

# Aula 04 – Classificação de imagens

Prof. João Fernando Mari

[joaofmari.github.io](https://joaofmari.github.io)

*joaof.mari@ufv.br*

- Um problema de classificação
- Pipelines de classificação
- Modelos de aprendizado
- Validação cruzada
- Avaliação dos resultados

# UM PROBLEMA DE CLASSIFICAÇÃO

# Um problema de classificação

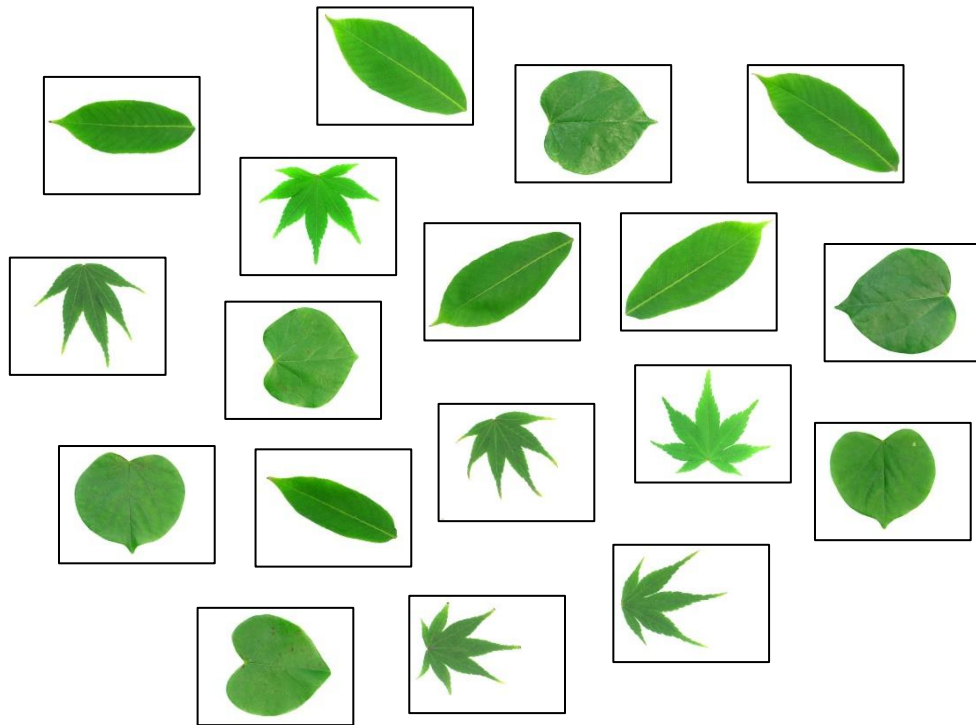
- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

- Flavia leaf dataset:

- <http://flavia.sourceforge.net/>
- 1.907 imagens
- 33 classes

- Seleccionamos 3 classes:

- *aesculus chinensis*
- *acer palmatum*
- *cercis chinensis*



# Um problema de classificação

- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

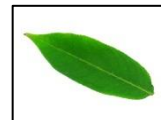
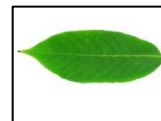
- Extração de características:

- Selecionar características das imagens que podem ser usadas para distinguir entre as classes.

- Características podem ser:

- Formas
- Cores
- Texturas
- Histograma de gradientes (HoG)
- *Bag of Visual Words*
- *Fisher Vectors*
- ...

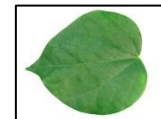
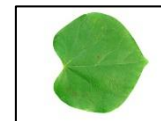
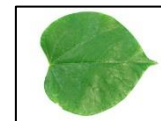
*aesculus chinensis*



*acer palmatum*



*cercis chinensis*



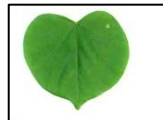
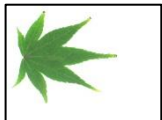
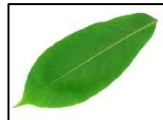
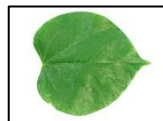
# Um problema de classificação

- Algumas características de forma: Área:

*aesculus chinensis*

*acer palmatum*

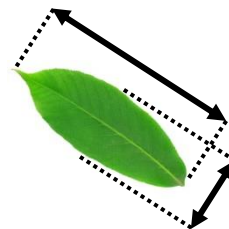
*cercis chinensis*



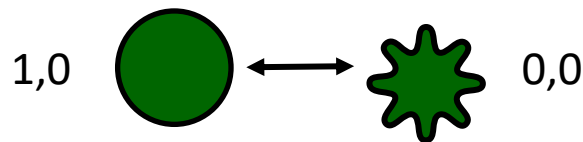
Área:



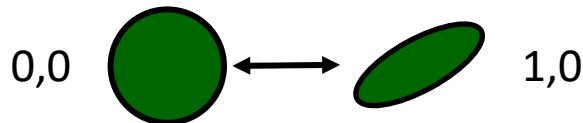
Eixos:



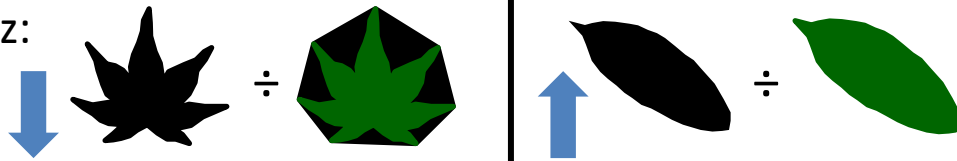
Circularidade:



Excentricidade:






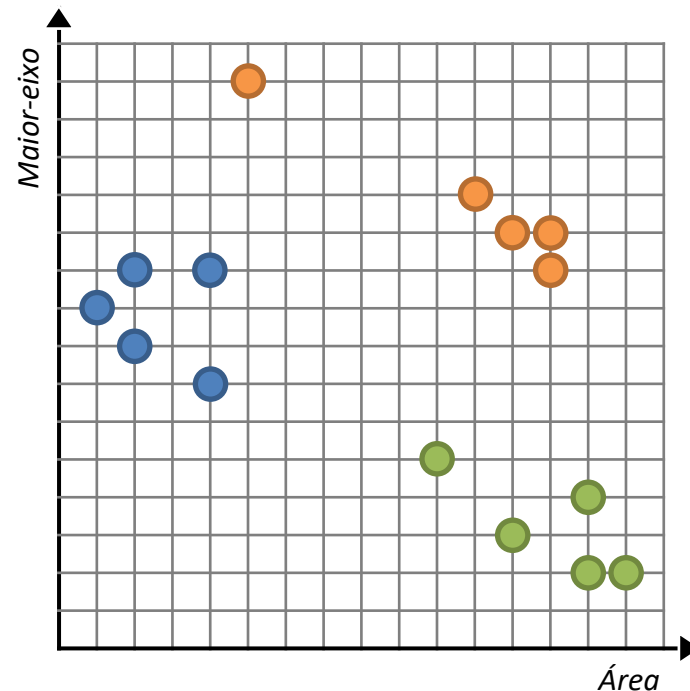
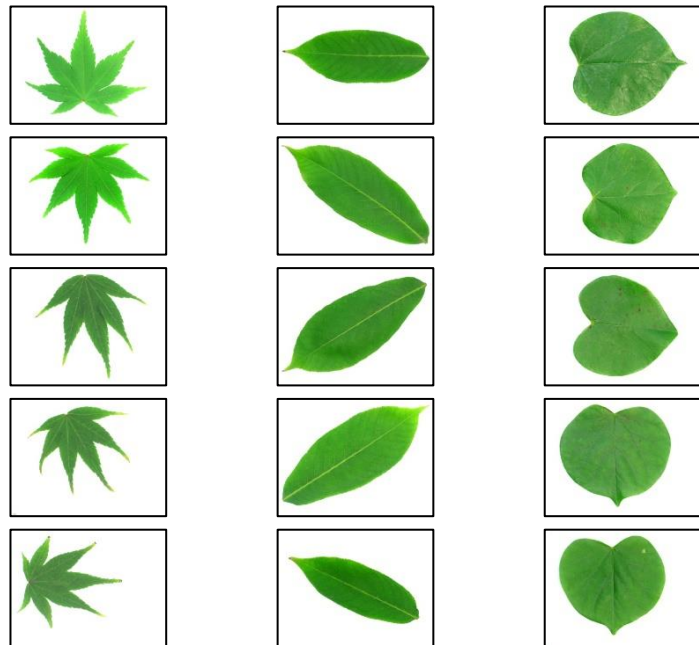
Solidez:



# Um problema de classificação

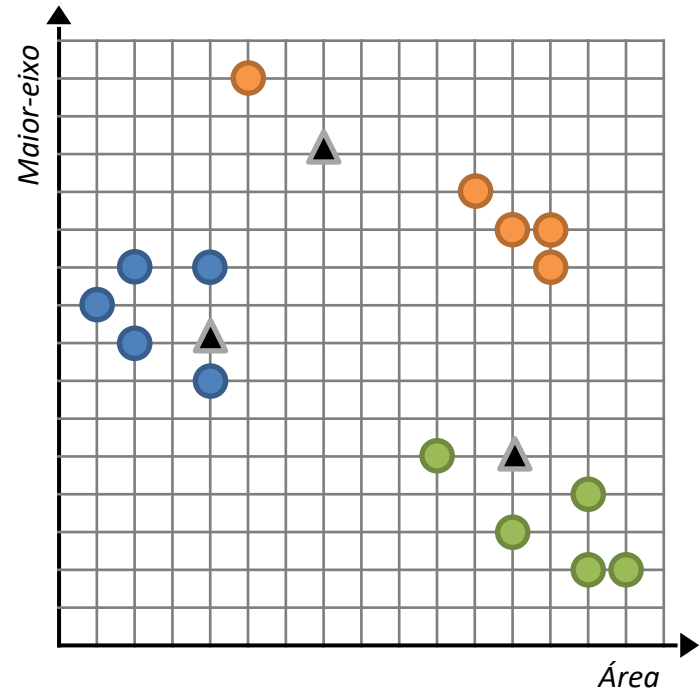
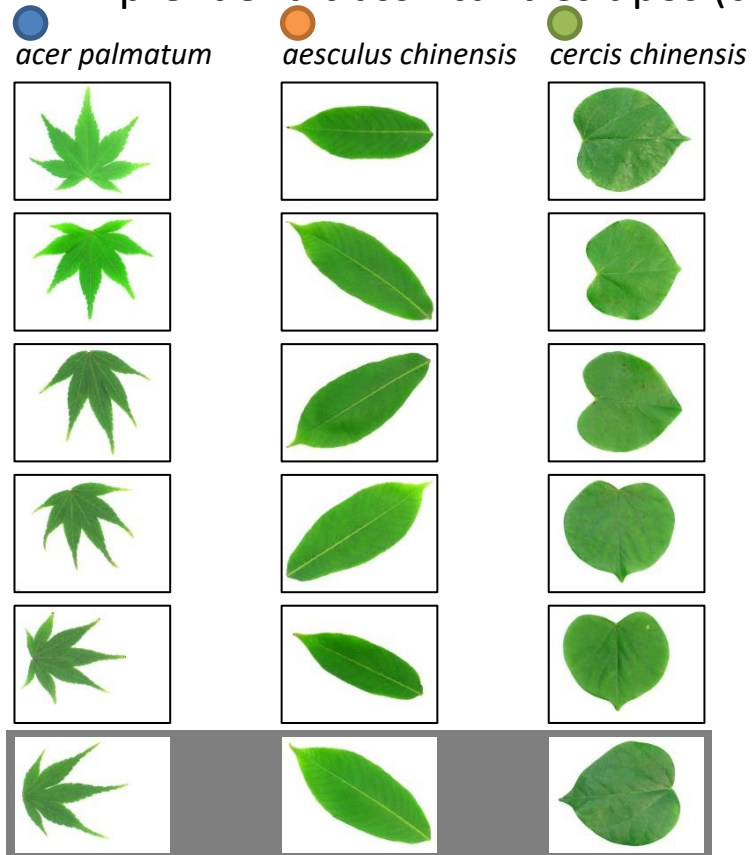
- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

 *acer palmatum*
 *aesculus chinensis*
 *cercis chinensis*



# Um problema de classificação

- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

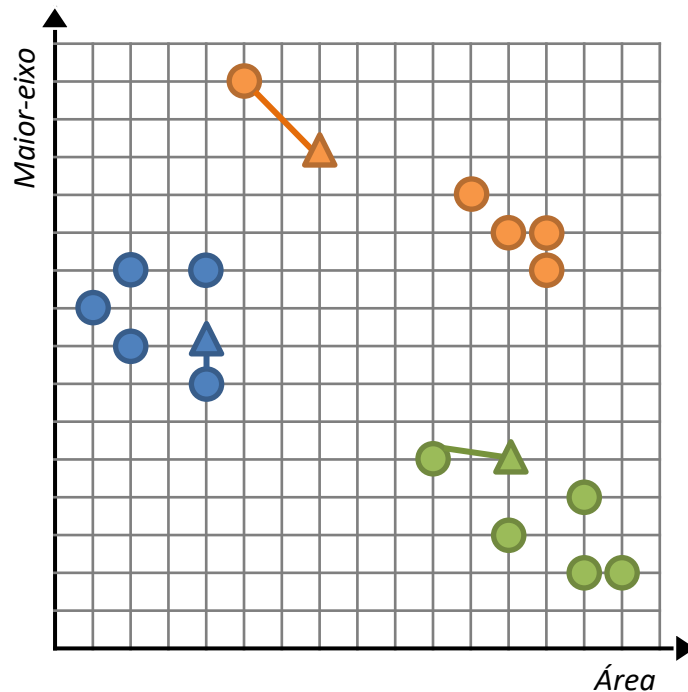
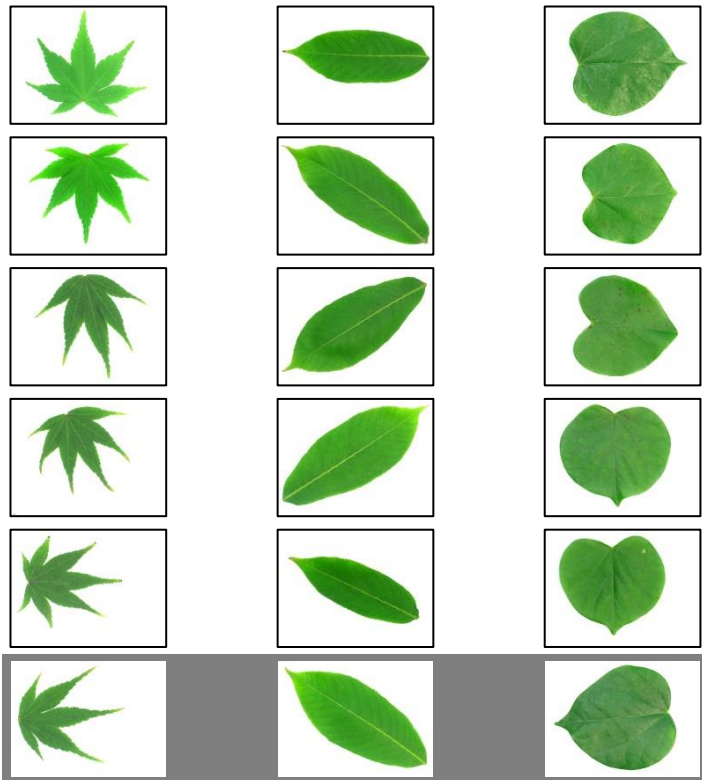




# Método do vizinho mais próximo




- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

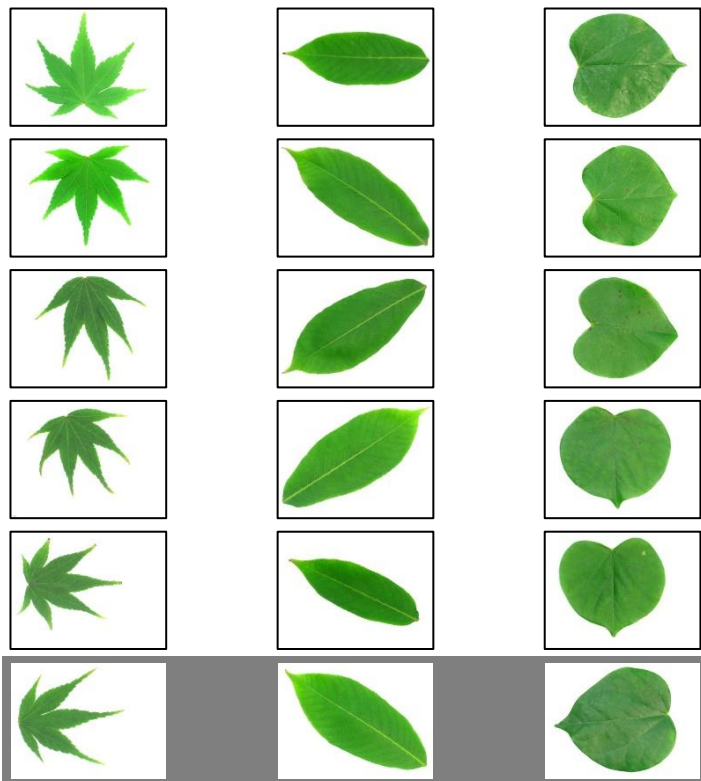
● *acer palmatum*
● *aesculus chinensis*
● *cercis chinensis*



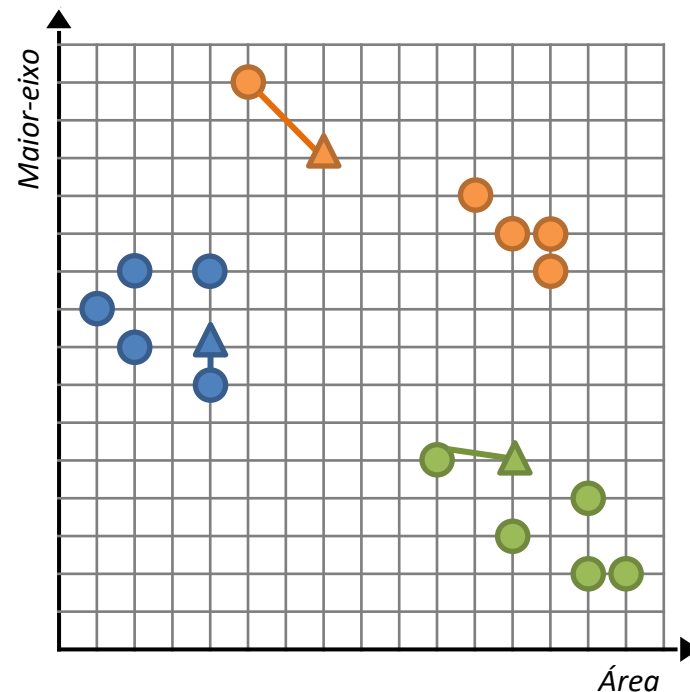
# K-vizinhos mais próximos – K-NN

- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

 *acer palmatum*
 *aesculus chinensis*
 *cercis chinensis*






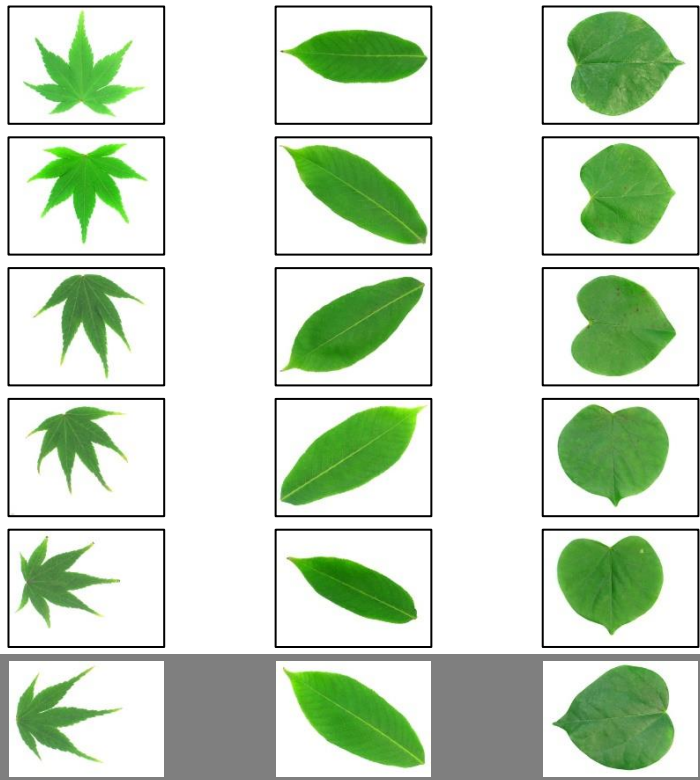
$k = 1$



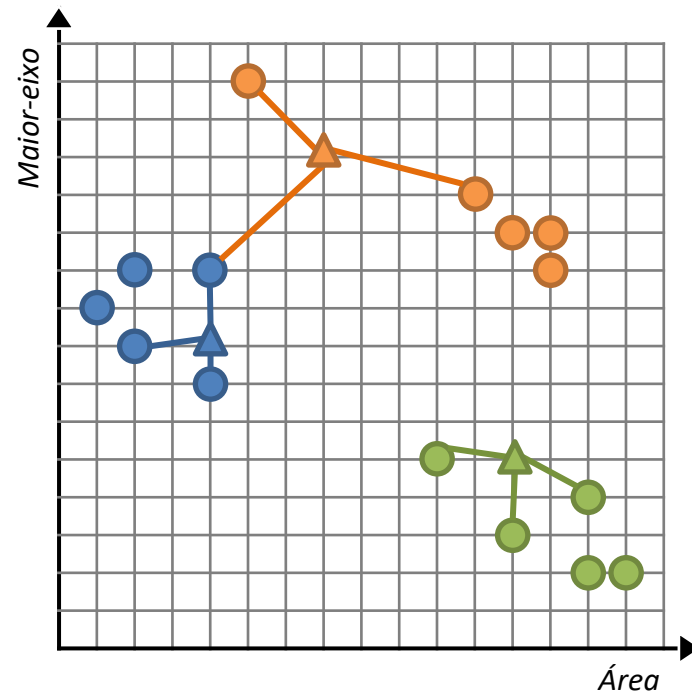
# K-vizinhos mais próximos – K-NN

- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

 *acer palmatum*
 *aesculus chinensis*
 *cercis chinensis*






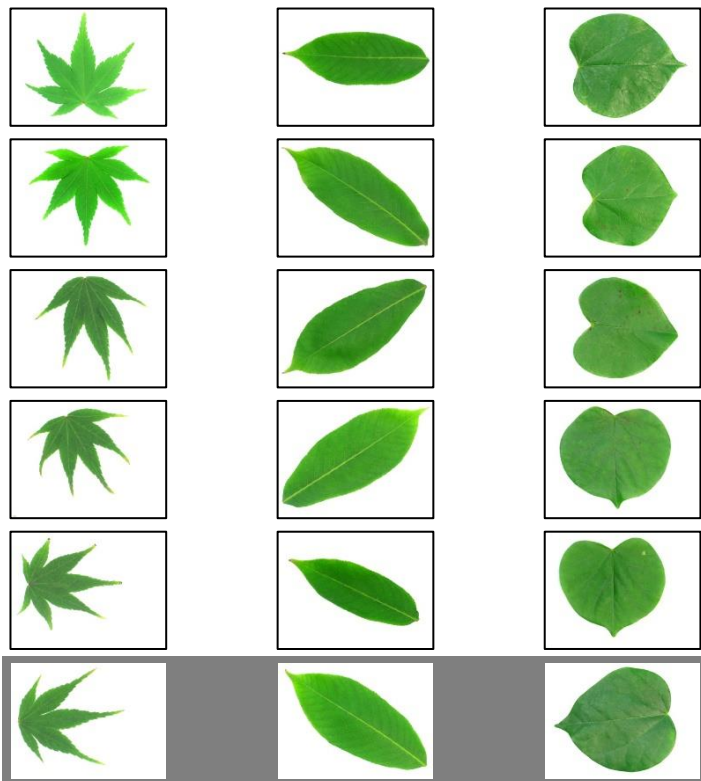
$k = 3$



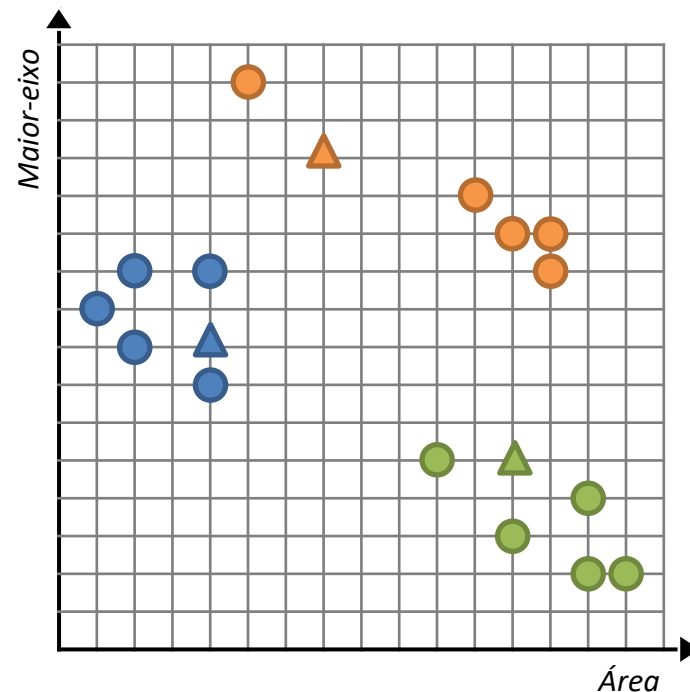
# K-vizinhos mais próximos – K-NN

- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

 *acer palmatum*
 *aesculus chinensis*
 *cercis chinensis*



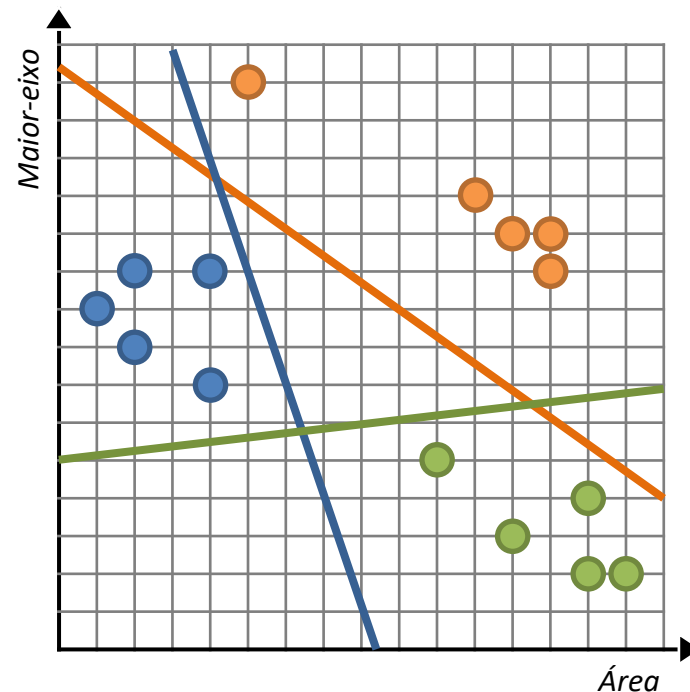
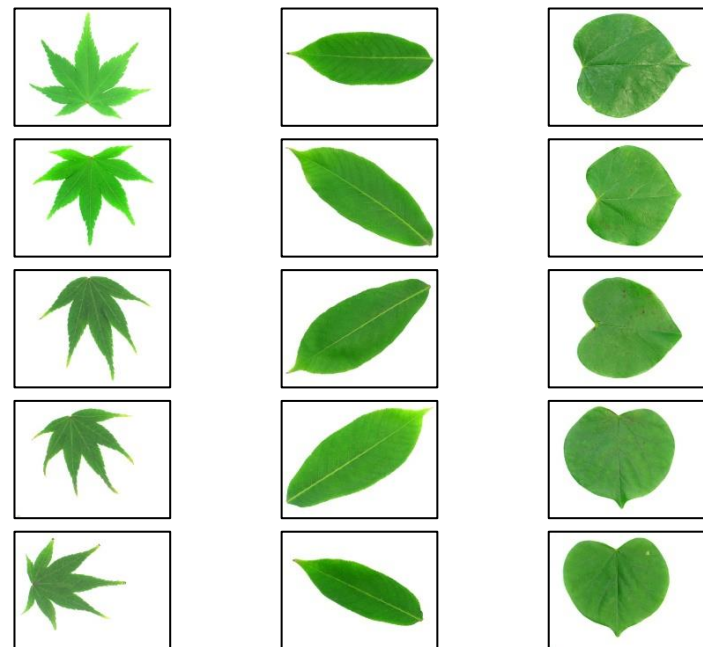
$k = 3$



# Funções lineares (Perceptrons)

- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

● *acer palmatum*
● *aesculus chinensis*
● *cercis chinensis*



# Funções lineares (Perceptrons)

- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.



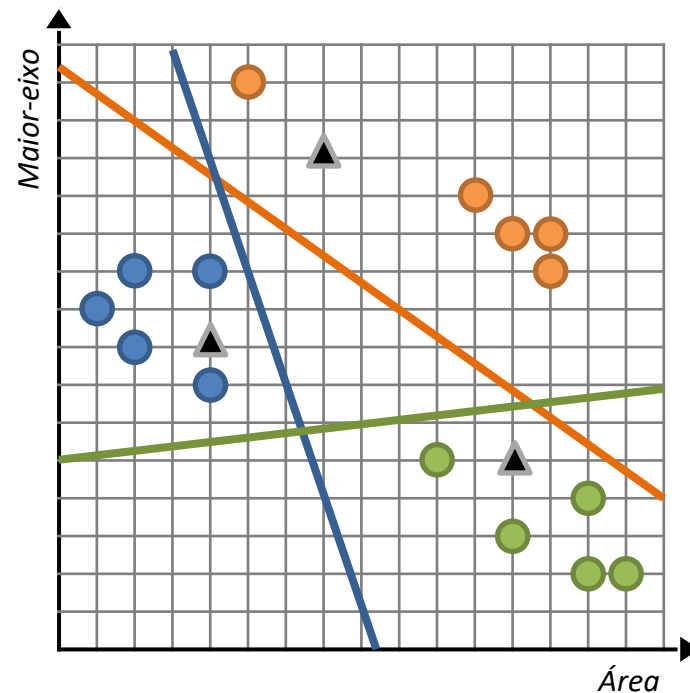
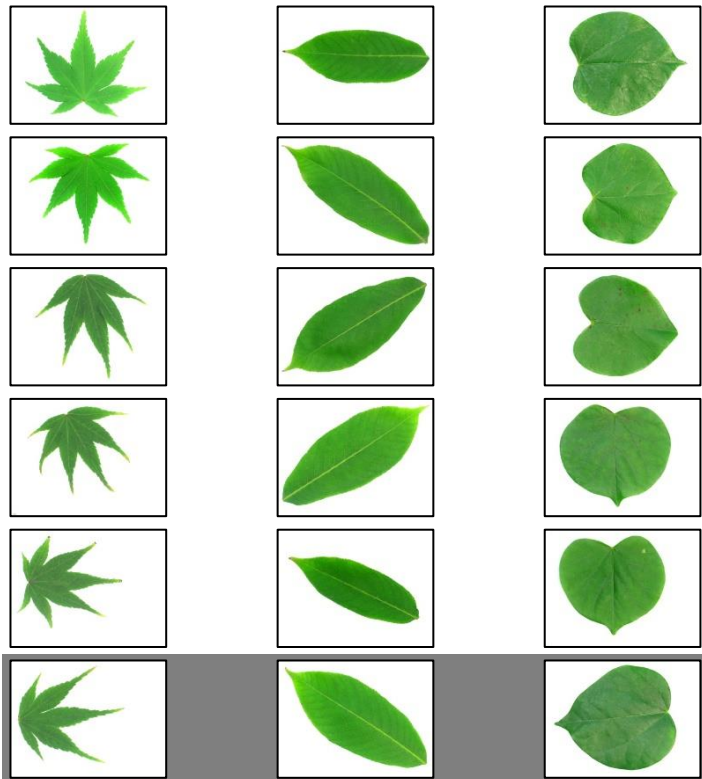
*acer palmatum*



*aesculus chinensis*



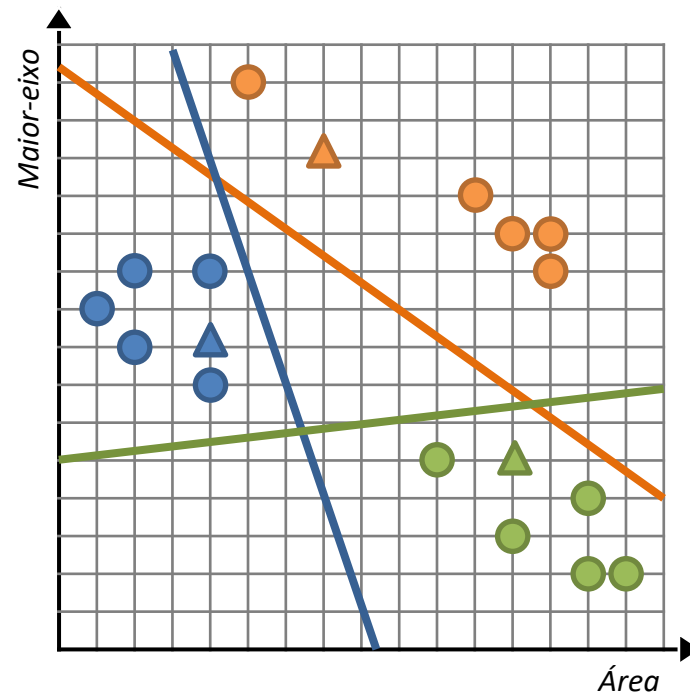
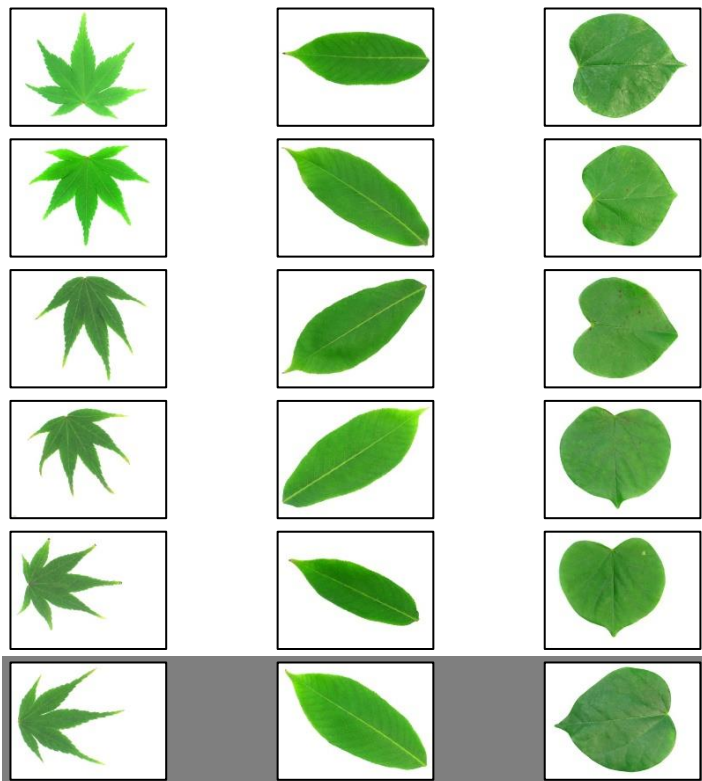
*cercis chinensis*



# Funções lineares (Perceptrons)

- Aprender a classificar três tipos (classes) de folhas a partir de imagens.

● *acer palmatum*
● *aesculus chinensis*
● *cercis chinensis*

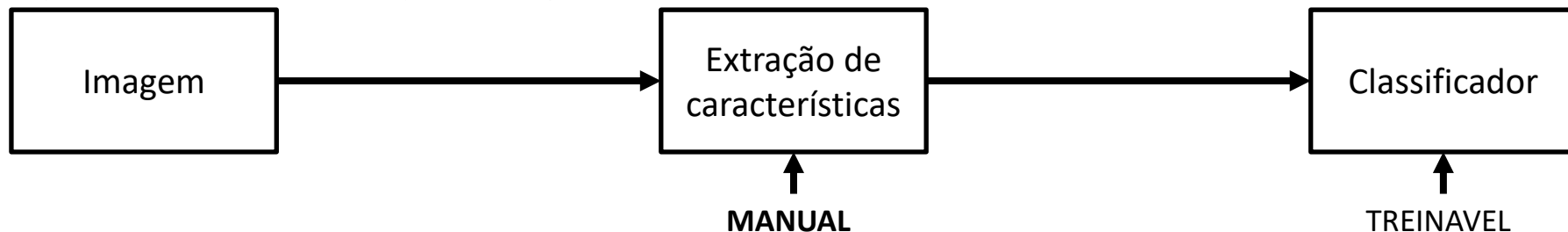


# PIPELINES DE CLASSIFICAÇÃO

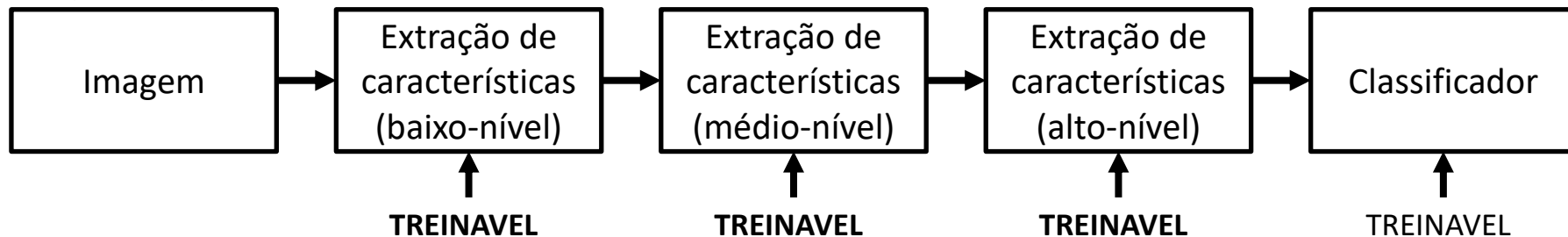


# Pipelines de classificação

Pipeline clássico de classificação de imagens



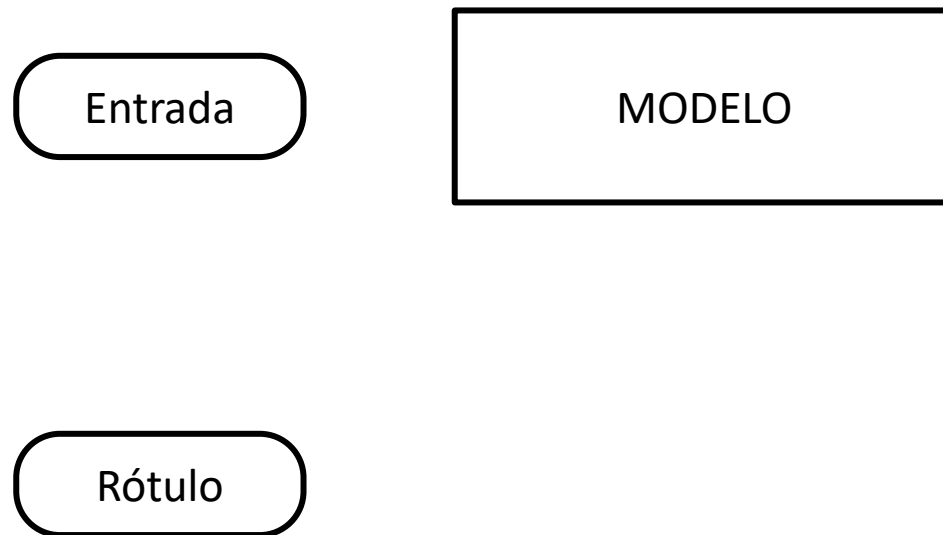
Deep Learning

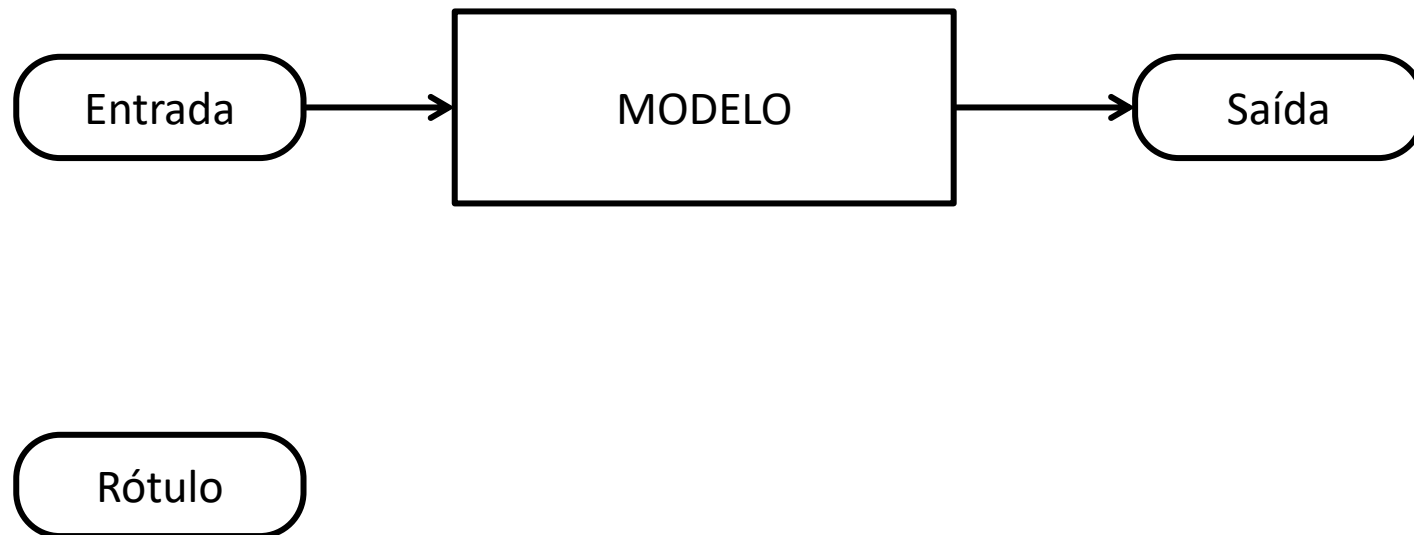


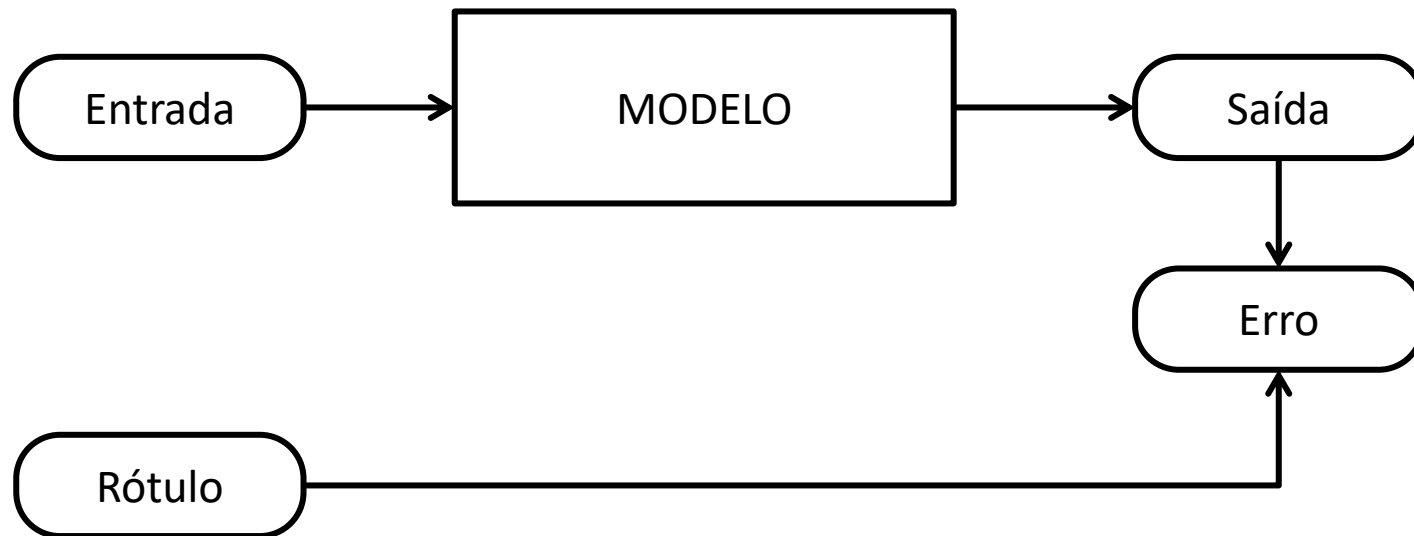
# MODELOS DE APRENDIZADO

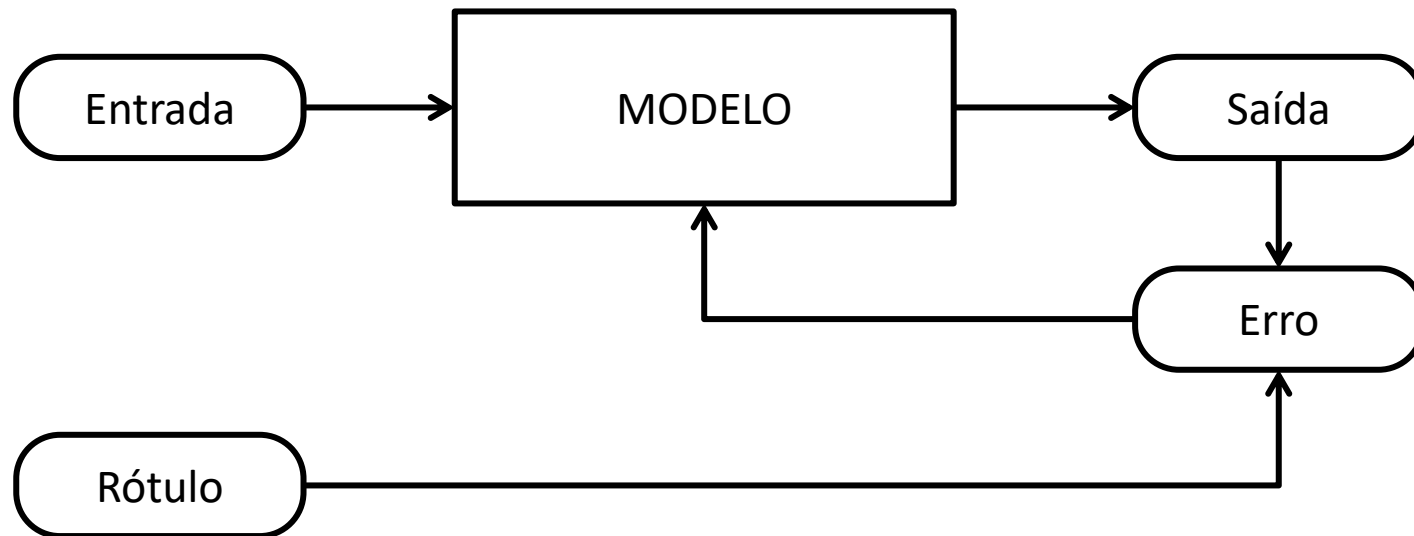
# Modelos de aprendizado

- Aprendizado supervisionado
- Aprendizado não supervisionado
- Aprendizado por reforço
- Aprendizado semi-supervisionado

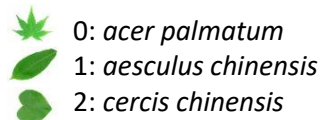
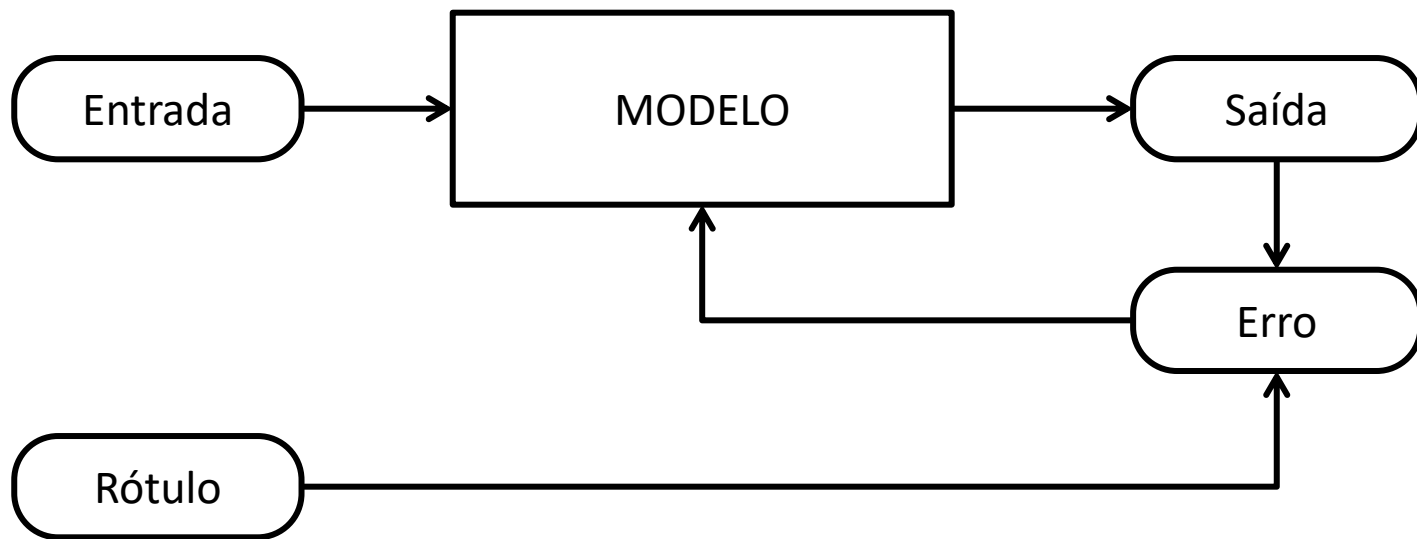
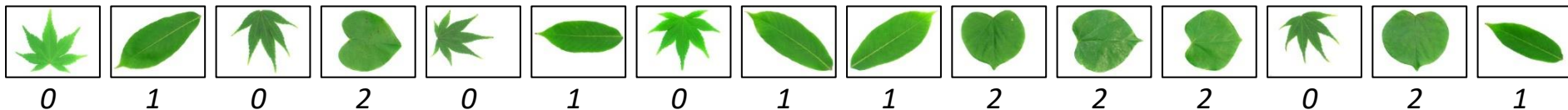






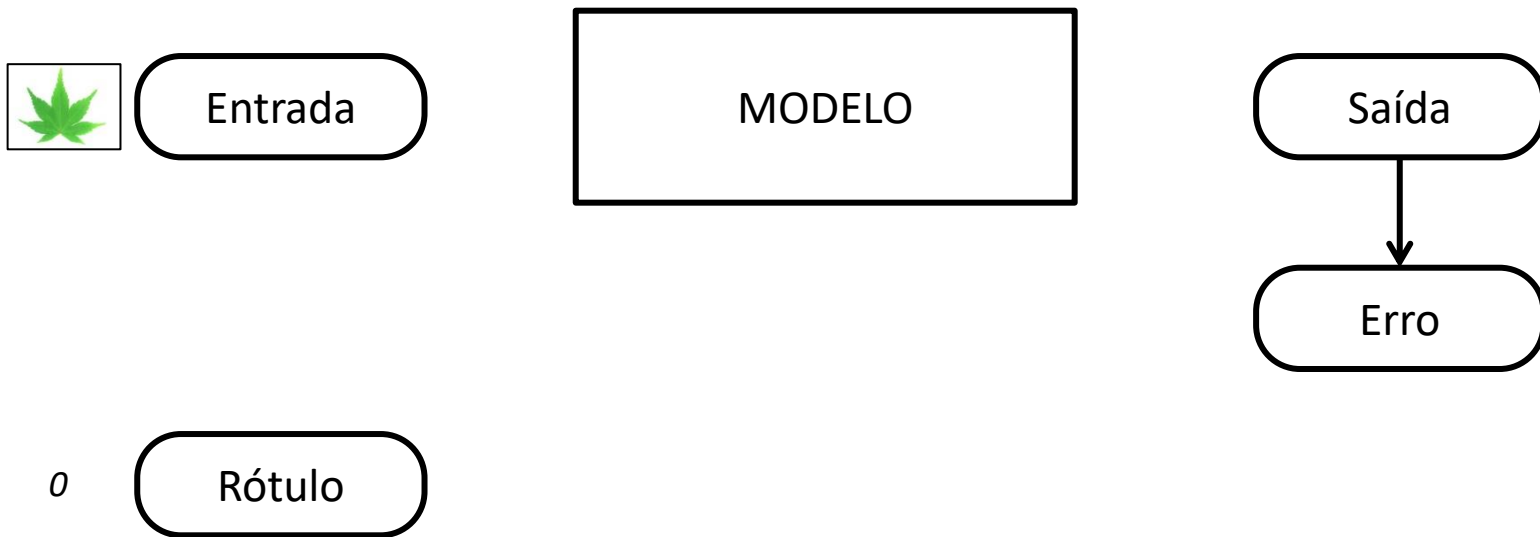
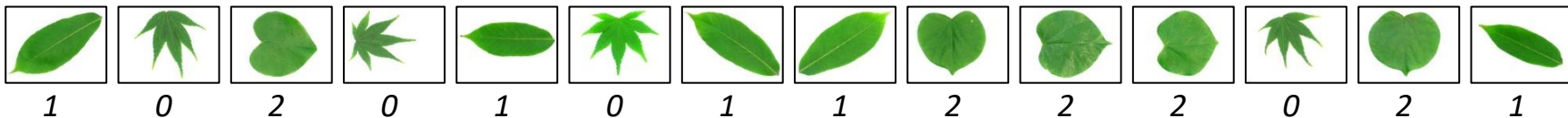





# Exemplo: Aprendizado supervisionado



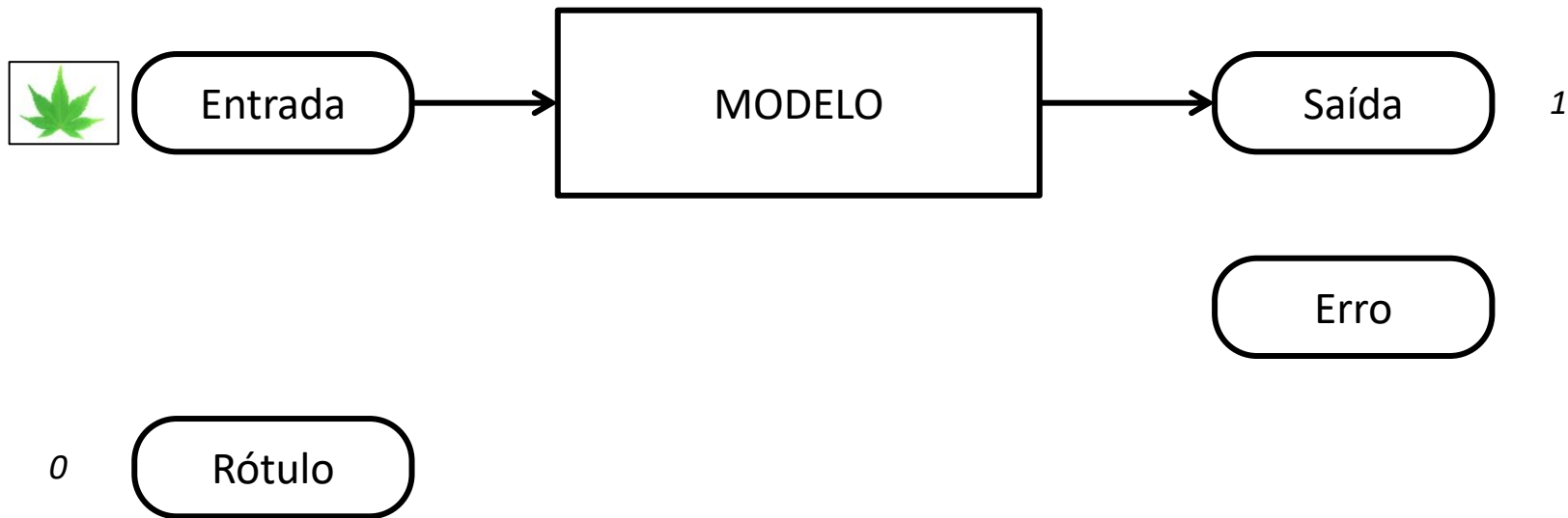
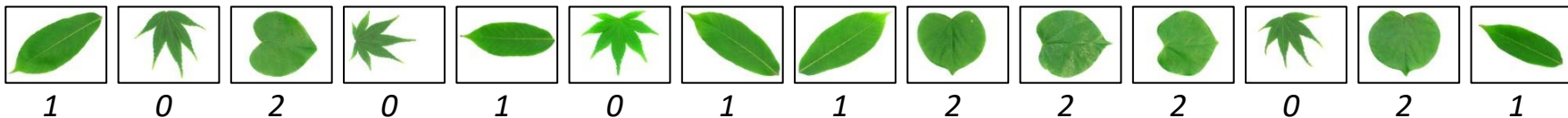





# Exemplo: Aprendizado supervisionado



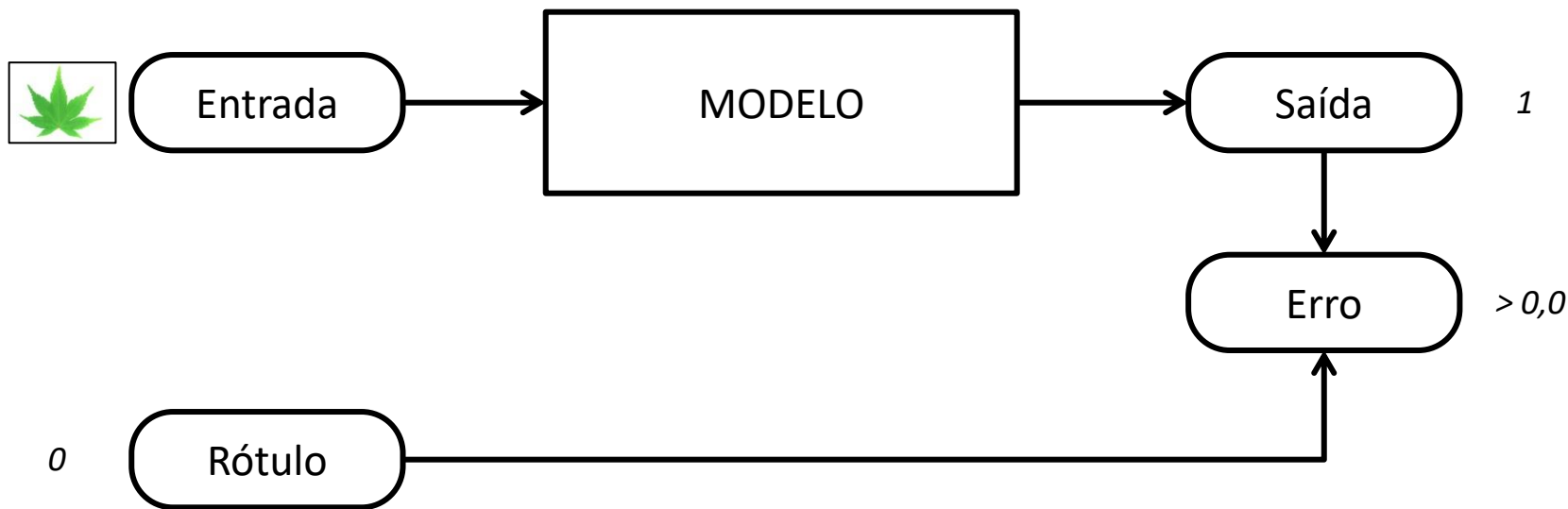
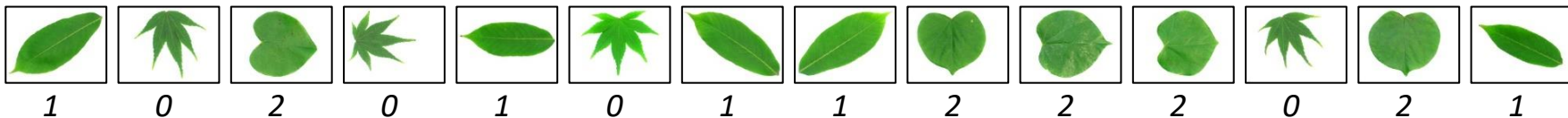
 0: *acer palmatum*  
 1: *aesculus chinensis*  
 2: *cercis chinensis*




# Exemplo: Aprendizado supervisionado



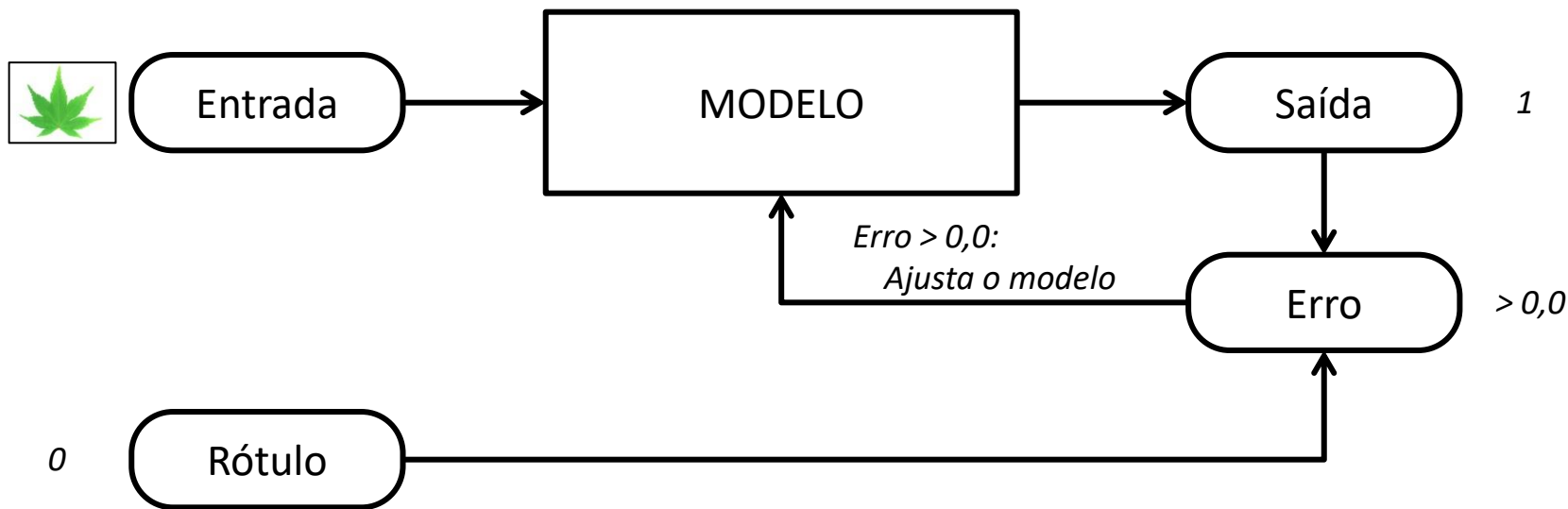
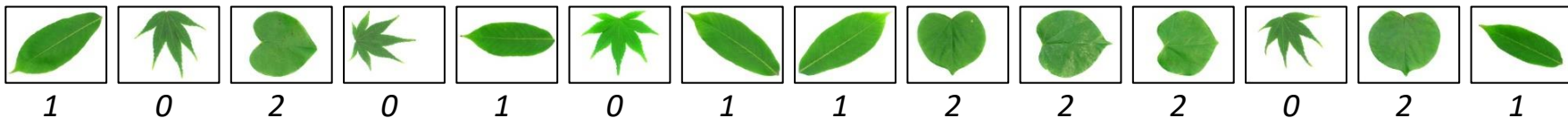
 0: *acer palmatum*  
 1: *aesculus chinensis*  
 2: *cercis chinensis*




# Exemplo: Aprendizado supervisionado



 0: *acer palmatum*  
 1: *aesculus chinensis*  
 2: *cercis chinensis*

# Exemplo: Aprendizado supervisionado



 0: *acer palmatum*  
 1: *aesculus chinensis*  
 2: *cercis chinensis*

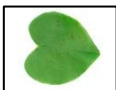
# Exemplo: Aprendizado supervisionado



0



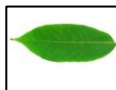
0



2



0



1



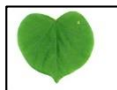
0



1



1



2



2



2



0



2



1



Entrada

MODELO

Saída

Erro

1

Rótulo



0: *acer palmatum*

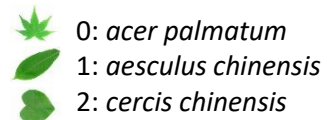
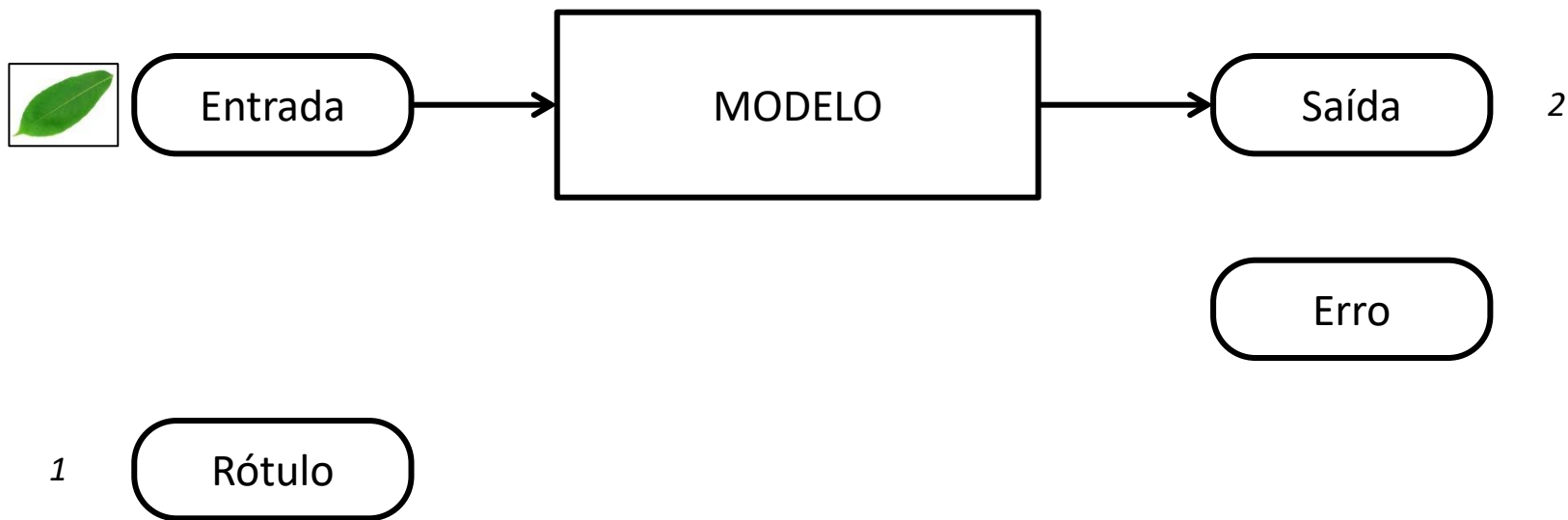
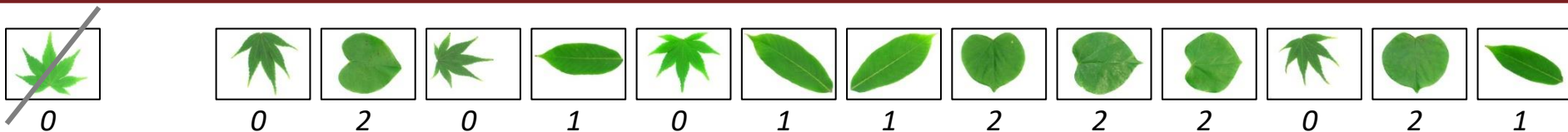


1: *aesculus chinensis*

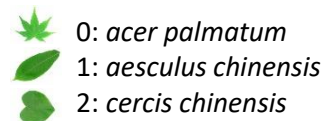
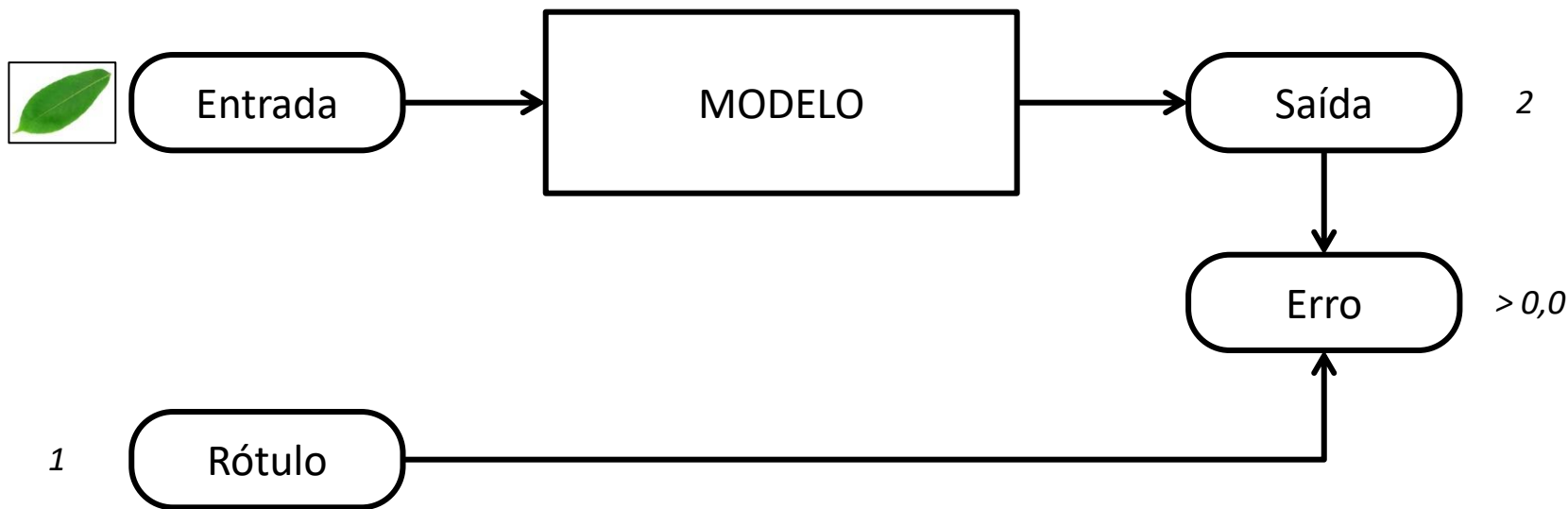
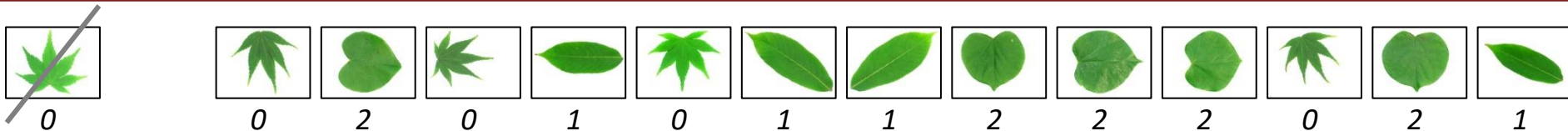


2: *cercis chinensis*

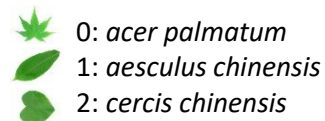
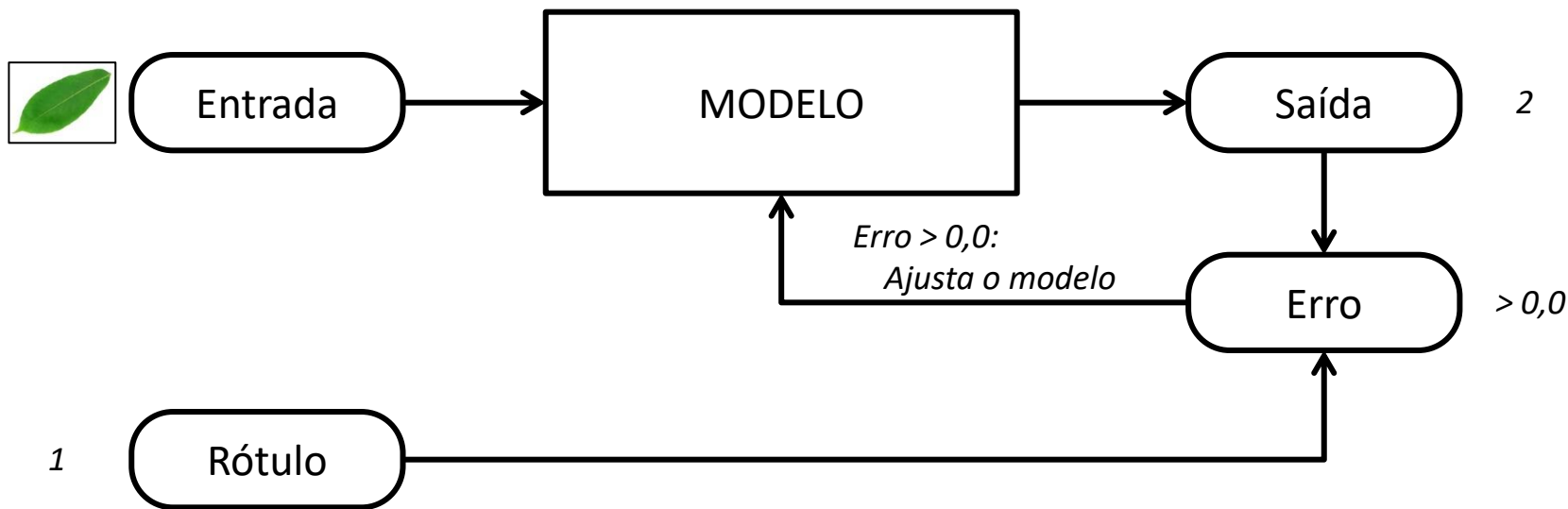
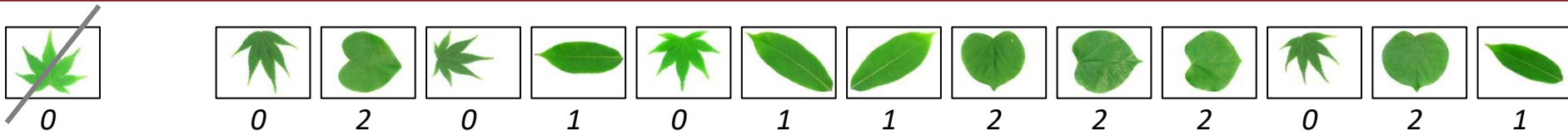
# Exemplo: Aprendizado supervisionado



# Exemplo: Aprendizado supervisionado

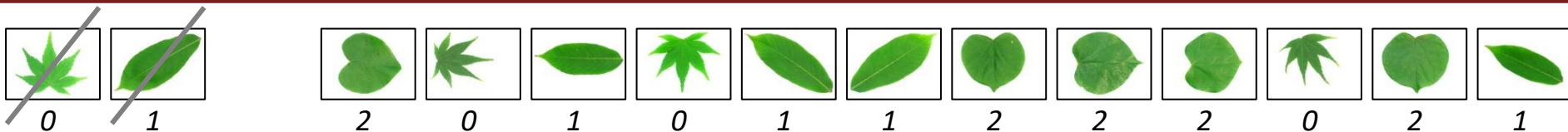


# Exemplo: Aprendizado supervisionado





# Exemplo: Aprendizado supervisionado



Entrada

MODELO

Saída

Erro

0

Rótulo

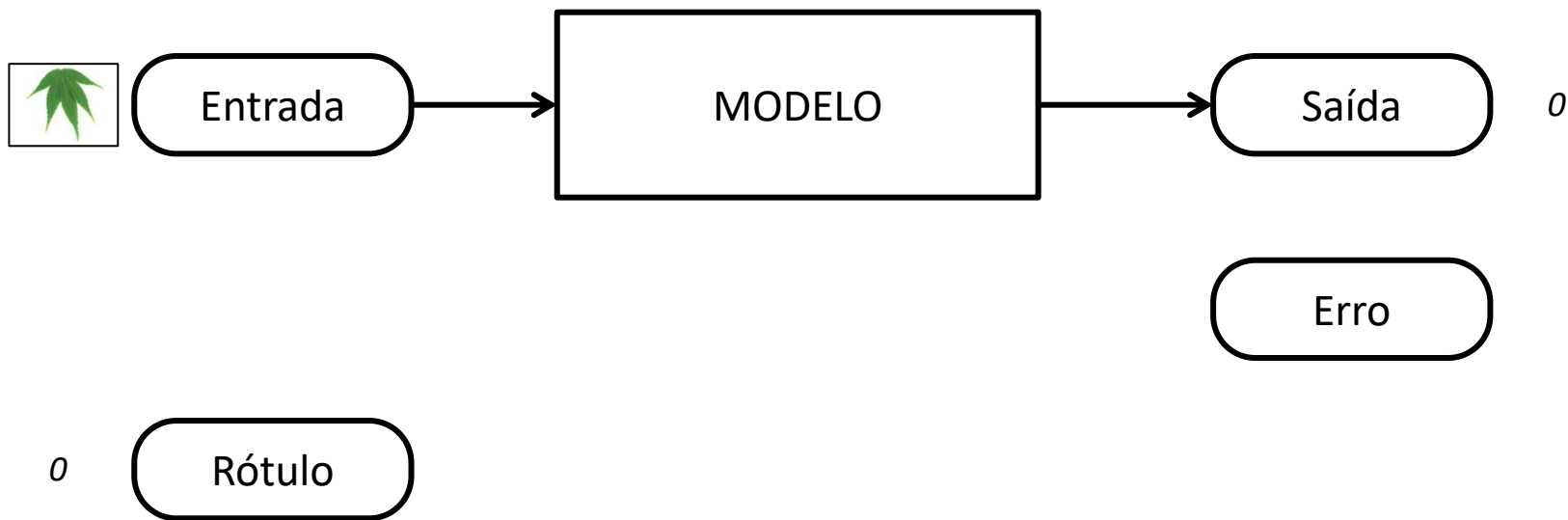
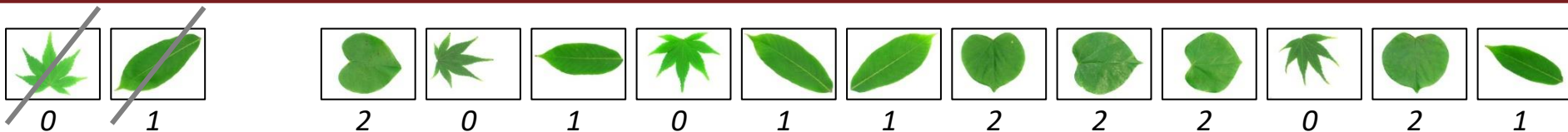





0: *acer palmatum*

1: *aesculus chinensis*

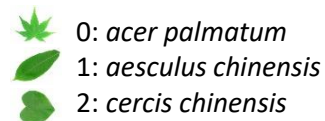
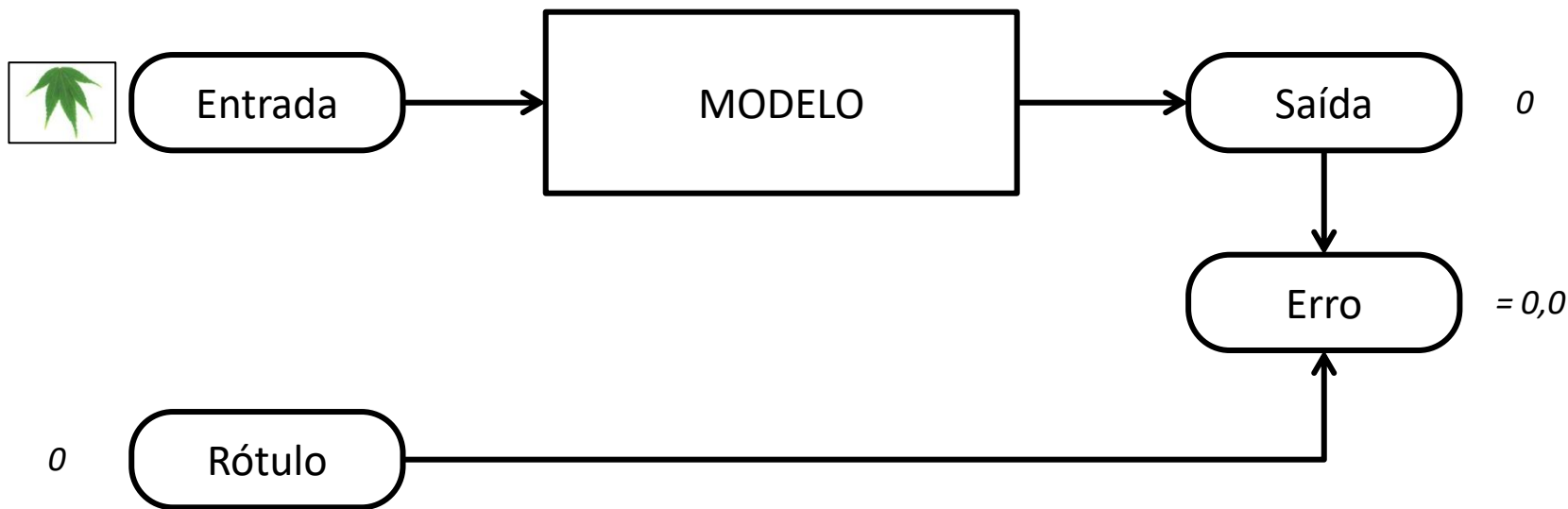
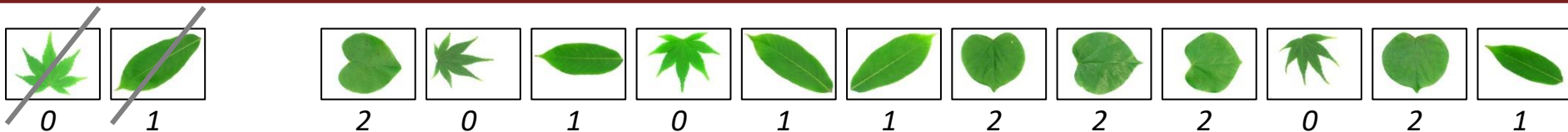
2: *cercis chinensis*

# Exemplo: Aprendizado supervisionado

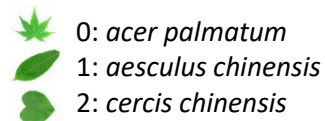
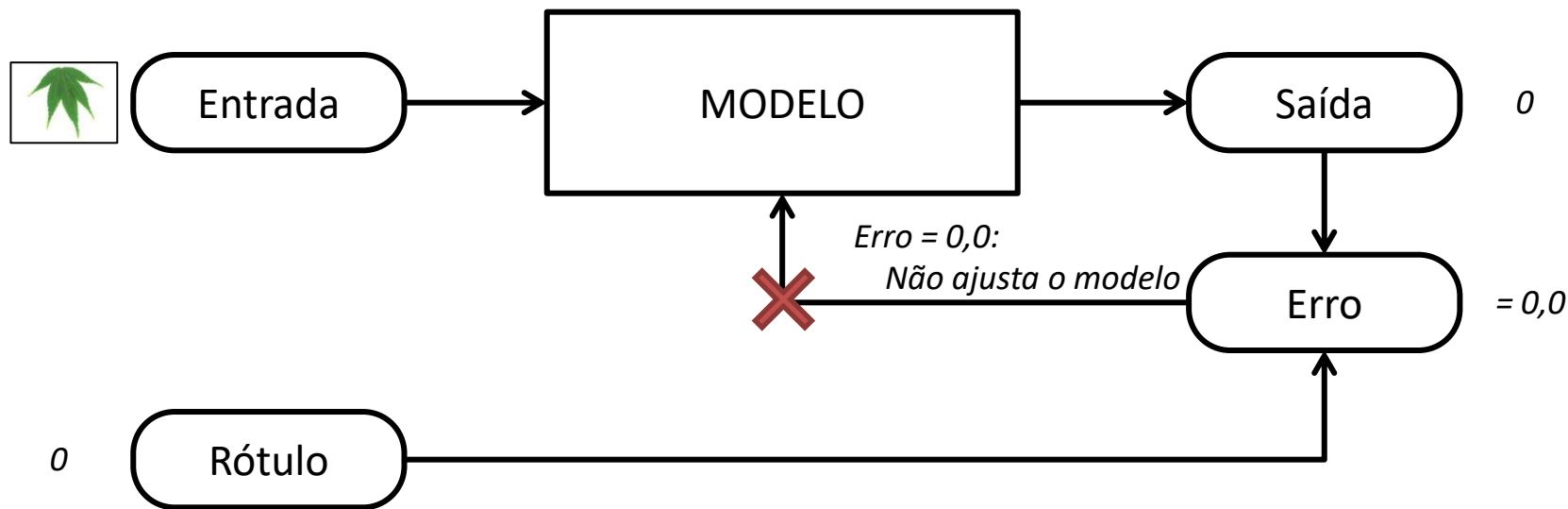
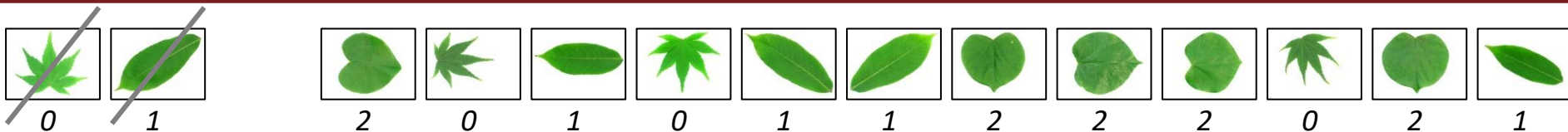


 0: *acer palmatum*  
 1: *aesculus chinensis*  
 2: *cercis chinensis*

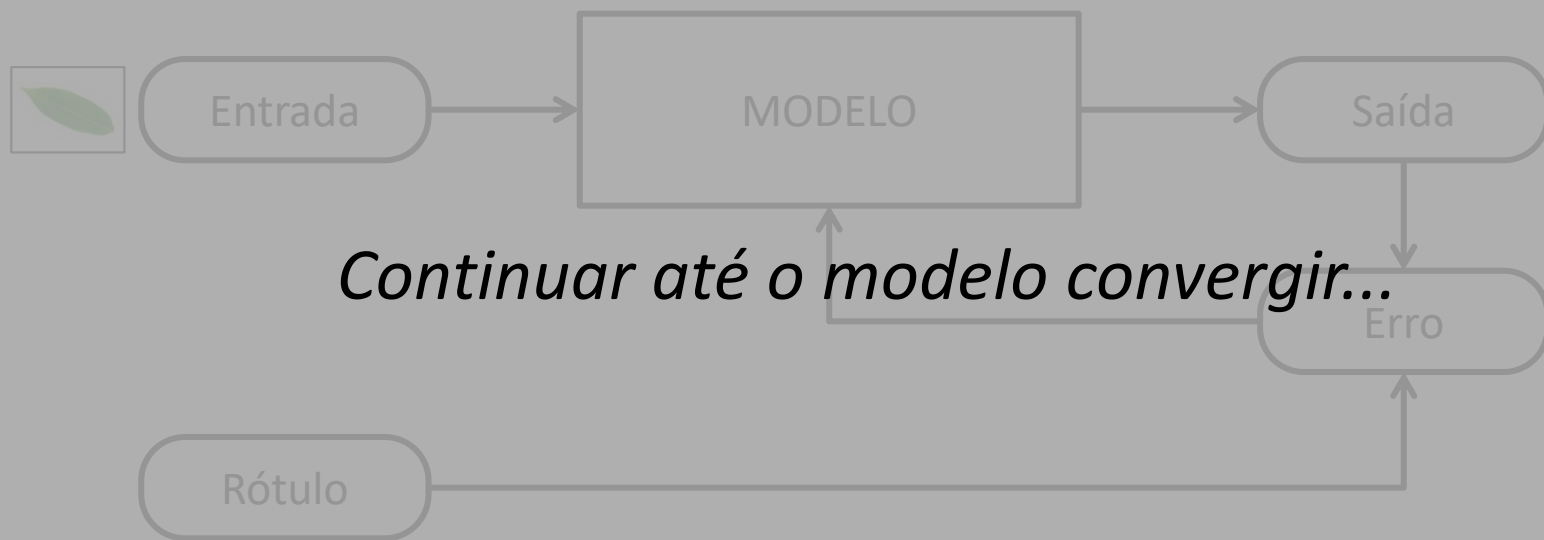
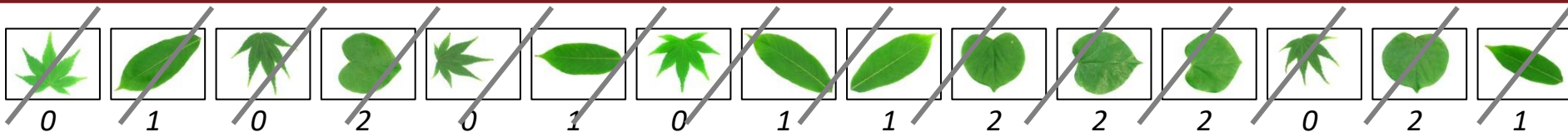
# Exemplo: Aprendizado supervisionado






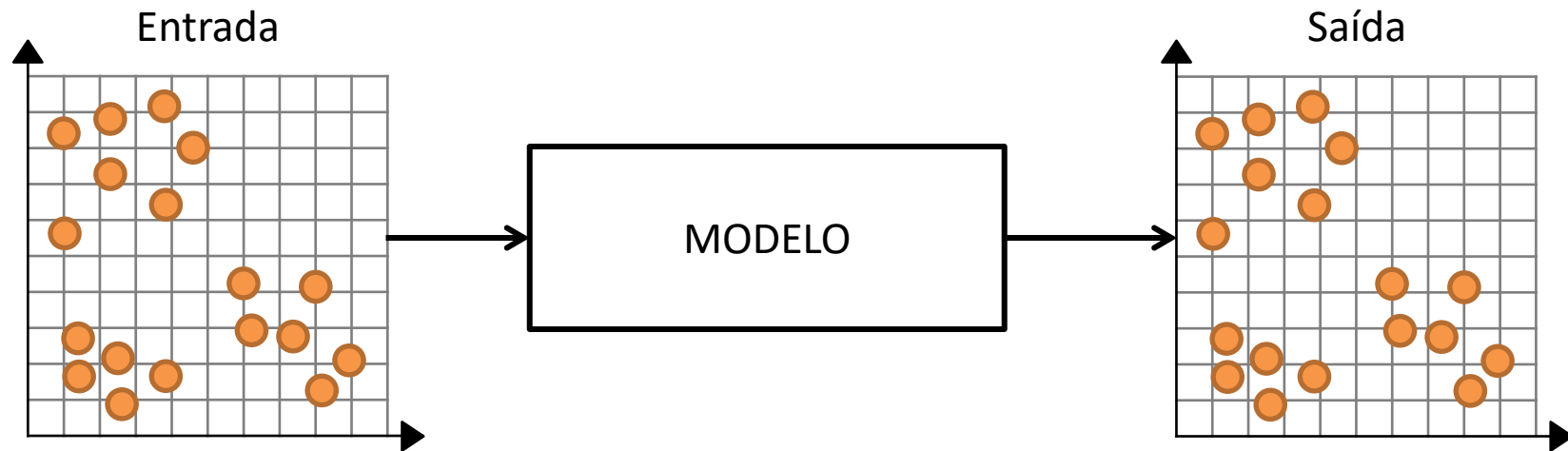
# Exemplo: Aprendizado supervisionado

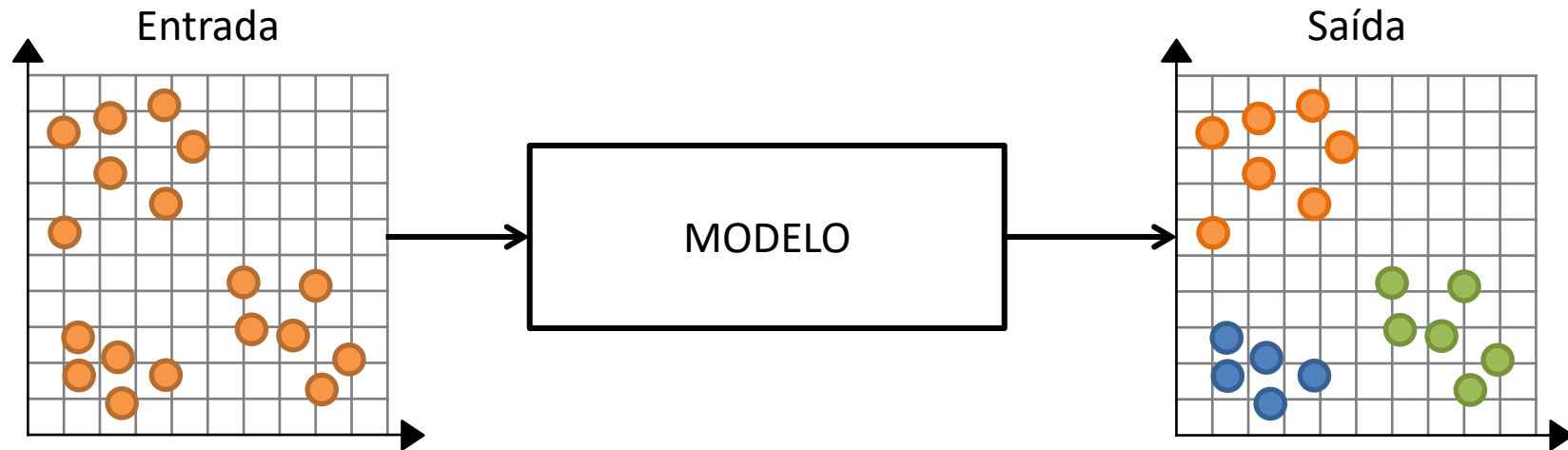


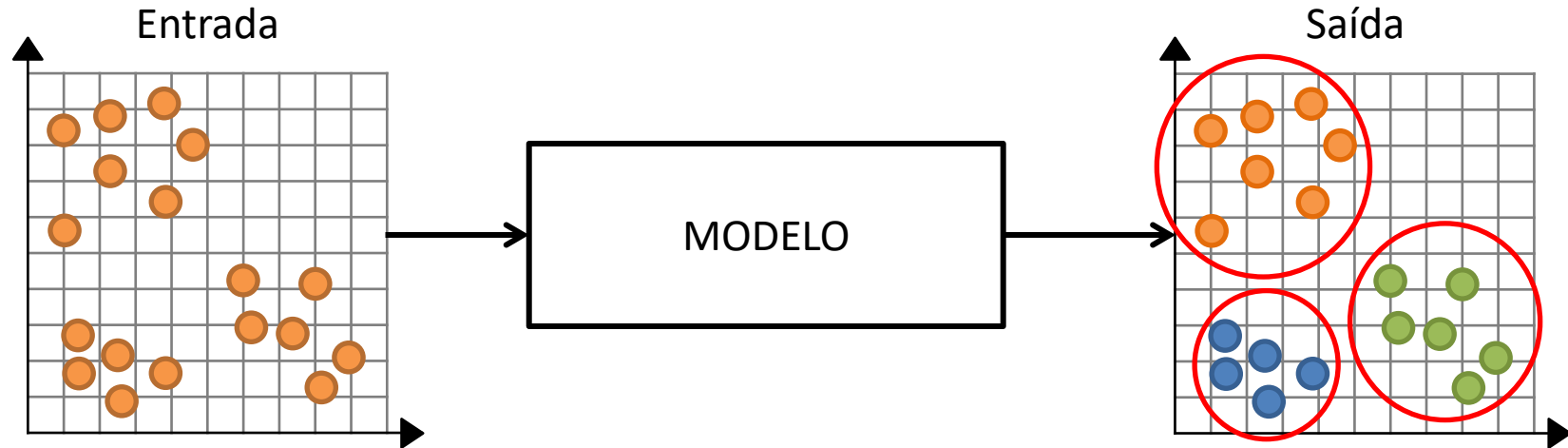
# Exemplo: Aprendizado supervisionado



-  0: acer palmatum
-  1: aesculus chinensis
-  2: cercis chinensis

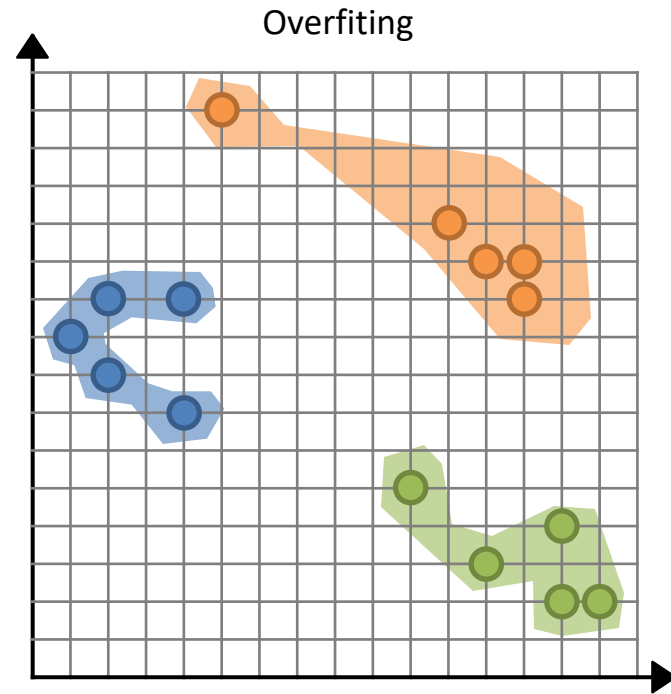
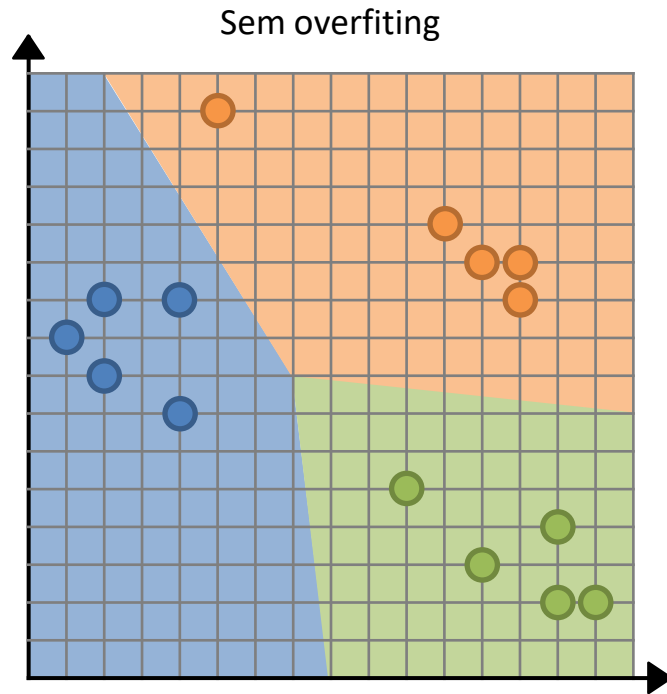


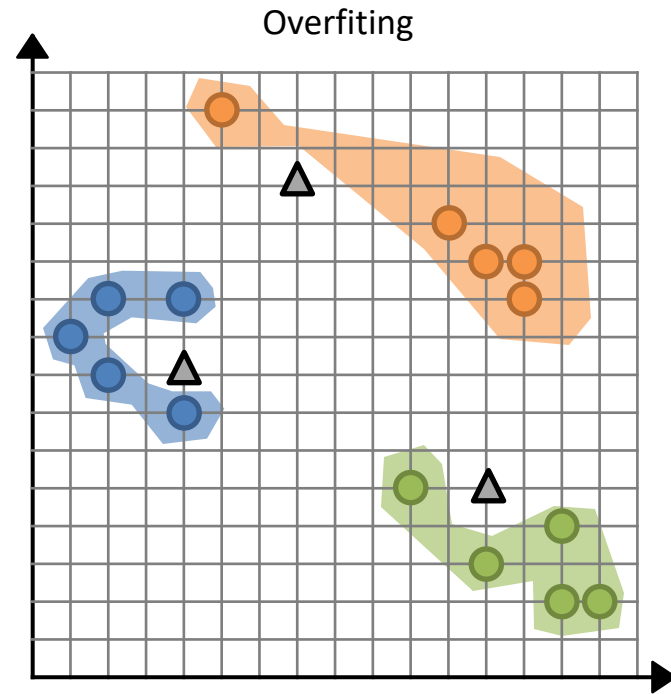
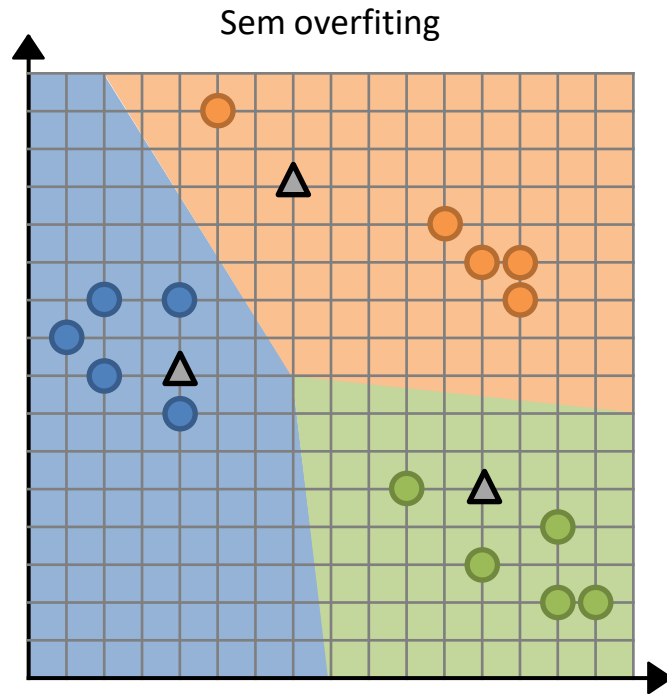


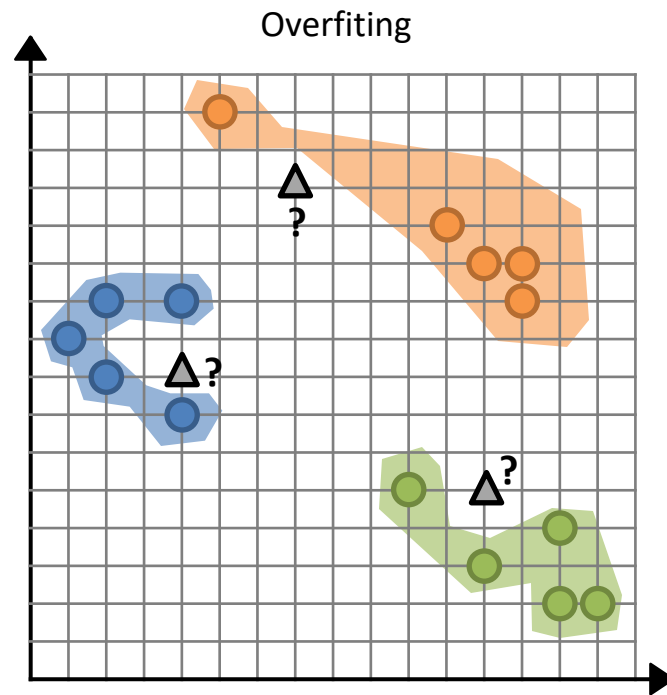
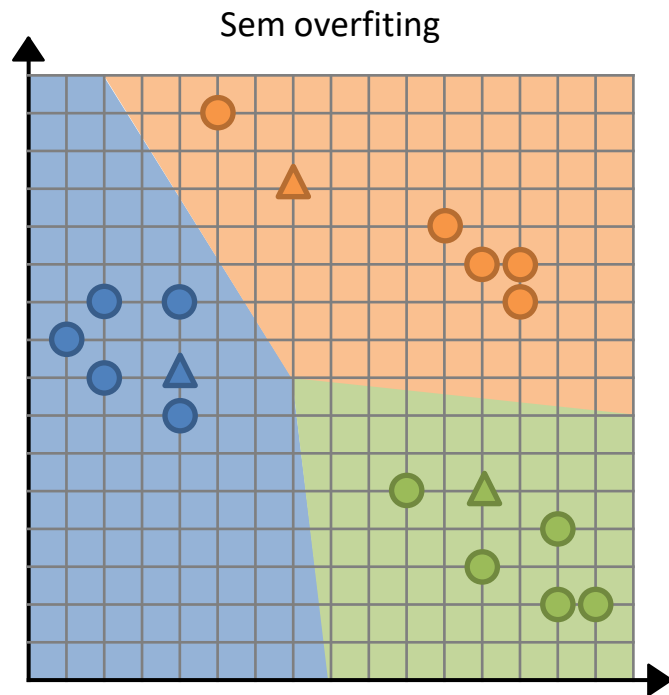


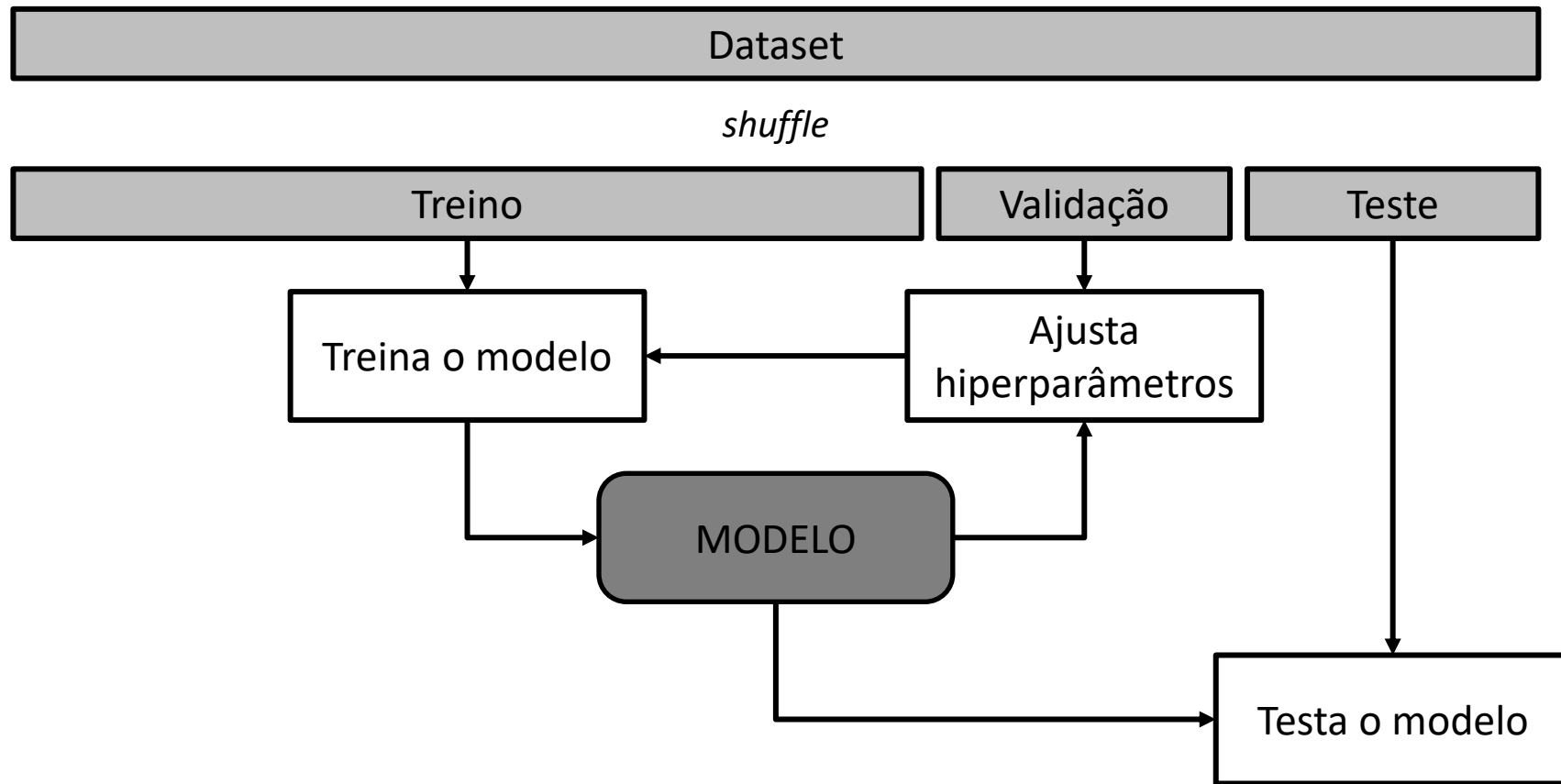


# VALIDAÇÃO CRUZADA



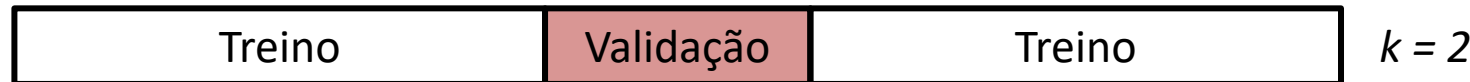








*shuffle*



# AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

# Matriz de confusão

- **Verdadeiro positivo (TP):**
  - Objetos da classe C1 classificados como C1.
- **Verdadeiro negativo (TN):**
  - Objetos de outras classes (C2 e C3) classificados como não sendo C1.
- **Falso positivo (FP) (erro tipo I):**
  - Objetos classificados como C1 mas pertencem a outras classes (C2 ou C3).
- **Falso negativo (FN) (erro tipo II):**
  - Objetos da classe C1 classificados como outras classes (C2 ou C3).

		Classificação			
		Classe C1	Classe C2	Classe C3	Soma
Classe real	Classe C1	5	3	0	8
	Classe C2	2	3	1	6
	Classe C3	0	2	11	13
	Soma	7	8	12	



# Matriz de confusão

- **Verdadeiro positivo (TP):**
  - Objetos da classe C1 classificados como C1.
- **Verdadeiro negativo (TN):**
  - Objetos de outras classes (C2 e C3) classificados como não sendo C1.
- **Falso positivo (FP) (erro tipo I):**
  - Objetos classificados como C1 mas pertencem a outras classes (C2 ou C3).
- **Falso negativo (FN) (erro tipo II):**
  - Objetos da classe C1 classificados como outras classes (C2 ou C3).

Classe C1		Classificação	
		Classe C1	Outras
Classe real	Classe C1	TP	FN
	Outras	FP	TN

		Classificação			
		Classe C1	Classe C2	Classe C3	Soma
Classe real	Classe C1	5	3	0	8
	Classe C2	2	3	1	6
	Classe C3	0	2	11	13
	Soma	7	8	12	

# Matriz de confusão

- **Verdadeiro positivo (TP):**
  - Objetos da classe C1 classificados como C1.
- **Verdadeiro negativo (TN):**
  - Objetos de outras classes (C2 e C3) classificados como não sendo C1.
- **Falso positivo (FP) (erro tipo I):**
  - Objetos classificados como C1 mas pertencem a outras classes (C2 ou C3).
- **Falso negativo (FN) (erro tipo II):**
  - Objetos da classe C1 classificados como outras classes (C2 ou C3).

Classe C1		Classificação			
		Classe C1		Outras	
Classe real	Classe C1	5	TP	3	FN
	Outras	2	FP	17	TN

		Classificação			
		Classe C1	Classe C2	Classe C3	Soma
Classe real	Classe C1	5	3	0	8
	Classe C2	2	3	1	6
	Classe C3	0	2	11	13
	Soma	7	8	12	

# Matriz de confusão

- **Verdadeiro positivo (TP):**
  - Objetos da classe C1 classificados como C1.
- **Verdadeiro negativo (TN):**
  - Objetos de outras classes (C2 e C3) classificados como não sendo C1.
- **Falso positivo (FP) (erro tipo I):**
  - Objetos classificados como C1 mas pertencem a outras classes (C2 ou C3).
- **Falso negativo (FN) (erro tipo II):**
  - Objetos da classe C1 classificados como outras classes (C2 ou C3).

Classe C1		Classificação	
		Classe C1	Outras
Classe real	Classe C1	5 TP	3 FN
	Outras	2 FP	17 TN

		Classificação			Soma
		Classe C1	Classe C2	Classe C3	
Classe real	Classe C1	5	3	0	8
	Classe C2	2	3	1	6
	Classe C3	0	2	11	13
	Soma	7	8	12	

# Matriz de confusão

- **Verdadeiro positivo (TP):**
  - Objetos da classe C1 classificados como C1.
- **Verdadeiro negativo (TN):**
  - Objetos de outras classes (C2 e C3) classificados como não sendo C1.
- **Falso positivo (FP) (erro tipo I):**
  - Objetos classificados como C1 mas pertencem a outras classes (C2 ou C3).
- **Falso negativo (FN) (erro tipo II):**
  - Objetos da classe C1 classificados como outras classes (C2 ou C3).

		Classificação			
		Classe C1	Classe C2	Classe C3	Soma
Classe real	Classe C1	5	3	0	8
	Classe C2	2	3	1	6
	Classe C3	0	2	11	13
	Soma	7	8	12	

Classe C1		Classificação			
		Classe C1		Outras	
Classe real	Classe C1	5	TP	3	FN
	Outras	2	FP	17	TN

Classe C2		Classificação			
		Classe C2		Outras	
Classe real	Classe C2	3	TP	3	FN
	Outras	5	FP	16	TN

# Matriz de confusão

- **Verdadeiro positivo (TP):**
  - Objetos da classe C1 classificados como C1.
- **Verdadeiro negativo (TN):**
  - Objetos de outras classes (C2 e C3) classificados como não sendo C1.
- **Falso positivo (FP) (erro tipo I):**
  - Objetos classificados como C1 mas pertencem a outras classes (C2 ou C3).
- **Falso negativo (FN) (erro tipo II):**
  - Objetos da classe C1 classificados como outras classes (C2 ou C3).

		Classificação			
		Classe C1	Classe C2	Classe C3	Soma
Classe real	Classe C1	5	3	0	8
	Classe C2	2	3	1	6
	Classe C3	0	2	11	13
	Soma	7	8	12	

		Classificação			
Classe C1		Classe C1		Outras	
Classe real	Classe C1	5	TP	3	FN
	Outras	2	FP	17	TN

		Classificação			
Classe C2		Classe C2		Outras	
Classe real	Classe C2	3	TP	3	FN
	Outras	5	FP	16	TN

		Classificação			
Classe C3		Classe C3		Outras	
Classe real	Classe C3	11	TP	2	FN
	Outras	1	FP	13	TN

# Acurácia, precisão, sensibilidade e F1-score

- Acurácia (*Accuracy*):
  - $Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$
- Precisão (*Precision*):
  - $Precision = \frac{TP}{TP+FP}$
- Sensitividade (*Recall*):
  - $Recall = \frac{TP}{TP+FN}$
- Índice-F1 (*F1-score*):
  - $F1 - score = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN}$
- Suporte (*Support*):
  - $Support = TP + FN$

# Acurácia, precisão, sensibilidade e F1-score

- Acurácia (*Accuracy*):
  - $Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$
  - *O quão próximo a classificação esta do valor real.*
- Precisão (*Precision*):
  - $Precision = \frac{TP}{TP+FP}$
  - *Capacidade de não classificar uma amostra negativa como positiva.*
- Sensitividade (*Recall*):
  - $Recall = \frac{TP}{TP+FN}$
  - *Capacidade de encontrar todas as amostras positivas.*
- Índice-F1 (*F1-score*):
  - $F1 - score = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN}$
  - *Média harmônica entre Precisão e Sensitividade.*
- Suporte (*Support*):
  - $Support = TP + FN$
  - *O número de amostras nas classes reais.*

[https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.precision\\_recall\\_fscore\\_support.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.precision_recall_fscore_support.html)

# Acurácia, precisão, sensibilidade e F1-score

- Acurácia (*Accuracy*):
  - $Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$
- Precisão (*Precision*):
  - $Precision = \frac{TP}{TP+FP}$
- Sensitividade (*Recall*):
  - $Recall = \frac{TP}{TP+FN}$
- Índice-F1 (*F1-score*):
  - $F1 - score = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN}$
- Suporte (*Support*):
  - $Support = TP + FN$

Classes	TP	TN	FP	FN	Acurácia	Precisão	Sensitividade	Índice-F1	Suporte
C1	5	17	2	3					
C2	3	16	5	3					
C3	11	13	1	2					
MÉDIA									
DESV. PAD									



# Acurácia, precisão, sensibilidade e F1-score

- Acurácia (*Accuracy*):
  - $Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$
- Precisão (*Precision*):
  - $Precision = \frac{TP}{TP+FP}$
- Sensitividade (*Recall*):
  - $Recall = \frac{TP}{TP+FN}$
- Índice-F1 (*F1-score*):
  - $F1 - score = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN}$
- Suporte (*Support*):
  - $Support = TP + FN$

Classes	TP	TN	FP	FN	Acurácia	Precisão	Sensitividade	Índice-F1	Suporte
C1	5	17	2	3	0.8148	0.7143	0.6250	0.6667	8
C2	3	16	5	3	0.7037	0.3750	0.5000	0.4286	6
C3	11	13	1	2	0.8889	0.9167	0.8462	0.8800	13
MÉDIA									
DESV. PAD									

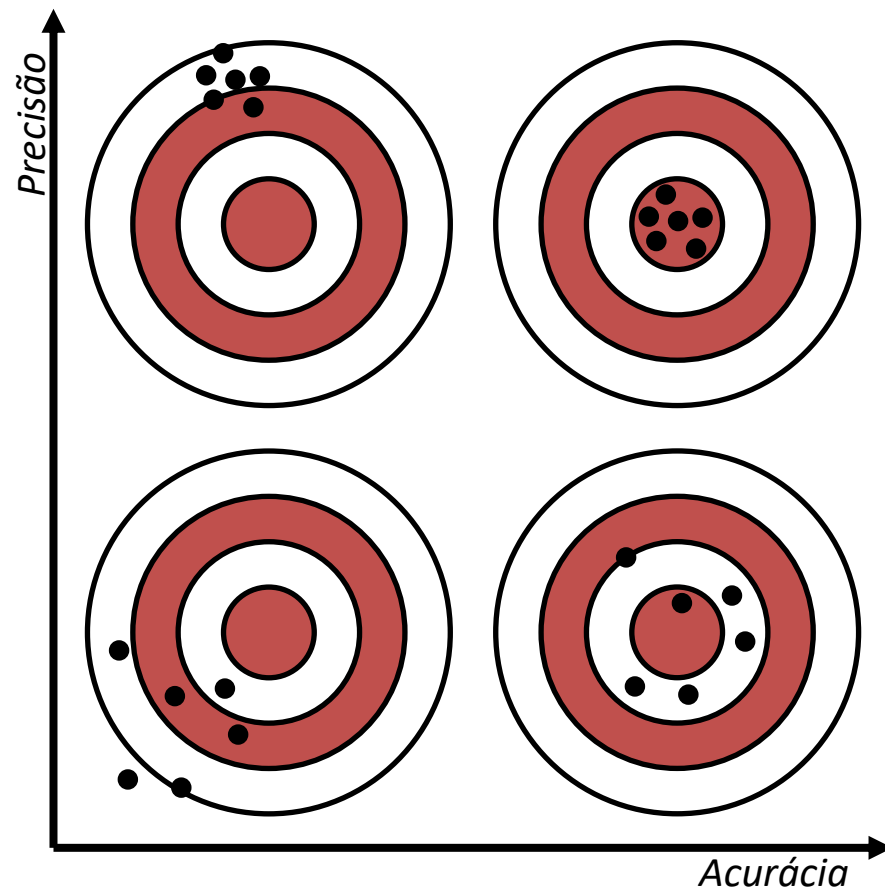
# Acurácia, precisão, sensibilidade e F1-score

- Acurácia (*Accuracy*):
  - $Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$
- Precisão (*Precision*):
  - $Precision = \frac{TP}{TP+FP}$
- Sensitividade (*Recall*):
  - $Recall = \frac{TP}{TP+FN}$
- Índice-F1 (*F1-score*):
  - $F1 - score = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN}$
- Suporte (*Support*):
  - $Support = TP + FN$

Classes	TP	TN	FP	FN	Acurácia	Precisão	Sensitividade	Índice-F1	Suporte
C1	5	17	2	3	0.8148	0.7143	0.6250	0.6667	8
C2	3	16	5	3	0.7037	0.3750	0.5000	0.4286	6
C3	11	13	1	2	0.8889	0.9167	0.8462	0.8800	13
MÉDIA					0.8025	0.6687	0.6571	0.6584	
DESV. PAD					0.0761	0.2235	0.1431	0.1844	

# Acurácia Vs. Precisão

- Acurácia (Accuracy):
  - $Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$ 
    - O quão próximo as predições estão do valor real.
- Precisão (Precision):
  - $Precision = \frac{TP}{TP+FP}$ 
    - O grau de variação entre diferentes predições.



- GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E.; **Processamento Digital de Imagens**. 3ª edição. Editora Pearson, 2009.
- COSTA, L. DA F.; CESAR-JR., R. M. **Shape analysis and classification : theory and practice**. CRC Press, 2000. Capítulo 8.
- Yann LeCun', Alfredo Canziani. **Yann LeCun's Deep Learning Course at CDS - SPRING 2021**
  - <https://cds.nyu.edu/deep-learning/>
- **scikit-learn – User Guide**.
  - [https://scikit-learn.org/stable/user\\_guide.html](https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html)

# FIM