

Sistema de mapeamento e localização indoor baseado em Wi-Fi fingerprinting e redes neurais artificiais

Nome: Anderson Lima de Araújo
RA: 11028713
Projeto de Graduação 3 - UFABC
Orientador: Dr. Hugo Puertas de Araújo

Introdução

- Localização *Indoor* - GPS não funciona bem
- Técnicas: Time of Arrival (TaA), Angle of Arrival (AoA) e Received Signal Strength Indication (RSSI)

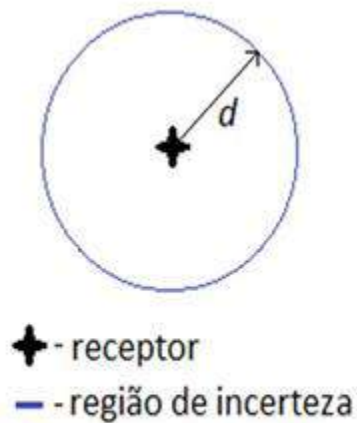
Objetivos

- Sistema completo: back-end e front-end
- Análise de desempenho do VAE e do PCA
- Comparação com outros algoritmos

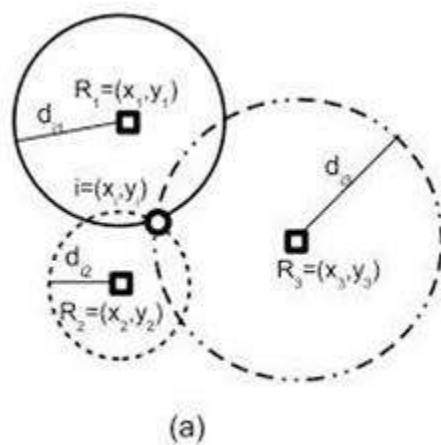


Técnicas de Localização ToA

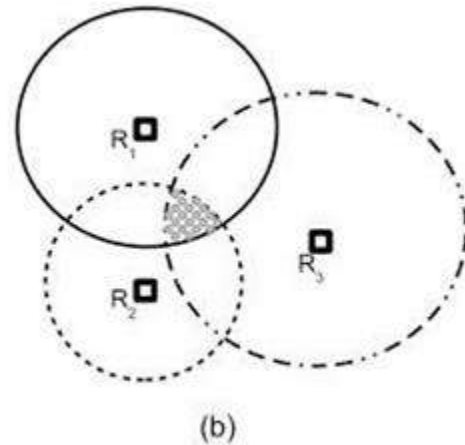
- *Time of Arrival*: tempo que o sinal chega nos receptores
- Se houver ao menos 3 emissores, pode-se utilizar o método trilateração



Fonte: (Oliveira, 2017)



(a)

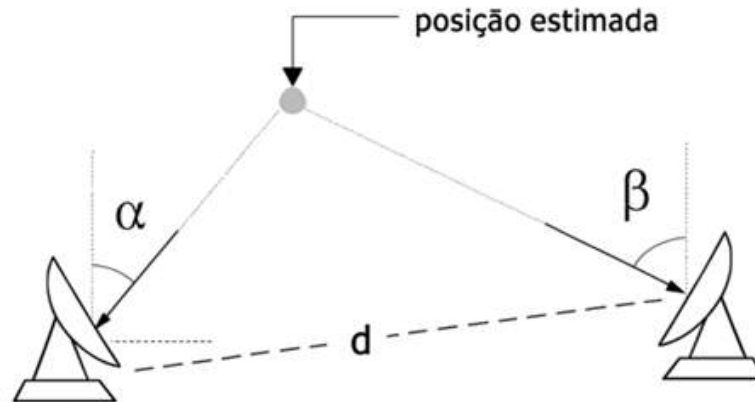


(b)

Fonte: (Bellecieri; Jabour; Jabour, 2016)

Técnicas de Localização - AoA

- *Angle of Arrival*: exige antenas e receptores especiais
- método de triangulação: calcula a localização com base nos ângulos dos sinais

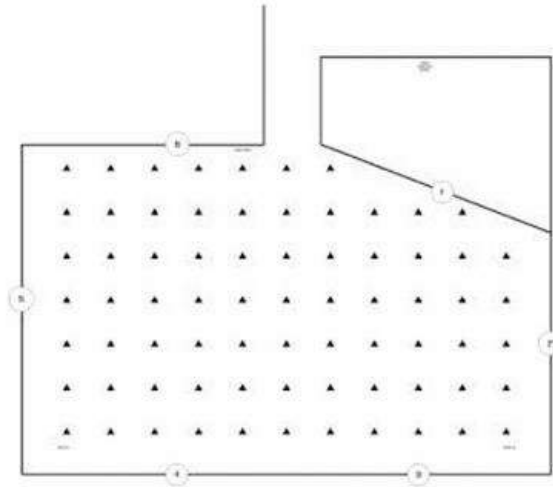


Técnicas de Localização - RSSI

- Received Signal Strength Indicator (RSSI): baseado na potência do sinal, que diminui proporcionalmente com a distância
- medido em decibéis em uma escala negativa (quanto mais próximo de zero maior a intensidade)
- pode-se utilizar métodos como trilateração e impressão digital

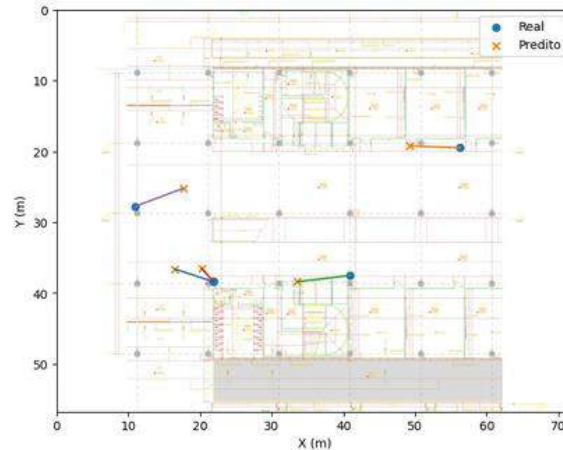
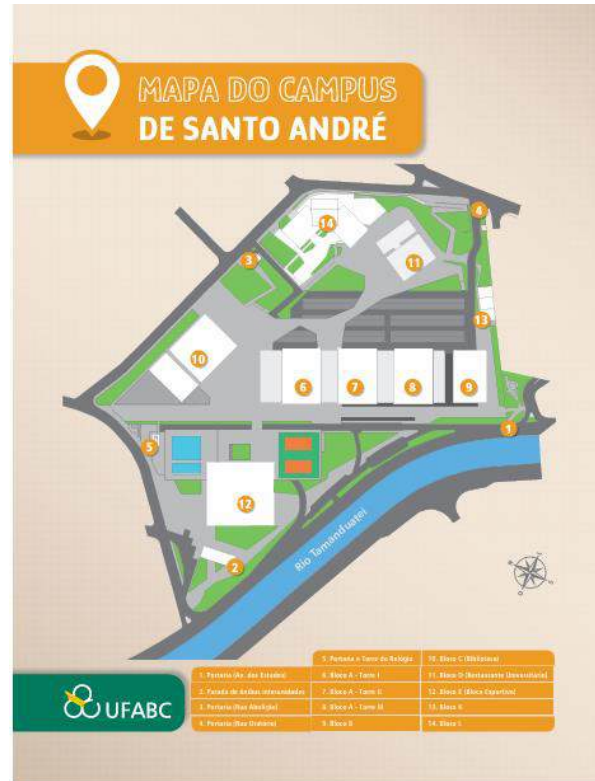
Impressão Digital

- Coletados valores de RSSI sobre uma planta
- aproveita infraestrutura existente
- necessita de mapeamento e de possíveis atualizações

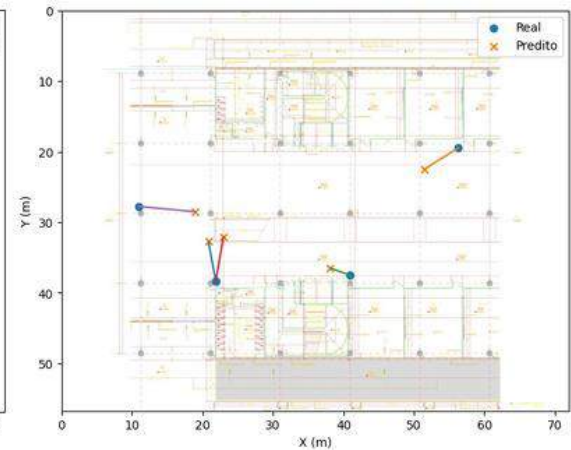


UFABC

- definido (0,0) no canto superior esquerdo
- medidas feitas em campo para conversão em metros



a) estimativa de localização por VAE



b) estimativa de localização por Floresta Aleatória

Fonte: (UFABC, s.d.)

Fonte: Arquivos do autor

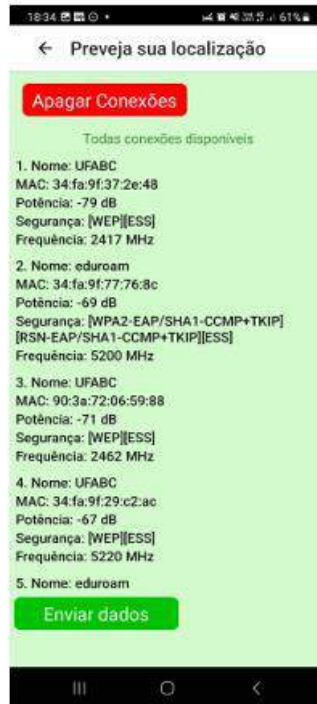
Aplicativo Móvel



Aplicativo Móvel



a) Coleta de pontos



b) Listagem de Wi-Fis



c) Resultado de predição

Fonte: arquivos do autor

Informações Sobre a Varredura das Torres

Torre	Quantidade de pontos	Média das distâncias entre o ponto e seu vizinho mais próximo (m)
1	233	2,88
2	244	1,68
3	301	1,67

Fonte: Arquivos do autor

Banco de Dados - impressão_digital e wifi

id	data	andar	torre	eixo_x	eixo_y	treinamento	usuario_id
1	2025-09-29 20:57:18.395188	terreo	3	31.411299	19.497760	True	1
2	2025-09-29 20:57:18.727123	terreo	3	31.411299	19.497760	True	1
3	2025-09-29 20:57:18.961082	terreo	3	31.411299	19.497760	True	1
4	2025-09-29 20:57:18.836327	terreo	3	31.411299	19.497760	True	1
5	2025-09-29 20:59:25.830539	terreo	3	30.648809	37.979468	True	1

id	SSID	BSSID	level	capabilities	timestamp	frequency	finger_printing_id
1	UFABC	34:fa:9f:37:78:38	-66	[WEP][ESS]	2160844996402	2412	1
2	eduroam	34:fa:9f:77:76:8c	-70	[WPA2-EAP/SHA1-CCMP+TKIP][RSN-EAP/SHA1-CCMP+TK...	2160846683568	5640	1
3	eduroam	34:fa:9f:77:78:38	-64	[WPA2-EAP/SHA1-CCMP+TKIP][RSN-EAP/SHA1-CCMP+TK...	2160844997911	2412	1
4	UFABC	34:fa:9f:37:76:8c	-70	[WEP][ESS]	2160846683334	5640	1
5	eduroam	34:fa:9f:69:c4:1c	-51	[WPA2-EAP/SHA1-CCMP+TKIP][RSN-EAP/SHA1-CCMP+TK...	2160846599409	5600	1

Banco de Dados - Treinamento de Coordenadas

X_train.head()

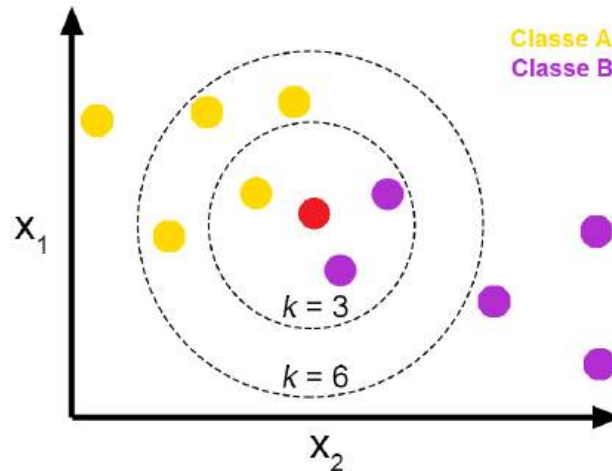
	00:04:56:d0:9d:1a	00:1d:0f:f5:9f:c6	00:25:9c:3f:9f:51	00:cb:51:f5:d5:ac	00:cb:51:f5:d5:ad
0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
1	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
2	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
3	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
4	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0

y_train.head()

	eixo_x	eixo_y
0	31.411299	19.497760
1	31.411299	19.497760
2	31.411299	19.497760
3	31.411299	19.497760
4	30.648809	37.979468

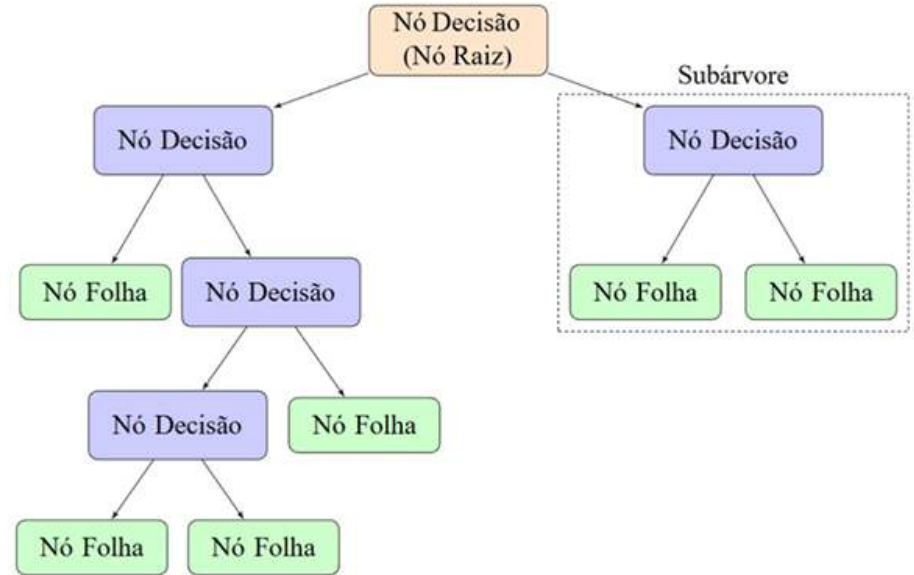
Algoritmos de Aprendizado de Máquina

- K Vizinhos mais Próximos (KNN) - contagem dos rótulos dos vizinhos mais próximos
- para regressão, é tirada a média dos K vizinhos



Algoritmos de Aprendizado de Máquina

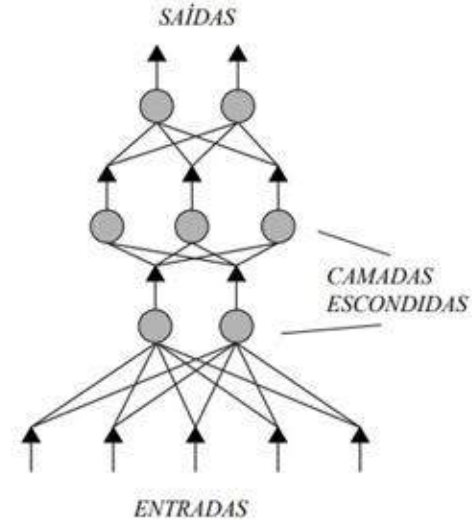
- Floresta Aleatória (RF) - bom desempenho em Gorjan e Jiménez (2024)
- árvores com nós de decisão e nós terminais
- para regressão, tira-se a média de previsões de múltiplas árvores



Fonte: (Paiva et al., 2024).

Algoritmos de Aprendizado de Máquina

- Perceptron Multicamadas (MLP) - rede neural artificial com múltiplas camadas
- usada a mais comum: *feedforward* com gradiente descendente



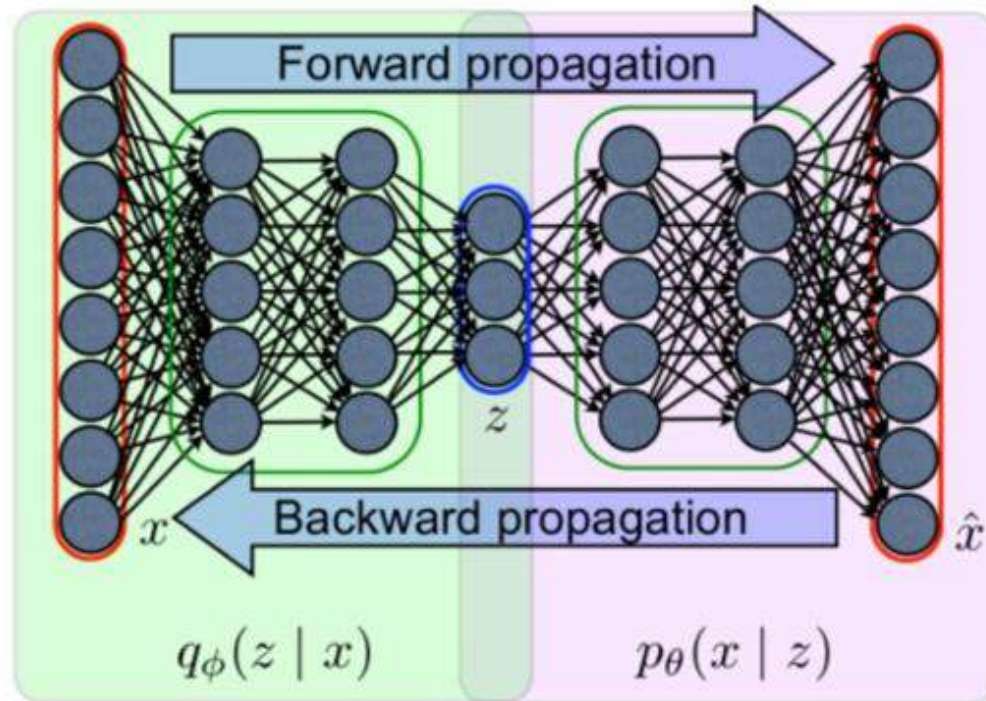
Propagação para Frente

Fonte: (Rauber, 2005)

Análise dos Componentes Principais (PCA)

- combina todos os componentes em outros componentes linearmente independentes
- cada um é uma combinação linear de todas as variáveis originais
- variáveis ficam ordenadas pela variância (Varella, 2008)

Autocodificador Variacional (VAE)



Fonte: (Dias Júnior, 2024)

VAE

$q_{\phi}(z|x)$: função de densidade probabilística do codificador com pesos ϕ

$p_{\theta}(x|z)$: função de densidade probabilística do decodificador, com pesos θ

Evidence Lower Bound (ELBO): $l_{\theta, \phi}(x) = \log p_{\theta}(x) - D_{kl}(q_{\phi}(z|x)||p_{\theta}(z|x))$

Fator de Divergência KL: $-D_{kl}(q_{\phi}(z)||p_{\theta}(z)) = \frac{1}{2} \sum_1^j (1 + \log(\sigma_j^2) - \mu_j^2 - \sigma_j^2)$

β -VAE: $l(\theta, \phi; x, z, \beta) = E_{q_{\phi}(z|x)}[\log p_{\theta}(x|z)] - \beta D_{kl}(q_{\phi}(z|x)||p_{\theta}(z))$

fontes: Dias Júnior (2024), Kingma e Welling (2022) e Higgins *et al.* (2017)

Métricas de Desempenho dos Modelos

Classificação

$$\text{Precisão} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{Acurácia} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1 - \text{Score} = 2 * \frac{\text{Precisão} * \text{Recall}}{\text{Precisão} + \text{Recall}}$$

fonte: Gorjan e Jiménez, 2024

Regressão

Erro Absoluto Médio

$$EAM (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n |E_i - O_i|}{N}$$

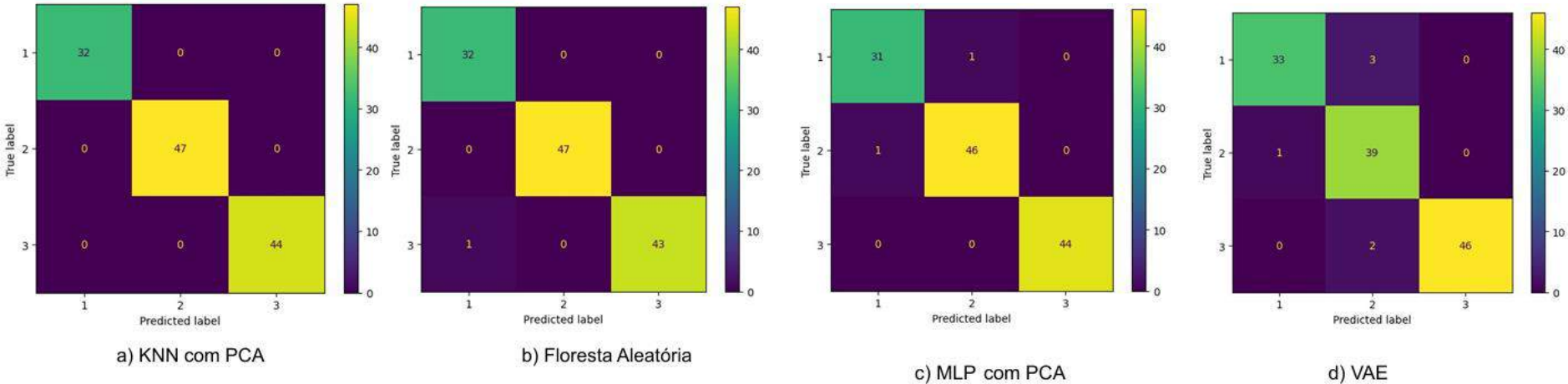
fonte: Rubio, 2018

Resultados

Métrica	KNN	RF	MLP	KNN + PCA	RF + PCA	MLP + PCA	VAE
Acurácia	0,984	0,992	0,967	1,000	0,959	0,984	0,952
Precisão	0,986	0,989	0,974	1,000	0,958	0,982	0,952
F1-Score	0,982	0,991	0,964	1,000	0,956	0,982	0,950
<i>Recall</i>	0,979	0,992	0,958	1,000	0,954	0,982	0,950

Fonte: Arquivos do autor

Resultados



Fonte: Arquivos do autor

Resultados

Torre	KNN (m)	KNN + PCA (m)	RF (m)	RF + PCA (m)	MLP (m)	MLP + PCA (m)	VAE (m)
1	7,11	5,73	7,19	5,18	5,89	5,71	4,97
2	4,33	4,27	3,49	4,43	3,87	2,97	3,22
3	2,97	3,38	3,35	3,14	3,34	3,04	3,28
Média	4,80	4,46	4,68	4,25	4,37	3,91	3,82

Fonte: Arquivos do autor

Torre	KNN (m)	KNN + PCA (m)	RF (m)	RF + PCA (m)	MLP (m)	MLP + PCA (m)	VAE (m)
1	11,25	9,49	10,85	7,96	9,13	9,72	8,41
2	7,31	7,20	5,99	7,52	6,32	4,75	5,13
3	4,86	5,33	5,33	5,17	5,38	5,00	5,04
Média	7,81	7,34	7,39	6,88	6,94	6,49	6,19

Fonte: Arquivos do autor

Conclusões

- Desempenho do sistema
- Quais algoritmos foram melhores?
- PCA melhorou os resultados?
- VAE teve bom desempenho?
- Quanto mais dados melhor (mas tem um custo)
- Trabalhos futuros

Referências

Bellecieri, Y.; Jabour, F. C.; Jabour, E. G. **Localização Indoor Baseada na Leitura Bidimensional do RSSI**. Seminários de Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado em Sistemas de Informação, v. 1, n. 1, 2016.

Dias Júnior, L. T. **Uso De Autocodificadores Variacionais Para a Detecção De Danos Estruturais**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2024.

Gorjan, H. E.; Jiménez, V. P. G. **Improving Indoor WiFi Localization by Using Machine Learning Techniques**. Sensors (Basel), v. 24, n. 19, p. 6293, 28 set. 2024. DOI: 10.3390/s24196293.

Referências

Higgins, I. et al. **β -VAE: Learning Basic Visual Concepts with a Constrained Variational Framework.** *International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2017.

Kingma, D. P.; Welling, M. **An introduction to variational autoencoders.** 2019.

Disponível em: < <https://arxiv.org/abs/1906.0269> > . Acesso em: 30 mar. 2026.

Kingma, D. P.; Welling, M. **Auto-Encoding Variational Bayes.** 2022. Disponível

em: < <https://arxiv.org/abs/1906.0269> > . Acesso em: 01 abr. 2026.

Oliveira, G. C. de. **Localização indoor utilizando a tecnologia LoRaWAN e aprendizado de máquina.** Monografia (Graduação em Engenharia de Telecomunicações) – Instituto Federal de Santa Catarina, São José, 2017.

Referências

Paiva, R. V. de O.; Ciribelli Jr, R. V.; Saraiva, E. M.; Oliveira, C. H. de; Mesquita, S. C. **Análise de crédito baseada em floresta aleatória**. Revista EAD em Debate: Uma Visão Integrada entre TIC, I.A. e Educação, [S. l.], v. 9, n. 2, 21 mar. 2024. Disponível em: <https://periodicos.uniateneu.edu.br/index.php/revista-ead-em-debate/article/view/573>. Acesso em: 09 nov. 2025.

Rauber, T. W. **Redes Neurais Artificiais**. Departamento de Informática – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

Universidade Federal do ABC – UFABC. **Campi**. Disponível em: <https://www.ufabc.edu.br/a-ufabc/campi>. Acesso em: 10 fev. 2026.

Varella, C. A. A. **Análise de Componentes Principais**. Seropédica: Editora da UFRRJ, 2008.