

# Inteligência Artificial

Raoni F. S. Teixeira

## Aula 5 - Agentes Lógicos

### 1 Introdução

Esta aula apresenta agentes lógicos e seu uso para resolver problemas com base em fatos e regras.

Diferentemente dos métodos de otimização tradicionais estudados anteriormente, agentes lógicos encontram soluções usando uma abordagem declarativa: o programador especifica **o que** deve ser feito, sem precisar detalhar **como** executar as tarefas.

### 2 Agente Lógico

Um agente lógico toma decisões usando conhecimento formalizado e regras. Ele utiliza um motor de inferência para deduzir novas informações a partir de fatos conhecidos, resolvendo problemas ou executando ações.

Os três componentes principais de um agente lógico são:

- **Base de Conhecimento (KB):** Armazena fatos de forma estruturada.
  - Exemplo: “A água ferve a 100°C”; “Se está chovendo, o chão está molhado.”
- **Regras de Inferência:** Permitem derivar conclusões a partir dos fatos.
  - Exemplo: “Se A implica B, e A é verdadeiro, então B também é verdadeiro.”
- **Motor de Inferência:** Aplica as regras para deduzir novos fatos ou resolver problemas.

A Figura 1 ilustra como o motor de inferência usa fatos e percepções para atualizar a base de conhecimento.

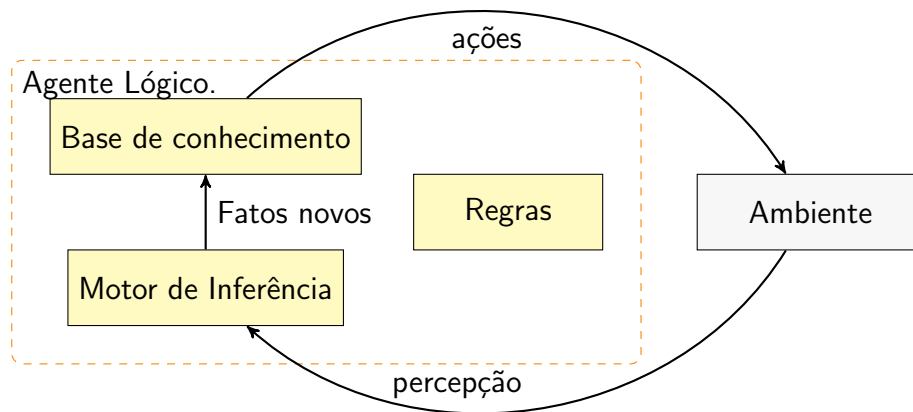


Figura 1: Agente Lógico usando as percepções e o que já é conhecido para inferir novos fatos e operar no ambiente.

### 3 Exemplo: Mundo de Wumpus

No clássico Mundo do Wumpus, um agente explora uma grade  $4 \times 4$  em busca de ouro, enquanto evita perigos como o Wumpus (um monstro) e poços. O agente utiliza percepções para deduzir a localização de perigos e ouro:

- **Fedor:** Indica a proximidade do monstro Wumpus.
- **Brisa:** Indica a proximidade de um poço.
- **Brilho:** Indica a presença de ouro na célula.

A Figura 2 mostra um tabuleiro. O agente começa no canto inferior esquerdo (1,1) e utiliza percepções para deduzir onde estão os perigos e o ouro, aplicando as seguintes regras:

- Se há *fedor* em uma célula, o Wumpus está em uma célula adjacente.
- Se há *brisa* em uma célula, um poço está em uma célula adjacente.
- Se há *brilho*, o ouro está na mesma célula.

Enquanto explora, o agente atualiza sua base de conhecimento. Por exemplo:

1. Ao não detectar *fedor* ou *brisa* em (1,1), conclui que (1,2) e (2,1) são seguras.
2. Ao explorar (2,1) e perceber *fedor*, deduz que o Wumpus está em (2,2) ou (3,1).

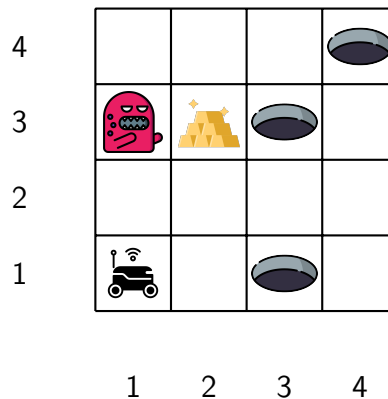


Figura 2: Mundo do Wumpus: o agente deve evitar poços e o monstro enquanto procura ouro.

3. Ao avançar para (1,2) e sentir *brisa*, confirma que (2,2) é segura e que o Wumpus está em (3,1).

Mais tarde, ao encontrar *brilho* em (3,2), o agente pega o ouro e retorna ao ponto inicial, utilizando o mesmo raciocínio lógico.

## 4 Lógica e Inferência

Os fatos e regras que permitem ao agente operar no ambiente são representados por meio da **Lógica de Primeira Ordem** (LPO). Diferentemente da lógica proposicional, que trabalha apenas com sentenças atômicas, a LPO introduz predicados com argumentos. Expressões como  $P(t_1, \dots, t_n)$  descrevem propriedades de objetos ou relações entre eles.

Por exemplo:

- Em  $P(a)$ , o predicado  $P$  indica uma característica do objeto  $a$ .
- Em  $R(a, b)$ , o predicado  $R$  expressa uma relação entre  $a$  e  $b$ .

Predicados organizam o conteúdo lógico das afirmações, mas não constituem proposições completas por si só — para isso, é preciso especificar os elementos envolvidos.

Nesse contexto, as **variáveis** (como  $x, y$ ) funcionam como espaços reservados para elementos ainda não identificados. Elas contrastam com as **constantes** (como  $a, b$ ), que se referem a objetos específicos. Assim:

- $P(x)$  pode significar “ $x$  é verde”.

- $P(a)$  afirma de modo particular que  $a$  é verde.

A LPO também introduz dois quantificadores:

- **Quantificador universal** ( $\forall$ ): afirma que uma proposição vale para todos os elementos de um domínio. Exemplo:  $\forall x P(x)$  significa “todo  $x$  possui a propriedade  $P$ ”.
- **Quantificador existencial** ( $\exists$ ): expressa que há pelo menos um elemento que satisfaz a condição. Exemplo:  $\exists x P(x)$  significa “existe um  $x$  que possui a propriedade  $P$ ”.

Com esses elementos — predicados, variáveis, constantes e quantificadores — podemos construir afirmações precisas e genéricas sobre domínios estruturados.

A LPO também permite realizar inferências. Entre as regras mais comuns estão:

- **Modus Ponens:**

- Se  $A \rightarrow B$  e  $A$  é verdadeiro, então  $B$  é verdadeiro.
- Exemplo:
  - \* Se está chovendo, então o chão está molhado.
  - \* Está chovendo.
  - \* Logo, o chão está molhado.

- **Modus Tollens:**

- Se  $A \rightarrow B$  e  $\neg B$  é verdadeiro, então  $\neg A$  é verdadeiro.
- Exemplo:
  - \* Se há fogo, então há fumaça.
  - \* Não há fumaça.
  - \* Logo, não há fogo.

A inferência pode seguir dois caminhos principais:

**Encadeamento para frente:** parte de fatos conhecidos e aplica regras para deduzir novas conclusões. No mundo do Wumpus (Figura 2), por exemplo, podemos usar o *modus tollens* para concluir que a célula (2,2) é segura.

**Encadeamento regressivo:** parte de uma meta — como verificar se uma célula é segura — e tenta prová-la com base nas regras e fatos disponíveis.

Ao aplicar o encadeamento regressivo, o sistema segue um processo típico:

1. Busca uma regra cujo conseqüente corresponda à meta desejada. A estrutura geral é:

Se  $\text{premissa}_1 \wedge \text{premissa}_2 \wedge \dots \wedge \text{premissa}_n$ , então conclusão.

2. Examina cada premissa:

- Se for um fato conhecido (por exemplo, “não há fedor em (1,1)”), a premissa é marcada como verdadeira.
- Se não for conhecida, ela se transforma em uma nova meta a ser provada com base em outras regras ou fatos.

Esses mecanismos mostram como a LPO não apenas estrutura o conhecimento, mas também guia o raciocínio do agente de forma lógica e transparente. Seu poder está na combinação entre forma e função: predicados que estruturam, variáveis que generalizam, constantes que especificam e quantificadores que delimitam — todos operando em um sistema coerente de inferência.

## 4.1 Regras do Mundo do Wumpus em Lógica de Primeira Ordem

As regras do Mundo do Wumpus podem ser escritas em lógica de primeira ordem, permitindo generalizações sobre qualquer posição do tabuleiro. A seguir, apresentamos algumas das principais relações entre percepções e elementos do mundo.

- **Brisa indica possível poço em células adjacentes:**

$$\forall x \forall y (\text{brisa}(x, y) \rightarrow \exists x', y' (\text{adjacente}(x', y', x, y) \wedge \text{poço}(x', y')))$$

- **Ausência de brisa indica ausência de poço nas células adjacentes:**

$$\forall x \forall y (\neg \text{brisa}(x, y) \rightarrow \forall x', y' (\text{adjacente}(x', y', x, y) \rightarrow \neg \text{poço}(x', y')))$$

- **Fedor indica possível Wumpus em células adjacentes:**

$$\forall x \forall y (\text{fedor}(x, y) \rightarrow \exists x', y' (\text{adjacente}(x', y', x, y) \wedge \text{wumpus}(x', y')))$$

- **Ausência de fedor indica ausência de Wumpus nas células adjacentes:**

$$\forall x \forall y (\neg \text{fedor}(x, y) \rightarrow \forall x', y' (\text{adjacente}(x', y', x, y) \rightarrow \neg \text{wumpus}(x', y')))$$

- **Percepção de brilho indica ouro na mesma célula:**

$$\forall x \forall y (\text{brilho}(x, y) \rightarrow \text{ouro}(x, y))$$

- Se uma célula é segura, então não contém poço nem Wumpus:

$$\forall x \forall y (\text{segura}(x, y) \rightarrow \neg \text{poço}(x, y) \wedge \neg \text{wumpus}(x, y))$$

- Uma célula é visitável se for segura e adjacente a uma célula visitada:

$$\forall x \forall y (\text{visitável}(x, y) \leftrightarrow \text{segura}(x, y) \wedge \exists x', y' (\text{visitada}(x', y') \wedge \text{adjacente}(x, y, x', y')))$$

Essas representações formais são a base da implementação declarativa de agentes lógicos. Em vez de programar explicitamente cada ação do agente, descrevemos propriedades do mundo e relações entre elementos. A inferência — isto é, o raciocínio necessário para decidir o que fazer — fica a cargo da linguagem lógica.

## 5 Implementação em Prolog

Uma linguagem ideal para esse paradigma é o Prolog, que permite representar conhecimento por meio de fatos e regras. O interpretador, então, realiza inferências automáticas para responder a perguntas e tomar decisões.

### 5.1 Fatos e Regras em Prolog

Fatos descrevem propriedades conhecidas do ambiente:

```
brisa(2,1).           % Há brisa na célula (2,1)
adjacente(1,1,2,1).   % A célula (1,1) é adjacente à (2,1)
```

Regras definem condições sob as quais certos predicados devem ser considerados verdadeiros. Por exemplo:

```
poco(X,Y) :- brisa(A,B), adjacente(X,Y,A,B).
```

Essa regra afirma: “ $(X,Y)$  é uma célula com poço se houver brisa em  $(A,B)$  e  $(X,Y)$  for adjacente a  $(A,B)$ ”.

### 5.2 O Significado do Operador :-

O operador :- expressa uma implicação lógica reversa:

conclusão  $\leftarrow$  premissas

Lê-se: “A conclusão é verdadeira se as premissas forem verdadeiras”. Em termos lógicos,  $B \rightarrow A$ .

**Exemplo:** A regra abaixo:

`avo(X,Z) :- pai(X,Y), pai(Y,Z).`

significa: “*X é avô de Z se X é pai de Y e Y é pai de Z*”.

### Elementos da sintaxe Prolog:

- A vírgula (‘,’) representa conjunção lógica  $\wedge$  (and).
- O ponto-e-vírgula (‘;’) representa disjunção lógica  $\vee$  (or).
- Um ponto final (‘.’) encerra cada cláusula.

## 5.3 Paradigma Declarativo

Ao programar em Prolog, focamos no **que** deve ser verdade, não em **como** alcançar essa verdade. O controle da busca é responsabilidade do interpretador.

Por exemplo:

`poco(X,Y) :- brisa(2,1), adjacente(X,Y,2,1).`

declara que uma célula (X,Y) contém um poço se:

- há brisa na célula (2,1), e
- (X,Y) é adjacente a (2,1).

## 5.4 Consultas

Com fatos e regras definidos, podemos fazer perguntas ao interpretador:

`?- poco(X,Y).`

Essa consulta solicita: “*Para quais valores de (X,Y) a presença de um poço pode ser inferida?*”

O Prolog busca satisfazer as premissas da regra associada ao predicado `poco/2`, retornando todos os pares possíveis que tornam a proposição verdadeira.

## 6 Discussão Final

Os agentes lógicos marcaram o início da busca por uma inteligência artificial geral. Sua proposta era simples, mas ousada: usar lógica formal para representar conhecimento e tomar decisões. Essa ideia ganhou forma nos anos 1950 e 1960 com os trabalhos fundadores de John McCarthy, Marvin Minsky, Allen Newell e Herbert Simon [McC59, NS56]. Foi o nascimento do paradigma simbólico: uma IA que raciocina a partir de regras e fatos declarativos.

Esse modelo possibilitou avanços notáveis. Os sistemas especialistas, como o MYCIN na medicina [SB75], mostraram que, com conhecimento suficiente codificado, máquinas podiam superar humanos em tarefas específicas. A Lógica de Primeira Ordem (LPO) ofereceu a linguagem necessária para descrever relações entre objetos, generalizar com variáveis e aplicar regras inferenciais. O *Mundo do Wumpus*, introduzido por Genesereth e Nilsson [GN87], tornou-se um exemplo clássico para ensinar como um agente pode agir de forma racional em um ambiente incerto com base apenas em percepções locais.

Mas a promessa encontrou barreiras. Construir manualmente bases de conhecimento é lento e sujeito a erros. A inferência lógica, embora elegante, é cara do ponto de vista computacional. E a lógica clássica lida mal com incertezas — algo comum no mundo real. Esses desafios, somados ao excesso de expectativas nos anos 1980, culminaram no chamado *inverno da IA*, quando investimentos e interesse diminuíram drasticamente.

A resposta veio com o avanço dos métodos conexionistas. Redes neurais e técnicas de aprendizado de máquina permitiram que a IA aprendesse diretamente com dados, evitando a necessidade de modelar o mundo explicitamente. E é isso que estudaremos nas próximas aulas.

## 7 Exercícios

1. Escreva em lógica de primeira ordem a seguinte regra: “Se uma célula é segura, então todas as células adjacentes sem brisa nem fedor também são seguras.”
2. Modele em Prolog os seguintes fatos e regras:
  - Há brisa em (2,1), e fedor em (1,2);
  - Células adjacentes seguem a topologia de grade 4x4.
  - Escreva uma regra que infere a possibilidade de poço ou Wumpus nas células adjacentes.
3. Faça uma consulta em Prolog para saber quais células são potencialmente perigosas, com base nos fatos fornecidos.



## Referências

- [GN87] Michael R. Genesereth and Nils J. Nilsson. *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, 1987.
- [McC59] John McCarthy. Programs with common sense. 1959.
- [NS56] Allen Newell and Herbert A. Simon. The logic theory machine: A complex information processing system. *IRE Transactions on Information Theory*, 1956.
- [SB75] Edward H. Shortliffe and Bruce G. Buchanan. A model of inexact reasoning in medicine. *Mathematical Biosciences*, 23(3-4):351–379, 1975.