

# Como treinar o seu computador.

Martha Dais Ferreira

Doutoranda em Ciências da Computação - ICMC

7 de outubro de 2016

# Aprendizado de Máquina

- Possibilidade de máquinas aprenderem conceito e padrões:
  - Reconhecimento de fala;
  - Reconhecimento de escrita a mão;
  - Reconhecimento de objetos;
  - Detecção de fraudes em sistemas de créditos;
  - Detecção de doenças;
  - Veículos autônomos;
  - etc.

# Aprendizado de Máquina

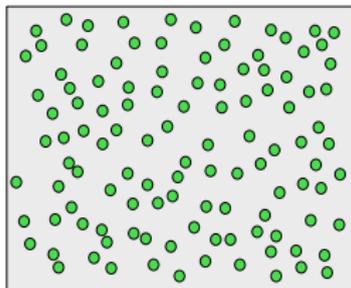
- Área Multidisciplinar:
  - Inteligência Artificial;
  - Estatística;
  - Matemática;
  - Teoria de Informação;
  - Teoria de Controle;
  - Neurologia e Psicologia;
  - Filosofia;
  - etc.

# Aprendizado de Máquina

- Considera-se aprendizagem quando um computador melhora seu desempenho para uma determinada tarefa através de experiência;
- Definições:
  - Tarefa;
  - Medida de desempenho;
  - Experiência de treinamento.

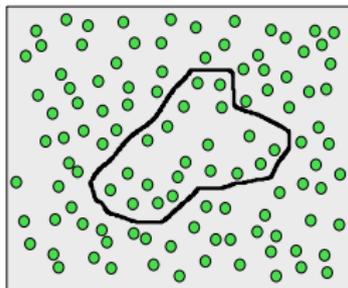
# Aprendizado de Máquina

- Técnicas de aprendizado de máquina:
  - Buscam induzir hipóteses dado um conjunto de exemplos;
  - Utiliza uma linguagem de representação (bias de representação);
  - Direciona a escolha das hipóteses;



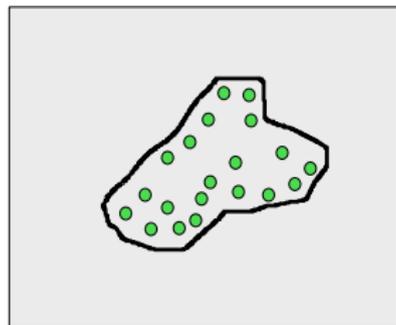
# Aprendizado de Máquina

- Técnicas de aprendizado de máquina:
  - Buscam induzir hipóteses dado um conjunto de exemplos;
  - Utiliza uma linguagem de representação (bias de representação);
  - Direciona a escolha das hipóteses;



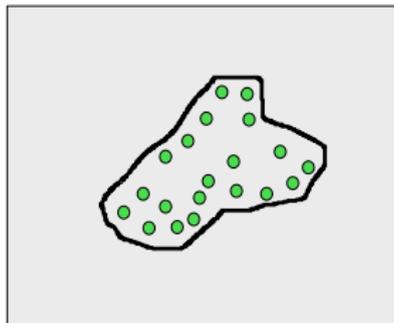
# Aprendizado de Máquina

- Bias indutivo:
  - bias de representação;
  - bias de preferência;
  - bias de busca;
- Sem bias indutivo:
  - Não restringe o espaço de busca;
  - Não haveria generalização do conhecimento;



# Aprendizado de Máquina

- Aprendizado de conceitos:
  - Definição de categorias;
  - Aprendizado indutivo:
    - Busca melhor hipótese;
    - 'Aprende' usando um conjunto de treinamento;

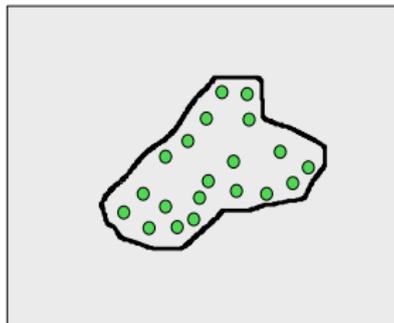


Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Sim
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Possíveis hipóteses:

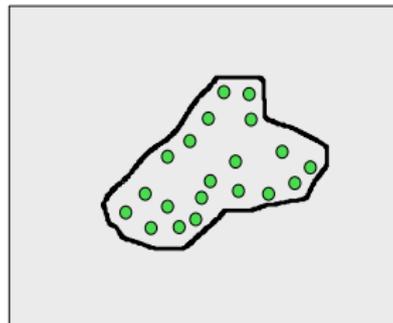
- Mais abrangente:  
<?, ?, ?, ?>;
- Mais específica:  
< $\phi$ ,  $\phi$ ,  $\phi$ ,  $\phi$ >;
- Alguma qualquer:  
<Ensolarado, Quente, ?, ?>;



Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Sim
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Possíveis hipóteses:
  - <?,Quente,?,?>;
  - <Ensolarado,?,?,Forte>;
  - <Ensolarado,?,?,?>;



Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Sim
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Notação:
  - $D$  é o conjunto de treinamento;
  - $X$  exemplos, em que cada um é representado por um conjunto de atributos;
  - $c$  função ou conceito a ser aprendido;
    - função binária (booleana);
    - $c : X \rightarrow \{0, 1\}$
  - $h$  uma possível hipótese no conjunto  $H$  de hipóteses;
    - Objetivo: encontrar  $h \in H$  em que  $h(x) = c(x), \forall x \in X$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Sim
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim

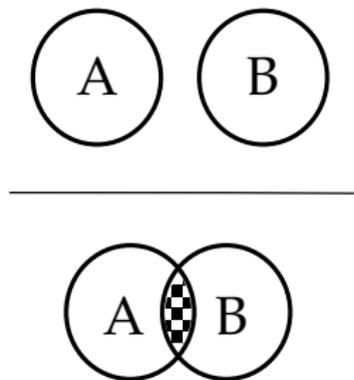
# Aprendizado de Máquina

- Suponha hipótese para classificar instâncias positivas:
  - $h_1 = \langle \text{Ensolarado}, \text{Quente}, ?, ? \rangle$ ;
  - $h_2 = \langle \text{Ensolarado}, ?, ?, ? \rangle$ ;
- Suponha as instâncias:
  - $x_1 = \langle \text{Nublado}, \text{Quente}, \text{Normal}, \text{Fraco} \rangle$  (não);
  - $x_2 = \langle \text{Ensolarado}, \text{Quente}, \text{Normal}, \text{Fraco} \rangle$  (sim);

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Sim
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Teorema de Bayes:
  - Utiliza conceito de probabilidade condicional;
  - Assume-se que um valor de atributo ocorre em função de outro;
  - $P(A|B) = P(A)$ ;
  - $P(A|B) = \frac{P(B \cap A)}{P(B)}$ ;



# Aprendizado de Máquina

- Probabilidade condicional:
  - Seja  $B$  igual a (Umidade = Alta);
  - $A$  pode assumir dois possíveis valores (Sim,Não);

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Sim
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Probabilidade condicional:

- $P(\text{Sim} | \text{Umidade} = \text{Alta}) = \frac{P(\text{Sim} \cap \text{Umidade} = \text{Alta})}{P(\text{Umidade} = \text{Alta})}$ ;
- $P(\text{Não} | \text{Umidade} = \text{Alta}) = \frac{P(\text{Não} \cap \text{Umidade} = \text{Alta})}{P(\text{Umidade} = \text{Alta})}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Sim
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Probabilidade condicional:
  - $P(\text{Umidade} = \textit{Alta}) = \frac{5}{7}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Probabilidade condicional:
  - $P(\text{Umidade} = \text{Alta}) = \frac{5}{7}$ ;
  - $P(\text{Sim} \cap \text{Umidade} = \text{Alta}) = \frac{3}{7}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Probabilidade condicional:
  - $P(\text{Umidade} = \text{Alta}) = \frac{5}{7}$ ;
  - $P(\text{Sim} \cap \text{Umidade} = \text{Alta}) = \frac{3}{7}$ ;
  - $P(\text{Não} \cap \text{Umidade} = \text{Alta}) = \frac{2}{7}$ .

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Probabilidade condicional:

- $P(\text{Sim}|\text{Umidade} = \text{Alta}) = \frac{\frac{3}{7}}{\frac{5}{7}} = 0,6;$
- $P(\text{Não}|\text{Umidade} = \text{Alta}) = \frac{\frac{2}{7}}{\frac{5}{7}} = 0,4;$

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Teorema de Bayes:
  - Deseja-se encontrar a melhor hipótese  $h^*$  em  $H$  a partir de um conjunto de treinamento  $D$ ;
  - $$P(h|D) = \frac{P(D|h)P(h)}{P(D)}$$
;
  - $h^* = \operatorname{argmax}_{h \in H} \{P(h|D)\}$ ;
  - Denominamos  $h^*$  como a hipótese que gera melhor resultados para dados nunca vistos;

# Aprendizado de Máquina

- Classificador Naive Bayes:

- Utiliza o Teorema de Bayes;

- $v^* = \operatorname{argmax}_{v_j \in V} \left\{ \frac{P(a_1, a_2, \dots, a_n | v_j) P(v_j)}{P(a_1, a_2, \dots, a_n)} \right\};$

- Como conjunto de treinamento é limitado  $P(a_1, a_2, \dots, a_n)$  pode não ocorrer, logo assume-se:

- $P(a_1, a_2, \dots, a_n) = \prod_i P(a_i | v_j);$

- $v_{NB}^* = \operatorname{argmax}_{v_j \in V} \{P(v_j) \prod_i P(a_i | v_j)\};$

# Aprendizado de Máquina

- Suponha o exemplo:
  - $\langle \text{Ensolarado, Fria, Alta, Fraco} \rangle$ ;
- $v_{NB}^* = \operatorname{argmax}_{v_j \in V} \{ P(v_j) P(\text{Céu} = \text{Ensolarado} | v_j) P(\text{Temp.} = \text{Fria} | v_j) P(\text{Umi.} = \text{Alta} | v_j) P(\text{Vento} = \text{Fraco} | v_j) \}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Sim}) = \frac{3}{7}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Sim}) = \frac{3}{7}$ ;
- $P(\text{Não}) = \frac{4}{7}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Céu} = \textit{Ensolarado} | \text{Sim}) = \frac{2}{3};$

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
<b>Ensolarado</b>	Fria	Alta	Forte	<b>Sim</b>
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
<b>Ensolarado</b>	Quente	Alta	Forte	<b>Sim</b>
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	<b>Sim</b>

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Céu} = \textit{Ensolarado} | \text{Sim}) = \frac{2}{3}$ ;
- $P(\text{Temp.} = \textit{Fria} | \text{Sim}) = \frac{1}{3}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	<b>Fria</b>	Alta	Forte	<b>Sim</b>
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	<b>Sim</b>
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	<b>Sim</b>

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Céu} = \textit{Ensolarado} | \text{Sim}) = \frac{2}{3};$
- $P(\text{Temp.} = \textit{Fria} | \text{Sim}) = \frac{1}{3};$
- $P(\text{Umi.} = \textit{Alta} | \text{Sim}) = \frac{3}{3};$

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Céu} = \textit{Ensolarado} | \text{Sim}) = \frac{2}{3}$ ;
- $P(\text{Temp.} = \textit{Fria} | \text{Sim}) = \frac{1}{3}$ ;
- $P(\text{Umi.} = \textit{Alta} | \text{Sim}) = \frac{3}{3}$ ;
- $P(\text{Vento} = \textit{Fraco} | \text{Sim}) = \frac{1}{3}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	<b>Sim</b>
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	<b>Sim</b>
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	<b>Fraco</b>	<b>Sim</b>

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Céu} = \textit{Ensolarado} | \text{Não}) = \frac{1}{4}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
<b>Ensolarado</b>	Quente	Normal	Forte	<b>Não</b>
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	<b>Não</b>
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	<b>Não</b>
Nublado	Fria	Alta	Forte	<b>Não</b>
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Céu} = \textit{Ensolarado} | \text{Não}) = \frac{1}{4}$ ;
- $P(\text{Temp.} = \textit{Fria} | \text{Não}) = \frac{3}{4}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Céu} = \textit{Ensolarado} | \text{Não}) = \frac{1}{4}$ ;
- $P(\text{Temp.} = \textit{Fria} | \text{Não}) = \frac{3}{4}$ ;
- $P(\text{Umi.} = \textit{Alta} | \text{Não}) = \frac{2}{4}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- $P(\text{Céu} = \textit{Ensolarado} | \text{Não}) = \frac{1}{4}$ ;
- $P(\text{Temp.} = \textit{Fria} | \text{Não}) = \frac{3}{4}$ ;
- $P(\text{Umi.} = \textit{Alta} | \text{Não}) = \frac{2}{4}$ ;
- $P(\text{Vento} = \textit{Fraco} | \text{Não}) = \frac{2}{4}$ ;

Céu	Temperatura	Umidade	Vento	Resposta
Ensolarado	Quente	Normal	Forte	Não
Ensolarado	Fria	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Alta	Fraco	Não
Ensolarado	Quente	Alta	Forte	Sim
Chuvoso	Fria	Normal	Fraco	Não
Nublado	Fria	Alta	Forte	Não
Nublado	Quente	Alta	Fraco	Sim

# Aprendizado de Máquina

- Suponha o exemplo:
  - $\langle \text{Ensolarado, Fria, Alta, Quente} \rangle$ ;
- $v_{\text{Sim}} = P(\text{Sim})P(\text{Ensolarado}|\text{Sim})P(\text{Fria}|\text{Sim})$   
 $P(\text{Alta}|\text{Sim})P(\text{Quente}|\text{Sim}) = 0,032$ ;
- $v_{\text{Não}} = P(\text{Não})P(\text{Ensolarado}|\text{Não})P(\text{Fria}|\text{Não})$   
 $P(\text{Alta}|\text{Não})P(\text{Quente}|\text{Não}) = 0,027$ ;

# Aprendizado de Máquina

- Normalizando pela soma:

- $v_{\text{Sim}} = \frac{0,032}{0,032 + 0,027} \approx 0,54;$

- $v_{\text{Não}} = \frac{0,027}{0,032 + 0,027} \approx 0,46;$

- Temos aproximadamente 54% de chance de nadar;
- Lembrando que é usada apenas para dados discretos;

# Aprendizado de Máquina

## ● Robótica Social:

Table 4. Feature values and classes of the greeting gestures model.

Context (Features)	Feature Values	Greeting Types (Classes)
Gender of the human partner	0. Male 1. Female	1. Bow
Location	0. Private 1. Public 2. Workspace	2. Nod
Power relationship	0. Inferior 1. Equal 2. Superior	3. Raise hand
Social distance	0. Close 1. Acquaintance 2. Unknown	4. Handshake
<b>Discriminant</b>	<b>Values</b>	
Culture	0. Japanese 1. German	5. Hug

# Aprendizado de Máquina

- Autópsia Verbal:

**Table 6** Mean CSMF accuracy (and 95 % uncertainty intervals) on three datasets for 35 train/test iterations

Study (training/testing sample size) <sup>a</sup>	NBC	OTM	InterVA-4 <sup>b</sup>	Median all three classifiers
MDS	0.88	0.57	0.71	0.71
(11,000/555)	(0.87,0.88)	(0.56,0.57)	(0.69,0.73)	
Agincourt	0.87	0.42	0.66	0.66
(2,300/2,300)	(0.87,0.88)	(0.42,0.43)	(0.63,0.68)	
Matlab	0.92	0.57	0.65	0.65
(1,000/1,000)	(0.92,0.93)	(0.56,0.58)	(0.62,0.67)	
Median all three datasets	0.88	0.57	0.66	0.66

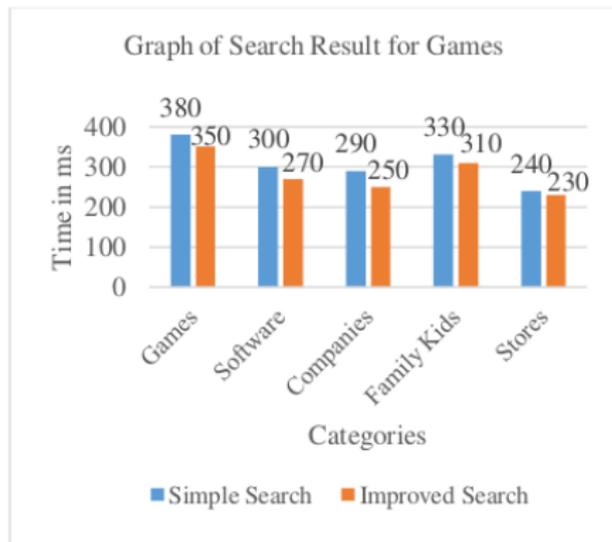
CSMF cause-specific mortality fraction, NBC naïve Bayes classifier, OTM open-source Tariff Method, VA verbal autopsy, MDS Million Death Study

<sup>a</sup>Training/testing sample size, with no training required for InterVA-4

<sup>b</sup>InterVA-4 was evaluated on a testing data set of 50 randomly selected records out of 555 records, in each of the 35 iterations

# Aprendizado de Máquina

- Pesquisa da Google:



# Aprendizado de Máquina

- Tradutor da Google:

Table 10: Mean of side-by-side scores on production data

	PBMT	GNMT	Human	Relative Improvement
English → Spanish	4.885	5.428	5.550	87%
English → French	4.932	5.295	5.496	64%
English → Chinese	4.035	4.594	4.987	58%
Spanish → English	4.872	5.187	5.372	63%
French → English	5.046	5.343	5.404	83%
Chinese → English	3.694	4.263	4.636	60%

# Aprendizado de Máquina

- Questões gerais:
  - Espaço de possíveis soluções pode ser infinito;
  - Espaço de hipóteses pode ser infinito;
  - Conjunto de treinamento pode não estar balanceado;
  - Conjunto de treinamento pode não ter elementos suficientes;
  - Conjunto de treinamento pode ter erros;

# Aprendizado de Máquina

- Problemas de Aprendizado de Máquina buscam por boas hipóteses para representar conhecimento através de um conjunto de treinamento ou funções de aptidão e custo;
- Algumas técnicas:
  - Redes Neurais Artificiais;
  - Aprendizado Baseado em Instâncias;
  - Algoritmos Genéticos;
  - Inteligência de Enxames.