

# Inteligência Artificial

Sistemas Especialistas

Raciocínio e Mecanismos de Inferência

Prof. Paulo Martins Engel



*Prof. Paulo Martins Engel*

---

*Categorias de Raciocínio  
Computacionais*

# 1 Raciocínio Dedutivo

- São definidas um conjunto de premissas gerais a respeito do domínio que são aplicadas para obter uma inferência específica.
- O raciocínio parte de um princípio geral, chamado de premissa **maior**, conduzido por premissas **menores**, mais específicas, para uma conclusão particular.

3

## Raciocínio Dedutivo

- *Premissa 1: Na baixa temporada, pacotes de viagem são vendidos com desconto.*  
*Premissa 2: Janeiro é baixa temporada.*  
*Conclusão : Pacotes de viagem vendidos em Janeiro tem desconto.*
- Para que o raciocínio seja aplicável, é necessário que o conhecimento seja organizado na forma de premissas atômicas.
- É necessário também garantir a integridade das conclusões garantindo que premissas válidas levem sempre a conclusões válidas.

4

## 2 Raciocínio Indutivo

- O raciocínio indutivo utiliza fatos ou premissas particulares e busca **generalizá-las** para novos fatos
- Nem sempre a conclusão é alcançável e pode ainda mudar se novas premissas forem acrescentadas.
- Sempre existe alguma incerteza envolvida no raciocínio indutivo, uma vez que não é possível determinar se toda informação relevante é conhecida.

5

## 2 Raciocínio Indutivo

- **Premissa 1:** O Hotel Beiramar localiza-se no litoral.  
**Premissa 2:** Em verões chuvosos, o hotel Beiramar oferece descontos.  
**Premissa 3:** O hotel Praiatur localiza-se no litoral.  
**Premissa 4:** Em verões chuvosos, o hotel Praiatur oferece descontos.  
**Premissa 5:** O hotel Solimar localiza-se no litoral.  
**Premissa 6:** Em verões chuvosos, o hotel Solimar oferece descontos..
- Conclusão :** Hotéis que localizam-se no litoral oferecem descontos em verões chuvosos.

6

## 2 Raciocínio Indutivo

- Premissa 1: Vodka com gelo causa dor de cabeça.
- Premissa 2: Rum com gelo causa dor de cabeça.
- Premissa 3: Whisky com gelo causa dor de cabeça.
- Premissa 4: Gim com gelo causa dor de cabeça.

Conclusão : Gelo causa dor de cabeça **X**

7

## 3 Raciocínio Analógico

- Forma de raciocínio bastante natural para os seres humanos, porém ainda difícil de ser implementada.
- Assume que pode-se aplicar uma solução que mostrou-se válida em uma mesma classe de problemas em **outro** domínio, apenas adaptando-se aos requisitos do problema em questão.

8

## Problema: Como reservar hotel para excursões?

- Procedimentos conhecidos:
  - Reservar hotel para conferências.
  - Reservar hotel para pessoas em viagem.
- **Solução:** Aplicar o mesmo método, adaptando a solução para o fato de que conferências acontecem em um único local, enquanto excursões se deslocam.
- Aplicar o procedimento utilizado para pessoas que viajam, porém considerando que a reserva deve ser feita para um grupo e não para um indivíduo.

9

## 3. Raciocínio analógico

- (1) Armazenar formas de solução para problemas de diversos domínios e
- (2) *medir a diferença* entre esses problemas e os novos apresentados e, a partir dessa diferença,
- (3) *adaptar* a forma de solução de modo a contemplar as características do novo problema.

10

### 3. Raciocínio analógico

- O raciocínio por analogia busca reconhecer semelhanças *estruturais* entre os problemas, ao contrário do raciocínio dedutivo e indutivo que reconhece semelhanças *superficiais*.
- Enquanto, no raciocínio dedutivo, o mecanismo de inferência busca casar atributos e valores entre os objetos comparados, no raciocínio analógico o sistema busca reconhecer se os dois objetos possuem o mesmo número de atributos e se esses atributos tendem a ser de mesmo tipo

11

### Dedução x Analogia

- *Raciocínio dedutivo:*

*Cliente*

Padrão conforto = médio  
Deseja pagar = < 100 reais

*Hotel*

Padrão conforto = médio  
Preço apartamento = < 100 reais



- *Raciocínio analógico:*

*Reserva hotel*

Verifica vaga;  
Reserva vaga;  
Confirma viagem;  
Paga valor.

*Reserva avião*

Verifica assento;  
Reserva passagem  
Confirma viagem;  
Paga valor;  
Retira bilhete;

12

Qual os tipos de raciocínio utilizados nas conclusões abaixo?

**Caso a)**

Estudantes que não estudam não passam na prova final  
Nanci é uma estudante  
Nanci não estudou

**Conclusão :** Nanci não irá passar na prova final

**Caso b)**

Jack não estudou para a prova final  
Jack é um estudante  
Jack não passou na prova final

**Conclusão :** Estudantes que não estudam não passam nas provas finais.

**Caso c)**

Para ingressar na faculdade tem vestibular  
Para ingressar na residência médica tem prova  
Para obter uma vaga de juiz é necessário realizar um exame

**Conclusão:** a seleção de recursos humanos da empresa X será por prova

13

## 4 Raciocínio Formal

- Baseia-se na manipulação sintática de estruturas de dados de modo a realizar dedução de novos fatos (ou novas estruturas) seguindo regras de inferência pré-estabelecidas.
- É o caso da lógica matemática utilizada para provar teoremas em geometria, ou do cálculo de predicados, que implementa uma dedução simbólica com uma técnica de inferência.

14

## 4 Raciocínio Formal

$$\frac{a^2 b^2}{a b} = a b$$

irmao (X,Y) :- pai (X, Z) , pai (Y,Z).

pai (joao, jose).

pai (jorge, jose).

?- irmao ( joao, jorge).

True!

$\exists X, Y, Z / X = \text{joao} , Y = \text{jorge} , Z = \text{jose}.$

15

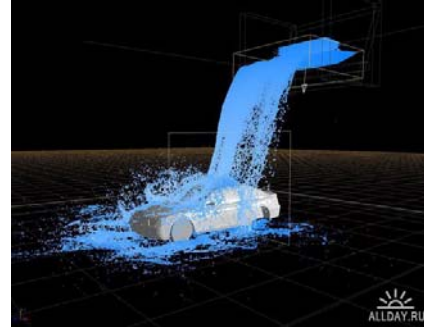
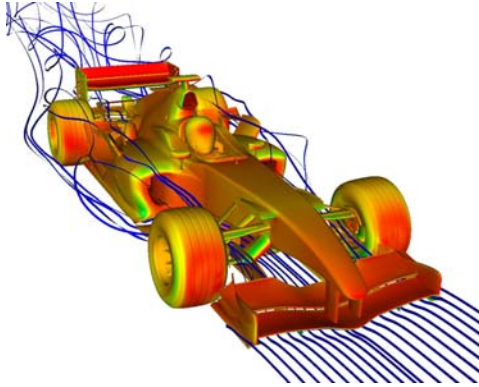
## 5 Raciocínio Numérico Procedimental

- Utiliza modelos matemáticos ou simulação para resolver problemas.
- Normalmente são utilizados modelos complexos do comportamento do problema de forma a dirigir a solução.
- Sistemas baseados em modelos ou simuladores.

16



## 5 Raciocínio Numérico Procedimental



17

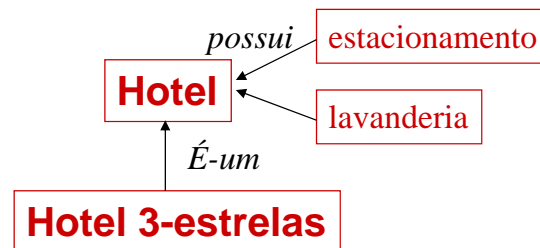
## 6 Generalização e Abstração

- Deduz informação que não está explicitamente representadas em hierarquias de objetos.
- A inferência pode ser realizada apenas a partir da estrutura de representação, **sem que existam regras explícitas** para dirigir o raciocínio.

18

## 6 Generalização e Abstração

- Por exemplo:
  - todos os hotéis possuem estacionamento e lavanderia,
  - hotéis 3 estrelas são hotéis,
  - então pode ser generalizado que todo o hotel 3 estrelas terá estacionamento e lavanderia.



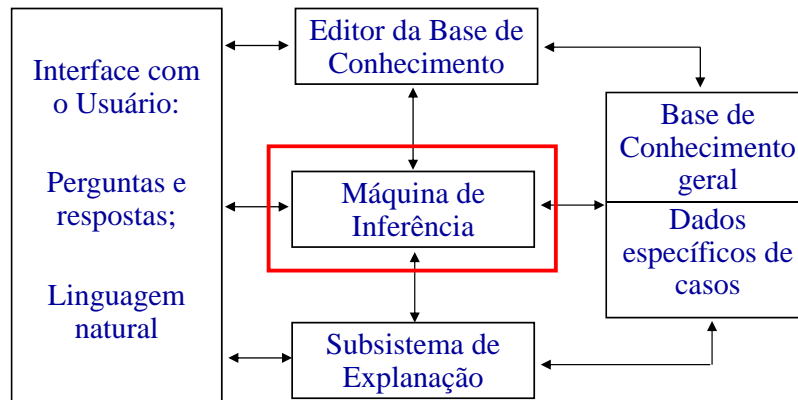
19

## 7 Raciocínio em Metanível

- Aplica *conhecimento sobre o que é conhecido*, como
  - a importância de certos fatos ou regras em comparação com outros,
  - a ordem provável em que os fatos serão inferidos,
  - a avaliação de que determinadas conclusões nunca poderão ser alcançadas.
- Implica em utilizar informações sobre o *comportamento* do domínio julgadas através de bom senso.
- É mais utilizado em sistemas para otimizar formas de raciocínio padrão e avaliar se as soluções são pertinentes ao problema.

20

## Arquitetura de um SE típico



21

## Motor de Inferência

- É um programa que utiliza a base de conhecimento como ‘dado’ na solução de um problema.
- É um programa que utiliza mecanismos gerais de combinação de fatos e regras.
- Funcionamento cíclico- um ciclo de base é composto por duas etapas:
  - Avaliação - procura das regras possíveis de serem ativadas, em função do estado corrente da base de fatos e escolha das regras a ativar efetivamente.
  - Execução - modificação da base de fatos e eventualmente da base de regras.
- Condição de parada:
  - Encontrada a solução para o problema
  - Não há mais regra a ser ativada

22

## Fase de avaliação

- Compreende três etapas:
  - Seleção ou restrição
  - Filtragem
  - Resolução de conflitos
- Seleção ou restrição
  - É a primeira etapa
  - Determina um subconjunto da base de regras e da base de fatos que, a priori, merece ser submetido à etapa seguinte de filtragem.
- Exemplo:
  - Separar fatos e regras em função do domínio
  - Separar fatos reconhecidamente verdadeiros (estabelecidos) dos fatos a estabelecer (objetivos, hipóteses).

23

### FILTRAGEM

- Compara o antecedente de cada uma das regras selecionadas na etapa anterior com o conjunto dos fatos considerados nesta etapa.
- O subconjunto destas regras que tem condições de ser ativadas é chamado conjunto de conflito.

### RESOLUÇÃO DE CONFLITOS

- Nesta etapa, determina-se o subconjunto de regras que serão efetivamente ativadas:
  - Pela ordem das regras na BC (ex. Prolog)
  - Regras mais específicas antes de regras mais genéricas

### FASE DE EXECUÇÃO

- É a segunda parte de cada ciclo.
- O mecanismo de inferência comanda a ativação das regras selecionadas na fase de avaliação.

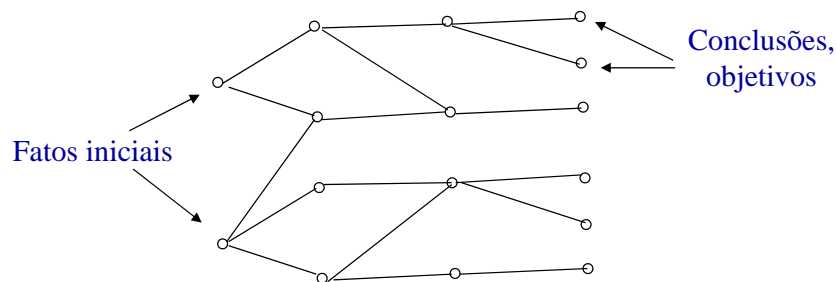
24

# Mecanismos de Inferência

## 1 - ENCADEAMENTO DE REGRAS

### a) ENCADEAMENTO PROGRESSIVO (FORWARD CHAINING)

- Raciocínio para frente (forward reasoning)
- Raciocínio orientado pelos dados (data oriented reasoning)
- Os fatos da base de fatos sobre os quais é considerado o antecedente (condição) das regras representam informações cujo valor verdadeiro já foi estabelecido.



25

## Exemplo

### Base de Regras:

- $R_1: C \rightarrow M$
- $R_2: A, D \rightarrow E$
- $R_3: L \rightarrow H$
- $R_4: B, C \rightarrow G$
- $R_5: A, B \rightarrow C$
- $R_6: G, D \rightarrow H, I$
- $R_7: C \rightarrow D$
- $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

### Objetivo: H

### Regra aplicada:      Base de fatos:

26

## Exemplo

**Base de Regras:**

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

**Base de Fatos:** A, B**Objetivo:** H**Regra aplicada:**      **Base de fatos:** $R_5$ 

A, B, C

27

## Exemplo

**Base de Regras:**

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

**Base de Fatos:** A, B**Objetivo:** H**Regra aplicada:**      **Base de fatos:** $R_5$ 

A, B, C

 $R_1$ 

A, B, C, M

28

## Exemplo

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

### Regra aplicada:      Base de fatos:

$R_5$	A, B, C
$R_1$	A, B, C, M
$R_4$	A, B, C, M, G

29

## Exemplo

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

### Regra aplicada:      Base de fatos:

$R_5$	A, B, C
$R_1$	A, B, C, M
$R_4$	A, B, C, M, G
$R_7$	A, B, C, M, G, D

30

## Exemplo

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

<u>Regra aplicada:</u>	<u>Base de fatos:</u>
$R_5$	A, B, C
$R_1$	A, B, C, M
$R_4$	A, B, C, M, G
$R_7$	A, B, C, M, G, D
$R_2$	A, B, C, M, G, D, E

31

## Exemplo

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

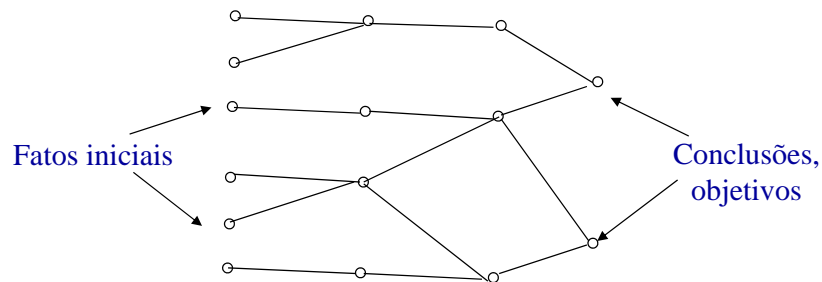
<u>Regra aplicada:</u>	<u>Base de fatos:</u>
$R_5$	A, B, C
$R_1$	A, B, C, M
$R_4$	A, B, C, M, G
$R_7$	A, B, C, M, G, D
$R_2$	A, B, C, M, G, D, E
$R_6$	A, B, C, M, G, D, E, <b>H</b> , I

32



## b) ENCADEAMENTO REGRESSIVO (BACKWARD CHAINING)

- Raciocínio para trás (backward reasoning)
- Raciocínio orientado pelos objetivos (goal oriented reasoning)
- Parte-se dos objetivos, das metas e anda-se “para trás” através de subobjetivos.



33

## Exemplo (encadeamento regressivo)

### Base de Regras:

- $R_1: C \rightarrow M$
- $R_2: A, D \rightarrow E$
- $R_3: L \rightarrow H$
- $R_4: B, C \rightarrow G$
- $R_5: A, B \rightarrow C$
- $R_6: G, D \rightarrow H, I$
- $R_7: C \rightarrow D$
- $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

### Objetivo: H

<u>Regra</u>	<u>Metas</u>	<u>Base de fatos:</u>
	H	A, B

34

## Exemplo (encadeamento regressivo)

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

<u>Regra</u>	<u>Metas</u>	<u>Base de fatos:</u>
	H	A, B
$R_3$	L	A, B, H

35

## Exemplo (encadeamento regressivo)

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

<u>Regra</u>	<u>Metas</u>	<u>Base de fatos:</u>
	H	A, B
$R_3$	L	A, B, H
	H	A, B

Impasse

36

## Exemplo (encadeamento regressivo)

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

<u>Regra</u>	<u>Metas</u>	<u>Base de fatos:</u>
	H	A, B
$R_3$	L	A, B, H
	H	A, B
$R_6$	G, D	A, B, H, I

Impasse

37

## Exemplo (encadeamento regressivo)

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

<u>Regra</u>	<u>Metas</u>	<u>Base de fatos:</u>
	H	A, B
$R_3$	L	A, B, H
	H	A, B
$R_6$	G, D	A, B, H, I
$R_4$	D, C	A, B, H, I, G

Impasse

38

## Exemplo (encadeamento regressivo)

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

Impasse

<u>Regra</u>	<u>Metas</u>	<u>Base de fatos:</u>
	H	A, B
$R_3$	L	A, B, H
	H	A, B
$R_6$	G, D	A, B, H, I
$R_4$	D, C	A, B, H, I, G
$R_7$	C	A, B, H, I, G, D

39

## Exemplo (encadeamento regressivo)

### Base de Regras:

$R_1: C \rightarrow M$   
 $R_2: A, D \rightarrow E$   
 $R_3: L \rightarrow H$   
 $R_4: B, C \rightarrow G$   
 $R_5: A, B \rightarrow C$   
 $R_6: G, D \rightarrow H, I$   
 $R_7: C \rightarrow D$   
 $R_8: E, K \rightarrow H$

### Base de Fatos: A, B

Objetivo: H

Impasse

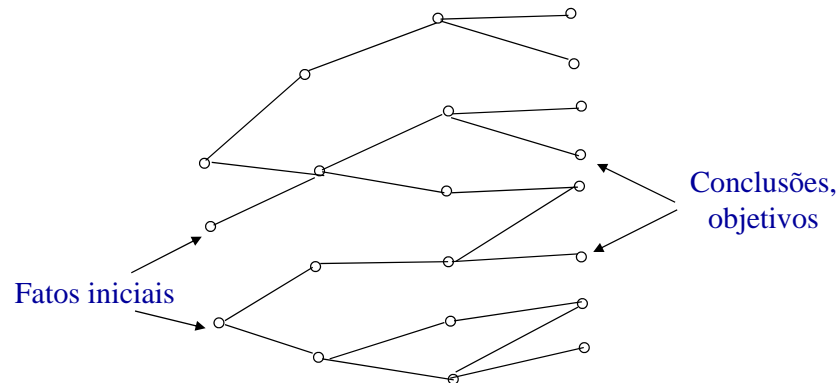
<u>Regra</u>	<u>Metas</u>	<u>Base de fatos:</u>
	H	A, B
$R_3$	L	A, B, H
	H	A, B
$R_6$	G, D	A, B, H, I
$R_4$	D, C	A, B, H, I, G
$R_7$	C	A, B, H, I, G, D
$R_5$	—	A, B, H, I, G, D, C

40

## Mecanismos de Inferência

### 2 - TIPOS DE BUSCA

Em profundidade X em largura ou amplitude



41

### Algoritmo por Encadeamento progressivo 1: busca em profundidade

- O algoritmo acrescenta as conclusões das regras disparadas imediatamente na base de fatos.
- Isto faz com que a busca seja em profundidade.
- Com isso, a base de regras não é totalmente explorada, fazendo com que o desempenho do algoritmo (tempo de busca do objetivo) dependa da ordem das regras dentro da base de regras.

42

## Encadeamento progressivo 1 (em profundidade)

```
procedure ESTABELECECER-UM-FATO (OBJETIVO)
  if OBJETIVO pertence à BASE-DE-FATOS
    then exit “sucesso”
  exit EXECUTAR-UM-CICLO (BASE-DE-REGRAS)

procedure EXECUTAR-UM-CICLO (AS-REGRAS)
  if AS-REGRAS é vazio
    then exit “insucesso”
  UMA-REGRA ← escolha de uma regra de AS-REGRAS
  AS-REGRAS ← AS-REGRAS diminuída de UMA-REGRA
  if todos fatos da premissa de UMA-REGRA pertencem a BASE-DE-FATOS
    then begin
      if a conclusão de UMA-REGRA é OBJETIVO
        then exit “sucesso”
      acrescentar a conclusão de UMA-REGRA à BASE-DE-FATOS
      BASE-DE-REGRAS ← BASE-DE-REGRAS diminuída de UMA-REGRA
      exit EXECUTAR-UM-CICLO (BASE-DE-REGRAS)
    end
  exit EXECUTAR-UM-CICLO (AS-REGRAS)
```

43

## Encadeamento progressivo 2: busca em largura

- Ao contrário do esquema anterior, neste caso, ativa-se uma após a outra, todas as regras compatíveis com o estado da “base de fatos”, antes de acrescentar suas conclusões (fatos novos) à base de fatos e as utilizar para ativar novas regras.
- Com isso, o algoritmo explora *em largura* toda a base de regra inicial.
- Neste caso, a ordem das regras dentro da base de regras tem pouca influência no desempenho (tempo de busca do objetivo) do algoritmo.

44

## Encadeamento progressivo 2 (em largura)

```
procedure ESTABELECECER-UM-FATO (OBJETIVO)
  if OBJETIVO pertence à BASE-DE-FATOS
  then exit “sucesso”
  FATOS-NOVOS ← lista vazia
exit EXECUTAR-UM-CICLO (BASE-DE-REGRAS, FATOS-NOVOS )

procedure EXECUTAR-UM-CICLO (AS-REGRAS, FATOS-NOVOS )
  if AS-REGRAS é vazio
  then begin      % no caso de já ter explorado toda a base de regras
    if FATOS-NOVOS é vazio
    then exit “insucesso”
    BASE-DE-FATOS ← BASE-DE-FATOS acrescida de FATOS-NOVOS
    FATOS-NOVOS ← lista vazia
    exit EXECUTAR-UM-CICLO (BASE-DE-REGRAS, FATOS-NOVOS )
  end
```

45

## Encadeamento progressivo 2 (em largura)

```
% (else) se AS-REGRAS não é vazio
UMA-REGRA ← escolha de uma regra de AS-REGRAS
AS-REGRAS ← AS-REGRAS diminuída de UMA-REGRA
if todos fatos da premissa de UMA-REGRA pertencem a BASE-DE-FATOS
  then begin
    if a conclusão de UMA-REGRA é OBJETIVO
    then exit “sucesso”
    acrescentar a conclusão de UMA-REGRA à FATOS-NOVOS
    BASE-DE-REGRAS ← BASE-DE-REGRAS diminuída de UMA-REGRA
  end
exit EXECUTAR-UM-CICLO (AS-REGRAS, FATOS-NOVOS)
```

46

## Encadeamento regressivo

```
procedure ESTABELECER-UM-FATO (OBJETIVO)
  if OBJETIVO pertence à BASE-DE-FATOS
  then exit “sucesso”
exit ESTABELECER1 (BASE-DE-REGRAS)

procedure ESTABELECER1 (AS-REGRAS)
  if AS-REGRAS é vazio
  then exit “insucesso”
  UMA-REGRA ← escolha de uma regra de AS-REGRAS
  AS-REGRAS ← AS-REGRAS diminuída de UMA-REGRA
  if UMA-REGRA tem OBJETIVO em conclusão
  then if ESTABELECER2 (UMA-REGRA) = “sucesso”
  then exit “sucesso”
  exit ESTABELECER1 (AS-REGRAS)

procedure ESTABELECER2 (A-REGRA)
  OS-OBJETIVOS ← todos os fatos que compõem a premissa de A-REGRA
  exit ESTABELECER-CONJUNÇÃO-DE-FATOS (OS-OBJETIVOS)
```

47

## Encadeamento regressivo

```
procedure ESTABELECER-CONJUNÇÃO-DE-FATOS (AS-METAS)
  if AS-METAS é vazio
  then exit “sucesso”
  UMA-META ← escolha de um elemento de AS-METAS
  AS-METAS ← AS-METAS diminuído de UMA-META
  if ESTABELECER-UM-FATO (UMA-META) = “insucesso”
  then exit “insucesso”
  exit ESTABELECER-CONJUNÇÃO-DE-FATOS (AS-METAS)
```

48



## Exercício

- A partir da base de regras e da base de fatos abaixo, aplicar os três algoritmos estudados e determine a sequência de disparo das regras. Considere que Q seja o objetivo buscado.

Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$

$R_3: C, D, E \rightarrow B$

$R_4: A, B \rightarrow Q$

$R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$

$R_6: C, H \rightarrow R$

$R_7: R, J, M \rightarrow S$

$R_8: F, H \rightarrow B$

$R_9: G \rightarrow F$

Base de Fatos

A, C, D, E, G, H, K

49

## Progressivo em profundidade

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$

$R_3: C, D, E \rightarrow B$

$R_4: A, B \rightarrow Q$

$R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$

$R_6: C, H \rightarrow R$

$R_7: R, J, M \rightarrow S$

$R_8: F, H \rightarrow B$

$R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_1: K, L, M \rightarrow I$

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$

$R_3: C, D, E \rightarrow B$

$R_4: A, B \rightarrow Q$

$R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$

$R_6: C, H \rightarrow R$

$R_7: R, J, M \rightarrow S$

$R_8: F, H \rightarrow B$

$R_9: G \rightarrow F$

### Ciclo 1

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

Regra escolhida: Base de Fatos:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$

A, C, D, E, G, H, K

50

**Base de Regras:**

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

**As Regras**

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

**Progressivo em profundidade**

**Ciclo 1**

**Base de Fatos:** A, C, D, E, G, H, K

**Objetivo:** Q

**Regra escolhida:** **Base de Fatos:**

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$  A, C, D, E, G, H, K

51

**Base de Regras:**

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

**As Regras**

$R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

**Progressivo em profundidade**

**Ciclo 1**

**Base de Fatos:** A, C, D, E, G, H, K

**Objetivo:** Q

**Regra escolhida:** **Base de Fatos:**

$R_3: C, D, E \rightarrow B$  A, B, C, D, E, G, H, K

52

**Base de Regras:**

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

**As Regras**

$R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

**Progressivo em profundidade**

**Ciclo 1**

**Base de Fatos:** A, C, D, E, G, H, K

**Objetivo:** Q

**Regra escolhida:** **Base de Fatos:**

$R_3: C, D, E \rightarrow B$

$R_4: A, B \rightarrow Q$

A, B, C, D, E, G, H, K, Q (sucesso)

**Caminho solução:**  $R_3, R_4$

53

**Base de Regras:**

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

**As Regras**

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

**Progressivo em largura**

**Ciclo 1**

**Base de Fatos:** A, C, D, E, G, H, K

**Objetivo:** Q

**Regra escolhida:** **Fatos Novos:**

$R_1: K, L, M \rightarrow I$

54

## Progressivo em largura

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Ciclo 1

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

Regra escolhida: Fatos Novos:

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$

55

## Progressivo em largura

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Ciclo 1

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

Regra escolhida: Fatos Novos:

$R_3: C, D, E \rightarrow B$       B

56

## Progressivo em largura

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Ciclo 1

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

Regra escolhida: Fatos Novos:

$R_3: C, D, E \rightarrow B$       B  
 $R_4: A, B \rightarrow Q$

57

## Progressivo em largura

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Ciclo 1

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

Regra escolhida: Fatos Novos:

$R_3: C, D, E \rightarrow B$       B  
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$

58

## Progressivo em largura

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Ciclo 1

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

### Regra escolhida: Fatos Novos:

$R_3: C, D, E \rightarrow B$       B  
 $R_6: C, H \rightarrow R$       R

59

## Progressivo em largura

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Ciclo 1

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

### Regra escolhida: Fatos Novos:

$R_3: C, D, E \rightarrow B$       B  
 $R_6: C, H \rightarrow R$       R  
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$

60

## Progressivo em largura

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Ciclo 1

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

### Regra escolhida:      Fatos Novos:

$R_3: C, D, E \rightarrow B$	B
$R_6: C, H \rightarrow R$	R
$R_8: F, H \rightarrow B$	

61

## Progressivo em largura

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_9: G \rightarrow F$

### Ciclo 1

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

### Regra escolhida:      Fatos Novos:

$R_3: C, D, E \rightarrow B$	B
$R_6: C, H \rightarrow R$	R
$R_9: G \rightarrow F$	F

62

## Progressivo em largura

**Base de Regras:**

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$

**As Regras:**

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$

**Ciclo 2****Base de Fatos:** A, B, C, D, E, F, G, H, K, R**Objetivo:** Q**Regra escolhida:**      **Fatos Novos:** $R_1: K, L, M \rightarrow I$ 

63

## Progressivo em largura

**Base de Regras:**

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$

**As Regras:**

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$

**Ciclo 2****Base de Fatos:** A, B, C, D, E, F, G, H, K, R**Objetivo:** Q**Regra escolhida:**      **Fatos Novos:** $R_2: I, L, J \rightarrow Q$ 

64



## Progressivo em largura

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$

### As Regras:

$R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$

### Ciclo 2

Base de Fatos: A, B, C, D, E, F, G, H, K, R

Objetivo: Q

Regra escolhida:

Fatos Novos:

$R_4: A, B \rightarrow Q$

Q (sucesso)

65

## Regressivo em profundidade

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

Estabelecer-um-fato(Q)

Estabelecer 1(As Regras)

Regra escolhida

$R_1: K, L, M \rightarrow I$

66

## Regressivo em profundidade

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Estabelecer 1(As Regras)

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

### Regra escolhida

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$

Estabelecer2( $R_2$ ) = sucesso ?

67

## Regressivo em profundidade

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Estabelecer 2( $R_2$ ) $R_2: I, L, J \rightarrow Q$

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

### Regra escolhida   Metas

$R_2: I, L, J \rightarrow Q$

I, L, J

Estabelecer\_conjunção\_de\_fatos(I, L, J)

68

## Regressivo em profundidade

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### Estabelecer-conjunção-de-fatos(I,L,J)

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Uma-Meta: I As-Metas: L,J

Estabelecer-um-fato(I)

Regra escolhida    Metas

69

## Regressivo em profundidade

### Base de Regras:

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

### As Regras

$R_1: K, L, M \rightarrow I$   
 $R_2: I, L, J \rightarrow Q$   
 $R_3: C, D, E \rightarrow B$   
 $R_4: A, B \rightarrow Q$   
 $R_5: L, N, O, P \rightarrow Q$   
 $R_6: C, H \rightarrow R$   
 $R_7: R, J, M \rightarrow S$   
 $R_8: F, H \rightarrow B$   
 $R_9: G \rightarrow F$

Base de Fatos: A, C, D, E, G, H, K

Objetivo: Q

Estabelecer-um-fato(I)

Estabelecer 1(As Regras)

Regra escolhida

$R_1: K, L, M \rightarrow I$

70

# Métodos de Solução de Problemas

- Componente dinâmico do conhecimento
- Modelo abstrato da inferência aplicável àquela classe de problemas
- NÃO correspondem aos métodos de inferência por busca, como raciocínio progressivo ou regressivo
- Generalização de um *padrão* de raciocínio específico, mas *não* é um raciocínio genérico

71

## Modelo da Tarefa Diagnóstico

TASK Diagnóstico;

ROLES:

**INPUT:**

reclamação: “Queixa do cliente”;

**OUTPUT:**

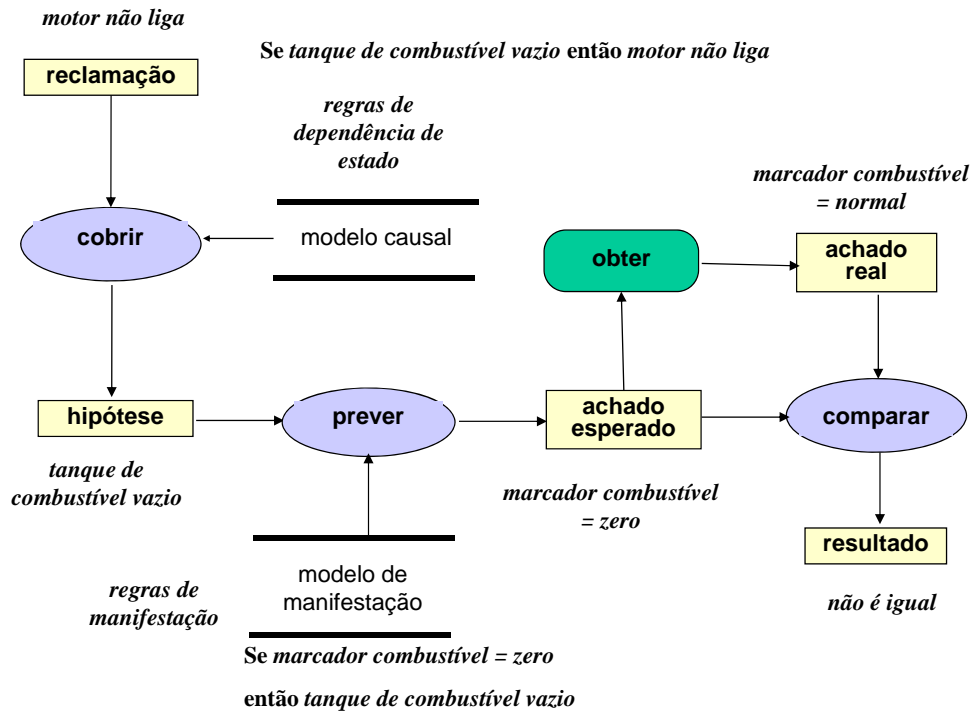
Falhas: “As falhas que causaram reclamações”;

Evidência: “As evidências reunidas durante o diagnóstico”;

END TASK Diagnóstico;

72

# Diagnóstico



73

TASK-METHOD diagnóstico-por-gerar-e-testar;

REALIZES: diagnóstico-de-carro;

DECOMPOSITION:

INFERENCES: cobrir, prever, comparar;

TRANSFER-FUNCTIONS: obter;

ROLES:

INTERMEDIATE:

hipótese: “uma solução candidata”;

achado-esperado: “O achado previsto, caso a hipótese seja verdadeira”;

achado-real: “O achado realmente observado”;

resultado: “O resultado da comparação”;

CONTROL-STRUCTURE:

WHILE NEW-SOLUTION cobrir(reclamação -> hipótese) DO

prever(hipótese -> achado-esperado);

obter(achado-esperado -> achado-real);

evidência := evidência ADD achado-real;

comparar(achado-esperado + achado-real -> resultado);

IF resultado == equal

THEN “interromper o laço”;

END IF

END WHILE

IF result == equal

THEN categoria-falha := hipótese;

ELSE “não foi encontrada uma solução”;

END IF

END WHILE

74