

# **TOMADA DE DECISÃO EM CLASSIFICADORES**



# Allan Dieguez

AI Researcher | Data Scientist

**Director, Data Science**

**BAIN & COMPANY** 

**LinkedIn:** *@allandieguez*

**E-Mail:** *allandieguez@gmail.com*



# AGENDA

- **Decisão de Corte do *Threshold***  
Decisões sobre a saída probabilística
- **Tomada de Decisão Multiclasse**  
Aprofundando o *Winner Takes All*
- **Otimização de um Multiclassificador**  
Melhorando resultados sem retreinar



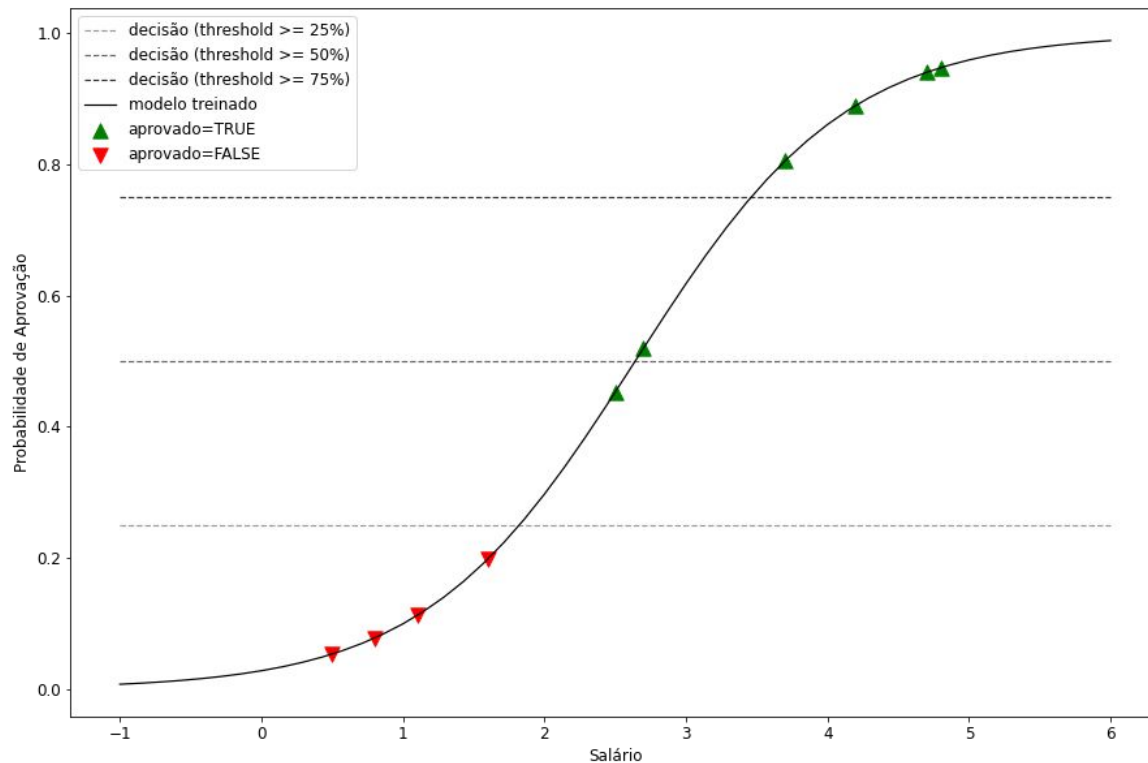
# DECISÃO DE CORTE DO THRESHOLD

Decisões sobre a saída probabilística

# PROBLEMA: APROVAÇÃO DE CRÉDITO

	(X) salário	(y) aprovado
cliente_01	0.5	0
cliente_02	0.8	0
cliente_03	4.7	1
cliente_04	3.7	1
cliente_05	2.5	1
cliente_06	1.1	0
cliente_07	1.6	0
cliente_08	2.7	1
cliente_09	4.2	1
cliente_10	4.8	1

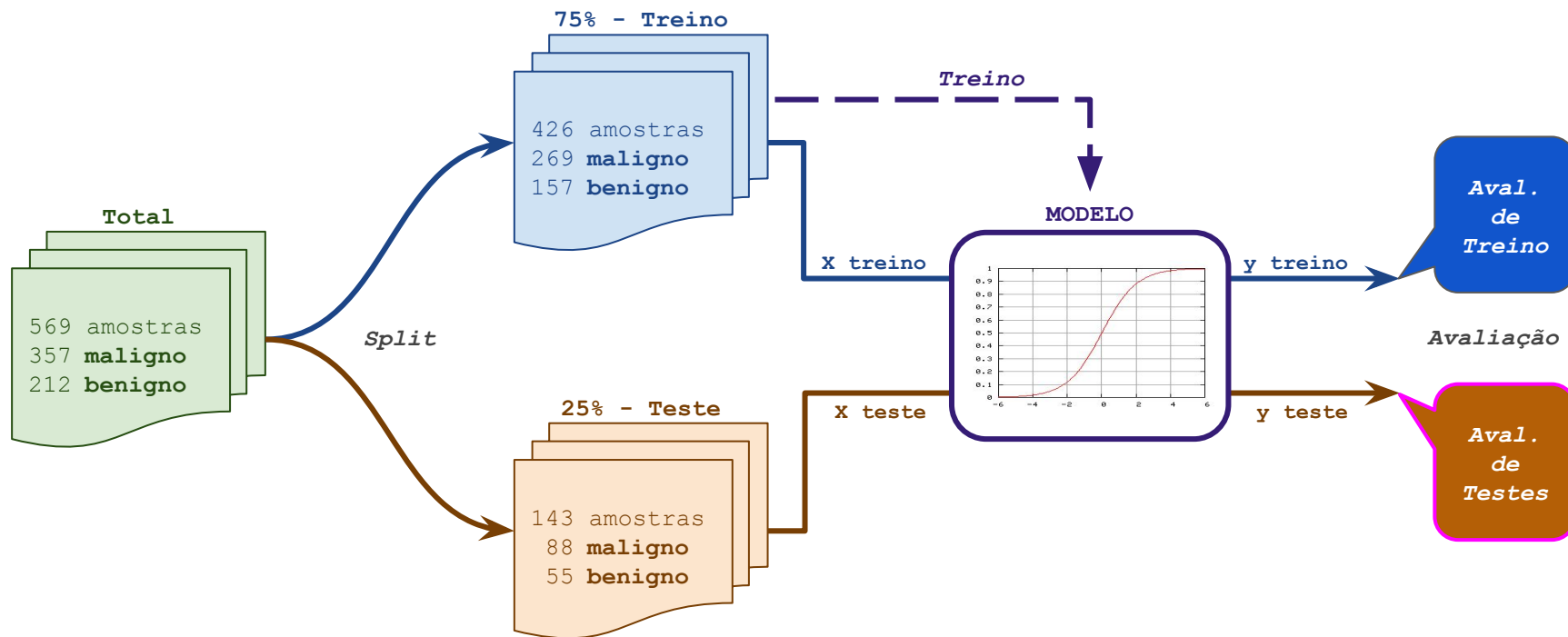
# SOLUÇÃO COM REGRESSÃO LOGÍSTICA



## MESMO MODELO, DECISÕES DISTINTAS

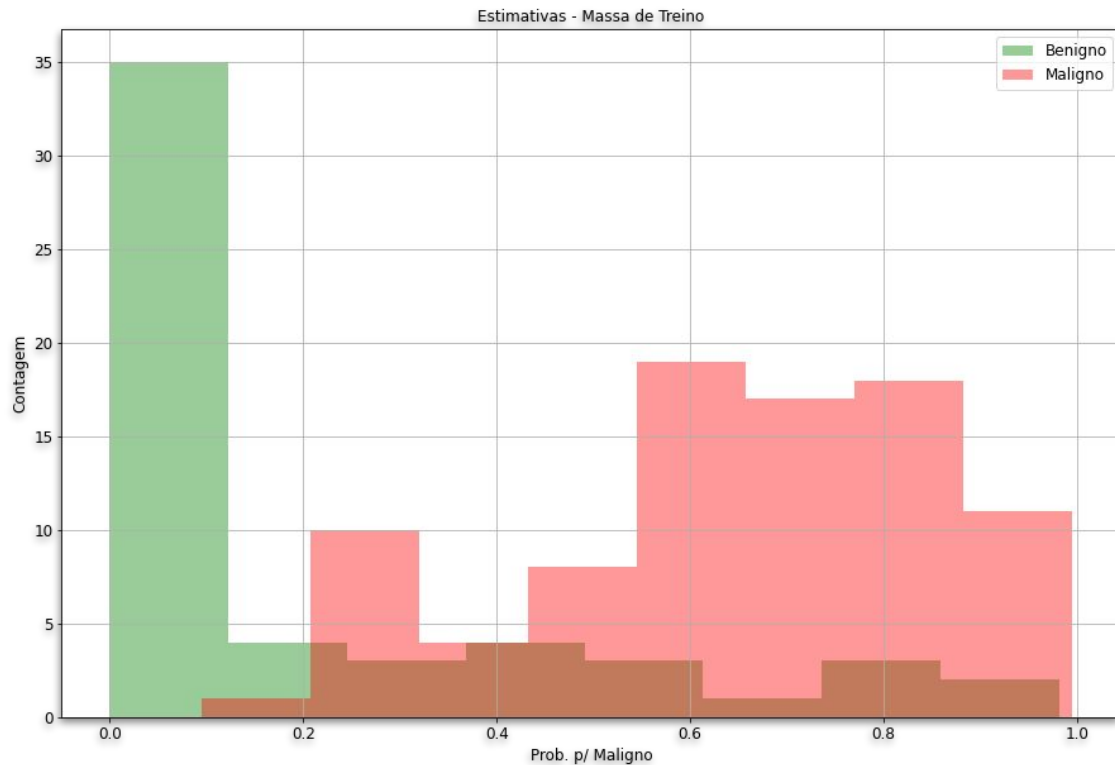
	saída probabilística	threshold >= 25%	threshold >= 50%	threshold >= 75%	(y) aprovado
cliente_01	0.053552	0	0	0	0
cliente_02	0.078026	0	0	0	0
cliente_03	0.940715	1	1	1	1
cliente_04	0.805697	1	1	1	1
cliente_05	0.453114	1	0	0	1
cliente_06	0.112358	0	0	0	0
cliente_07	0.19847	0	0	0	0
cliente_08	0.520065	1	1	0	1
cliente_09	0.890249	1	1	1	1
cliente_10	0.947771	1	1	1	1

# BREAST CANCER WINSCONSIN

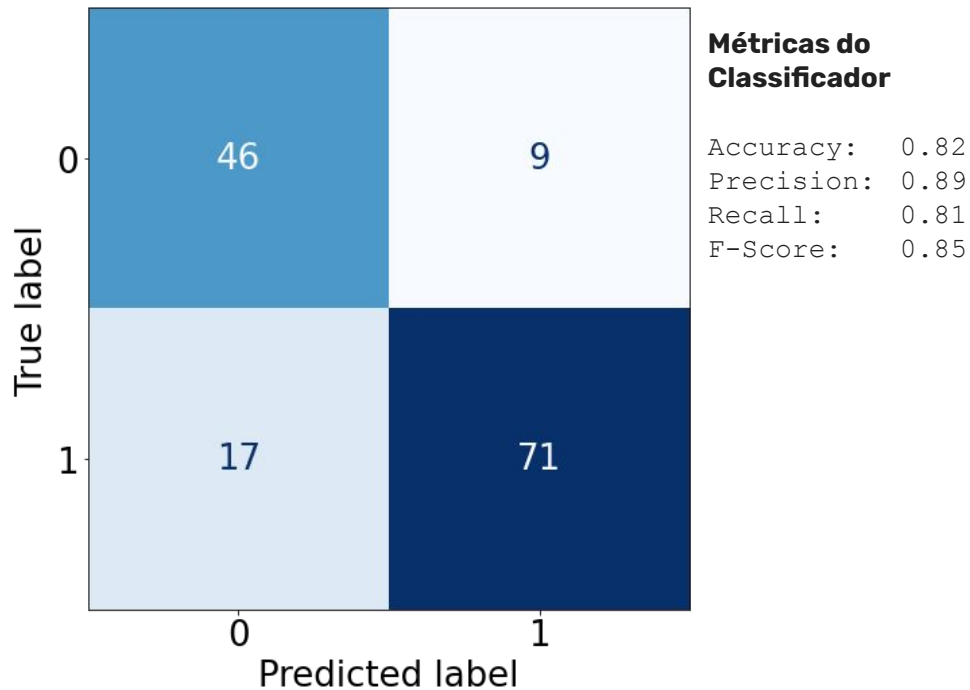
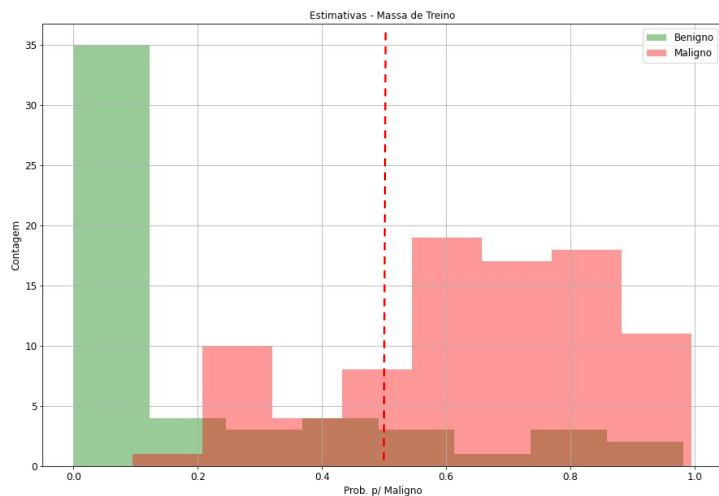




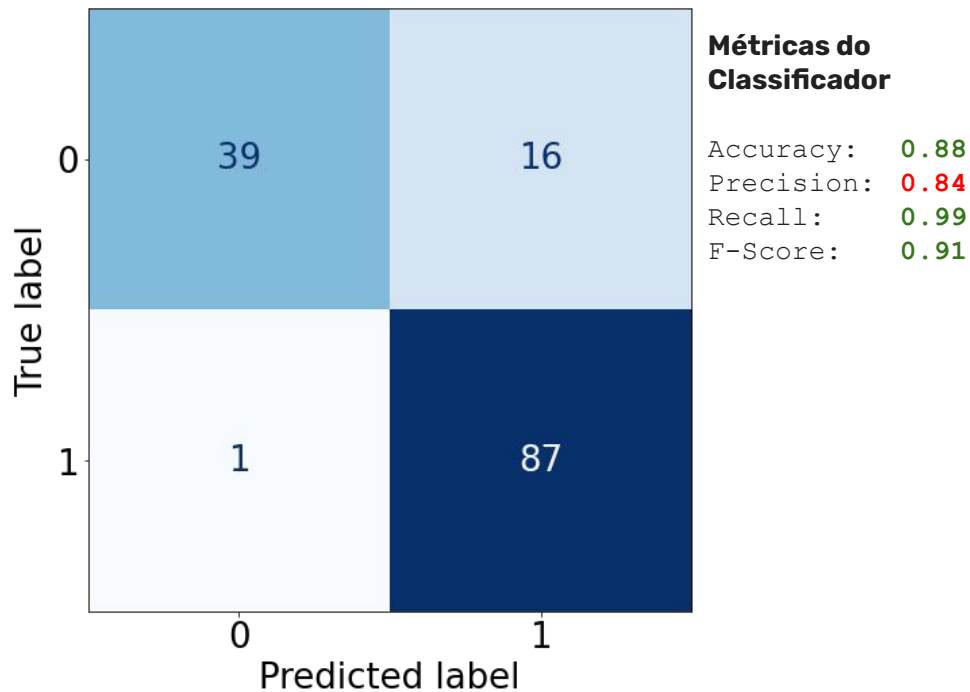
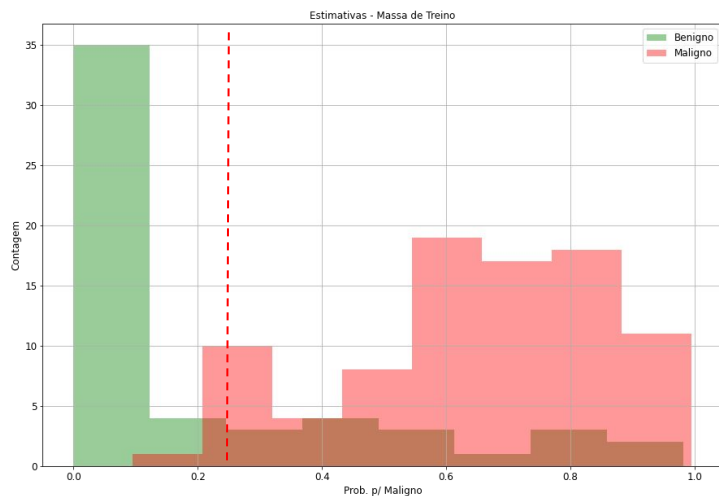
# DISTRIBUIÇÃO DAS SAÍDAS DO MODELO

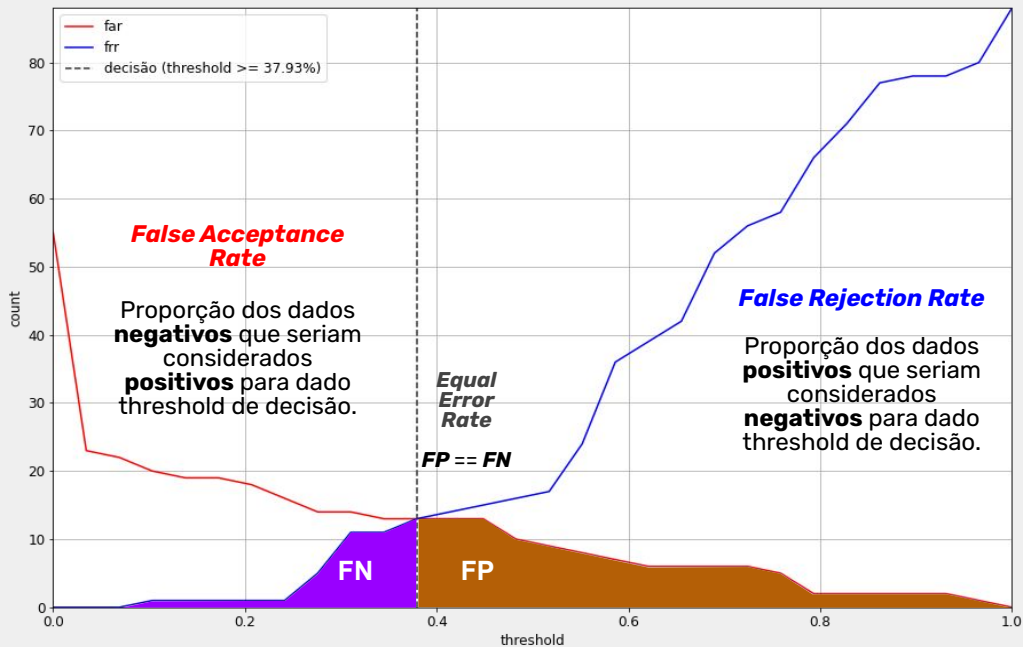


# DECISÃO MANUAL: *THRESHOLD* = 50%



# DECISÃO MANUAL: *THRESHOLD* = 25%

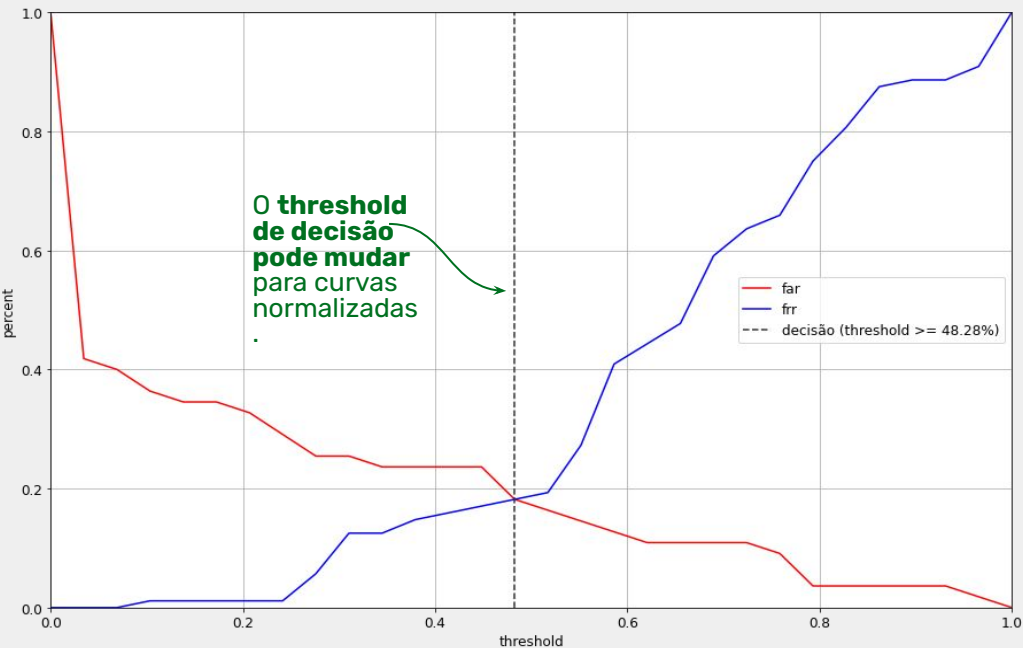




# FERRAMENTA: FAR/FRR

Visualização de **FN** e **FP** em função da escolha do **threshold de decisão**.

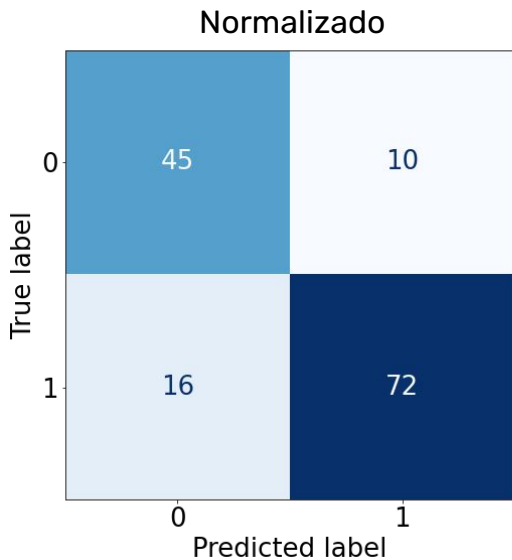
O **encontro das curvas**, denominado **Equal Error Rate**, é o **threshold** que resulta em **valores iguais** de **FN** e **FP**.



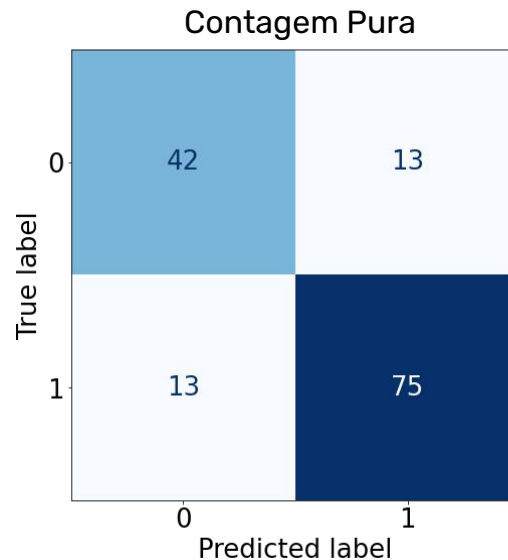
# CURVA FAR/FRR NORMALIZADA

O gráfico pode ser construído com as **quantidades normalizadas** para representarem o **percentual das massas** real positiva e real negativa.

# CONTAGEM PURA VS NORMALIZADA

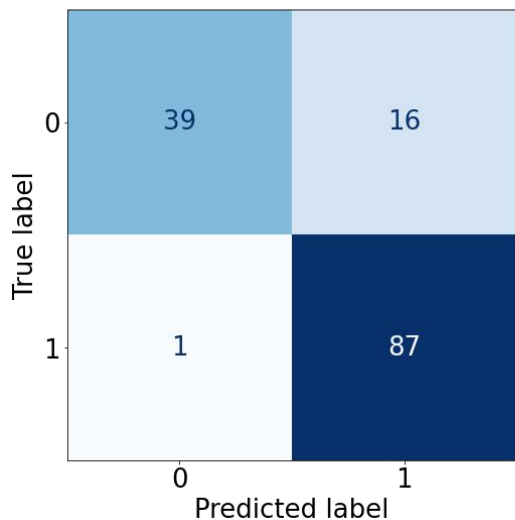


**Threshold:** 0.48  
Accuracy: 0.82  
Precision: 0.88  
Recall: 0.82  
F-Score: 0.85

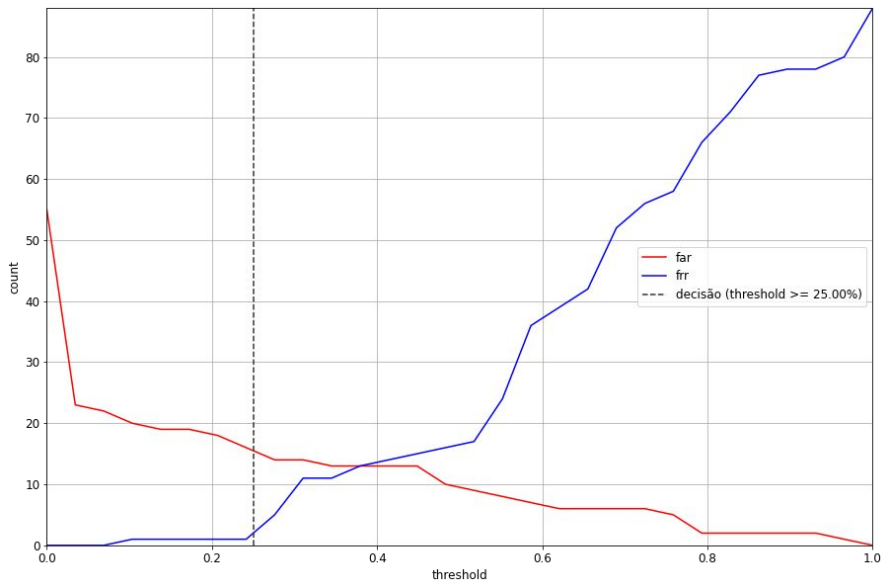


**Threshold:** 0.38  
Accuracy: 0.82  
Precision: 0.85  
Recall: 0.85  
F-Score: 0.85

# EQUALIZAR FP E FN NÃO É OTIMIZAÇÃO



**Threshold:** 0.25  
**Accuracy:** 0.88  
**Precision:** 0.84  
**Recall:** 0.99  
**F-Score:** 0.91



Nem sempre o melhor corte de decisão está no ponto de equilíbrio.

Às vezes é interessante **sacrificar 1% de precision** para **ganhar 13% de recall**.

```
import numpy as np

def calculate_far_frr(y_proba, y_true, n_points=30,
                     normalize=False, threshold=None):
    thr = np.linspace(0, 1, n_points)
    far = []
    frr = []
    for t in thr:
        far_pt = y_proba[y_true == 0] >= t
        frr_pt = y_proba[y_true == 1] < t
        if normalize:
            far.append(far_pt.mean())
            frr.append(frr_pt.mean())
        else:
            far.append(far_pt.sum())
            frr.append(frr_pt.sum())
    if threshold is None:
        far = np.array(far)
        frr = np.array(frr)
        optm = thr[abs(far - frr).argmin()]
    else:
        optm = threshold
    return {
        'optm': optm,
        'plot': pd.DataFrame(
            index=thr,
            data={'far': far, 'frr': frr},
            dtype=float
        )
    }
```

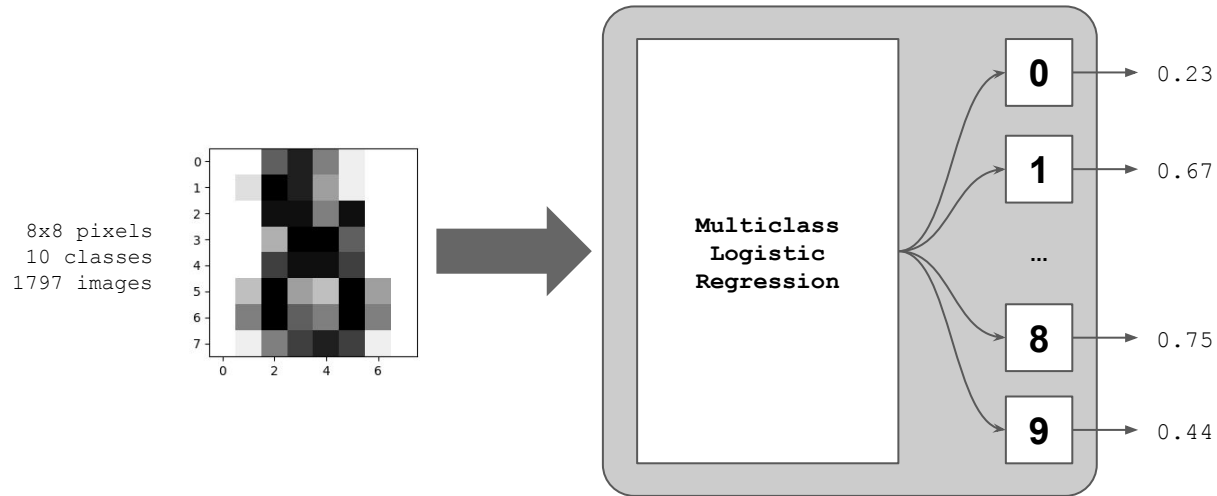




# TOMADA DE DECISÃO MULTICLASSE

Aprofundando o Winner Takes All

# CLASSIFICADOR DE DÍGITOS





# SAÍDAS DO CLASSIFICADOR

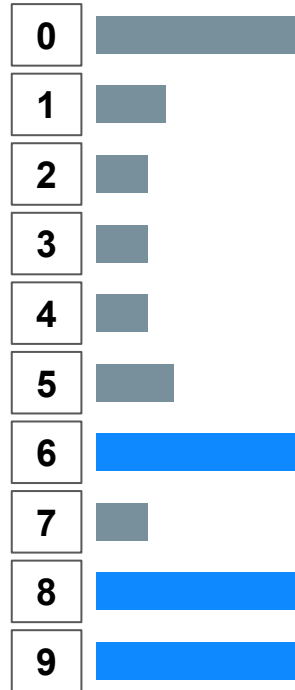
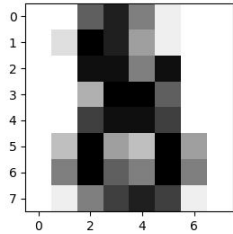
	Saídas do Modelo (função logística sigmóide)										Target
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
img_0653	0.013101	0.064656	0.021794	0.038154	0.054042	0.068532	0.007527	0.591824	0.073284	0.067086	7
img_0100	0.056225	0.108414	0.003838	0.010227	0.462783	0.055771	0.147624	0.030143	0.058683	0.066291	4
img_1209	0.010828	0.076752	0.052734	0.044373	0.049547	0.068471	0.010596	0.526857	0.095063	0.064779	7
img_0325	0.023861	0.099842	0.017077	0.039382	0.074208	0.121851	0.007481	0.377932	0.113535	0.124831	9
img_0716	0.036626	0.191648	0.056901	0.009270	0.158417	0.081015	0.112315	0.115670	0.167168	0.070970	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
img_0149	0.115513	0.084478	0.025103	0.293411	0.017080	0.083960	0.011025	0.015174	0.083613	0.230644	9
img_1302	0.043921	0.063062	0.021389	0.355606	0.019309	0.210428	0.041220	0.038038	0.084935	0.122092	5
img_0482	0.131793	0.075837	0.019173	0.091564	0.049917	0.106207	0.154455	0.087178	0.149495	0.134381	8
img_0248	0.041313	0.161591	0.134693	0.088051	0.076911	0.066161	0.056560	0.075195	0.194226	0.105297	8
img_1131	0.112366	0.076022	0.081576	0.003652	0.083115	0.062110	0.471276	0.003991	0.069444	0.036448	6

# HEURÍSTICA *WINNER TAKES ALL*

	Saídas do Modelo (heurística <i>Winner Takes All</i> )										Target	Previsão
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
img_0653	0.013101	0.064656	0.021794	0.038154	0.054042	0.068532	0.007527	0.591824	0.073284	0.067086	7	7
img_0100	0.056225	0.108414	0.003838	0.010227	0.462783	0.055771	0.147624	0.030143	0.058683	0.066291	4	4
img_1209	0.010828	0.076752	0.052734	0.044373	0.049547	0.068471	0.010596	0.526857	0.095063	0.064779	7	7
img_0325	0.023861	0.099842	0.017077	0.039382	0.074208	0.121851	0.007481	0.377932	0.113535	0.124831	9	7
img_0716	0.036626	0.191648	0.056901	0.009270	0.158417	0.081015	0.112315	0.115670	0.167168	0.070970	1	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
img_0149	0.115513	0.084478	0.025103	0.293411	0.017080	0.083960	0.011025	0.015174	0.083613	0.230644	9	3
img_1302	0.043921	0.063062	0.021389	0.355606	0.019309	0.210428	0.041220	0.038038	0.084935	0.122092	5	3
img_0482	0.131793	0.075837	0.019173	0.091564	0.049917	0.106207	0.154455	0.087178	0.149495	0.134381	8	6
img_0248	0.041313	0.161591	0.134693	0.088051	0.076911	0.066161	0.056560	0.075195	0.194226	0.105297	8	8
img_1131	0.112366	0.076022	0.081576	0.003652	0.083115	0.062110	0.471276	0.003991	0.069444	0.036448	6	6

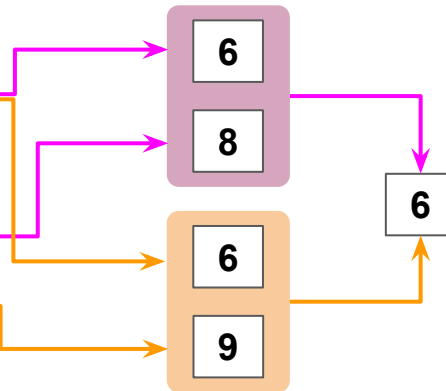
# EMPATE TÉCNICO: VÁRIOS CANDIDATOS

Algumas vezes é necessária uma heurística para **remover ambiguidades** de decisão em saídas com valores **muito próximos**.

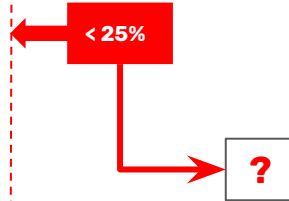
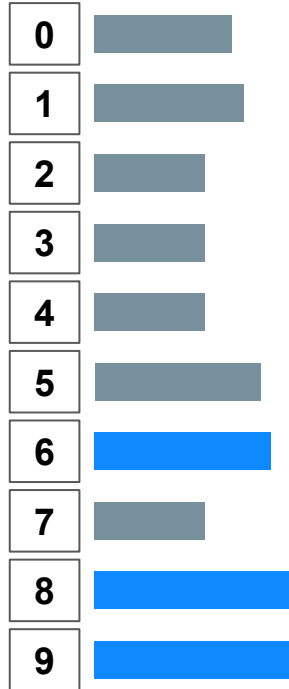
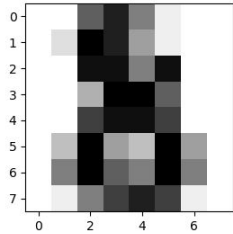


< 5%

Em **saídas probabilísticas** é mais raro esse tipo de ocorrência, pois as saídas **emulam uma PDF** por definição.



# EMPATE TÉCNICO: SCORES MUITO BAIXOS



Quando nenhuma saída **ultrapassa um limiar de controle**, a saída mais justa pode ser uma classe N+1 que informa **ausência de resposta**.

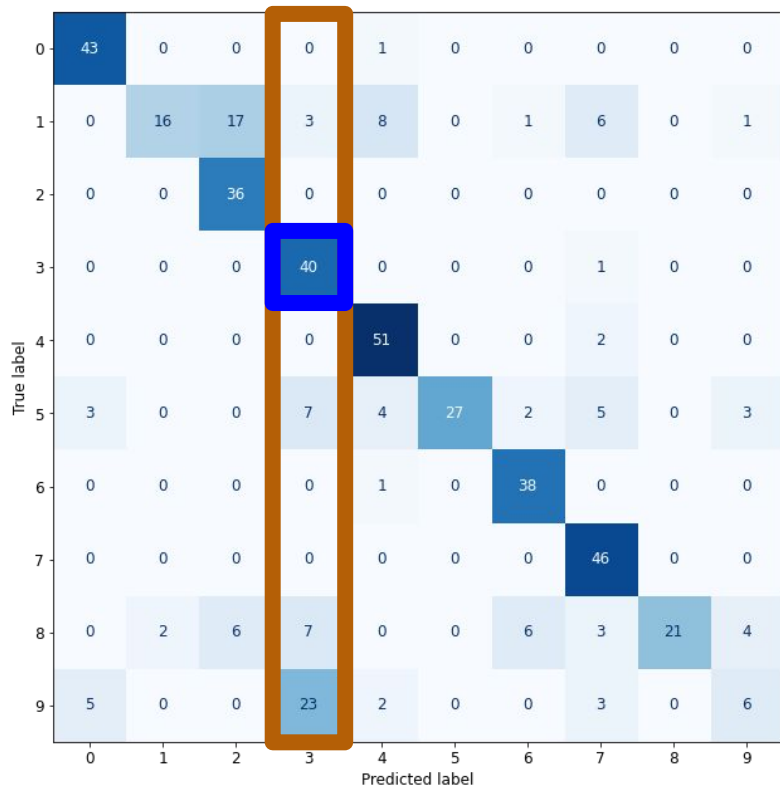
Em **saídas probabilísticas** esse tipo de ocorrência é mais comum, sendo a melhor prática informar ao usuário que **não há confiança** na solução.



# OTIMIZAÇÃO DE UM MULTICLASSIFICADOR

Melhorando resultados sem retreinar

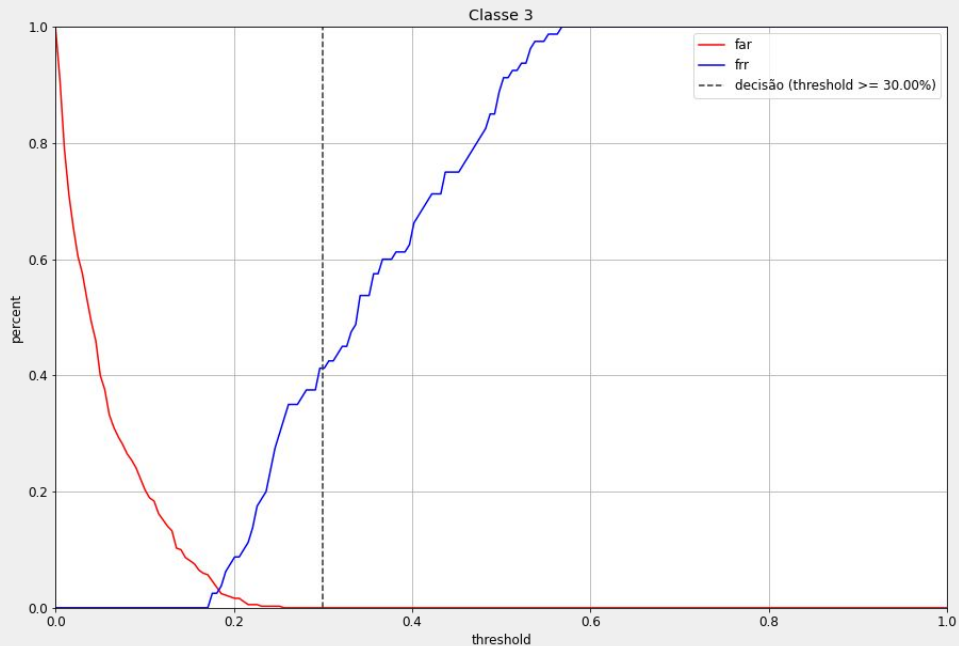
# AVALIAÇÃO DAS PIORES CONFUSÕES



**Classe 3** tem **FP** muito alto, qual **corte** poderia ser usado para minimizar isso?

	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Classe 0	--	0.84	0.98	0.91
Classe 1	--	0.89	0.31	0.46
Classe 2	--	0.61	1.00	0.76
Classe 3	--	0.50	0.98	0.66
Classe 4	--	0.76	0.96	0.85
Classe 5	--	1.00	0.53	0.69
Classe 6	--	0.81	0.97	0.88
Classe 7	--	0.70	1.00	0.82
Classe 8	--	1.00	0.43	0.60
Classe 9	--	0.43	0.15	0.23
Média Ponderada	0.72	0.77	0.72	0.69





# SOLUÇÃO APLICADA

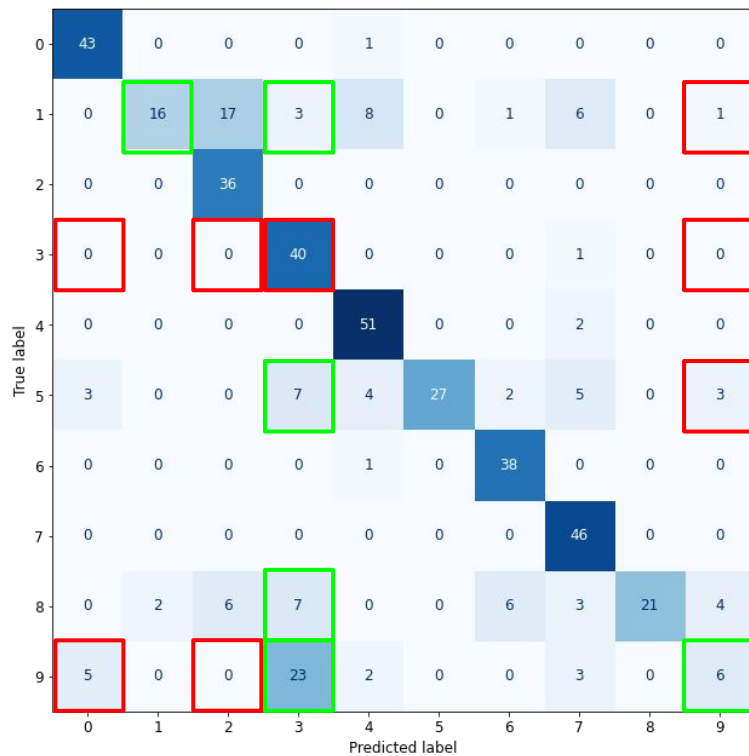
Uma estratégia para **zerar o FP** da Classe 3 é **tornar zero** a resposta do modelo para essa classe caso a saída probabilística seja **menor que 0.3**.

# EFEITOS DA APLICAÇÃO DA REGRA

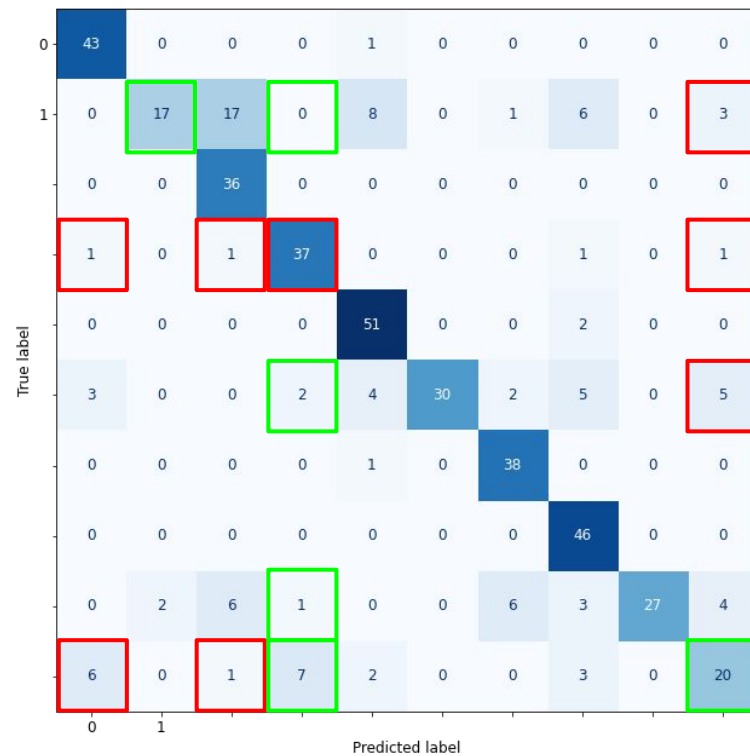
	Saídas do Modelo (heurística <i>Winner Takes All</i> )										Target	Previsão
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
img_0653	0.013101	0.064656	0.021794	<del>0.038154</del>	0.054042	0.068532	0.007527	0.591824	0.073284	0.067086	7	7
img_0100	0.056225	0.108414	0.003838	<del>0.010227</del>	0.462783	0.055771	0.147624	0.030143	0.058683	0.066291	4	4
img_1209	0.010828	0.076752	0.052734	<del>0.044373</del>	0.049547	0.068471	0.010596	0.526857	0.095063	0.064779	7	7
img_0325	0.023861	0.099842	0.017077	<del>0.039382</del>	0.074208	0.121851	0.007481	0.377932	0.113535	0.124831	9	7
img_0716	0.036626	0.191648	0.056901	<del>0.009270</del>	0.158417	0.081015	0.112315	0.115670	0.167168	0.070970	1	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
img_0149	0.115513	0.084478	0.025103	<del>0.293411</del>	0.017080	0.083960	0.011025	0.015174	0.083613	0.23064	9	9
img_1302	0.043921	0.063062	0.021389	0.355606	0.019309	0.210428	0.041220	0.038038	0.084935	0.122092	5	3
img_0482	0.131793	0.075837	0.019173	<del>0.091564</del>	0.049917	0.106207	0.154455	0.087178	0.149495	0.134381	8	6
img_0248	0.041313	0.161591	0.134693	<del>0.088051</del>	0.076911	0.066161	0.056560	0.075195	0.194226	0.105297	8	8
img_1131	0.112366	0.076022	0.081576	<del>0.003652</del>	0.083115	0.062110	0.471276	0.003991	0.069444	0.036448	6	6

# MUDANÇAS NA MATRIZ DE CONFUSÃO

## Original



## Depois do Corte



# COMPARAÇÃO DA PERFORMANCE

## Original

	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Classe 0	--	0.84	0.98	0.91
Classe 1	--	0.89	0.31	0.46
Classe 2	--	0.61	1.00	0.76
Classe 3	--	0.50	0.98	0.66
Classe 4	--	0.76	0.96	0.85
Classe 5	--	1.00	0.53	0.69
Classe 6	--	0.81	0.97	0.88
Classe 7	--	0.70	1.00	0.82
Classe 8	--	1.00	0.43	0.60
Classe 9	--	0.43	0.15	0.23
Média Ponderada	0.72	0.77	0.72	0.69

## Depois do Corte


	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Classe 0	--	0.81	0.98	0.89
Classe 1	--	0.89	0.33	0.48
Classe 2	--	0.59	1.00	0.74
Classe 3	--	0.79	0.90	0.83
Classe 4	--	0.76	0.96	0.85
Classe 5	--	1.00	0.59	0.74
Classe 6	--	0.81	0.97	0.88
Classe 7	--	0.70	1.00	0.82
Classe 8	--	1.00	0.55	0.71
Classe 9	--	0.61	0.51	0.56
Média Ponderada	0.77	0.81	0.77	0.75

T



# RESUMO DA AULA

## TAKEAWAY #1

A vertical bar with a gradient from green at the top to blue at the bottom.


**Podemos definir probabilidades diferentes do padrão de 0,5 e aumentar a performance do modelo com isso.**

## TAKEAWAY #2

A vertical bar with a gradient from light green at the top to light blue at the bottom.

**É possível utilizar heurísticas para lidar com winner takes all e melhorar problemas principalmente de empate técnico.**

## TAKEAWAY #3



**Com os conceitos trabalhados, podemos otimizar um multiclassificador.**

- Para isso, buscamos os grandes falsos positivos e aplicamos a heurística para tornar zero a saída que está abaixo de um threshold calculado com FAR/FRR.



