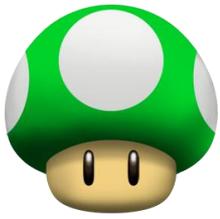


INF 1771 – Inteligência Artificial

Aula 14 – Aprendizado de Máquina

Edirlei Soares de Lima
<elima@inf.puc-rio.br>



Agentes Vistos Anteriormente

📦 Agentes baseados em busca:

- 📦 Busca cega
- 📦 Busca heurística
- 📦 Busca local

📦 Agentes baseados em lógica:

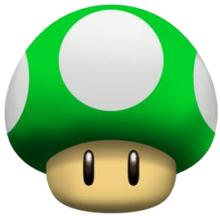
- 📦 Lógica proposicional
- 📦 Lógica de primeira ordem

📦 Agentes baseados em planejamento:

- 📦 Planejamento de ordem parcial
- 📦 Planejamento em ambientes não-determinísticos

📦 Agentes baseados em conhecimento estatístico:

- 📦 Redes Bayesianas
- 📦 Lógica Fuzzy

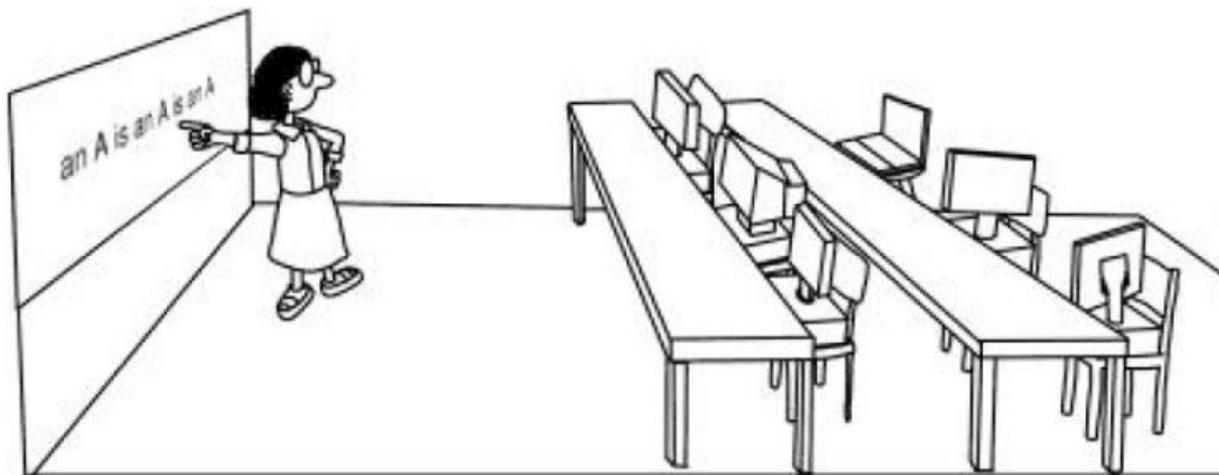


Introdução

- ❗ **Computadores realmente são capazes de aprender?**
- ❗ Infelizmente ainda não sabemos exatamente como fazer computadores aprender de uma maneira similar a maneira como os **humanos aprendem.**
- ❗ Entretanto, existem **algoritmos** que são eficientes em certos tipos de tarefas de aprendizagem.



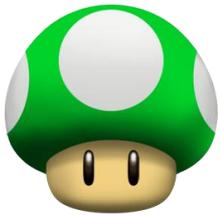
O que é Aprendizagem de Máquina?





O que é Aprendizagem de Máquina?

- ❏ Aprender significa “**mudar para fazer melhor**” (de acordo com um dado critério) quando uma situação similar acontecer.
- ❏ Aprendizagem, **não é memorizar**. Qualquer computador pode memorizar, a dificuldade está em **generalizar** um comportamento para uma nova situação.



Importancia do Aprendizado

❏ Por que é importante para um agente aprender?

- ❏ Os programadores não podem antecipar todas as situações que o agente pode encontrar.

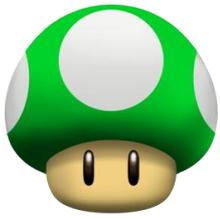
Exemplo: Um robô programado para andar em um único labirinto pode não saber andar em outros.

- ❏ Os programadores não podem antecipar todas as mudanças que podem acontecer com o passar do tempo.

Exemplo: Agente programado para prever as melhores opção de bolsa para investir precisa se adapta quando o ambiente muda.

- ❏ Os programadores nem sempre sabem encontrar a solução dos problemas diretamente.

Exemplo: Programar um sistema para reconhecer faces não é algo trivial.



Como Aprender Algo?

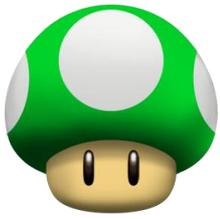
💡 Exemplos:

- 💡 Considerando um agente treinando para ser se tornar um motorista de táxi. Toda vez que o instrutor gritar "freio!" o agente pode aprender uma condição de quando ele deve frear.
- 💡 Ao ver várias imagens que contem ônibus, o agente pode aprender a reconhecê-los.
- 💡 Ao tentar ações e observar os resultados. Por exemplo, ao frear forte em uma estrada molhada pode aprender que isso não tem um efeito bom.



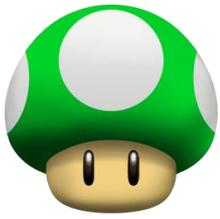
Formas de Aprendizado

- 💡 Aprendizado Supervisionado
- 💡 Aprendizado Não Supervisionado
- 💡 Aprendizado Por Reforço



Aprendizado Supervisionado

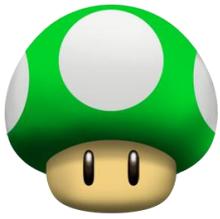
- ❏ Observa-se alguns pares de **exemplos de entrada e saída**, de forma a aprender uma **função que mapeia a entrada para a saída**.
- ❏ Damos ao sistema a “**resposta correta**” durante o processo de treinamento.
- ❏ É eficiente pois o sistema pode trabalhar diretamente com informações corretas.
- ❏ Útil para classificação, regressão, estimação de probabilidade condicional (qual é a probabilidade de um cliente com um determinado perfil comprar um determinado produto?)



Aprendizado Supervisionado

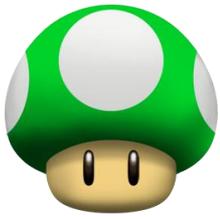
📌 Exemplo:

- 📌 Considerando um agente treinando para ser se tornar um motorista de táxi. Toda vez que o instrutor gritar "freio!" o agente pode aprender uma condição de quando ele deve frear.
- 📌 A entrada é formada pelos dados percebidos pelo agente através de sensores. A saída é dada pelo instrutor que diz quando se deve frear, virar a direita, virar a esquerda, etc.



Aprendizado Não Supervisionado

- ❏ O agente **reconhece padrões nos dados de entrada**, mesmo sem **nenhum feedback de saída**.
- ❏ Por exemplo, um agente aprendendo a dirigir pode gradualmente desenvolver um conceito de dias de bom tráfego e dias de tráfego congestionado mesmo sem nunca ter recebido exemplos rotulados por um professor.



Aprendizado Por Reforço

- ❏ O agente fica sabendo de uma série de reforços, **recompensas ou punições**.
- ❏ Por exemplo, a falta de uma gorjeta no final do percurso da ao agente de taxista uma indicação de que ele fez algo errado.
- ❏ Cabe ao agente reconhecer qual das ações antes do reforço foram as maiores responsáveis por isso.
- ❏ Não damos a “resposta correta” para o sistema. O sistema faz uma hipótese e determina se essa hipótese foi boa ou ruim.



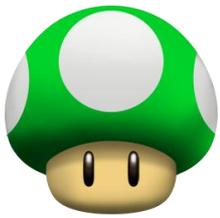
Fases da Aprendizagem

💡 **Treinamento** (supervisionado)

- 💡 Apresenta-se exemplos ao sistema.
- 💡 O sistema “aprende” a partir dos **exemplos**.
- 💡 O sistema modifica gradualmente os seus parâmetros para que a saída se aproxime da saída desejada.

💡 **Utilização**

- 💡 Novos exemplos jamais visto são apresentados ao sistema.
- 💡 O sistema deve generalizar e reconhecê-los.



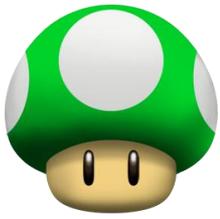
Exemplos de Treinamento (Aprendizado Supervisionado)

| | Atributos | | | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|
| Exemplo | Atrib ₁ | Atrib ₂ | Atrib ₃ | Atrib ₄ | Atrib ₅ | Atrib ₆ | Classe |
| X₁ | 0.24829 | 0.49713 | 0.00692 | -0.020360 | 0.429731 | -0.2935 | 1 |
| X₂ | 0.24816 | 0.49729 | 0.00672 | 0.0065762 | 0.431444 | -0.29384 | 1 |
| X₃ | 0.24884 | 0.49924 | 0.01047 | -0.002901 | 0.423145 | -0.28956 | 3 |
| X₄ | 0.24802 | 0.50013 | 0.01172 | 0.001992 | 0.422416 | -0.29092 | 2 |
| X₅ | 0.24775 | 0.49343 | 0.01729 | -0.014341 | 0.420937 | -0.29244 | 2 |



Classificação de Exemplos Desconhecidos

| | Atributos | | | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|
| Exemplo | Atrib ₁ | Atrib ₂ | Atrib ₃ | Atrib ₄ | Atrib ₅ | Atrib ₆ | Classe |
| X₁ | 0.22829 | 0.48713 | 0.00592 | -0.010360 | 0.419731 | -0.2845 | ? |
| X₂ | 0.21816 | 0.48729 | 0.00572 | 0.0045762 | 0.421444 | -0.28484 | ? |
| X₃ | 0.23884 | 0.49824 | 0.01447 | -0.003901 | 0.433145 | -0.24956 | ? |
| X₄ | 0.23002 | 0.49013 | 0.02172 | 0.002992 | 0.412416 | -0.28092 | ? |
| X₅ | 0.24575 | 0.49243 | 0.01029 | -0.015341 | 0.430937 | -0.28244 | ? |



Tipos de Problemas

❏ **Classificação:**

- ❏ Responde se uma determinada “entrada” pertence a uma certa classe.
- ❏ Dada a imagem de uma face: de quem é esta face (dentro um número finito).

❏ **Regressão:**

- ❏ Faz uma predição a partir de exemplos.
- ❏ Predizer o valor da bolsa amanhã, dados os valores de dias e meses anteriores.

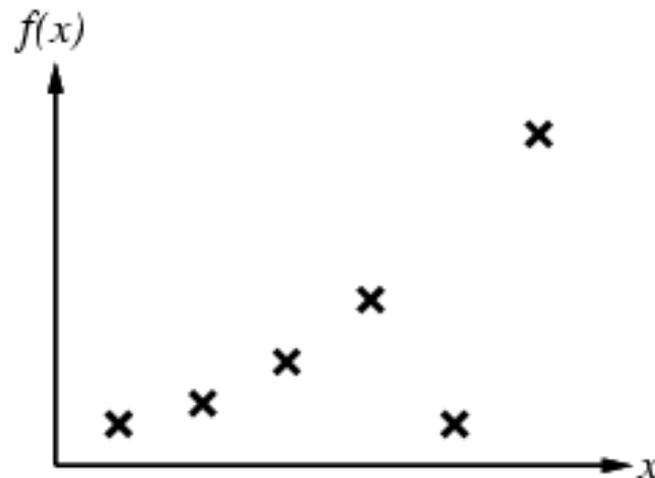
❏ **Estimação de Densidade:**

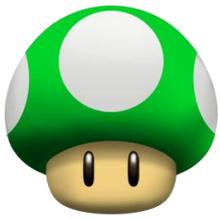
- ❏ Estima quais são as N categorias presente nos dados.



Aprendizado Supervisionado

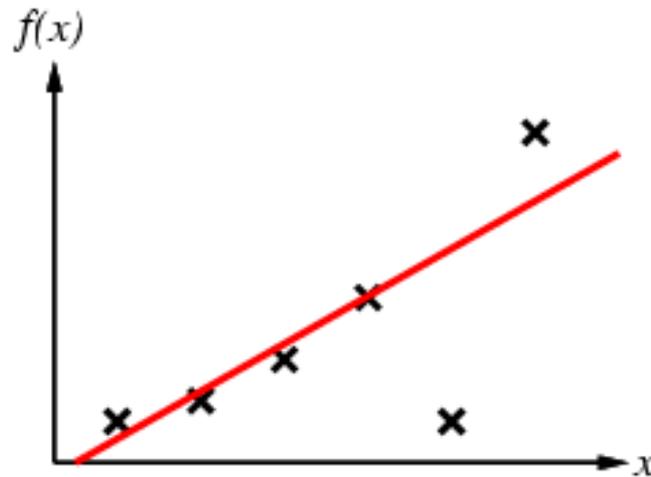
- ❏ Dado uma quantidade finita de dados para o treinamento, temos que derivar uma função h que se aproxime da verdadeira função $f(\mathbf{x})$ (a qual gerou os dados e é desconhecida).
- ❏ Existe um número infinito de funções h .





Aprendizado Supervisionado

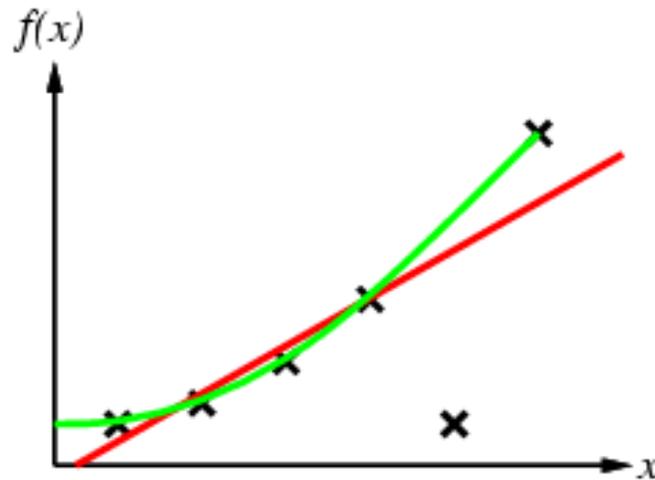
- ❏ Dado uma quantidade finita de dados para o treinamento, temos que derivar uma função h que se aproxime da verdadeira função $f(x)$ (a qual gerou os dados e é desconhecida).
- ❏ Existe um número infinito de funções h .





Aprendizado Supervisionado

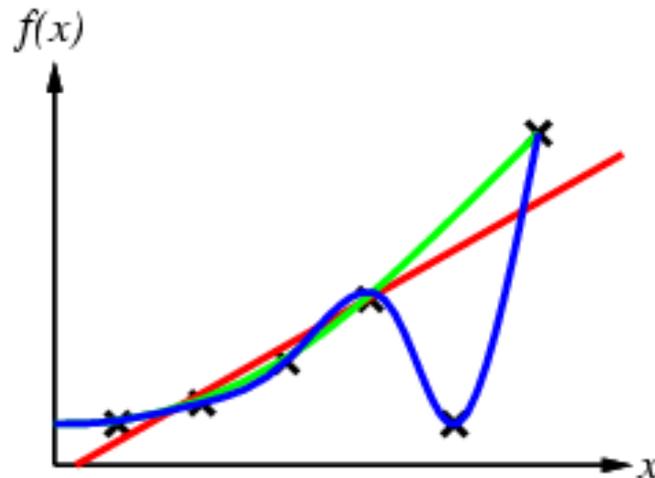
- ❏ Dado uma quantidade finita de dados para o treinamento, temos que derivar uma função h que se aproxime da verdadeira função $f(x)$ (a qual gerou os dados e é desconhecida).
- ❏ Existe um número infinito de funções h .





Aprendizado Supervisionado

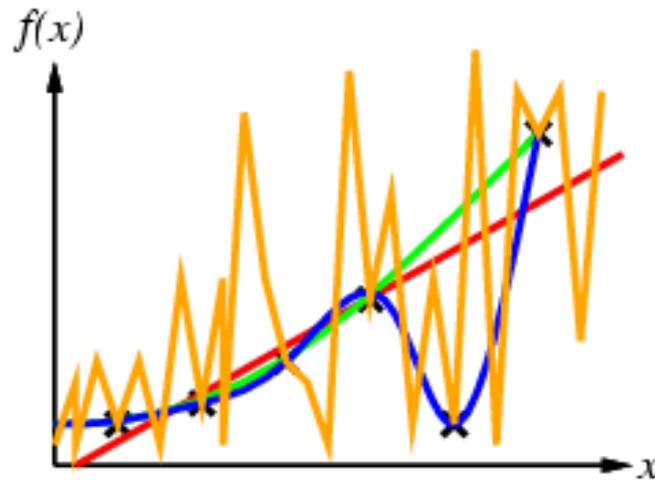
- ❏ Dado uma quantidade finita de dados para o treinamento, temos que derivar uma função h que se aproxime da verdadeira função $f(x)$ (a qual gerou os dados e é desconhecida).
- ❏ Existe um número infinito de funções h .

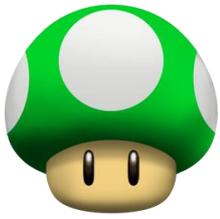




Aprendizado Supervisionado

- ❏ Dado uma quantidade finita de dados para o treinamento, temos que derivar uma função h que se aproxime da verdadeira função $f(x)$ (a qual gerou os dados e é desconhecida).
- ❏ Existe um número infinito de funções h .





Generalizar é Difícil

❗ Não queremos aprender por memorização

- ❗ Boa resposta sobre os exemplos de treinamento somente.
- ❗ Fácil para um computador.
- ❗ Difícil para os humanos.

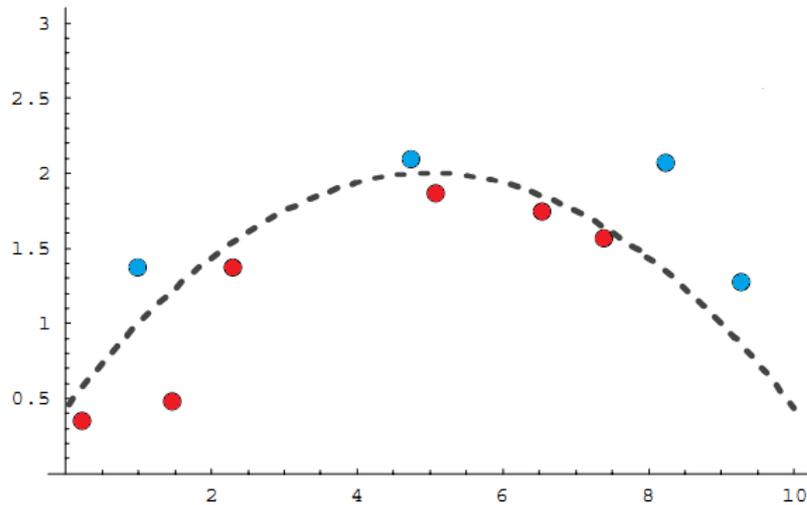
❗ Aprender visando generalizar

- ❗ Mais interessante.
- ❗ Fundamentalmente mais difícil: diversas maneiras de generalizar.
- ❗ Devemos extrair a essência, a estrutura dos dados e não somente aprender a boa resposta para alguns casos.



Exemplo

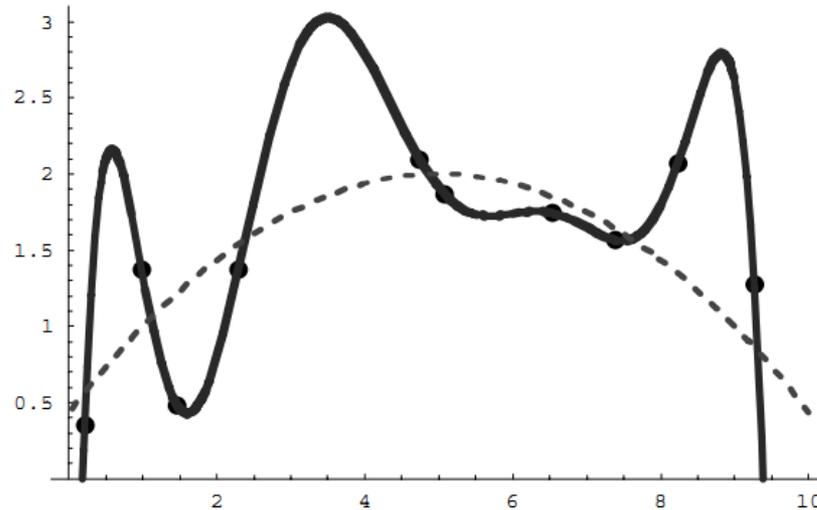
- Função-alvo f (melhor resposta possível).





Exemplo – Overfitting

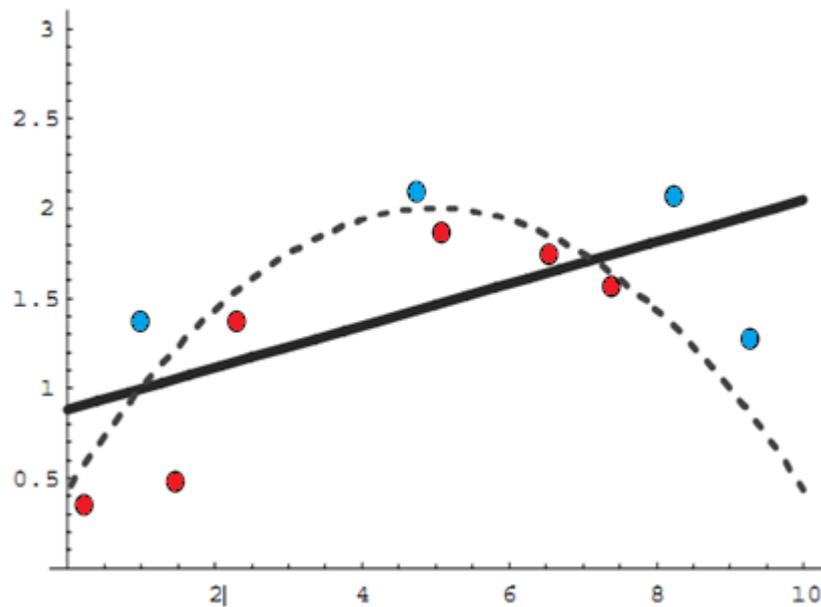
- ❏ Erro baixo sobre os exemplos de aprendizagem. Mais elevado para os de teste.





Exemplo – Underfitting

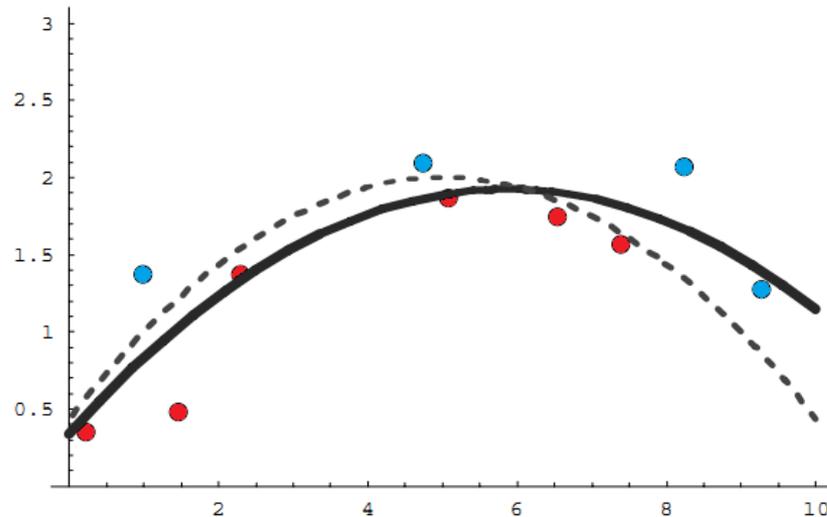
- Escolhemos um modelo muito simples (linear): erro elevado na aprendizagem.





Exemplo – Um Bom Modelo

- ❏ O modelo é suficientemente flexível para capturar a forma curva da função f mais não é suficiente para ser exatamente igual a função f .





Teoria de Aprendizado Computacional

- ❓ Como sabemos se a hipótese h está próxima da função-alvo f , se não conhecemos o que é f ?
- ❓ Este é um aspecto de uma questão mais abrangente: como saber se um algoritmo de aprendizado produziu uma teoria que preverá corretamente o futuro?
- ❓ Qualquer hipótese que é consistente com um conjunto suficientemente grande de exemplos é pouco provável de estar seriamente errada.