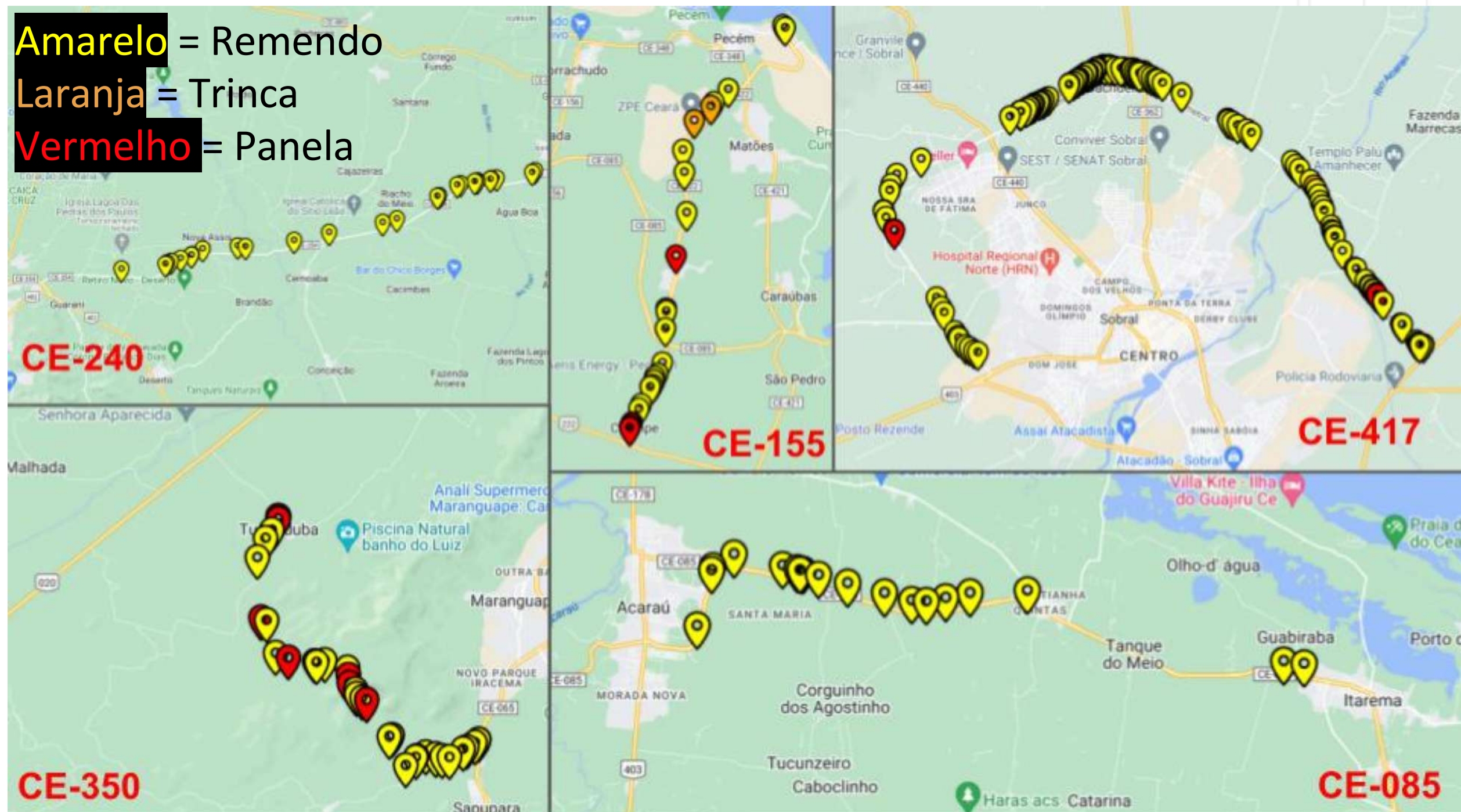
Heatmaps

A contagem de defeitos e irregularidade são registradas

Quantidade de defeitos comparadas com a prevista em projeto

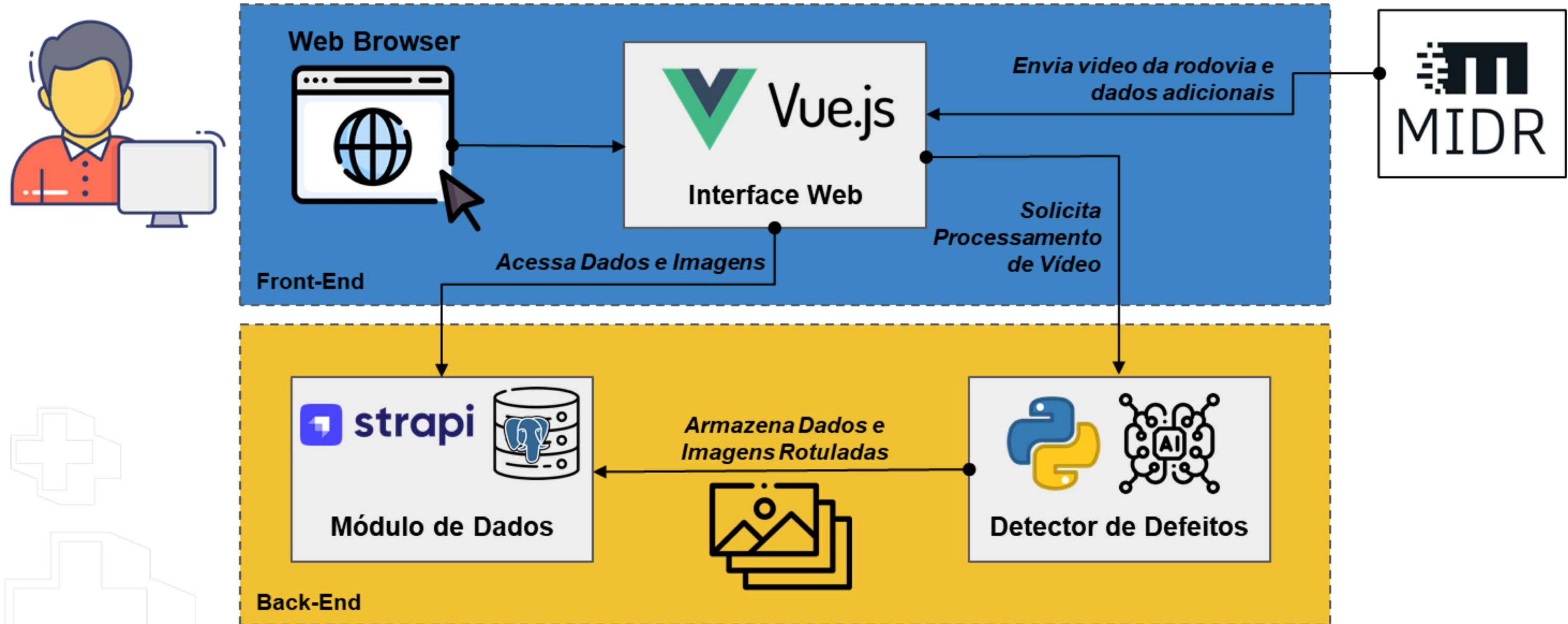
Parecer inicial sobre a qualidade das obras rodoviárias

Amarelo = Remendo
Laranja = Trinca
Vermelho = Panela



O Sistema MIDR/Horus é uma ferramenta de baixo custo que auxilia na auditoria de obras de infraestrutura viária.

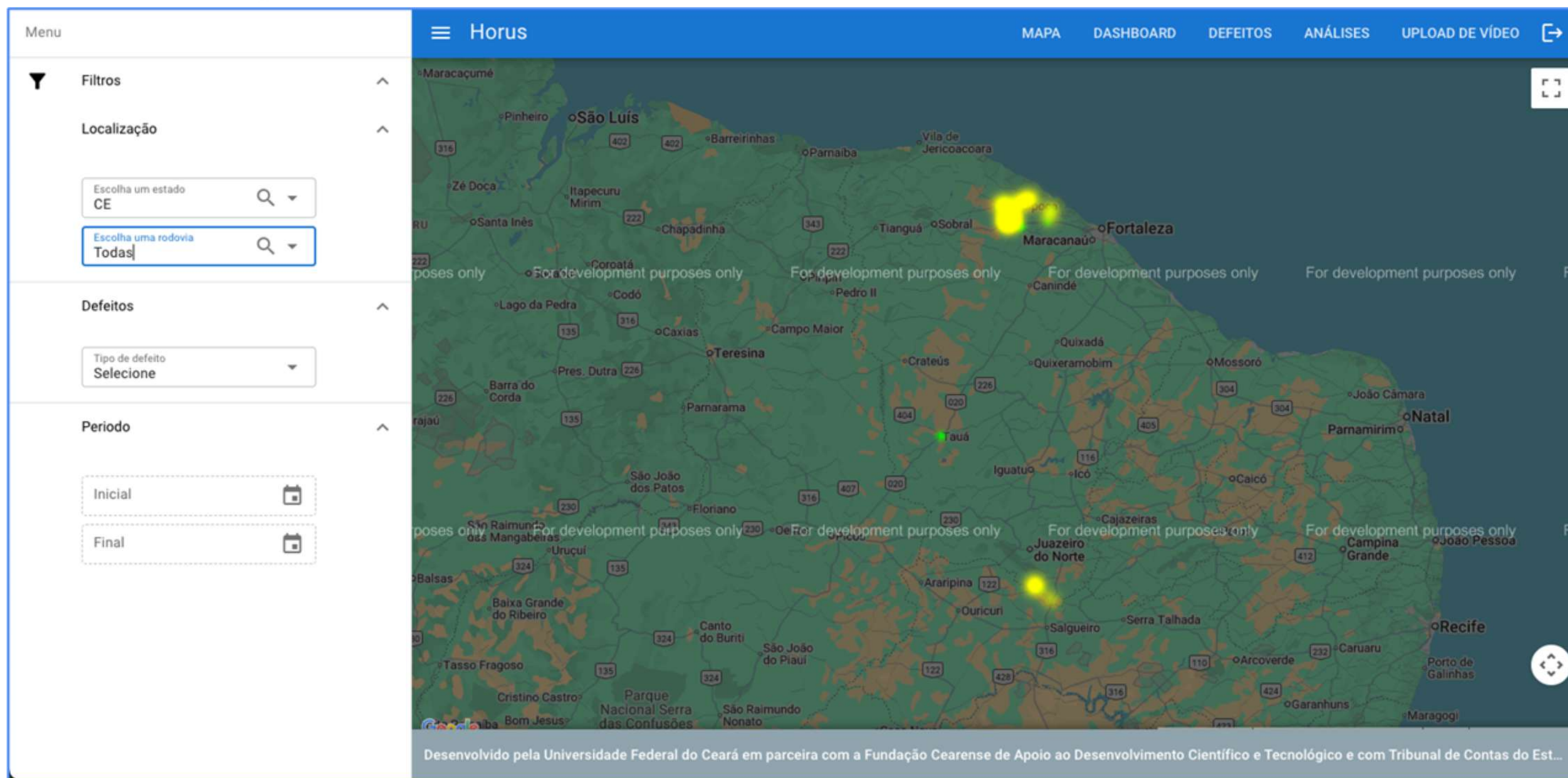
Arquitetura



Horus

Mapas Interativos

A visualização distingue o tipo de defeitos ao mostrá-los. Suporte a visualização tradicional e mapa de calor.



Horus



Visualização em Mapa

Os defeitos identificados aparecem na latitude e longitude apontada durante a análise da rodovia.

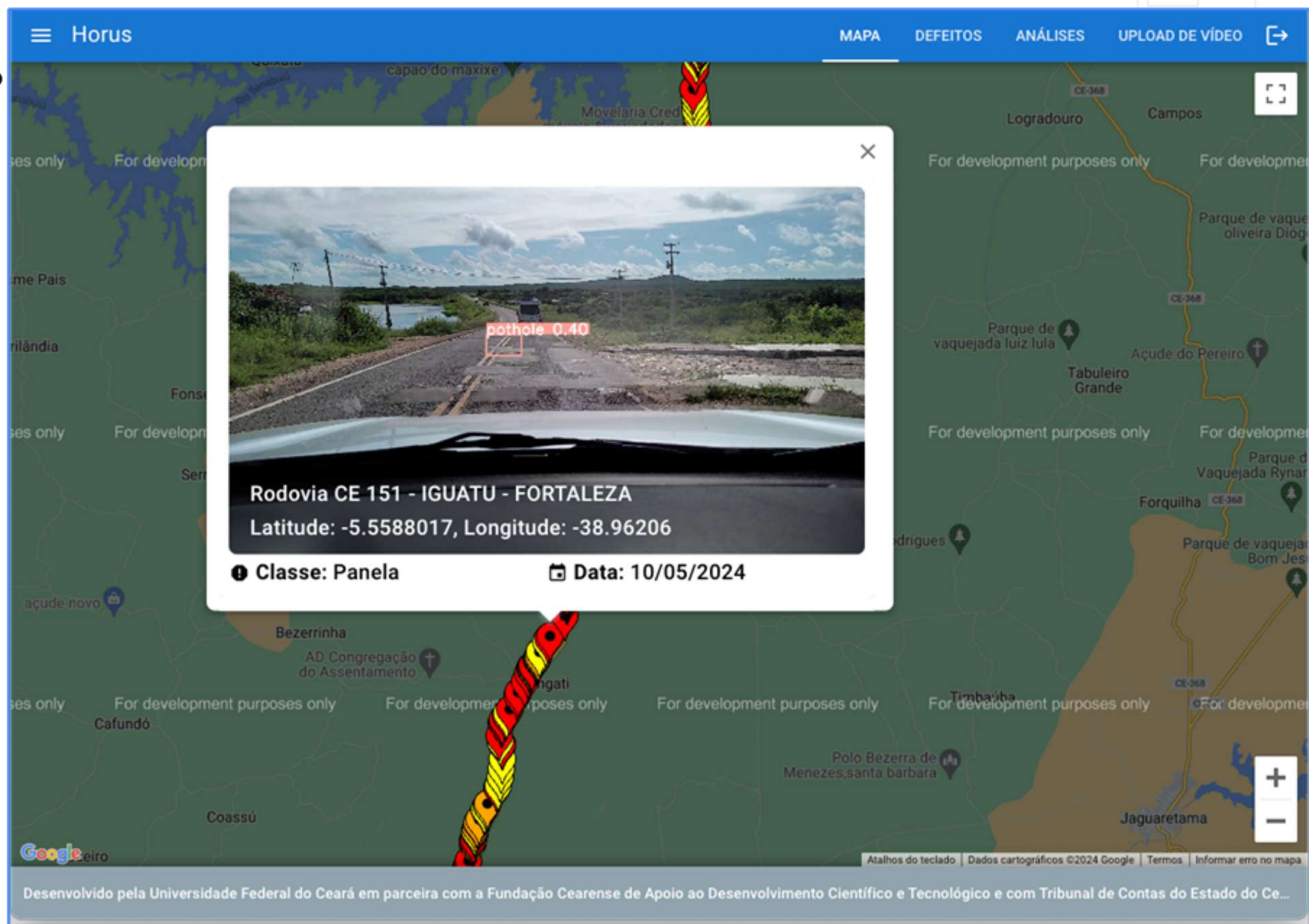


Horus

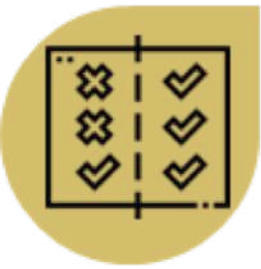


Estado Atual das Vias

Uma vez que a via foi analisada é possível saber quantos defeitos e qual o tipo de cada defeito de forma simples.



Horus



Análise Comparativa*

Vias que foram analisadas mais de uma vez podem passar por um análise comparativa.

Horus

MAPA

DASHBOARD

DEFEITOS

ANÁLISES

UPLOAD DE VÍDEO

Escolha u...
CE

Escolha u...
Todas

Buscar

Dashboard de rodovias

Rodovia ↑	Número de análises	Rachadura	Remendo	Panela	Defeitos totais	Ações
CE 168 - TESTE	1	0	0	5	5	
CE 390	1	4	8	3	15	
CE-243-URUBURETMA-ITAPAJÉ	2	9	11	10	30	
CE-333-CEMOABA-TURURU	2	1	10	4	15	
CE-341-CROATÁ-ENTR.CE-085	1	2	20	1	23	
CE-354 - CONTORNO DE ITAPIPOCA - PD	1	3	20	4	27	
CE-354 - CONTORNO DE ITAPIPOCA - PE	1	0	14	3	17	
CE-354 - ENTR.BR-222-SÃO JOAQUIM	1	0	3	6	9	
CE-354 - PARRA-ITAPIPOCA	1	3	5	2	10	

Rodovias por página: 10 1-9 de 9

Desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará em parceria com a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico ...

Horus

MAPA

DASHBOARD

DEFEITOS

ANÁLISES

UPLOAD DE VÍDEO

Escolha u...
CE

Escolha u...
CE-243-U

Buscar

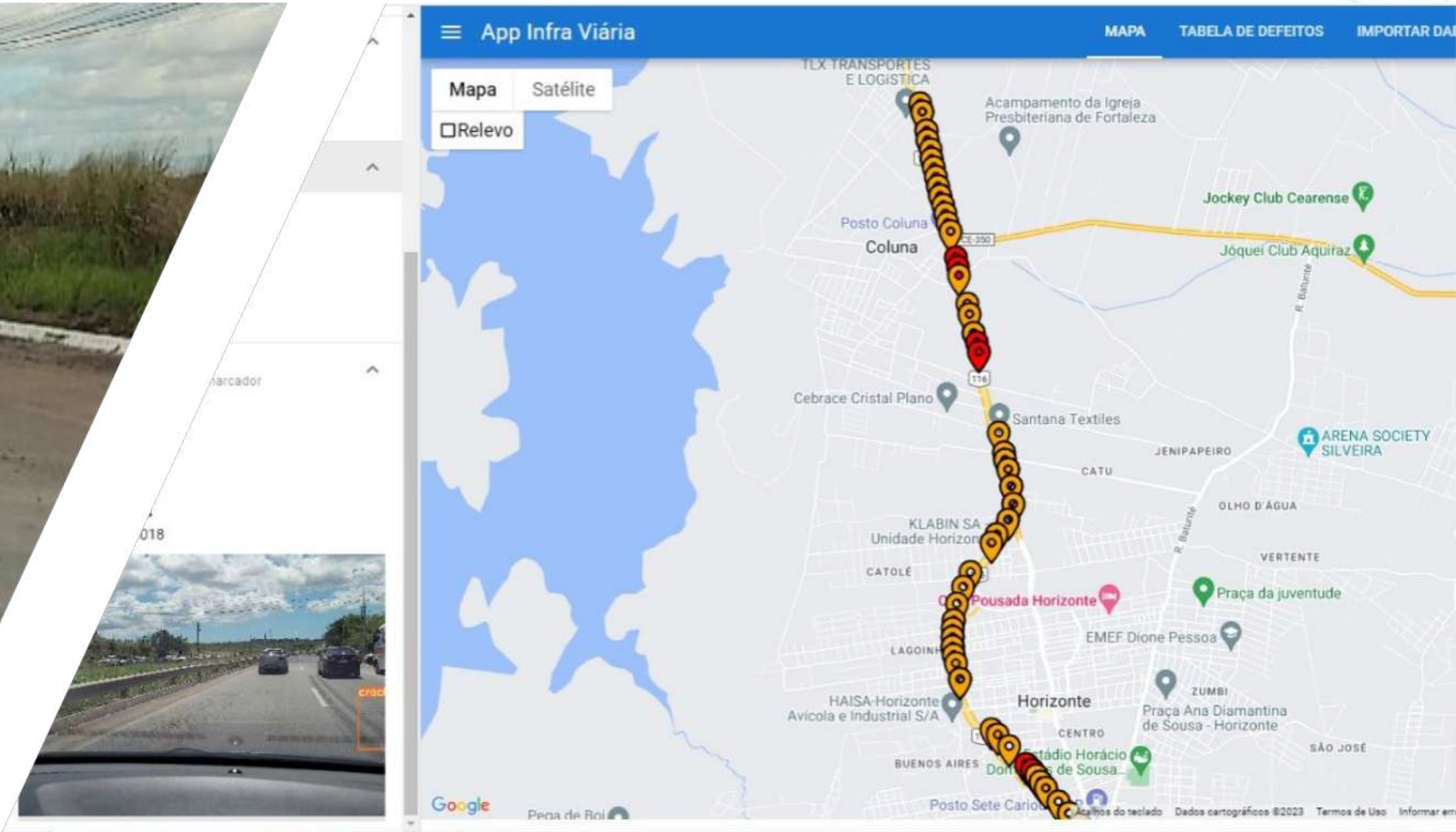
Dashboard de rodovias

Rodovia ↑	Número de análises	Rachadura	Remendo	Panela	Defeitos totais	Ações
CE-243-URUBURETMA-ITAPAJÉ	2	9	11	10	30	

Rodovias por página: 5 1-1 de 1

Desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará em parceria com a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e T...

Métricas e Melhoria Sistemática

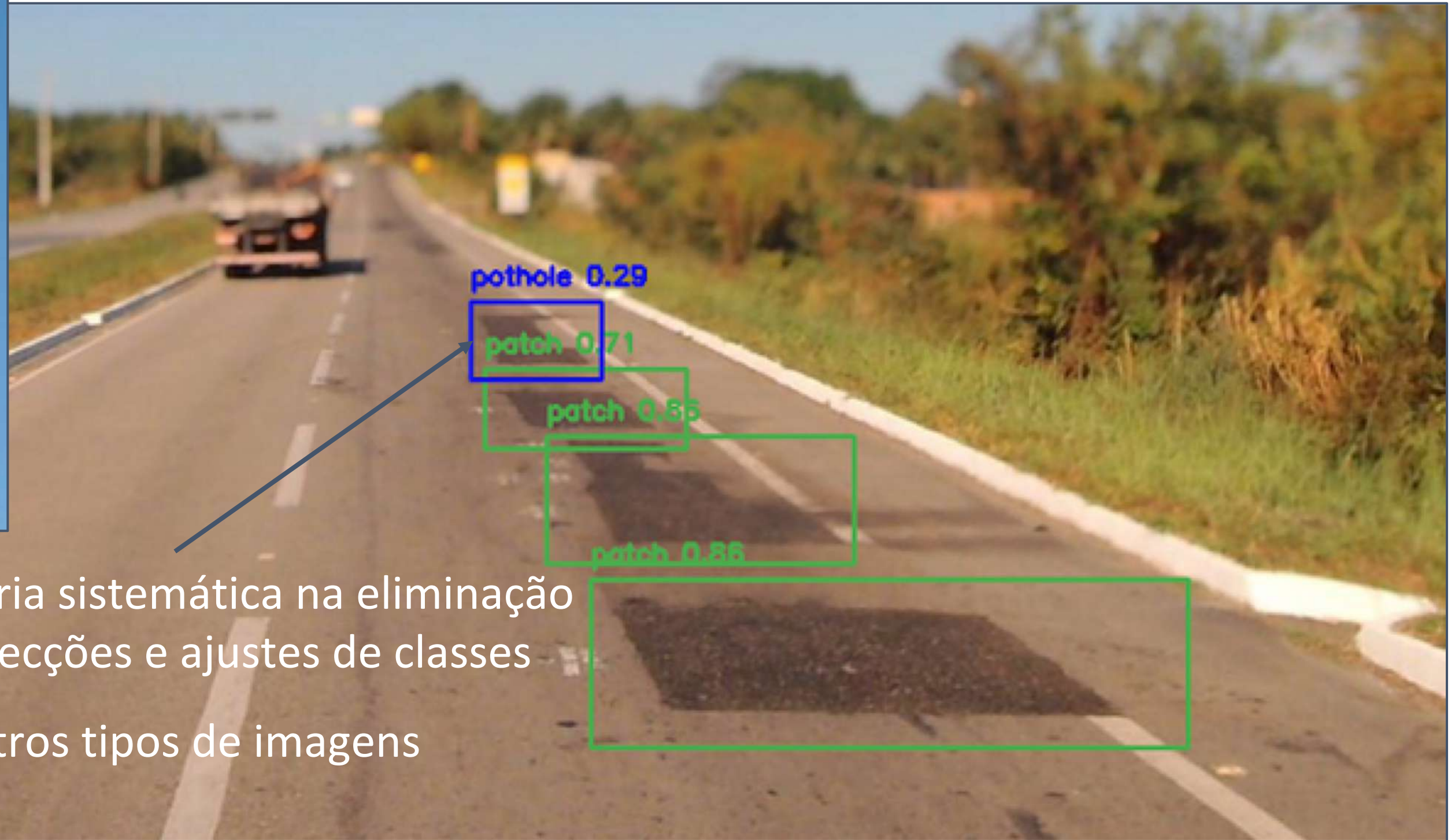


Publicações científicas

Classes	Precisão (%)	Revocação (%)	F1-Score (%)
Média	74.7	71.7	72.3



Atualizações em Curso



OBS.: Melhoria sistemática na eliminação de falsas detecções e ajustes de classes
+ uso de outros tipos de imagens



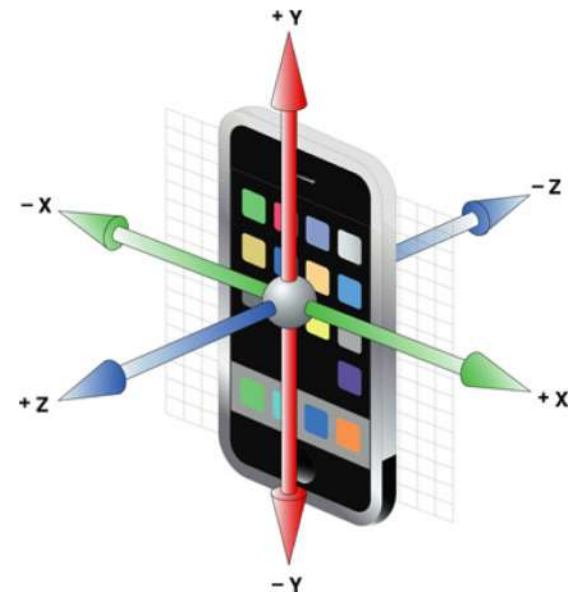
Detecções simultâneas e sinalização



OBS.: Melhoria sistemática na eliminação de falsas detecções e ajustes de classes

Atualizações em Curso

Irregularidade longitudinal é a variação da superfície do pavimento ao longo do eixo da via, que afeta o conforto, a segurança e o desempenho dos veículos.



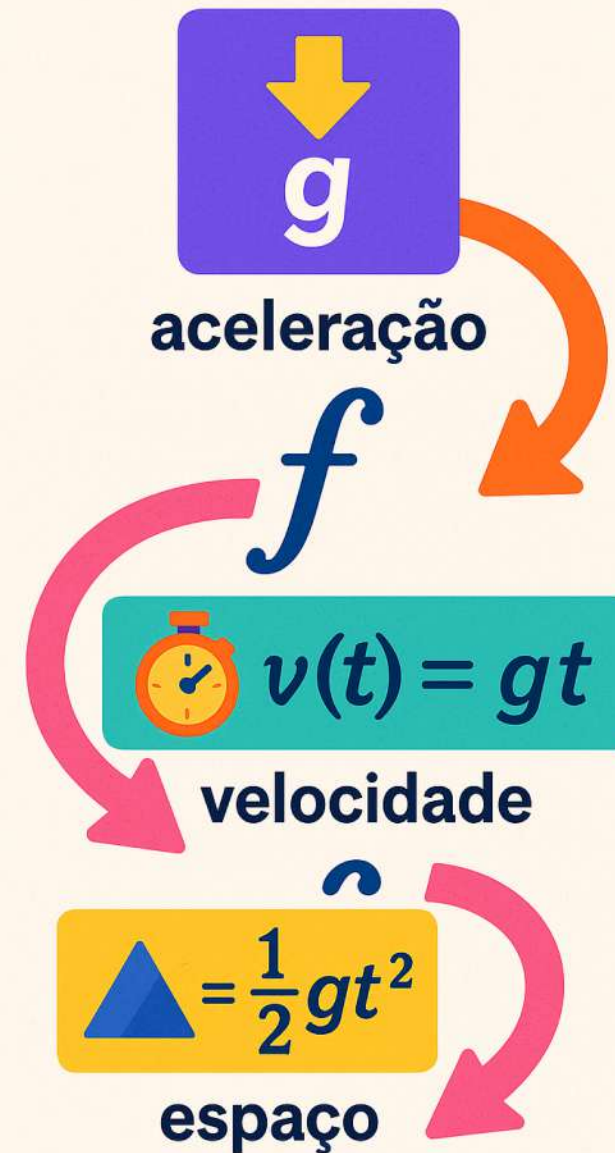
Inputs

GPS

Aceleração

Estampa temporal

Output



Uso de acelerometria e contagem de defeitos com *smartphones* e para prever a irregularidade longitudinal sem uso de perfilômetros.

Atualmente o modelo utiliza de ferramentas matemáticas e de regressão.

Estudo preliminar sobre irregularidade

Correlação de contagem de defeitos por meio dos índices de gravidade global (IGG) e índice de gravidade expedito (IGGE)

DNIT 006/2003 – PRO – Levantamento Visual Contínuo para avaliação da condição de superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos.

DNIT 008/2003 – PRO – Procedimento para cálculo do IGG.

DNIT 009/2003 – PRO – Procedimento para cálculo do IGGE.



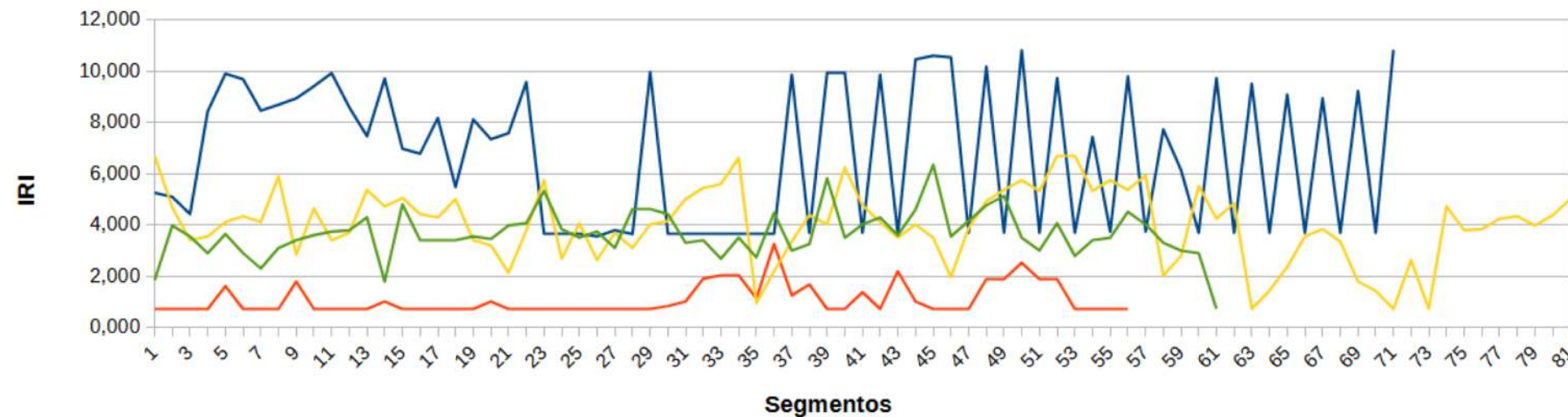
Estudo preliminar sobre irregularidade

- Correlação Irregularidade x Levantamento de defeitos

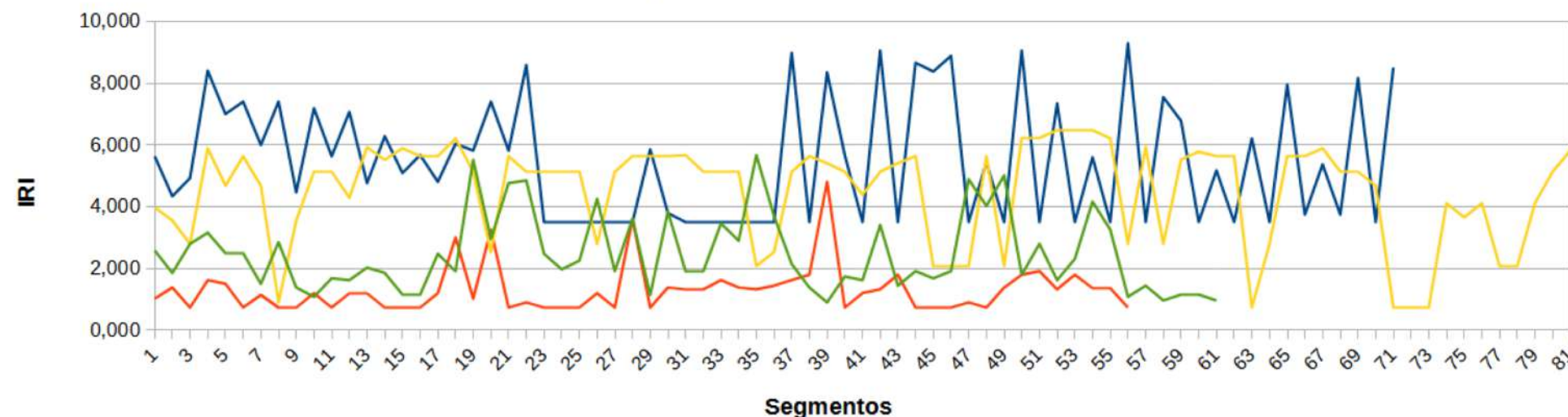
Resumo aprovado!



IRI dos segmentos das Rodovias via IGG



IRI dos segmentos das Rodovias via IGGE



Rodovia 01 — Rodovia 02 — Rodovia 03 — Rodovia 04

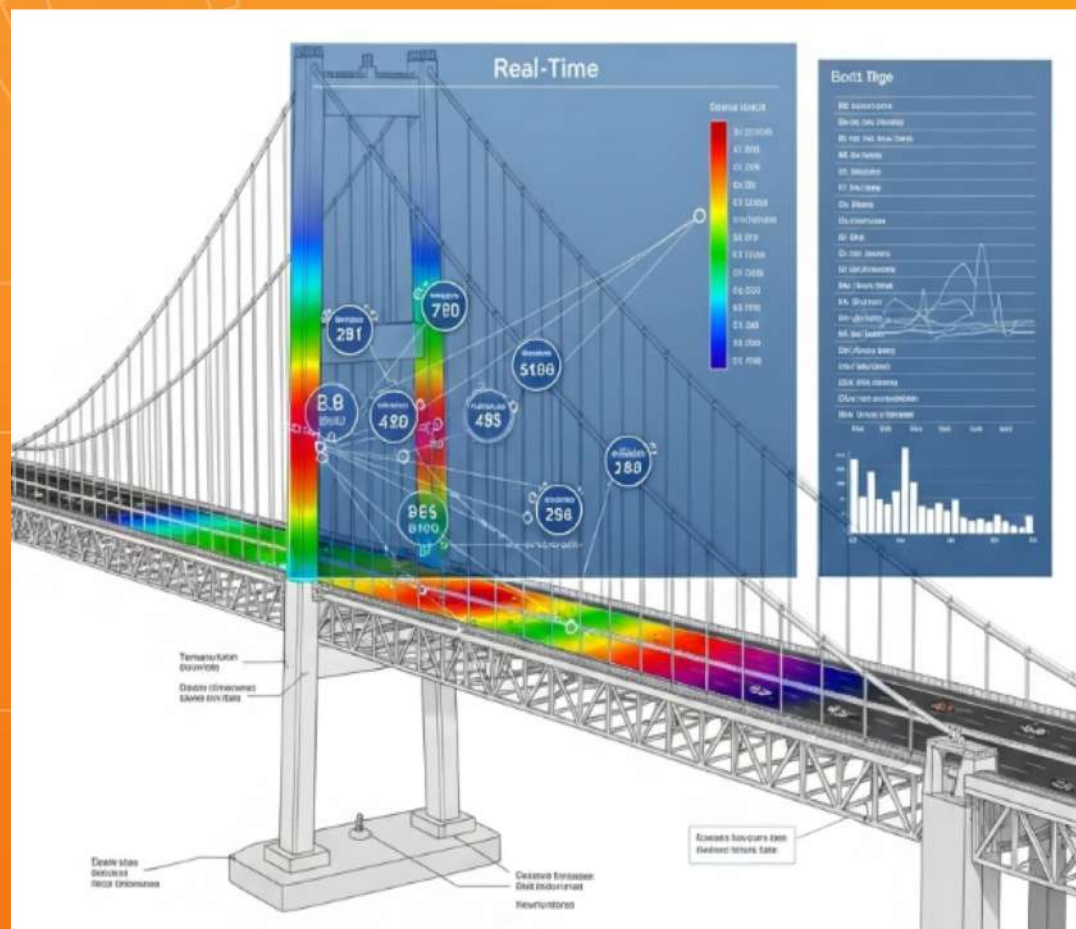
A Rodovia 01 apresenta a **pior** condição. A Rodovia 02 apresenta a **melhor**, e as Rodovias 03 e 04 apresentam condições **medianas**.

Ambos os gráficos possuem o **mesmos padrões**.

PRÓXIMOS PASSOS:

Correlacionar resultados do modelo desenvolvido com os de deslocamentos calculados a partir de acelerometria do *smartphone*

Lookahead: "Futuro" de aplicações de IA em Infraestrutura segundo a literatura



OBS.: imagens de IA geradas a partir de artigos do grupo e de outros consultados em jornais de alto impacto

Aplicação de *Large Language Models* (LLMs)

Controle e Otimização de Sinais de Trânsito (área historicamente com mais **abundância de dados**)

- Automatiza e auxilia o projeto complexo de **temporização de sinais**.
- Melhora o fluxo de tráfego, reduzindo atrasos e paradas.
- Permite **controle adaptativo** responsivo a condições em tempo real e eventos raros (veículos de emergência, incidentes).
- Aumenta a **interpretabilidade** do sistema.

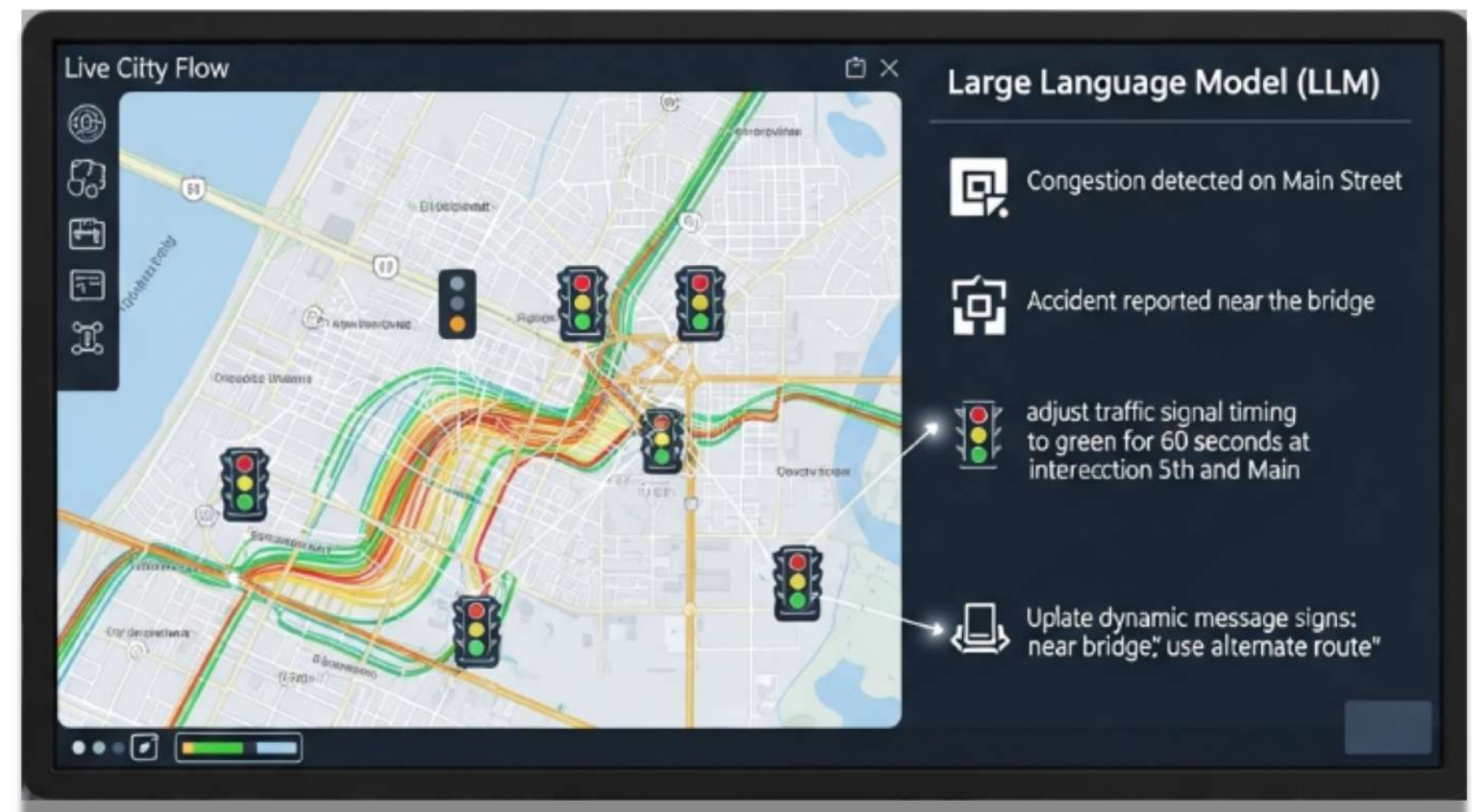


Imagem gerada por IA

JIN, KyoHoon et al. *TrafficBERT: Pre-trained model with large-scale data for long-range traffic flow forecasting*. **Expert Systems with Applications**, v. 186, p. 115738, 2021.

Physics-informed Neural Networks

- Usa **Physics-Informed Neural Networks (PINNs)** para capturar relações físicas entre perfil longitudinal de pavimento e resposta da suspensão.
- Permite calibrar previsões de **International Roughness Index (IRI)** utilizando dados de veículos conectados e ensaios de campo da *Ford Motor Company*.
- O modelo pré-treinado com conhecimento físico retém interpretabilidade e mantém baixa tendência e erro padrão em validações diversas.

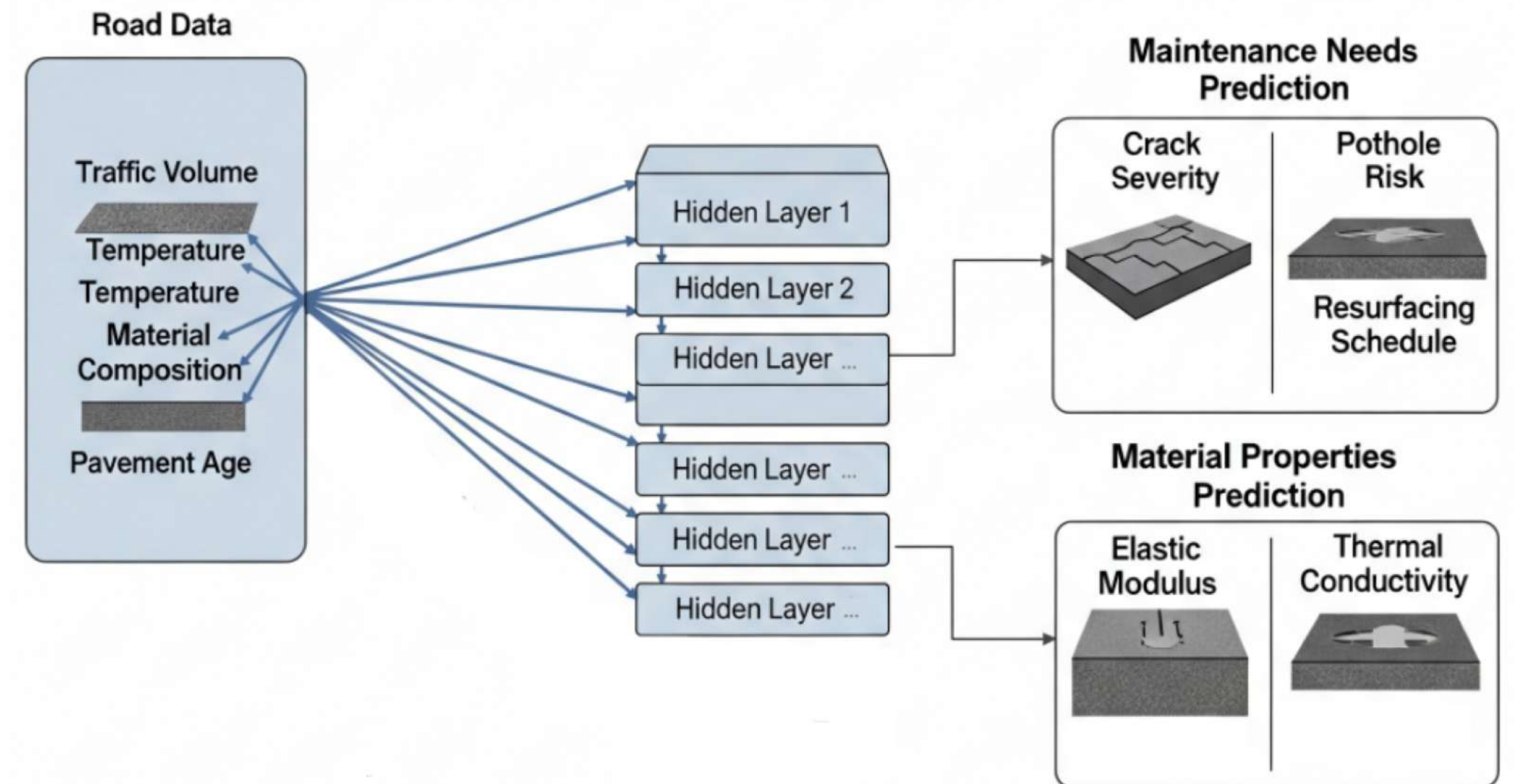


Imagem gerada por IA

Kargah-Ostadi, N., Vasylevskyi, K., Ablets, A., & Drach, A. (2024). **Physics-informed neural networks to advance pavement engineering and management. *Road Materials and Pavement Design*, 25(11), 2382–2403.** OBS.: PhD Penn State e 3 consultorias.

OBS.: autoria por grupo de consultoria (como em outras indústrias, talvez a tendência futura nas ferramentas seja empresas acelerarem, pela natureza "ágil" dos problemas) => Futuras spin-offs dos laboratórios?

Digital Twins e Reinforcement Learning

- **Manutenção** ferroviária tradicional, seja corretiva ou preventiva, é ineficiente. propõe uma nova abordagem que integra **Deep Reinforcement Learning (DRL)** e **Gêmeos Digitais (Digital Twin)** para otimizar a manutenção e aumentar sua eficiência.
- **Réplica virtual (Digital Twin)** de um trecho da ferrovia que usa dados reais de geometria dos trilhos e defeitos de componentes.
- **Agente de inteligência artificial (IA)** simula diferentes estratégias de manutenção e aprende, com base em custos e defeitos, qual é a melhor abordagem para otimizar as operações.
- Redução de 21% nas atividades de manutenção e 68% nos defeitos, demonstrando a eficácia da tecnologia.

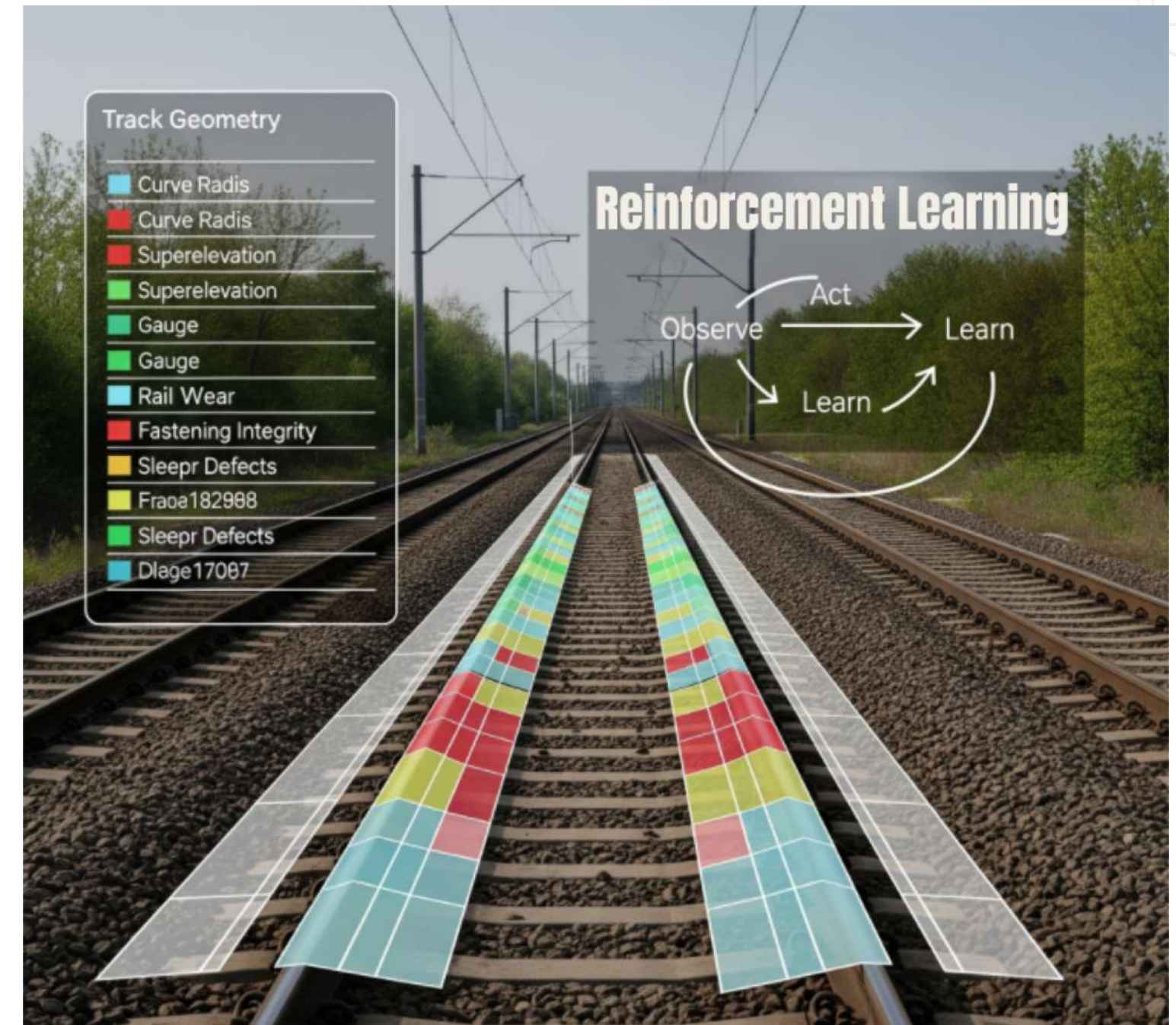


Imagem gerada por IA

SRESAKOOLCHAI, Jessada; KAEWUNRUEN, Sakdirat. **Railway infrastructure maintenance efficiency improvement using deep reinforcement learning integrated with digital twin based on track geometry and component defects.** Scientific Reports, v. 13, n. 1, p. 2439, 2023.

Jornal da Nature.

Monitoramento baseado em *Digital Twin*

- **Monitoramento da Estrutura:** A tecnologia cria uma **réplica virtual da ponte (Digital Twin)**, alimentada por dados de sensores reais.
- **Sensores Virtuais:** O modelo virtual usa **simulações de elementos finitos (FE)**, transformando cada ponto da réplica em um "sensor virtual". Isso permite monitorar o desempenho da ponte inteira de forma contínua.
- **Manutenção Inteligente:** A integração de tecnologias como a **modelagem 3D e Data Science** permite um monitoramento não destrutivo, resultando em maior vida útil da estrutura e menor custo de manutenção.

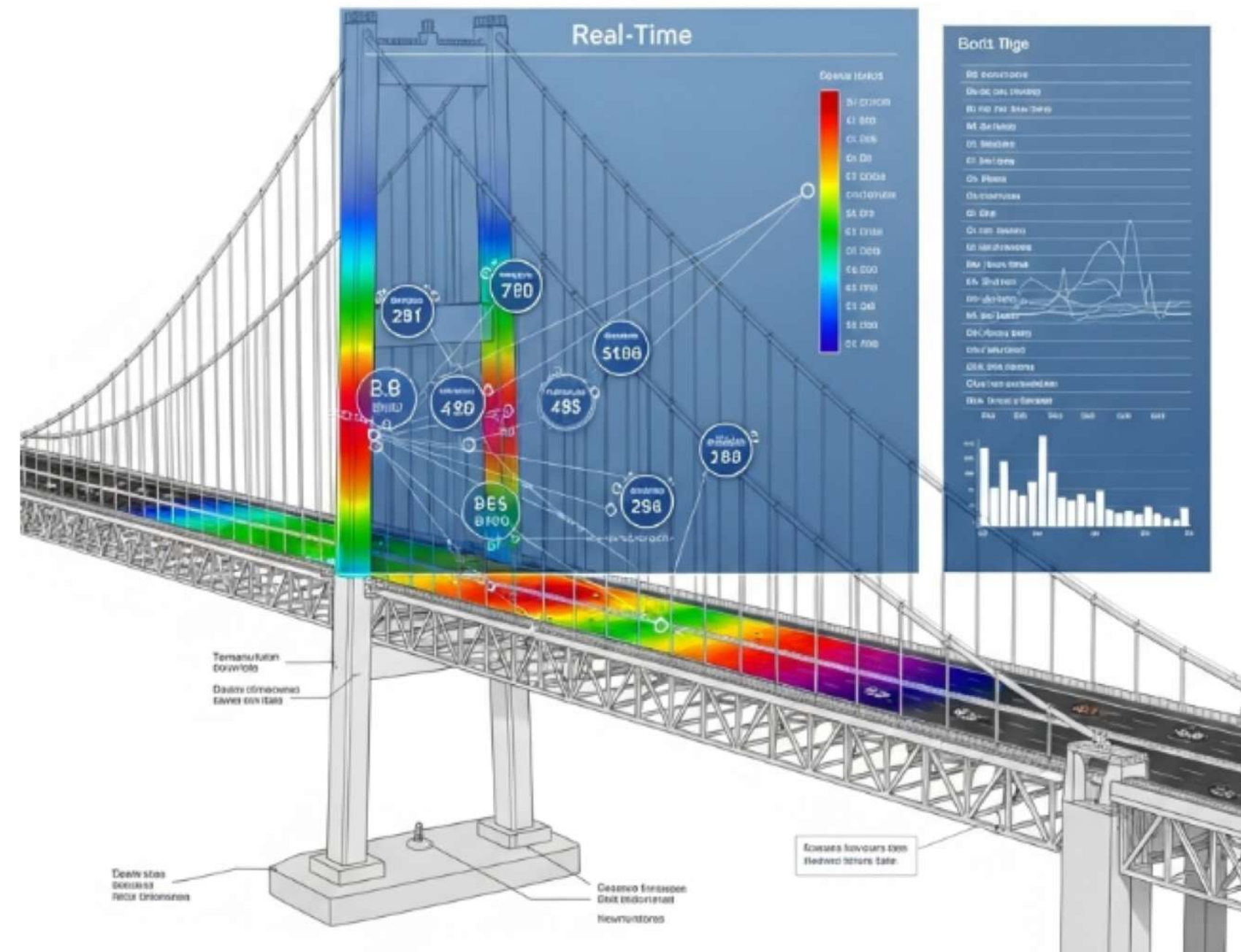


Imagem gerada por IA

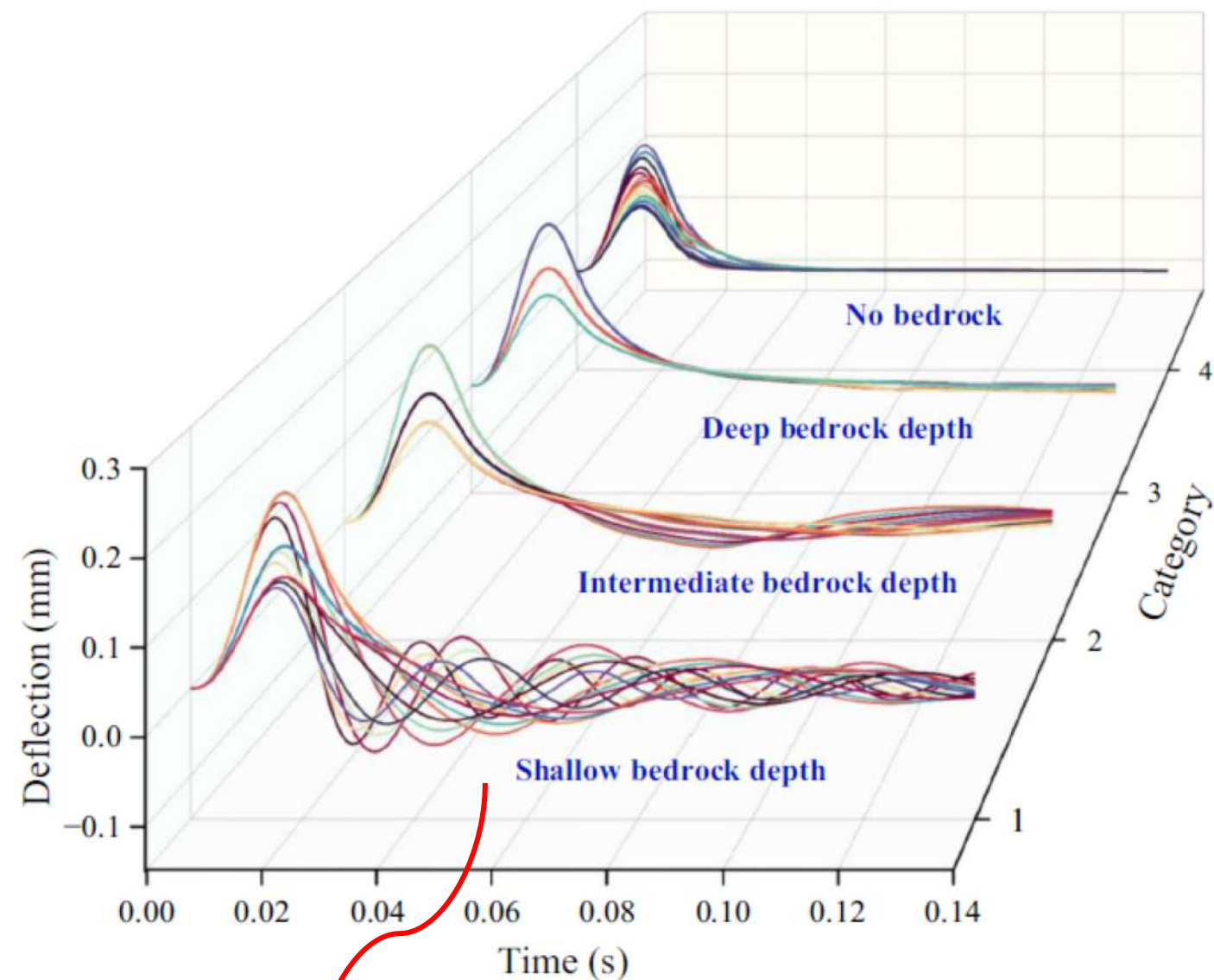
LAI, Xiaonan et al. Digital twin-based non-destructive testing for structural health monitoring of bridges. *Nondestructive Testing and Evaluation*, v. 39, n. 1, p. 57-74, 2024.



Lookahead: "Futuro" de projetos no INCT-Infra

Detecção de Leito Rochoso em Rodovias

PROBLEMA – Leito Rochoso raso afeta ensaios deflectométricos e avaliações estruturais



INFO: Rochas rasas provocam reflexão de ondas e elevam a frequência de vibração dos sensores de deflexão

Ensaio Falling Weight Deflectometer



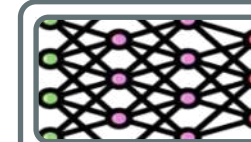
Estimação de profundidade



Equações de regressão
(Rhode & Smith, 1991; Chen et al, 1999)



Bancos de Dados
(Uzan, 1998)

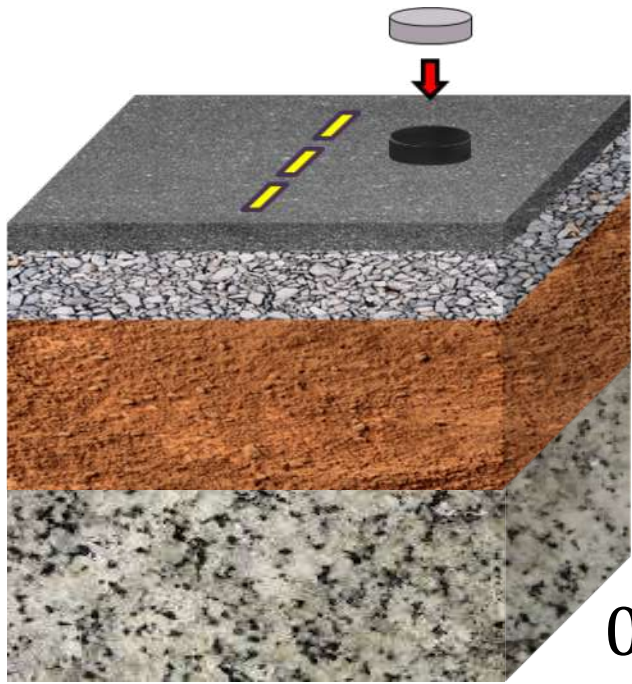


Machine Learning – Classificação ou Regressão (Wang et al, 2024)

Detecção de Leito Rochoso em Rodovias

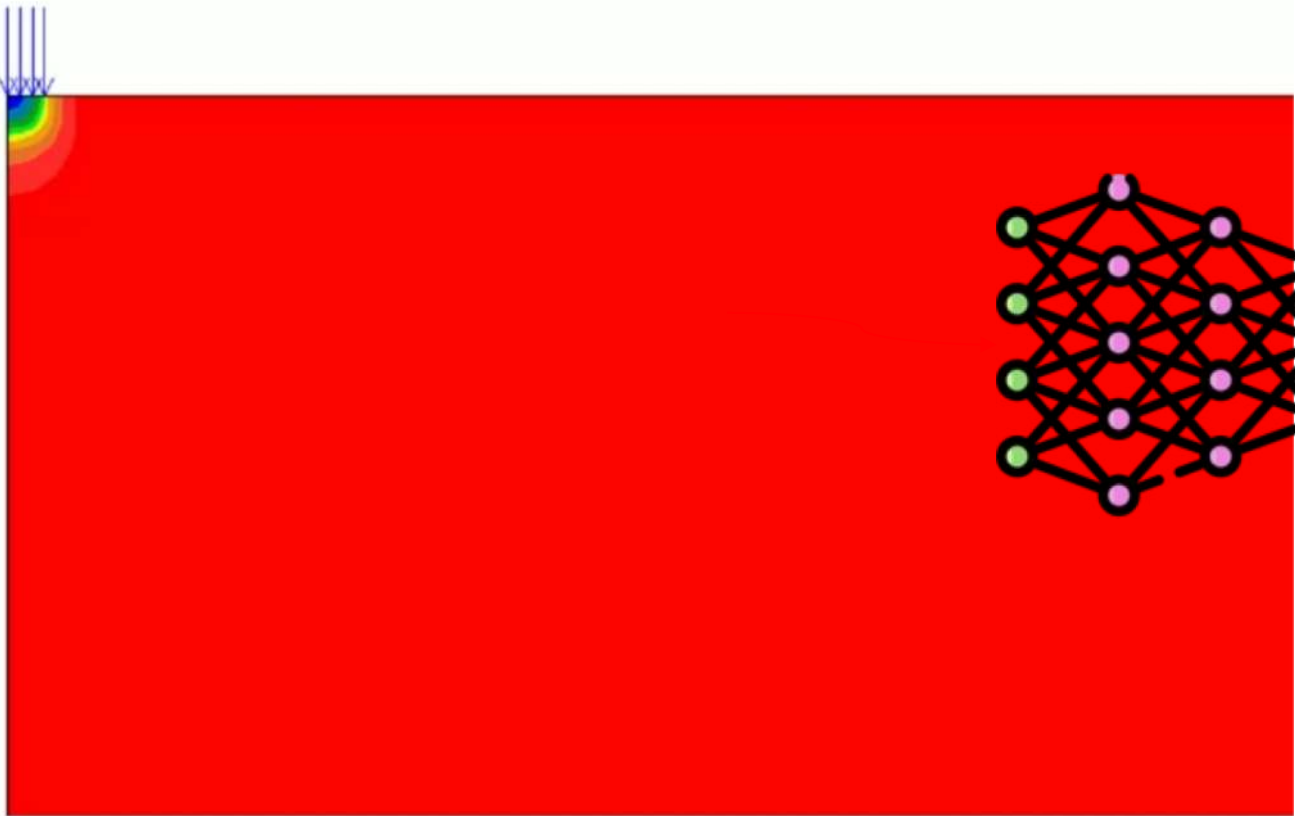
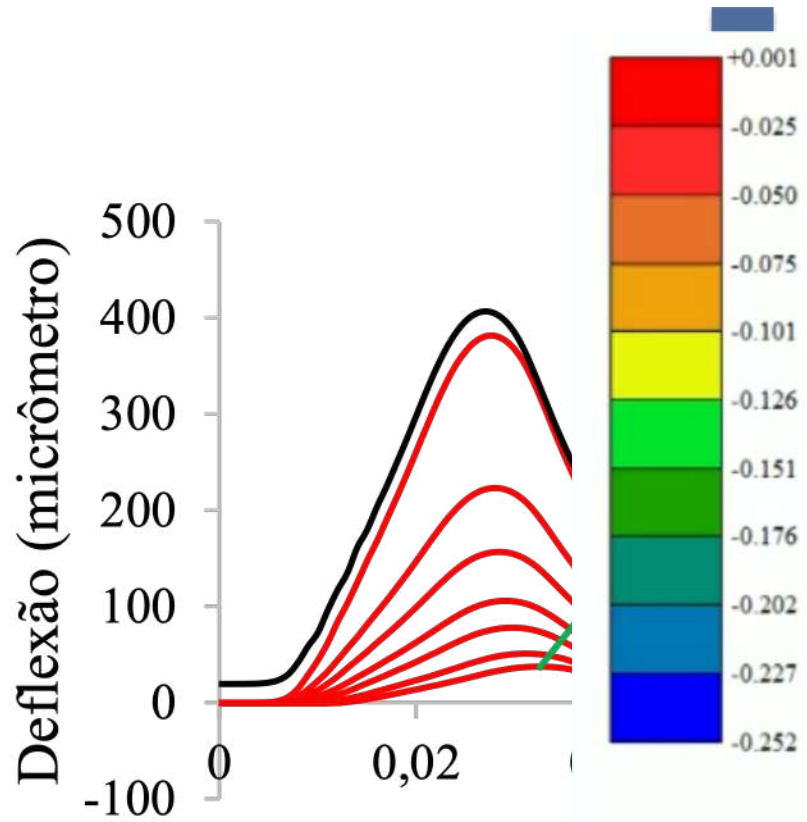
AMOSTRAGEM - SIMULAÇÃO DE ENSAIOS FWD (DINÂMICO) – SOFTWARE CAP3D

Camada	h (cm)	E (MPa)	ν	γ (kg/m ³)
Revestimento	3 a 15	500 a 6000	0,30 a 0,40	2000 a 2400
Base	10 a 20	100 a 800	0,25 a 0,40	1500 a 2000
Sub-base	10 a 20	100 a 800	0,25 a 0,40	1500 a 2000
Subleito	100 a 1200	100 a 800	0,25 a 0,40	1500 a 2000



$H \times 15.000$

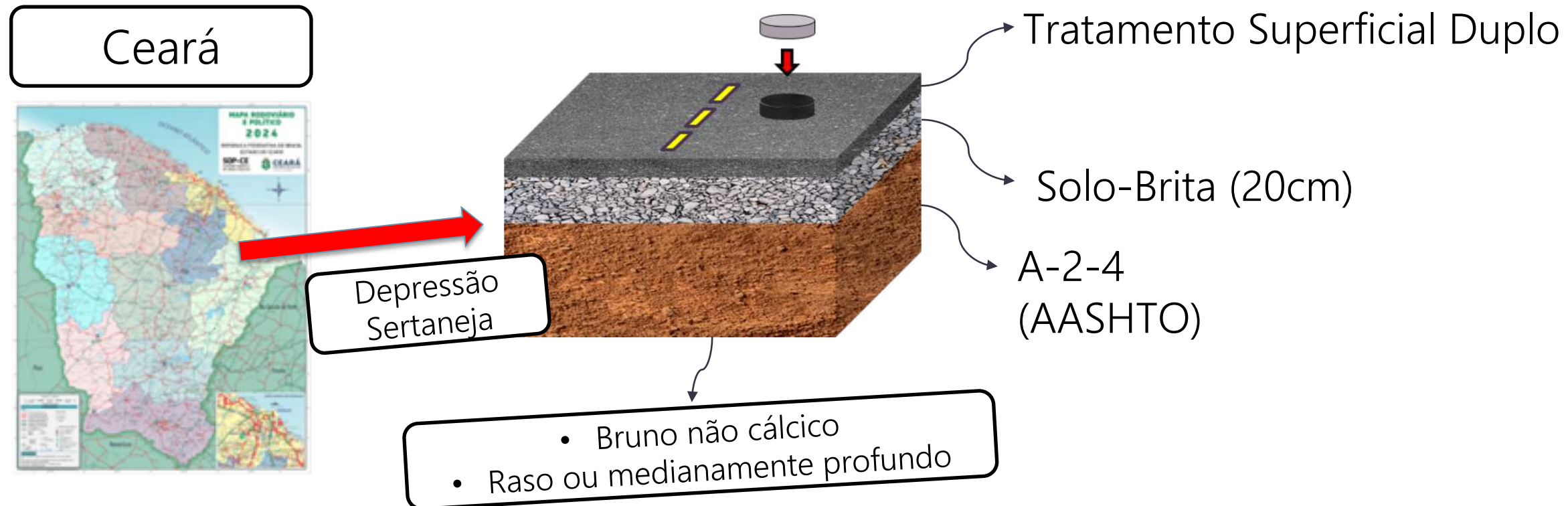
$0.5 < H < 12m$



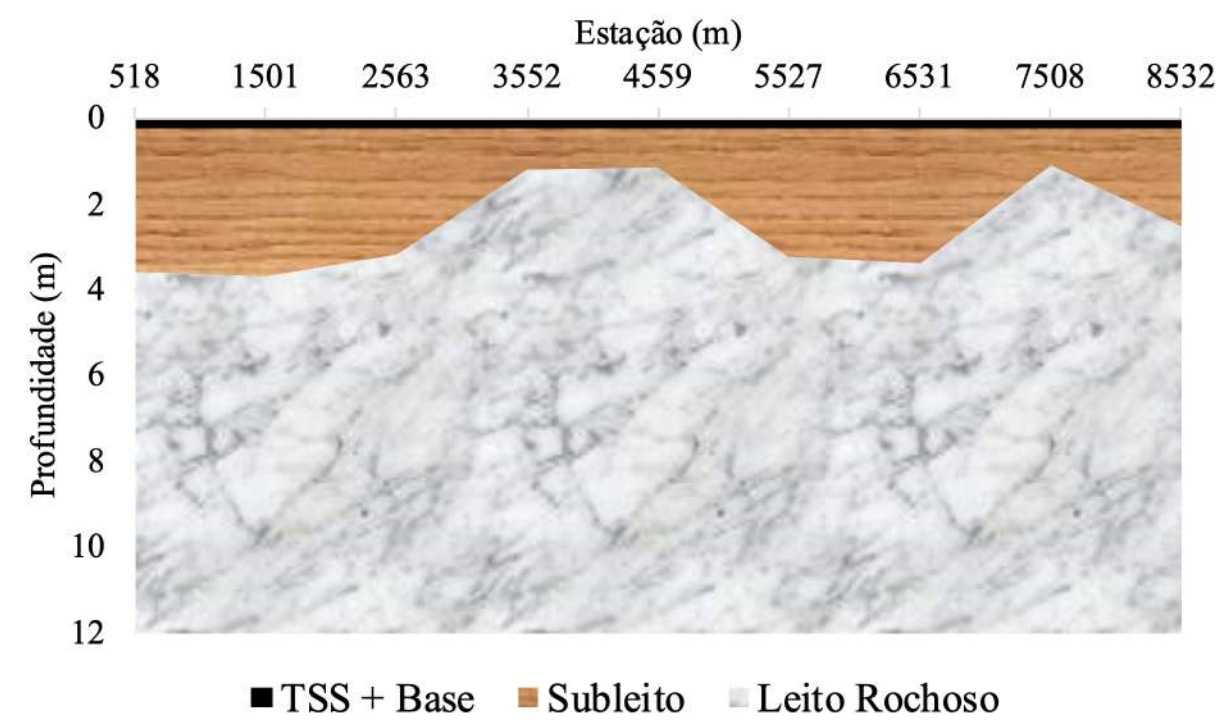
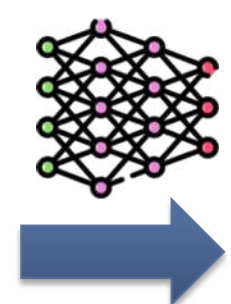
[Y]
Espessura H

Detecção de Leito Rochoso em Rodovias

APLICAÇÃO – Estimação de profundidade de leito rochoso em rodovia cearense

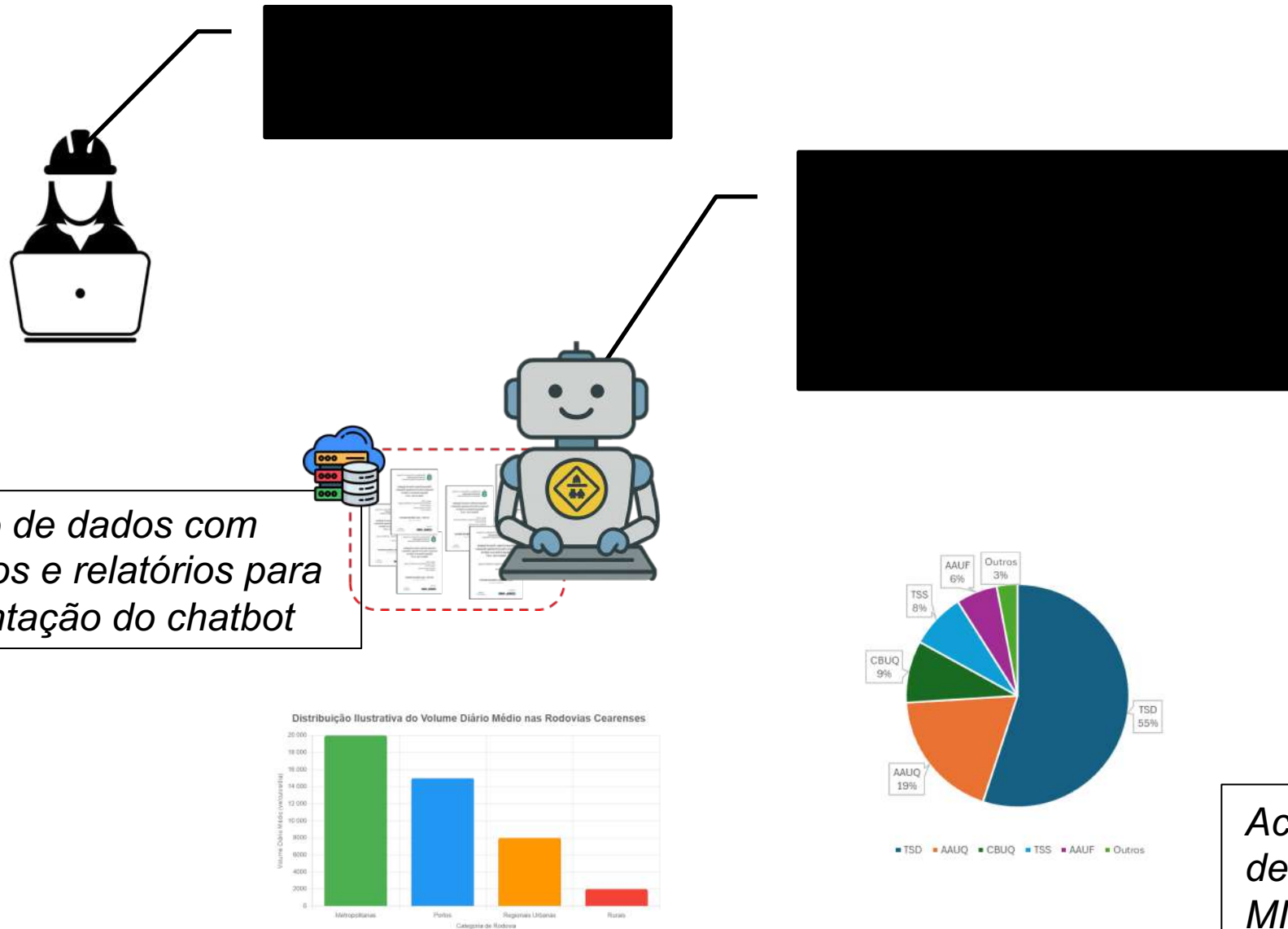


peak_load (kN)	def_bowl (1/100mm)							slope	f_FFT 6 (Hz)
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6		
46,3	56,1	19,0	9,2	4,9	3,7	2,4	0,8	0,3	12,2
45,3	135,8	71,7	46,4	30,4	21,1	11,6	2,9	0,2	12,2
46,4	60,3	27,7	17,5	11,7	9,0	6,0	1,6	0,3	13,4
44,2	198,7	90,0	56,4	33,6	22,0	9,6	1,8	0,2	24,4
45,0	162,3	80,1	51,4	31,8	21,2	9,5	1,8	0,2	23,2
46,1	59,0	31,1	19,7	12,4	8,5	4,7	1,3	0,3	8,5
46,2	38,7	27,6	20,4	12,7	8,8	4,7	1,3	0,3	12,2
45,6	77,4	52,0	34,9	23,8	17,1	8,0	1,8	0,2	24,4
45,1	126,0	54,4	28,4	14,1	8,6	4,8	1,2	0,2	15,9
46,6	45,9	19,1	10,9	6,4	4,6	3,0	0,9	0,3	15,9



Aplicações em Parcerias Iminentes

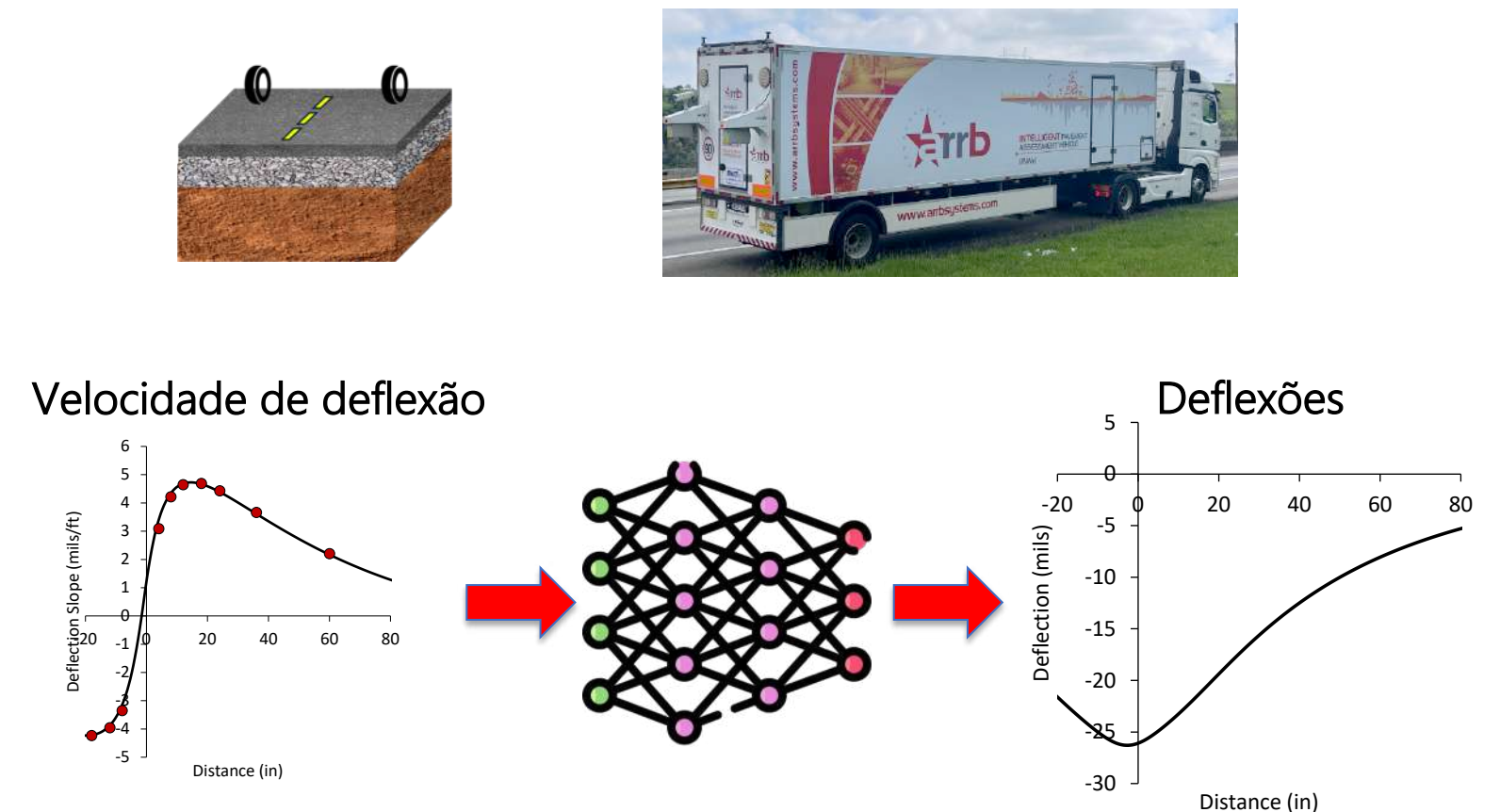
Chatbot para acesso e organização a dados em grandes volumes de documentos e relatórios; produção automatizada de novas informações



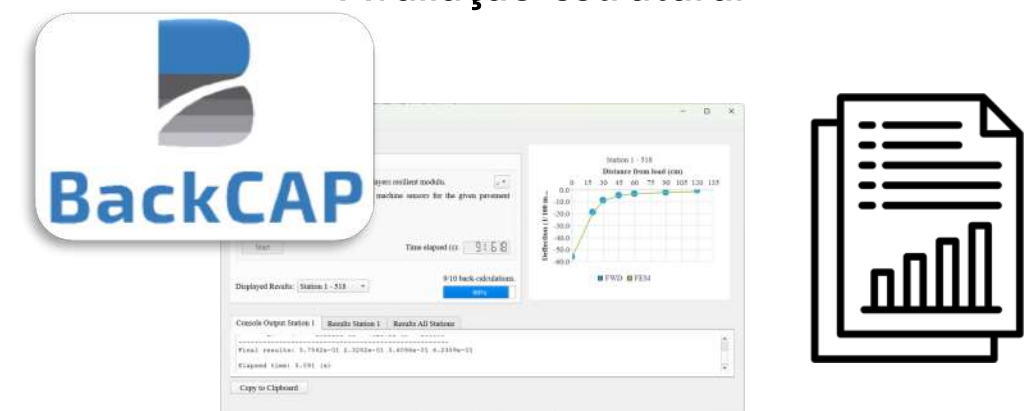
*informações meramente ilustrativas

Banco de dados com projetos e relatórios para alimentação do chatbot

Redes Neurais Artificiais para tratamento dos resultados do *Traffic Speed Deflectometer* (TSD)



Avaliação estrutural





Obrigado!

Equipe do



Siga

@inct_infra



Perguntas?

