

# Redes Neurais e Deep Learning

## APRENDIZADO DE MÁQUINA (II)

---

Zenilton K. G. Patrocínio Jr

[zenilton@pucminas.br](mailto:zenilton@pucminas.br)

# Aprendizado de Máquina Supervisionado

Inicia-se com um conjunto de “observações”  $\mathcal{X}$  e um conjunto de “alvos” ou “rótulos”  $\mathcal{Y}$

O interesse está em conhecer como as observações determinam os alvos

# Aprendizado de Máquina Supervisionado

Inicia-se com um conjunto de “observações”  $\mathcal{X}$  e um conjunto de “alvos” ou “rótulos”  $\mathcal{Y}$

O interesse está em conhecer como as observações determinam os alvos

**Entrada** : vários pares  $(x_i, y_i)$  em que  $x_i \in \mathcal{X}$  e  $y_i \in \mathcal{Y}$

**Saída** : Dada uma nova observação  $x$ , deseja-se prever o rótulo correspondente  $y$

# Aprendizado de Máquina Supervisionado

Inicia-se com um conjunto de “observações”  $\mathcal{X}$  e um conjunto de “alvos” ou “rótulos”  $\mathcal{Y}$

O interesse está em conhecer como as observações determinam os alvos

**Entrada** : vários pares  $(x_i, y_i)$  em que  $x_i \in \mathcal{X}$  e  $y_i \in \mathcal{Y}$

**Saída** : Dada uma nova observação  $x$ , deseja-se prever o rótulo correspondente  $y$

Tipicamente observações são “baratas” enquanto alvos são “caros” e não-observáveis.

⇒ Dessa forma, previsões corretas apresentam valor econômico

# Problemas de Predição – Exemplos

**Observação – Espaço  $\mathcal{X}$ :**

Imagens

**Alvo – Espaço  $\mathcal{Y}$ :**

Classe da imagem: “gato”, “cachorro”, ...

# Problemas de Predição – Exemplos

## **Observação – Espaço $\mathcal{X}$ :**

Imagens

Imagens

## **Alvo – Espaço $\mathcal{Y}$ :**

Classe da imagem: “gato”, “cachorro”, ...

Rótulo descritivo: “crianças jogando futebol”

# Problemas de Predição – Exemplos

## Observação – Espaço $\mathcal{X}$ :

Imagens

Imagens

Imagens de Faces

## Alvo – Espaço $\mathcal{Y}$ :

Classe da imagem: “gato”, “cachorro”, ...

Rótulo descritivo: “crianças jogando futebol”

Identidade do usuário

# Problemas de Predição – Exemplos

## **Observação – Espaço $\mathcal{X}$ :**

Imagens

Imagens

Imagens de Faces

Imagens Naturais

## **Alvo – Espaço $\mathcal{Y}$ :**

Classe da imagem: “gato”, “cachorro”, ...

Rótulo descritivo: “crianças jogando futebol”

Identidade do usuário

Imagens estilizadas (p.ex. desenhos animados)



# Problemas de Predição – Exemplos

## Observação – Espaço $\mathcal{X}$ :

Imagens

Imagens

Imagens de Faces

Imagens Naturais

Sons da Fala Humana

## Alvo – Espaço $\mathcal{Y}$ :

Classe da imagem: “gato”, “cachorro”, ...

Rótulo descritivo: “crianças jogando futebol”

Identidade do usuário

Imagens estilizadas (p.ex. desenhos animados)

Transcrição textual da fala

# Problemas de Predição – Exemplos

## Observação – Espaço $\mathcal{X}$ :

Imagens

Imagens

Imagens de Faces

Imagens Naturais

Sons da Fala Humana

Sentença em inglês

## Alvo – Espaço $\mathcal{Y}$ :

Classe da imagem: “gato”, “cachorro”, ...

Rótulo descritivo: “crianças jogando futebol”

Identidade do usuário

Imagens estilizadas (p.ex. desenhos animados)

Transcrição textual da fala

Tradução para o português

# Problemas de Predição – Exemplos

## Observação – Espaço $\mathcal{X}$ :

Imagens

Imagens

Imagens de Faces

Imagens Naturais

Sons da Fala Humana

Sentença em inglês

Dados Demográficos: idade, renda

## Alvo – Espaço $\mathcal{Y}$ :

Classe da imagem: “gato”, “cachorro”, ...

Rótulo descritivo: “crianças jogando futebol”

Identidade do usuário

Imagens estilizadas (p.ex. desenhos animados)

Transcrição textual da fala

Tradução para o português

Outras informações: nível educacional, emprego

# Problemas de Predição – Exemplos

## Observação – Espaço $\mathcal{X}$ :

Imagens

Imagens

Imagens de Faces

Imagens Naturais

Sons da Fala Humana

Sentença em inglês

Dados Demográficos: idade, renda

Dados sobre dieta e estilo de vida

## Alvo – Espaço $\mathcal{Y}$ :

Classe da imagem: “gato”, “cachorro”, ...

Rótulo descritivo: “crianças jogando futebol”

Identidade do usuário

Imagens estilizadas (p.ex. desenhos animados)

Transcrição textual da fala

Tradução para o português

Outras informações: nível educacional, emprego

Risco de doenças cardíacas

# Aprendizado Estatístico

Assume-se que  $x$  e  $y$  são obtidas a partir de **amostras de variáveis randômicas**  $X$  e  $Y$

Estas variáveis randômicas possuem uma **distribuição conjunta**  $P(X, Y)$

# Aprendizado Estatístico

Assume-se que  $x$  e  $y$  são obtidas a partir de **amostras de variáveis randômicas**  $X$  e  $Y$

Estas variáveis randômicas possuem uma **distribuição conjunta**  $P(X, Y)$

Para predição, deseja-se conhecer pelo menos a distribuição condicional  $P(Y|X)$ , de forma que se possa determinar a distribuição dos alvos  $y$  dada uma observação  $x$

# Aprendizado Estatístico

Assume-se que  $x$  e  $y$  são obtidas a partir de **amostras de variáveis randômicas**  $X$  e  $Y$

Estas variáveis randômicas possuem uma **distribuição conjunta**  $P(X, Y)$

Para predição, deseja-se conhecer pelo menos a distribuição condicional  $P(Y|X)$ , de forma que se possa determinar a distribuição dos alvos  $y$  dada uma observação  $x$

Uma aproximação  $\hat{P}(Y|X)$  para a verdadeira distribuição  $P(Y|X)$  é denominada **modelo**

# Aprendizado Estatístico

Assume-se que  $x$  e  $y$  são obtidas a partir de **amostras de variáveis randômicas**  $X$  e  $Y$

Estas variáveis randômicas possuem uma **distribuição conjunta**  $P(X, Y)$

Para predição, deseja-se conhecer pelo menos a distribuição condicional  $P(Y|X)$ , de forma que se possa determinar a distribuição dos alvos  $y$  dada uma observação  $x$

Uma aproximação  $\hat{P}(Y|X)$  para a verdadeira distribuição  $P(Y|X)$  é denominada **modelo**

O objetivo do aprendizado estatístico é construir modelos que sejam:

1. Computáveis (e talvez, simples e eficientes); e
2. Capazes de fornecer predições próximas daquelas feitas pela verdadeira distribuição



# Função de Predição

Pode-se simplificar a tarefa de modelagem por meio de uma suposição “forte” sobre o modelo  $\hat{P}(X, Y)$  de que  $y = f(x)$ , isto é,  $y$  **assume um único valor** para um dado  $x$

## Exemplos:

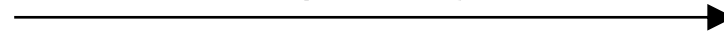
- Regressão Linear:  $y = f(x)$  em que  $f$  é uma função linear e  $y$  é um valor real,  $y \in \mathbb{R}$
- Classificador (SVM, Floresta Randômica, etc.):  $y = f(x)$  representa a classe predita de  $x$  e  $y$  é o número/rótulo da classe,  $y \in \{1, \dots, k\}$

# Abordagem Paramétrica



**[32x32x3]**  
vetor de números  
(3072 no total)

$f(\mathbf{x}, \mathbf{W})$



**10** números,  
indicando “scores”  
de cada classe

# Abordagem Paramétrica



**[32x32x3]**

vetor de números  
(3072 no total)

imagem

$f(\mathbf{x}, \mathbf{W})$



**10** números,  
indicando “scores”  
de cada classe

# Abordagem Paramétrica



**[32x32x3]**

vetor de números  
(3072 no total)

imagem      parâmetros  
                  $f(\mathbf{x}, \mathbf{W})$

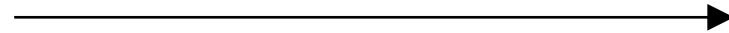
**10** números,  
indicando “scores”  
de cada classe

# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

$$f(x, W) = Wx$$



**[32x32x3]**  
vetor de números  
(3072 no total)



**10** números,  
indicando “scores”  
de cada classe

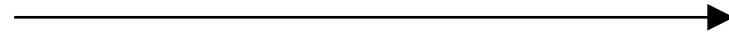
# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

$$f(x, W) = W \boxed{x} \quad \mathbf{3072 \times 1}$$



**[32x32x3]**

vetor de números  
(3072 no total)



**10** números,  
indicando “scores”  
de cada classe

# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear



**[32x32x3]**  
vetor de números  
(3072 no total)

$$\boxed{f(x, W)} = W \boxed{x} \quad \text{3072x1}$$

**10x1**



**10** números,  
indicando “scores”  
de cada classe

# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear



**[32x32x3]**  
vetor de números  
(3072 no total)

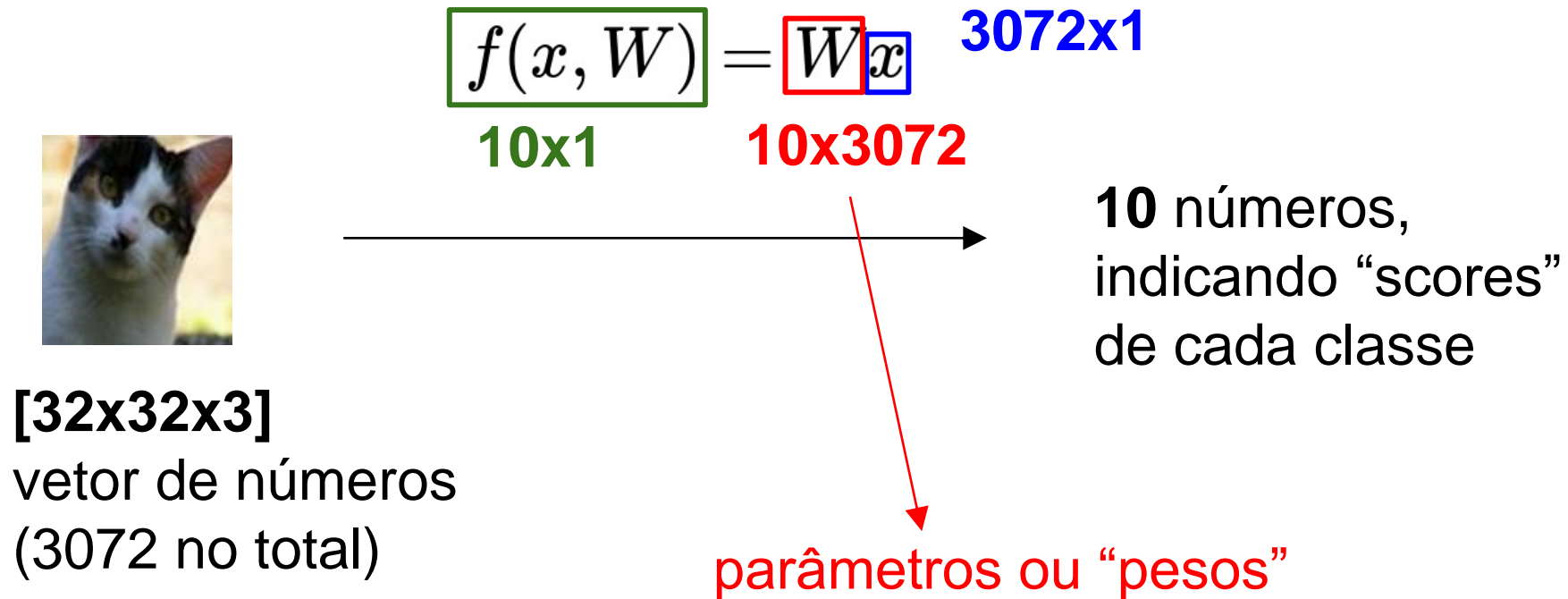
$$\boxed{f(x, W)} = \boxed{W} \boxed{x}$$

**10x1**      **10x3072**      **3072x1**

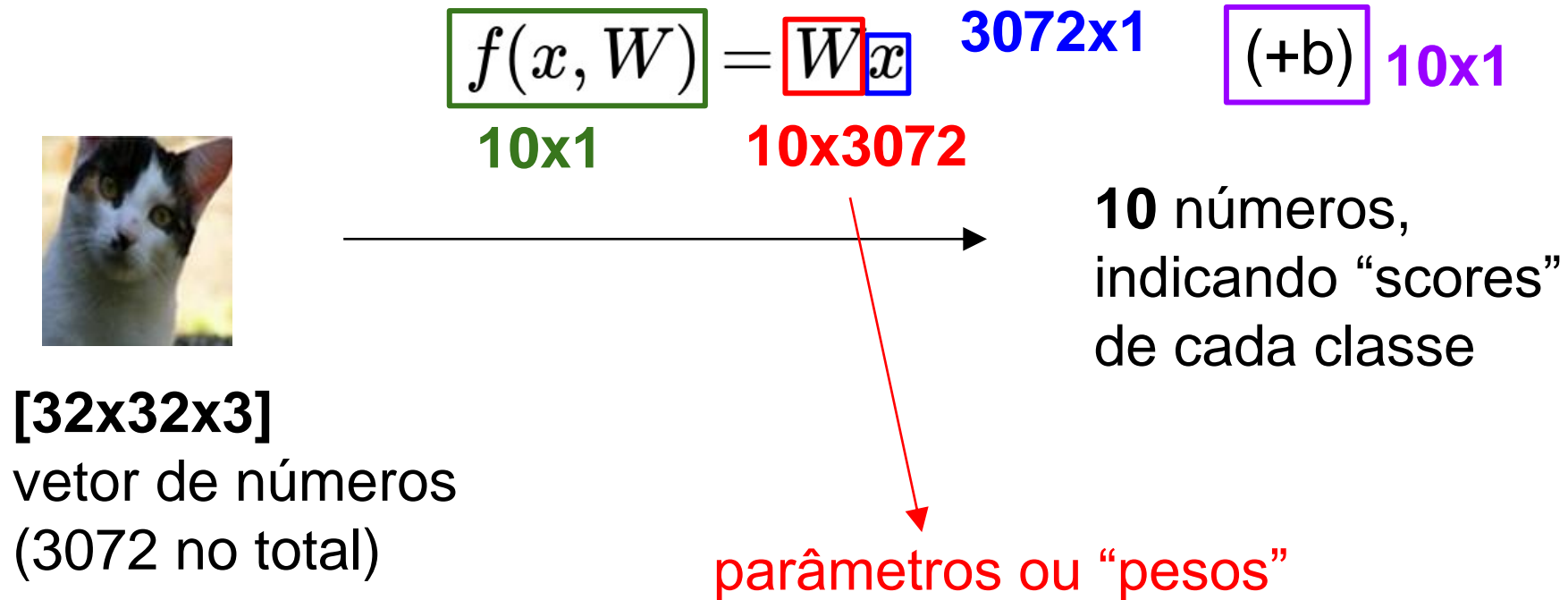
→ **10** números,  
indicando “scores”  
de cada classe



# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear



# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear



# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

Exemplo com 4 pixels de uma imagem e 3 classes (**gato** / **cão** / **navio**)



Imagem de  
entrada



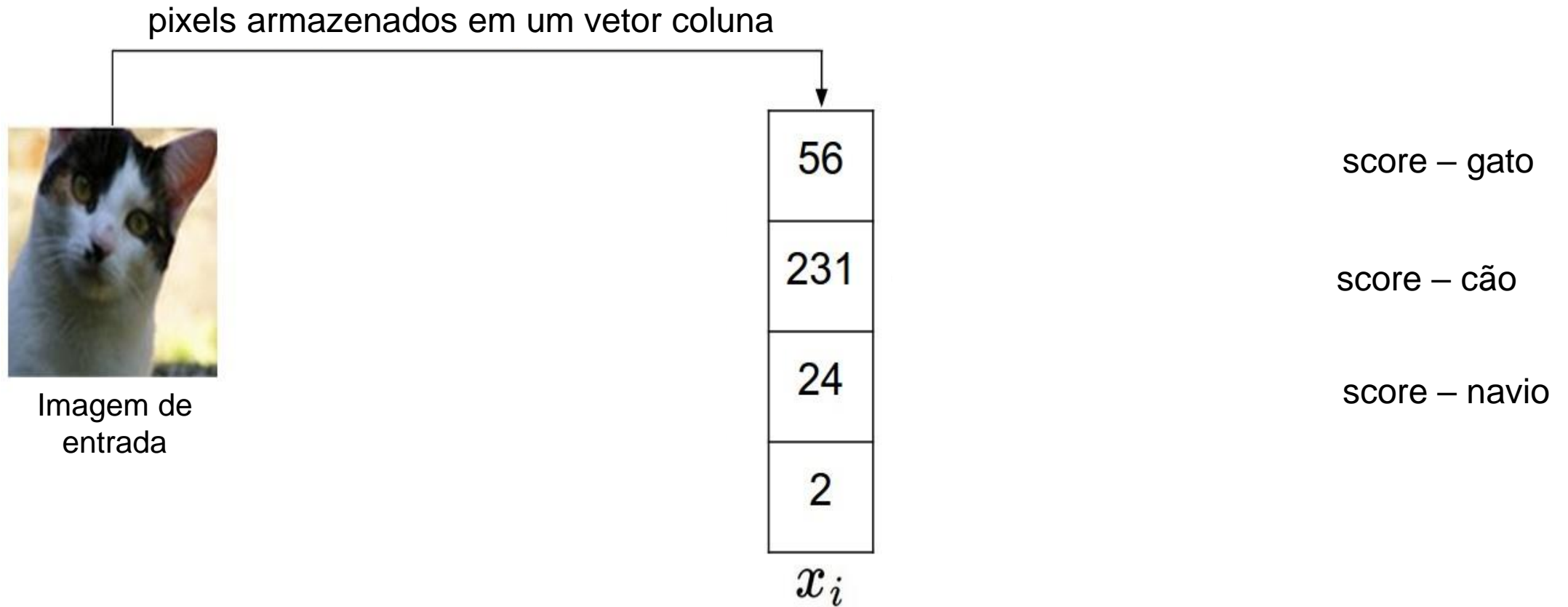
score – gato

score – cão

score – navio

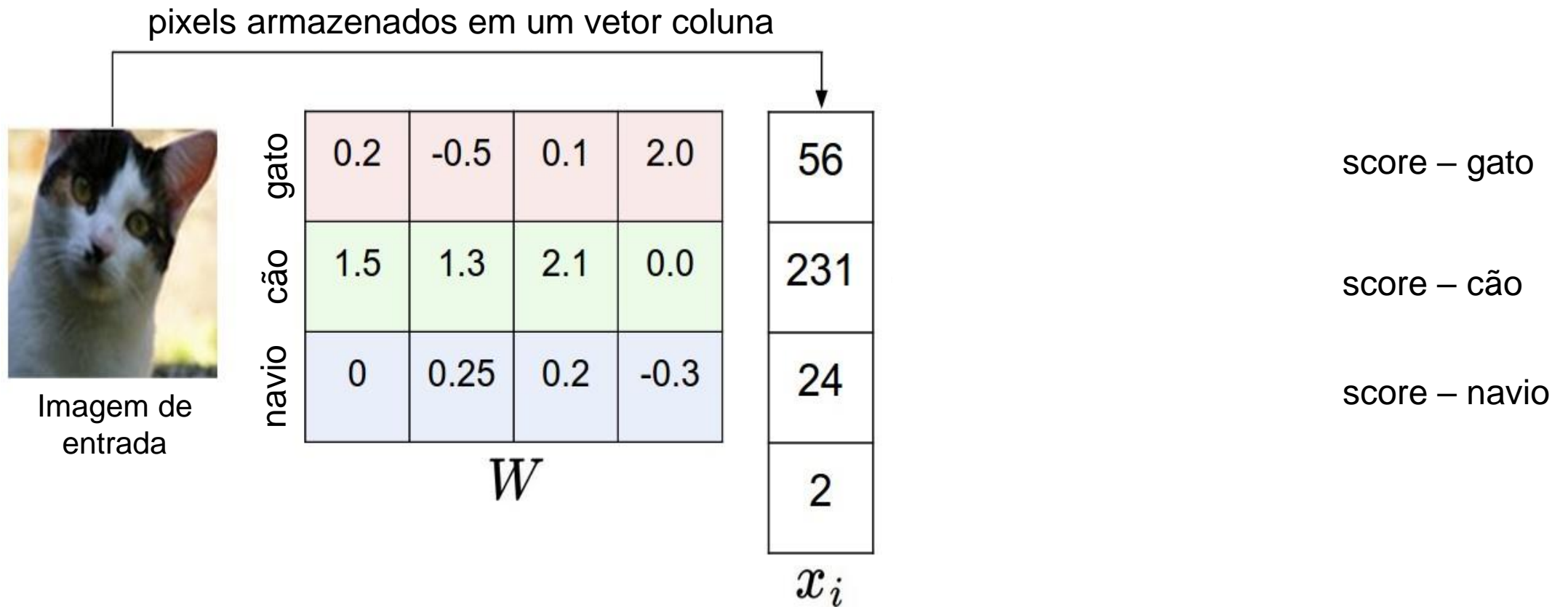
# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

Exemplo com 4 pixels de uma imagem e 3 classes (**gato** / **cão** / **navio**)



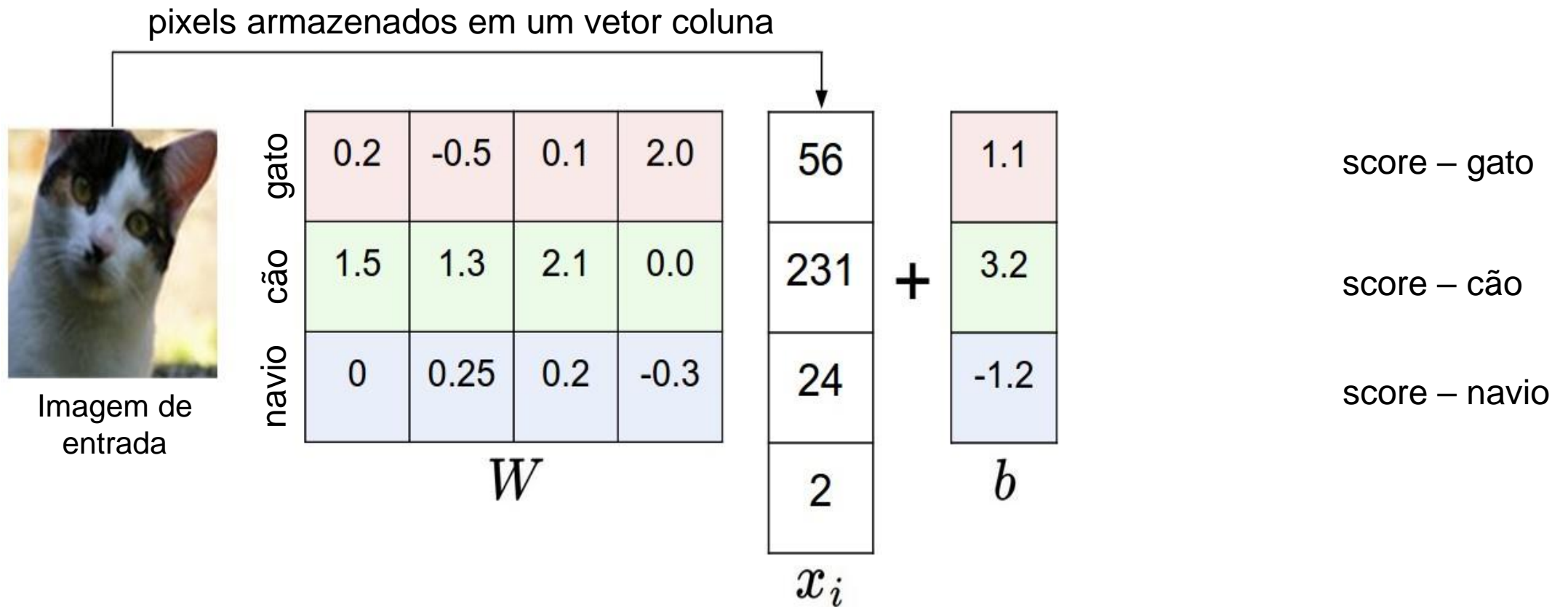
# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

Exemplo com 4 pixels de uma imagem e 3 classes (gato / cão / navio)



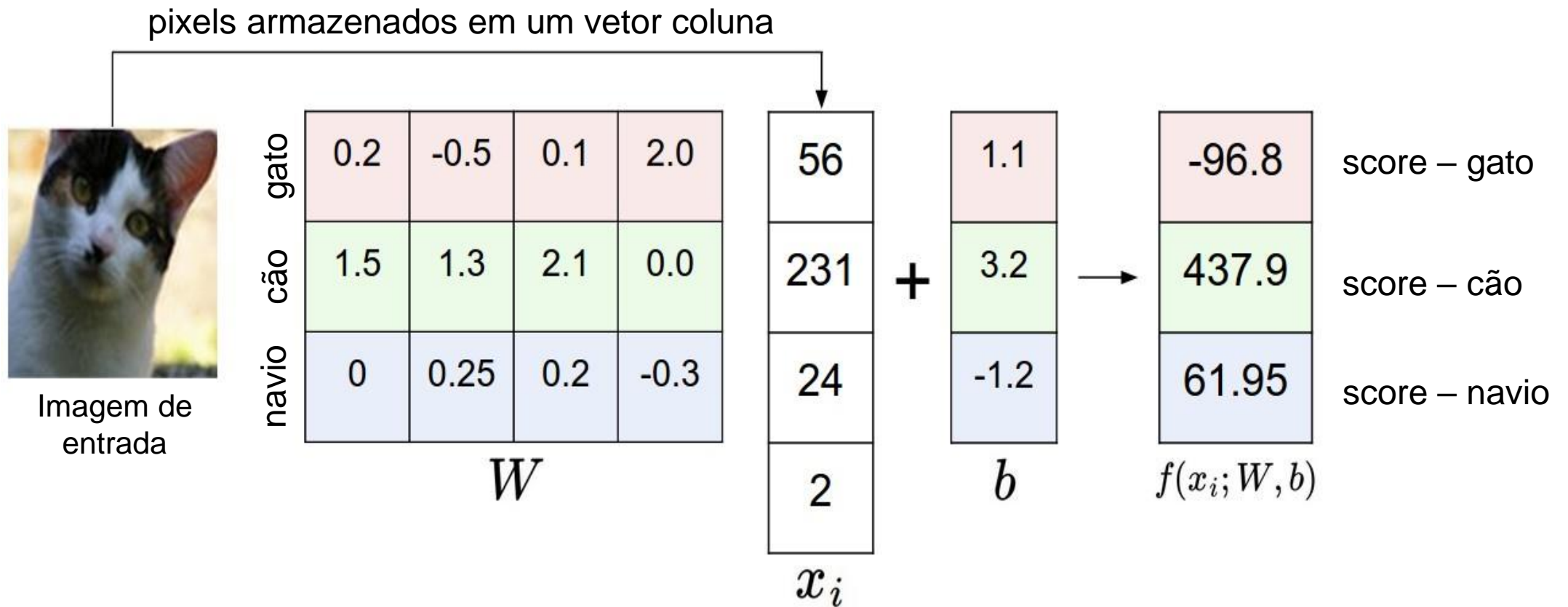
# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

Exemplo com 4 pixels de uma imagem e 3 classes (**gato** / **cão** / **navio**)



# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

Exemplo com 4 pixels de uma imagem e 3 classes (gato / cão / navio)



# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

Exemplo de “scores” de classe para 3 imagens com uma matriz  $W$  aleatória



$$f(x_i, W, b) = Wx_i + b$$

avião	-3,45	-0,51	3,42
carro	-8,87	<b>6,04</b>	4,64
pássaro	0,09	5,31	2,65
gato	<b>2,9</b>	-4,22	5,1
corsa	4,48	-4,19	2,64
cão	8,02	3,58	5,55
rã	3,78	4,49	<b>-4,34</b>
cavalo	1,06	-4,37	-1,5
navio	-0,36	-2,09	-4,79
caminhão	-0,72	-2,93	6,14



# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

Exemplo de “scores” de classe para 3 imagens com uma matriz  $W$  aleatória



$$f(x_i, W, b) = Wx_i + b$$

avião	-3,45	-0,51	3,42
carro	-8,87	<b>6,04</b>	4,64
pássaro	0,09	5,31	2,65
gato	<b>2,9</b>	-4,22	5,1
corsa	4,48	-4,19	2,64
cão	<b>8,02</b>	3,58	5,55
rã	3,78	4,49	<b>-4,34</b>
cavalo	1,06	-4,37	-1,5
navio	-0,36	-2,09	-4,79
caminhão	-0,72	-2,93	<b>6,14</b>

# Abordagem Paramétrica: Classificador Linear

Exemplo de “scores” de classe para 3 imagens com uma matriz  $W$  aleatória



$$f(x_i, W, b) = Wx_i + b$$

avião	-3,45	-0,51	3,42
carro	-8,87	<b>6,04</b>	4,64
pássaro	0,09	5,31	2,65
gato	<b>2,9</b>	-4,22	5,1
corsa	4,48	-4,19	2,64
cão	<b>8,02</b>	3,58	5,55
rã	3,78	4,49	<b>-4,34</b>
cavalo	1,06	-4,37	-1,5
navio	-0,36	-2,09	-4,79
caminhão	-0,72	-2,93	<b>6,14</b>



Deve-se encontrar com o treinamento um conjunto de parâmetros ou pesos que consiga obter os melhores resultados de predição