

# Inteligência Artificial

---

Lógica de Primeira Ordem ou de Predicados

Prof. Dr<sup>a</sup>. Andreza Sartori

[asartori@furb.br](mailto:asartori@furb.br)

# Documentos Consultados/Recomendados

- COPPIN, Ben. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- KLEIN, Dan; ABBEEL, Pieter. **Intro to AI**. UC Berkeley. Disponível em: <http://ai.berkeley.edu>.
- LIMA, Edirlei Soares. **Inteligência Artificial**. PUC-Rio, 2015.
- RUSSELL, Stuart J. (Stuart Jonathan); NORVIG, Peter. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Campus, 2013. 1021 p, il.

# Plano de Ensino da disciplina

**Unidade 1:** Fundamentos de Inteligência Artificial

**Unidade 2:** Busca

**Unidade 3:** Sistemas baseados em conhecimento

**Unidade 4:** Aprendizado de Máquina e Redes Neurais

**Unidade 5:** Tópicos especiais



# Plano de Ensino da disciplina

**Unidade 1:** Fundamentos de Inteligência Artificial

**Unidade 2:** Busca

**Unidade 3:** Sistemas baseados em conhecimento

**Unidade 4:** Aprendizado de Máquina e Redes Neurais

**Unidade 5:** Tópicos especiais



# Plano de Ensino da disciplina

**Unidade 1:** Fundamentos de Inteligência Artificial

**Unidade 2:** Busca

**Unidade 3:** Sistemas baseados em conhecimento

3.1. Agentes Lógicos

3.2. Representação do Conhecimento

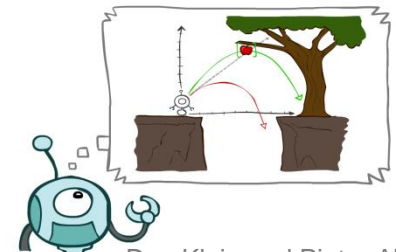
**3.2.1 Lógica de Primeira Ordem**

3.3. Sistemas Especialistas



# Agente Baseado em Conhecimento

- **Base de conhecimento:**
  - componente central de um agente baseado em conhecimento.
  - é formada por um conjunto de **sentenças** expressadas através de uma **linguagem lógica** de representação de conhecimento.
- Deve ser possível adicionar novas sentenças à base de conhecimento e consultar o que se conhece.
  - Estas tarefas podem envolver **inferência** (derivação de novas sentenças a partir de sentenças antigas).



# Lógica Proposicional X Lógica de Primeira Ordem

- **Lógica Proposicional:**

- Assume que o mundo contém fatos, que podem ser verdadeiros ou falsos.
- Muito simples para representar o conhecimento de ambientes complexos de uma forma concisa.
- Falta de capacidade de expressão para descrever um ambiente com muitos objetos.
- Possui um poder de expressão limitado.
  - Linguagem natural: “quadrados adjacentes a poços possuem brisa”
  - Lógica proposicional:  $B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})$  - (Necessário declarar todas as salas!)

# Lógica Proposicional X Lógica de Primeira Ordem

- **Lógica de Primeira Ordem (ou de Predicados)**
  - Assume que o mundo consiste em objetos com certas relações entre eles que são ou não são válidas.
  - Maior poder de expressão através dos objetos e relações.
  - Similar a linguagem natural.

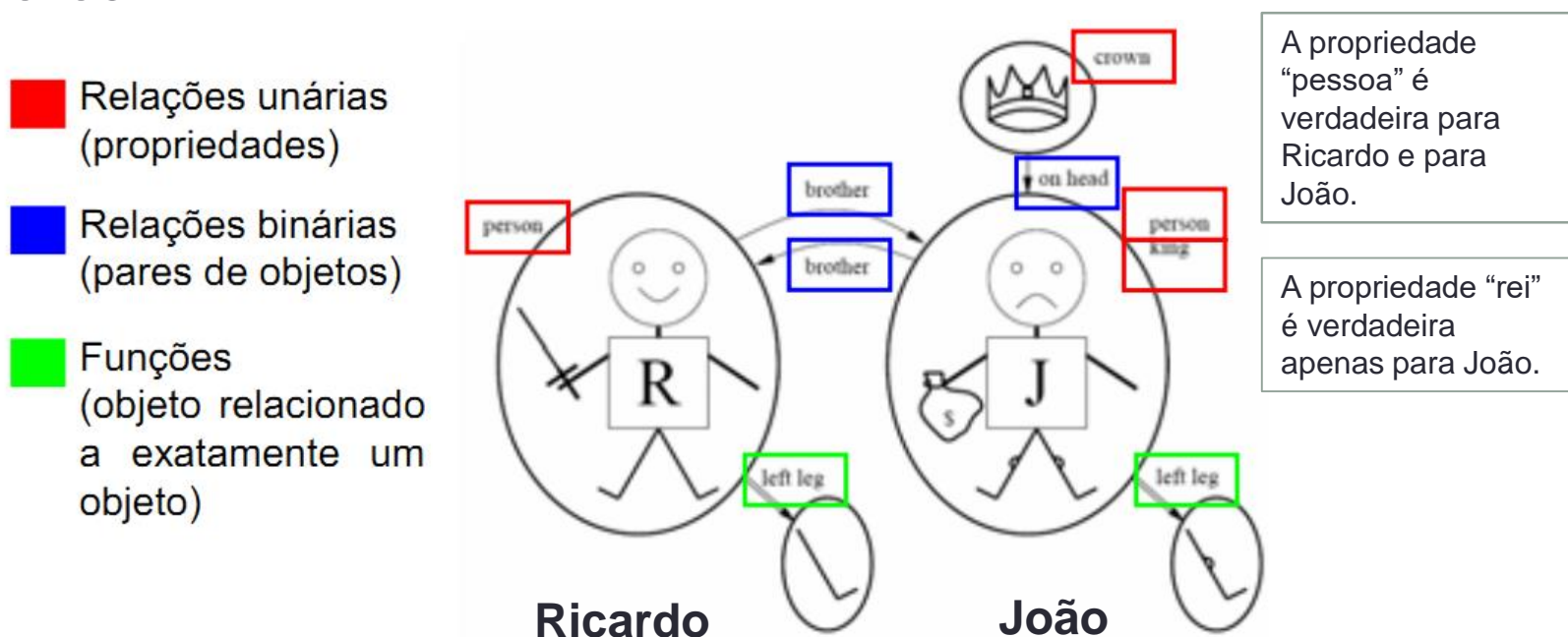


# Linguagem Natural

- **Objetos** (substantivos e sentenças nominais):
  - pessoas, casas, teorias, números, cores ...
- **Relações** (verbos e sentenças verbais):
  - **Unárias ou propriedades** de um objeto.
    - Exemplo: vermelho, redondo, falso
  - **n-árias**: relacionam grupos de objetos.
    - Exemplo: irmão de, maior que, tem cor, parte de...
- **Funções**: um objeto está relacionado a exatamente um objeto.
  - Exemplo: pai de, melhor amigo de, terceiro turno de, uma unidade maior que...
- Exemplo: “**Quadrados vizinhos ao Wumpus são fedorentos.**”
  - Objetos: Wumpus, quadrados. Propriedade: Fedorento. Relação: Vizinhos.
- A linguagem da **lógica de primeira ordem** é elaborada em torno de objetos e relações.

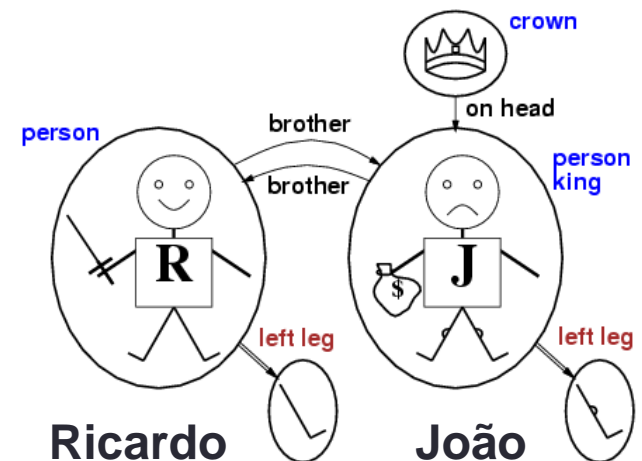
# Modelo para Lógica de Primeira Ordem

Ricardo Coração de Leão, rei da Inglaterra de 1189 à 1199; seu irmão mais jovem, o perverso rei João, que governou de 1199 até 1215; as pernas esquerdas de Ricardo e João; uma coroa.



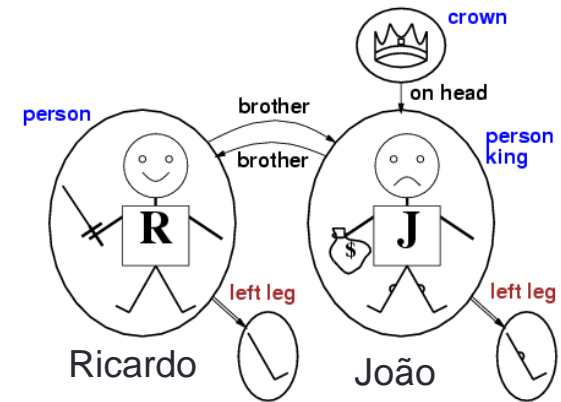
# Sintaxe da Lógica de Primeira Ordem

- **Símbolos:** Começam com letras maiúsculas e podem ser de três tipos:
  - **Símbolos de constantes:** Representam objetos.
    - Exemplo: Ricardo e João
  - **Símbolos de predicados:** Representam relações.
    - Exemplo: Irmão, NaCabeça, Pessoa, Rei, Coroa
  - **Símbolos de funções:** Representam funções.
    - Exemplo: PernaEsquerda



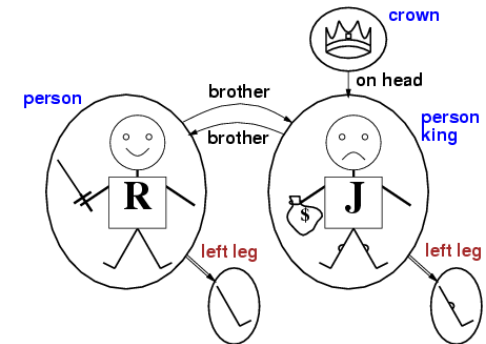
# Sintaxe da Lógica de Primeira Ordem

- **Interpretação** - Especifica quais objetos, relações e funções são referidos pelos símbolos de constantes, predicados e funções:
- Interpretação pretendida:
  - **Ricardo** se refere a “Ricardo Coração de Leão”
  - **João** se refere ao “perverso rei João”
  - **Irmão** se refere à “relação de fraternidade”
  - **NaCabeça** se refere à relação “na cabeça” que é válida entre a coroa e o rei João
  - **Pessoa**, **Rei** e **Coroa** se referem aos conjuntos de objetos que são pessoas, reis e coroas
  - **PernaEsquerda** se refere à função “perna esquerda”.



# Sintaxe da Lógica de Primeira Ordem

- **Sentenças atômicas:** são formadas a partir de um símbolo de predicado (i.e., relações), seguido por uma lista de termos entre parênteses.
- **$P(x,y)$** 
  - “x é um P de y”
- **Irmão(Ricardo, João)**
  - “Ricardo Coração de Leão é o Irmão do rei João”
- **Casado(Pai(Ricardo), Mãe(João))**
  - O pai de Ricardo Coração de Leão é casado com a mãe de João.
- Uma sentença atômica é **verdadeira** em um dado modelo, sob uma dada interpretação, **se a relação** referida pelo símbolo de predicado (relações: Irmão, Casado) **é válida entre os objetos** (Ricardo, João) referidos pelos argumentos.



# Sintaxe da Lógica de Primeira Ordem

- **Sentenças complexas:** podem ser usados conectivos lógicos, da mesma forma que na lógica proposicional.
  - $\neg \text{Irmão}(\text{PernaEsquerda}(\text{Ricardo}), \text{João})$
  - $\text{Irmão}(\text{Ricardo}, \text{João}) \wedge \text{Irmão}(\text{João}, \text{Ricardo})$
  - $\text{Rei}(\text{Ricardo}) \vee \text{Rei}(\text{João})$
  - $\neg \text{Rei}(\text{Ricardo}) \rightarrow \text{Rei}(\text{João})$

# Sintaxe da Lógica de Primeira Ordem

- **Quantificadores ( $\forall$ ,  $\exists$ )** : são utilizados para expressar propriedades de coleções inteiras de objetos.
- **Quantificador Universal ( $\forall$ ) ( $\rightarrow$ )**
  - “Para todo...” ou “Para todos...”
  - $\forall$  <variáveis><sentenças>
- **$\forall x P$** , onde  $P$  é qualquer expressão lógica, afirma que  $P$  é verdadeira **para todo** objeto  $x$ .
  - $\forall x \text{ Rei}(x) \rightarrow \text{Pessoa}(x)$
  - Para todo  $x$ , se  $x$  é um rei, então  $x$  é uma pessoa.

# Exercício:

- **Formalize os enunciados a seguir:**

1)

- Todo o ser humano é mortal.
- Para todo o  $x$ , se  $x$  é ser humano, então  $x$  é mortal.

2)

- Nenhum animal anfíbio é capaz de voar.
- Para todo  $x$ , se  $x$  é animal anfíbio, então  $x$  não é capaz de voar.



# Exercício: Resposta

- **Formalize os enunciados a seguir:**

1)

- Todo o ser humano é mortal.
- Para todo o  $x$ , se  $x$  é ser humano, então  $x$  é mortal.
  - $\forall x (\text{SerHumano}(x) \rightarrow \text{Mortal}(x))$

2)

- Nenhum animal anfíbio é capaz de voar.
- Para todo  $x$ , se  $x$  é animal anfíbio, então  $x$  não é capaz de voar.
  - $\forall x (\text{AnimalAnfíbio}(x) \rightarrow \sim \text{Voa}(x))$

# Sintaxe da Lógica de Primeira Ordem

- **Quantificadores ( $\forall$ ,  $\exists$ ):** são utilizados para expressar propriedades de coleções inteiras de objetos.
- **Quantificador Existencial ( $\exists$ ) ( $\wedge$ )**
  - “Para algum...”, “Existe algum...”
  - $\exists$  <variáveis><sentenças>
  - $\exists x$  significa: “Existe um  $x$  tal que...” “Para algum  $x$ ...”
  - **$\exists x P$** , afirma que  $P$  é verdadeira para **pelo menos um**  $x$ .
    - $\exists x \text{ Rei}(x)$
    - “Existe um  $x$ , tal que  $x$  é Rei.”

# Exercício:

- **Formalize os enunciados a seguir:**

1)

- Alguns atletas são saudáveis.
- Existe pelo menos um  $x$  tal que  $x$  é atleta e  $x$  é saudável.

2)

- Algumas pessoas não são fumantes.
- Existe pelo menos um  $x$  tal que  $x$  é alguma pessoa e  $x$  não é fumante.

# Exercício: Resposta

- **Formalize os enunciados a seguir:**

1)

- Alguns atletas são saudáveis.
- Existe pelo menos um  $x$  tal que  $x$  é atleta e  $x$  é saudável.
  - $\exists x (\text{Atletas}(x) \wedge \text{Saudáveis}(x))$

2)

- Algumas pessoas não são fumantes.
- Existe pelo menos um  $x$  tal que  $x$  é alguma pessoa e  $x$  não é fumante.
  - $\exists x (\text{Pessoa}(x) \wedge \sim \text{Fumante}(x))$

# Sintaxe da Lógica de Primeira Ordem

- **Quantificadores aninhados:** são usados em sentenças complexas usando vários quantificadores.

- $\forall x \forall y \text{ Irmão}(x,y) \rightarrow \text{Parente}(x,y)$

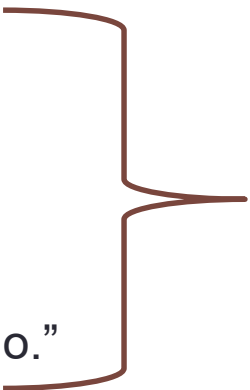
- “Irmãos são parentes.”

- $\forall x \exists y \text{ Ama}(x,y)$

- “Todo mundo ama alguém.”

- $\exists y \forall x \text{ Ama}(x,y)$

- “Existe alguém que é amado por todo mundo.”

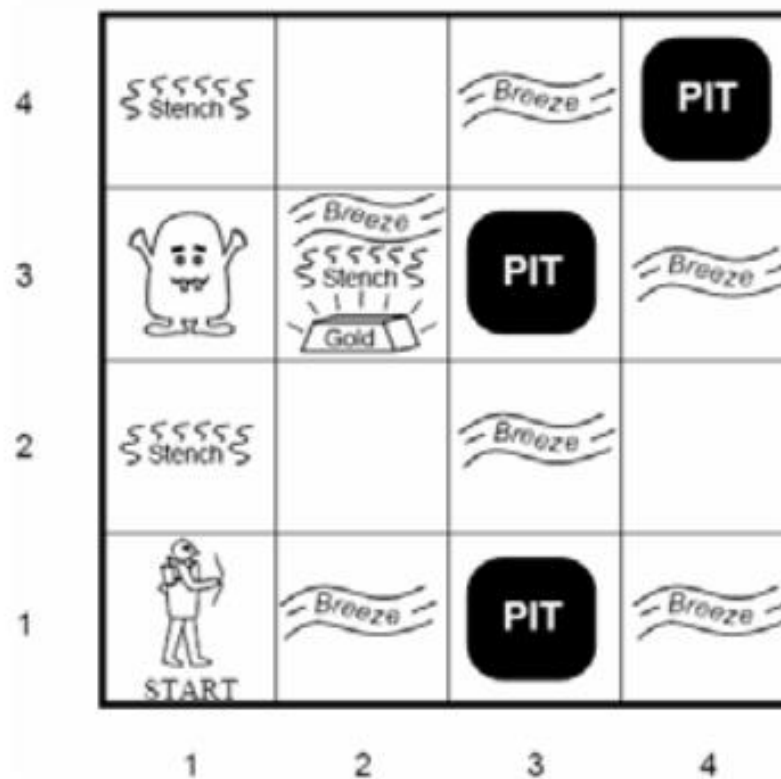


A ordem de quantificação é muito importante.

# Sintaxe da Lógica de Primeira Ordem

- **Conexões entre  $\forall$  e  $\exists$ :** Os quantificadores ( $\forall$ ,  $\exists$ ) estão conectados um ao outro por meio de negação.
- $\forall x \neg \text{Gosta}(x, \text{Cenouras}) \equiv \neg \exists x \text{Gosta}(x, \text{Cenouras})$ 
  - “todo mundo detesta cenouras” é equivalente a “não existe alguém que goste de cenouras”
- $\forall x \text{Gosta}(x, \text{Sorvete}) \equiv \neg \exists x \neg \text{Gosta}(x, \text{Sorvete})$ 
  - “todo mundo gosta de sorvete” é equivalente a “não existe ninguém que não goste de sorvete”

# Exemplo: Wumpus



# Exemplo: Wumpus

- **Estrutura da Base de Conhecimento:**

- São armazenadas as sentenças representando as percepções do agente e a hora em que elas ocorreram (t).
- Fedor, Brisa e Resplendor são constantes inseridas em uma lista.
  - Exemplo de sentença de percepção:  
Percepção ([Fedor, Brisa, Resplendor, Nenhum, Nenhum], 5)
- Ações:
  - Virar(Direita), Virar(Esquerda), Avançar, Atirar, Agarrar, Soltar.  
1                      2                      3                      4                      5                      6

- **O agente constrói uma consulta:**

- $\exists a \text{ MelhorAção}(a, 5)$
- O programa do agente retorna Agarrar como uma ação a executar.



# Exemplo: Wumpus

- Os **dados brutos da percepção** implicam certos fatos sobre o estado atual.

Exemplos:

- $\forall_{t,f,r,i,g} \text{Percepção}([f,\text{Brisa},r,i,g],t) \rightarrow \text{Brisa}(t)$
- $\forall_{t,f,b,i,g} \text{Percepção}([f,b,\text{Resplendor},i,g],t) \rightarrow \text{Resplendor}(t)$

- **Comportamentos simples** podem ser implementados por sentenças de implicação quantificadas.

Exemplo:

- $\forall_t \text{Resplendor}(t) \rightarrow \text{MelhorAção}(\text{Agarrar},t)$

# Agentes Lógicos

- A construção de agentes lógicos foi uma das principais tendências de pesquisa na IA no início dos anos 90.
- A lógica é usada na IA para representar o ambiente do agente e raciocinar sobre esse ambiente
- Prós e contras de agentes lógicos:
  - - Não lida com a incerteza
  - - Baseado em regras e não usa dados (Machine Learning usa)
  - - É difícil modelar todos os aspectos do mundo
  - + Inteligibilidade dos modelos: os modelos são codificados explicitamente
    - pode ser combinado com outros modelos de caixa preta que não fornecem explicações sobre o motivo da previsão ou inferência.