



# EMENTA

- Histórico sobre Sistemas Especialistas;
- Vantagens e desvantagens de Sistemas Especialistas;
- **Componentes e ciclo de vida de um Sistemas Especialistas;**
- **Aspectos relativos à definição do domínio de conhecimento;**
- **Técnicas de aquisição e representação do conhecimento;**
- Validação e verificação de Sistemas Especialistas;
- Implementação de protótipos.

# O QUE É UM SISTEMA ESPECIALISTA?

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

### SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO

#### SISTEMAS ESPECIALISTAS

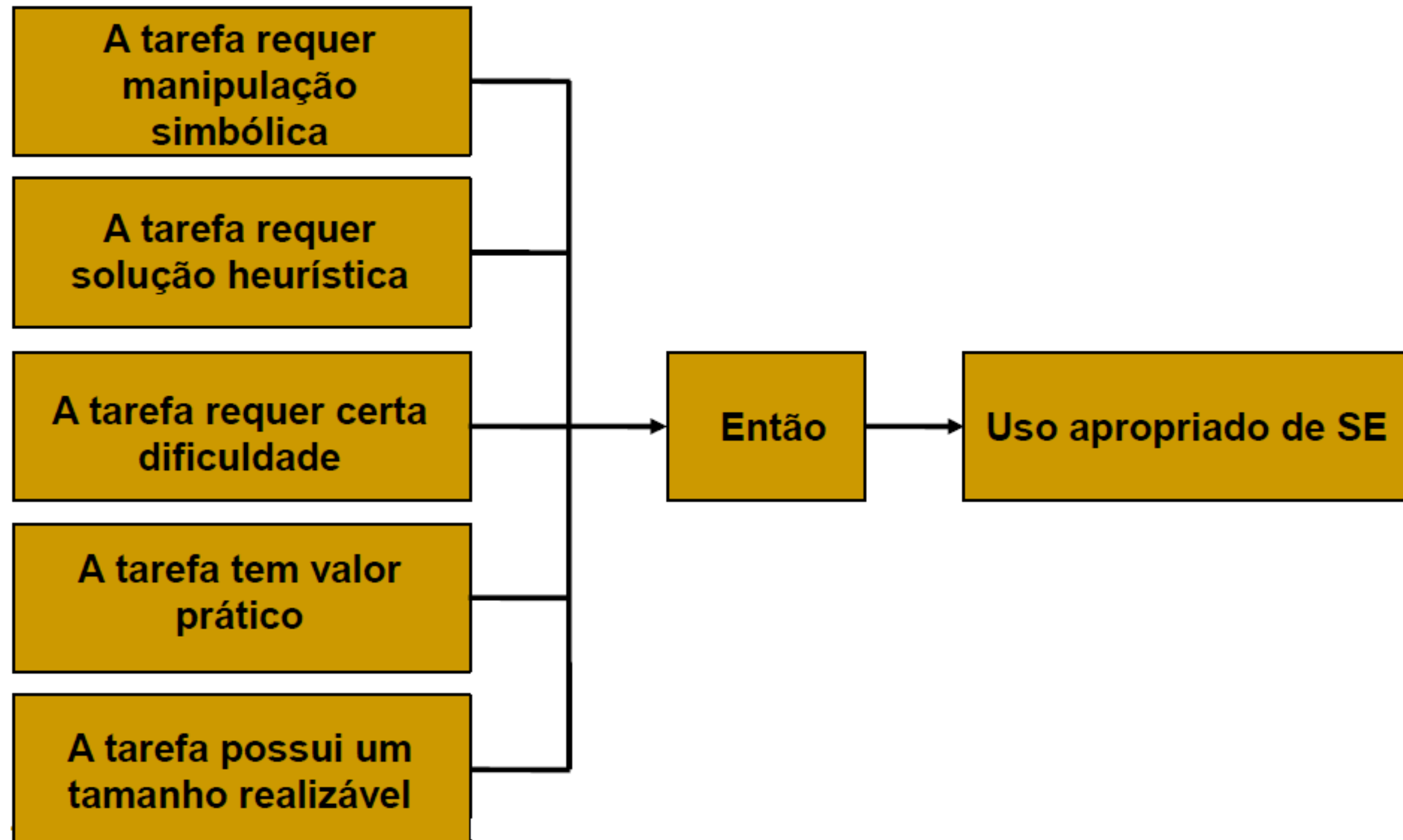
O CONHECIMENTO  
É VITAL

CONHECIMENTO /  
RACIOCÍNIO

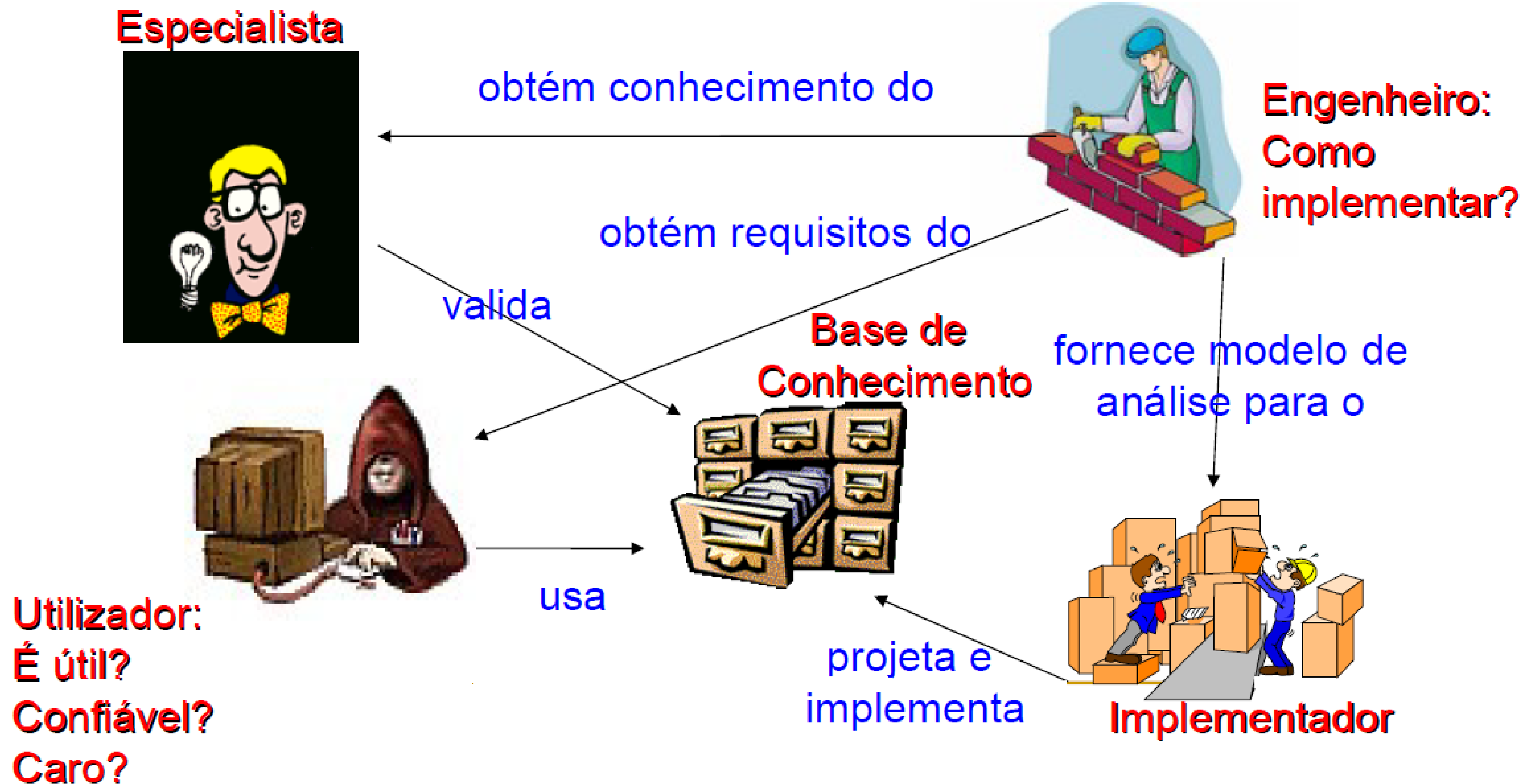
O CONHECIMENTO  
OBTIDO A PARTIR  
DE UM PERITO



# USO APROPRIADO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA



# QUEM ESTÁ ENVOLVIDO NA CONSTRUÇÃO DE UM S.E.?



# QUEM ESTÁ ENVOLVIDO NA CONSTRUÇÃO DE UM S.E.?

- **ESPECIALISTA**

ESPECIALISTA OU FORNECEDOR DE CONHECIMENTO

- **ENGENHEIRO DE CONHECIMENTO**

RESPONSÁVEL PELO DESENHO E ARQUITETURA DO SISTEMA ESPECIALISTA

- **IMPLEMENTADOR DO SISTEMA**

DOMINA AS FERRAMENTAS USUAIS NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

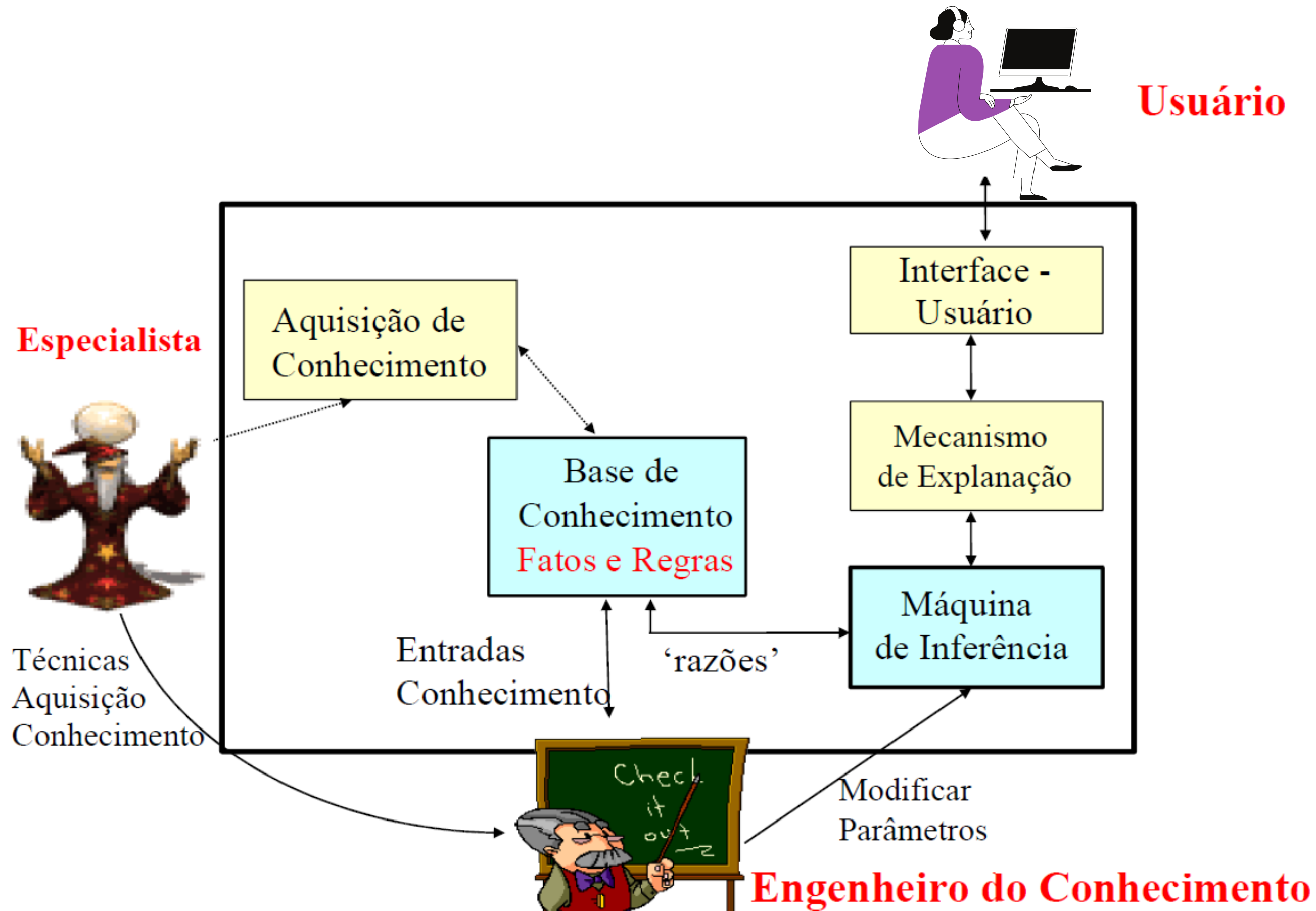
TRADUZ AS ESPECIFICAÇÕES DO ENGENHEIRO DO CONHECIMENTO PARA O SISTEMA ESPECIALISTA

**DEVE CONSTRUIR UM SE COM BASE NUMA LINGUAGEM ADEQUADA**

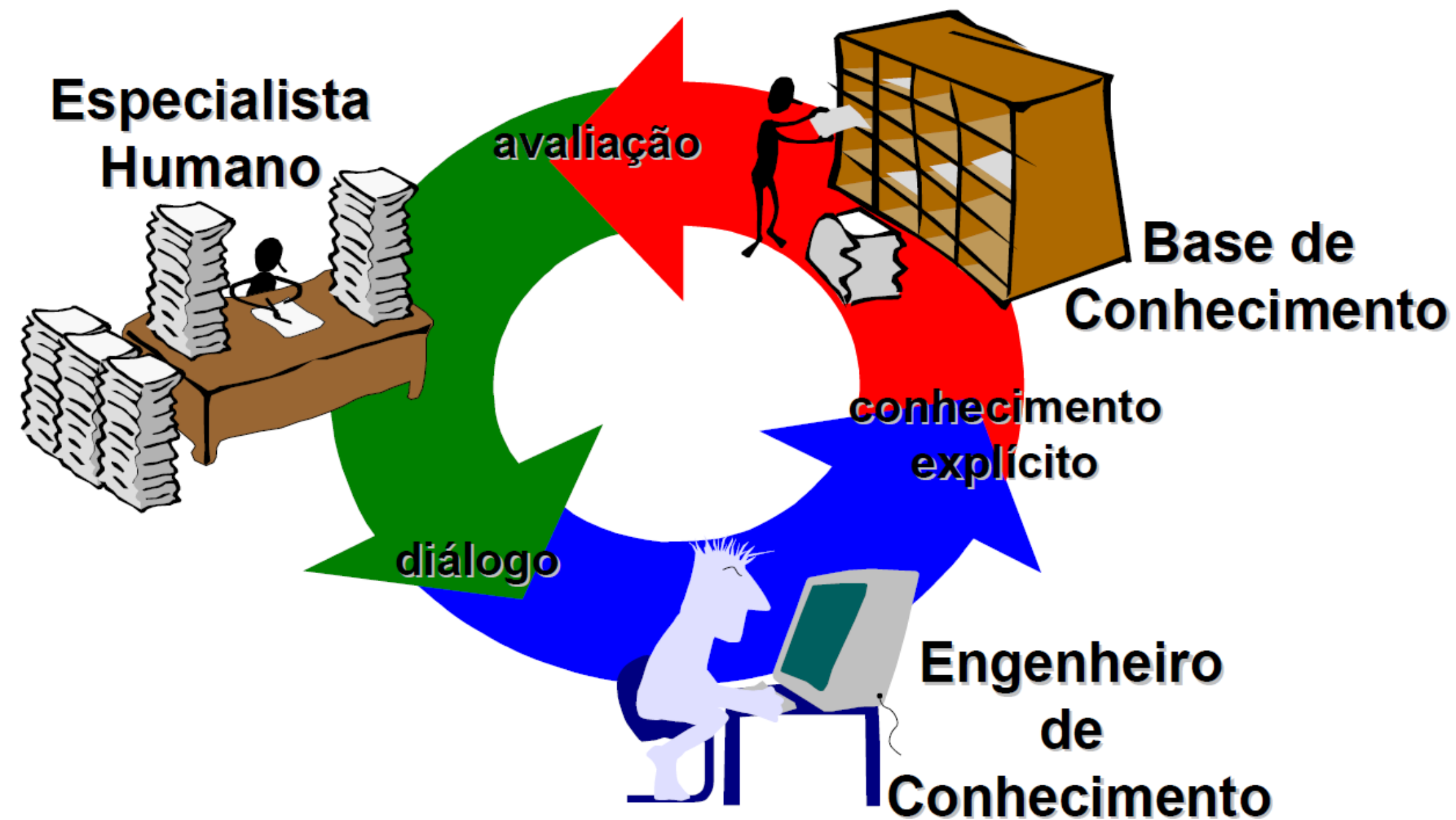
**PROLOG, LISP, C++, PYTHON...**



# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA



# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA





# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## CONHECIMENTO DO ESPECIALISTA

- Domínio do problema:
  - área particular onde um especialista consegue resolver problemas muito bem
    - Medicina
    - Finanças
    - Ciências
    - Engenharias

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## CONHECIMENTO DO ESPECIALISTA

- Domínio do conhecimento
  - representa o conhecimento do especialista sobre a resolução de problemas específicos
  - por exemplo: diagnóstico de enfermidades infecciosas
    - Domínio do problema: medicina
    - Domínio do conhecimento: sintomas, doenças e tratamentos

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## FATORES RELACIONADOS AO DOMÍNIO

- Problema
  - pode ser resolvido por programação convencional?
- Domínio
  - bem limitado?
- Necessidade
  - há necessidade ou desejo de um S.E.?

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## FATORES RELACIONADOS AO DOMÍNIO

- Especialista
  - há pelo menos um especialista disposto a cooperar?
  - o especialista consegue explicar o seu conhecimento?
- Solução do problema
  - usa heurísticas?
  - envolve tratamento de incerteza?

# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

- Processos de aquisição de conhecimento conduzidos pelo engenheiro do conhecimento
  - entrevistas com o especialista
  - observação do especialista em atuação
- Processos de aquisição de conhecimento conduzidos pelo especialista
  - método de aquisição conhecimento guiado pelo especialista



# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## ENTREVISTA COM O ESPECIALISTA

- Método de aquisição de conhecimento mais usado
- Envolve diálogo explícito entre os participantes
- Informação e o conhecimento são recolhidos através dos mais diversos meios
  - questionários
  - anotações
  - gravações



# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## ENTREVISTA COM O ESPECIALISTA

- São posteriormente transcritos, analisados e codificados
- A marcação das entrevistas fica sujeita à disponibilidade do especialista
- Em norma são necessárias várias entrevistas ou sessões de trabalho
- O espaçamento entre as entrevistas deverá permitir:
  - que o Engenheiro do Conhecimento possa processar todo o conhecimento adquirido na entrevista anterior
  - que o conhecimento adquirido seja representado, codificado e testado por um protótipo do sistema

# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## ENTREVISTA NÃO ESTRUTURADA

- São conduzidas informalmente (embora possam assentar em métodos formais)
- Não são simples e podem ser problemáticas de analisar após a interação com o especialista
- Frequentemente as descrições dos processos cognitivos do perito aparecem incompletas ou mal organizadas
  - complexidade do domínio
  - não relacionamento da informação e conhecimento adquiridos através das entrevistas
  - falta de treino dos Engenheiros do Conhecimento na condução das entrevistas

# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## ENTREVISTA NÃO ESTRUTURADA

- Pode-se estabelecer uma relação professor/aluno entre o Especialista/Engenheiro do Conhecimento, onde o especialista:
  - faz o acompanhamento de casos
  - explica o que faz e porque o faz
  - explicita conceitos, habilidades e estratégias que usa
  - aconselha a leitura de documentos, bibliografia



# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## ENTREVISTA ESTRUTURADA

- Processo sistemático orientado a objetivos
- A comunicação entre o engenheiro do conhecimento e o especialista é organizada
- O engenheiro do conhecimento prepara previamente as sessões de aquisição do conhecimento identificando as questões mais relevantes



# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## ENTREVISTA ESTRUTURADA

- O engenheiro do conhecimento deve motivar o especialista e sugerir que este se prepare para as sessões
- O engenheiro do conhecimento deve tentar manter o controle da entrevista de modo a manter a estrutura que tinha sido planejada

# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## ACOMPANHAMENTO DE RACIOCÍNIO

- Técnica popular na qual se tenta efetuar o seguimento do raciocínio do especialista (concluir o modo como ele raciocina)
- Os métodos podem ser mais ou menos formais
  - análise do protocolo
    - o especialista é solicitado a resolver problemas concretos e a verbalizar o raciocínio que utiliza na resolução desse problema
    - fica registrado o processo de tomada de decisão efetuado pelo especialista passo-a-passo

# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## ACOMPANHAMENTO DE RACIOCÍNIO

- Pode ser efetuada a gravação daquilo que o especialista diz
- Processo essencialmente unidirecional, ao contrário das entrevistas que são bidirecionais

# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## ACOMPANHAMENTO DE RACIOCÍNIO

- Pode ser efetuada a gravação daquilo que o especialista diz
- Processo essencialmente unidirecional, ao contrário das entrevistas que são bidirecionais

# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## OBSERVAÇÃO DO ESPECIALISTA

- Modo mais natural de efetuar aquisição do conhecimento
- Pode ser complexo
  - especialista pode dirigir uma equipe de várias pessoas
  - especialista pode resolver vários problemas simultaneamente
  - comportamento do especialista pode ser diferente pelo fato de saber que está a ser observado
    - o conhecimento que se adquire não corresponde exatamente ao que era pretendido



# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## GUIADA PELO ESPECIALISTA

- Os engenheiros do conhecimento costumam não cobrir bem o conhecimento do domínio
- Os seus serviços podem ser onerosos
- Podem surgir problemas na comunicação com o especialista
- Aquisição de conhecimento pode ser um processo demorado, com várias iterações

# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## GUIADA PELO ESPECIALISTA

- Os especialistas podem agir também como engenheiros do conhecimento
  - codificando diretamente o seu conhecimento
    - **manualmente**: através de relatórios e questionários
    - **automaticamente**: através de uma ferramenta computacional que ajuda o especialista a introduzir o conhecimento e procurar detectar falhas nesse mesmo conhecimento
      - incoerências, ambigüidades, redundâncias etc.

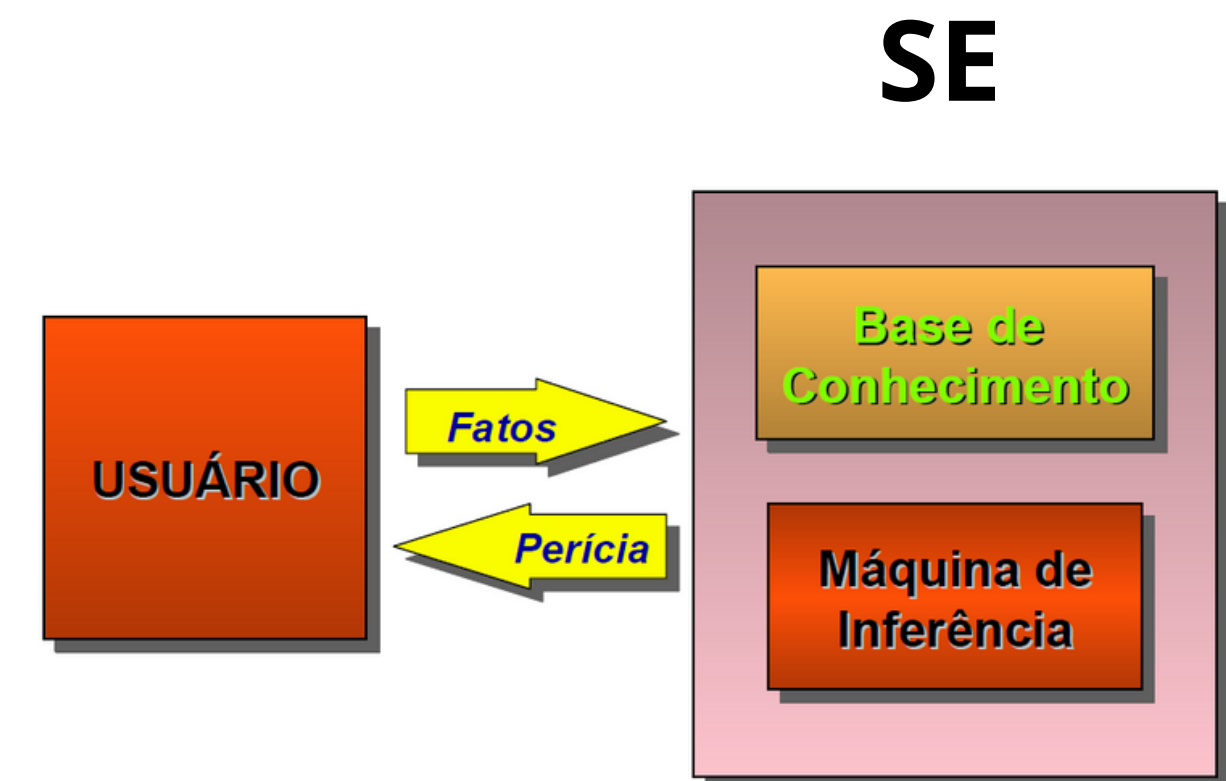
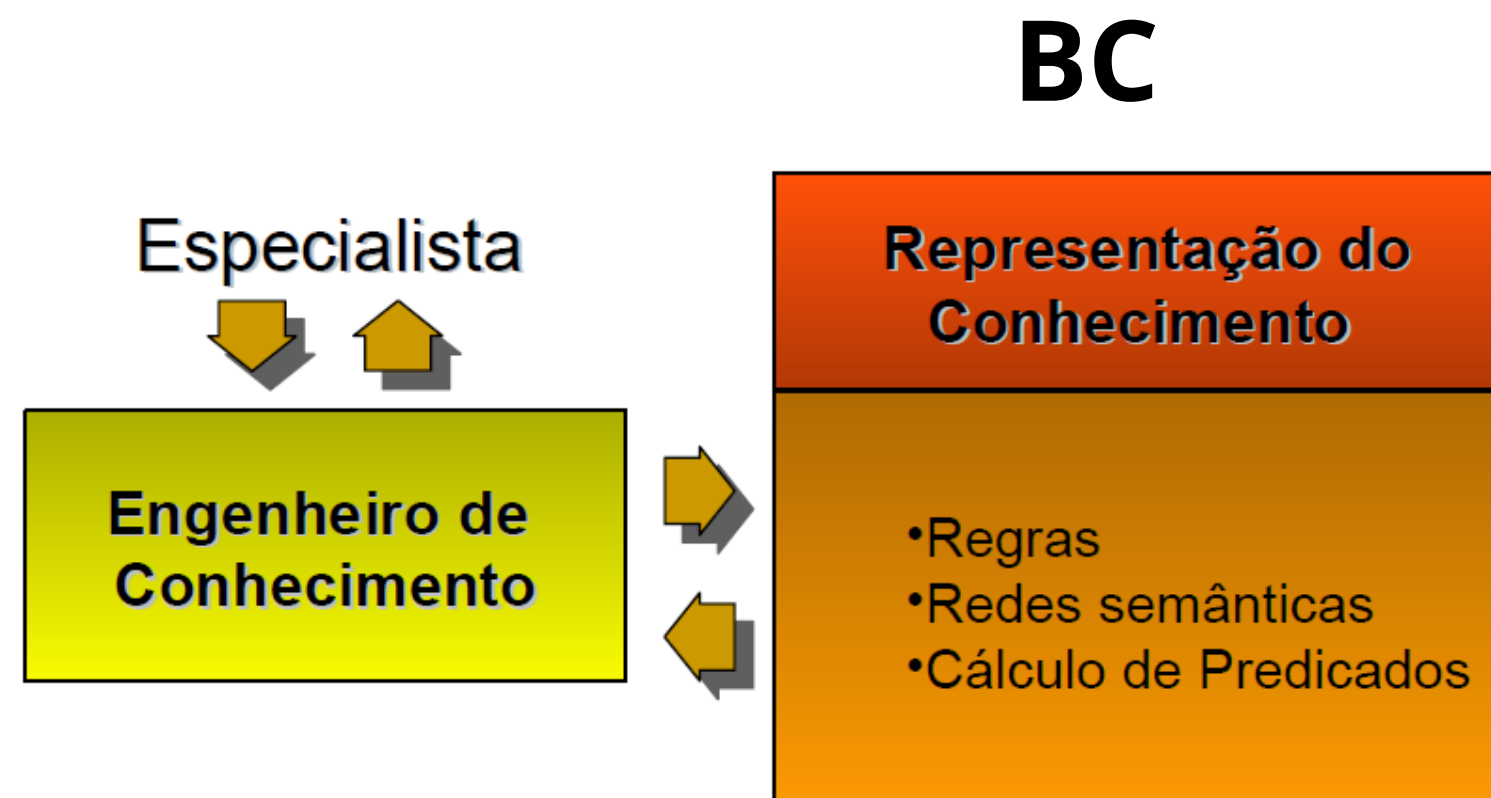
# MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

## TAREFA

# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

## BASE DE CONHECIMENTO

- Parte de um Sistema Especialista que contém o domínio do conhecimento



# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

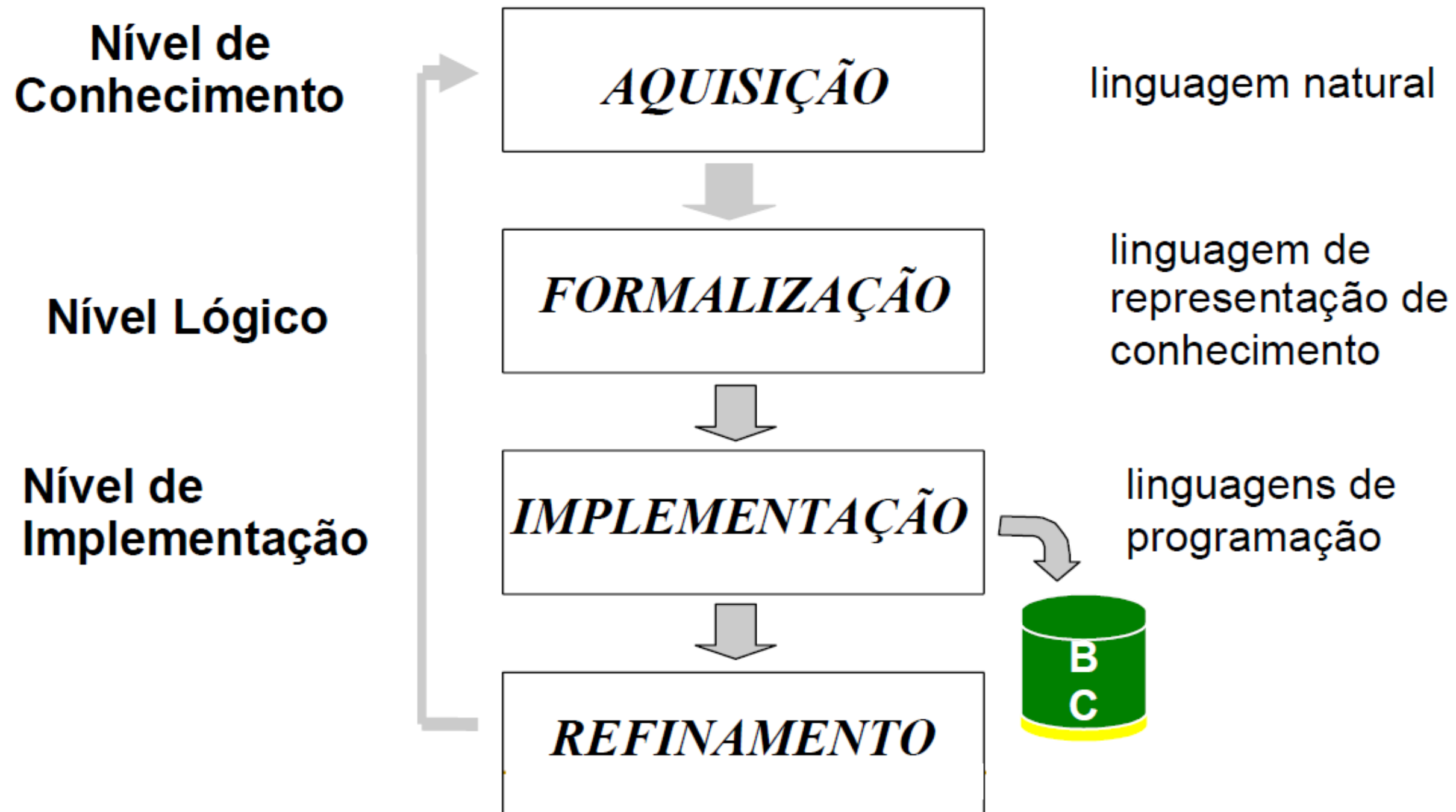
## ENGENHARIA DO CONHECIMENTO

- Estuda como construir **Sistemas Baseados em Conhecimento** (SBC)
  - base de conhecimento
    - representações dos conceitos (fatos e regras)
  - máquina de inferência
  - guia a **aquisição** do conhecimento sobre o domínio escolhido
  - determina quais **conceitos** são importantes
- É responsável pela:
  - **implementação** da base de conhecimento
  - **refinamento**



# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

## ETAPAS DA CONSTRUÇÃO DE UM SBC



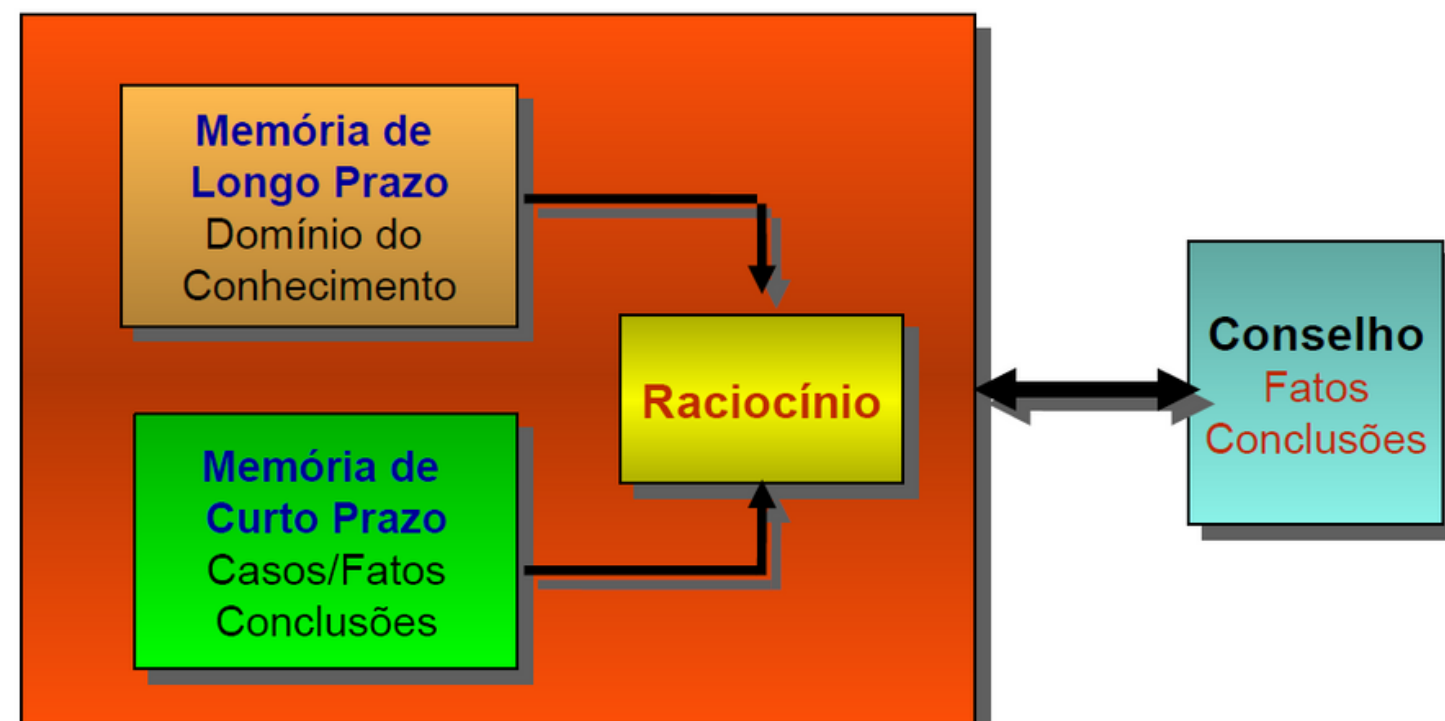
# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

## ETAPAS DA CONSTRUÇÃO DE UM SBC

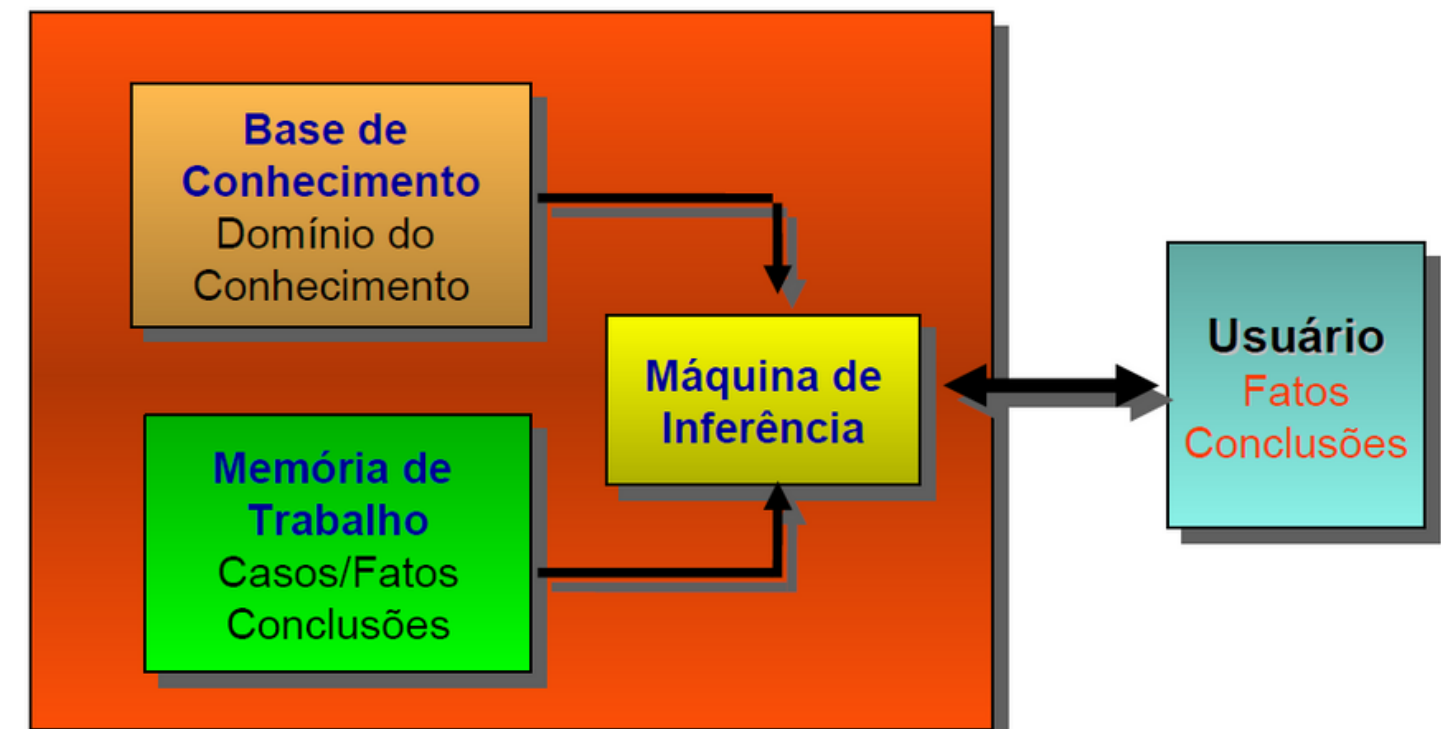
- Aquisição
  - Português, Inglês etc.
- Formalização
  - Lógica de Primeira Ordem
- Implementação
  - Prolog

# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

## ESPECIALISTA HUMANO



## SISTEMA ESPECIALISTA



# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

## BASE DE CONHECIMENTO

- Base de conhecimento
  - parte de um sistema especialista que contém o conhecimento do domínio
- Tarefa do engenheiro de conhecimento
  - obter o conhecimento do especialista e codificá-lo em uma base de conhecimento usando uma dada técnica de representação
    - **regras**

# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

## BASE DE CONHECIMENTO: FORMA DAS REGRAS

- SE premissa, ENTÃO conclusão
  - Se o carro não ligar  
Então o problema pode estar no sistema elétrico
  - Se o problema pode estar no sistema elétrico  
E a voltagem da bateria está abaixo de 10 volts  
Então a falha é uma bateria ruim



# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

## BASE DE CONHECIMENTO: FORMA DAS REGRAS

- Vantagens das regras:
  - fácil de entender (forma natural do conhecimento)
  - fácil de derivar inferências e explicações
  - fácil modificar e manter
  - fácil combinar com incertezas
  - regras são frequentemente independentes
- Limitações das regras
  - conhecimento complexo requer várias regras
  - construtores gostam de regras
    - buscas limitadas em sistemas com muitas regras

# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

## EXEMPLO DA BASE DAS REGRAS

Regra 01: **Se** distância > 5 km,  
pegaremos o carro

Regra 02: **Se** distância > 1 km e tempo < 15 minutos,  
pegaremos o carro

Regra 03: **Se** distância > 1 km e tempo > 15 minutos,  
iremos a pé

Regra 04: **Se** iremos de carro e o cinema é no centro da  
cidade, pegaremos um taxi

Regra 05: **Se** iremos de carro e o cinema não é no centro  
da cidade,  
pegaremos nosso próprio carro

Regra 06: **Se** iremos a pé e o tempo está ruim, pegaremos  
uma chuva

Regra 07: **Se** iremos a pé e o tempo está bom,  
iremos em ritmo de passeio

# CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

## EXEMPLO DA BASE DAS REGRAS

Regra 01: **Se** distância > 5 km,  
pegaremos o carro

Regra 02: **Se** distância > 1 km e tempo < 15 minutos,  
pegaremos o carro

Regra 03: **Se** distância > 1 km e tempo > 15 minutos,  
iremos a pé

Regra 04: **Se** iremos de carro e o cinema é no centro da  
cidade, pegaremos um taxi

Regra 05: **Se** iremos de carro e o cinema não é no centro  
da cidade,  
pegaremos nosso próprio carro

Regra 06: **Se** iremos a pé e o tempo está ruim, pegaremos  
uma chuva

Regra 07: **Se** iremos a pé e o tempo está bom,  
iremos em ritmo de passeio

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

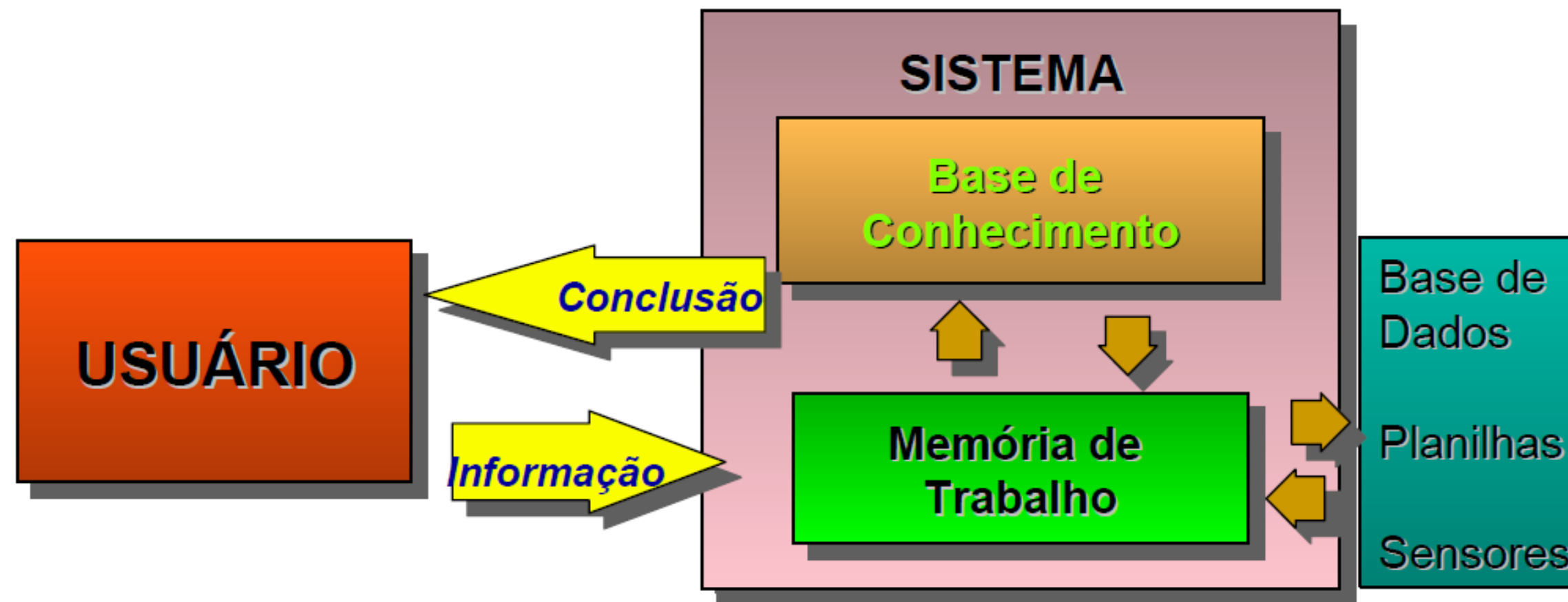
## MEMÓRIA DE TRABALHO

- Parte de um sistema especialista que contém os  **fatos**  do problema que são  **descobertos**  durante a  **sessão de consulta**
- A memória de trabalho contém todas as informações sobre o problema que são  **fornecidas pelo usuário**  ou  **inferidas pelo sistema**
- Toda informação obtida durante uma consulta é freqüentemente chamada de  **contexto da sessão**

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## MEMÓRIA DE TRABALHO

- É a parte do sistema que contém os fatos sobre o problema que são inferidos durante a sessão de consulta





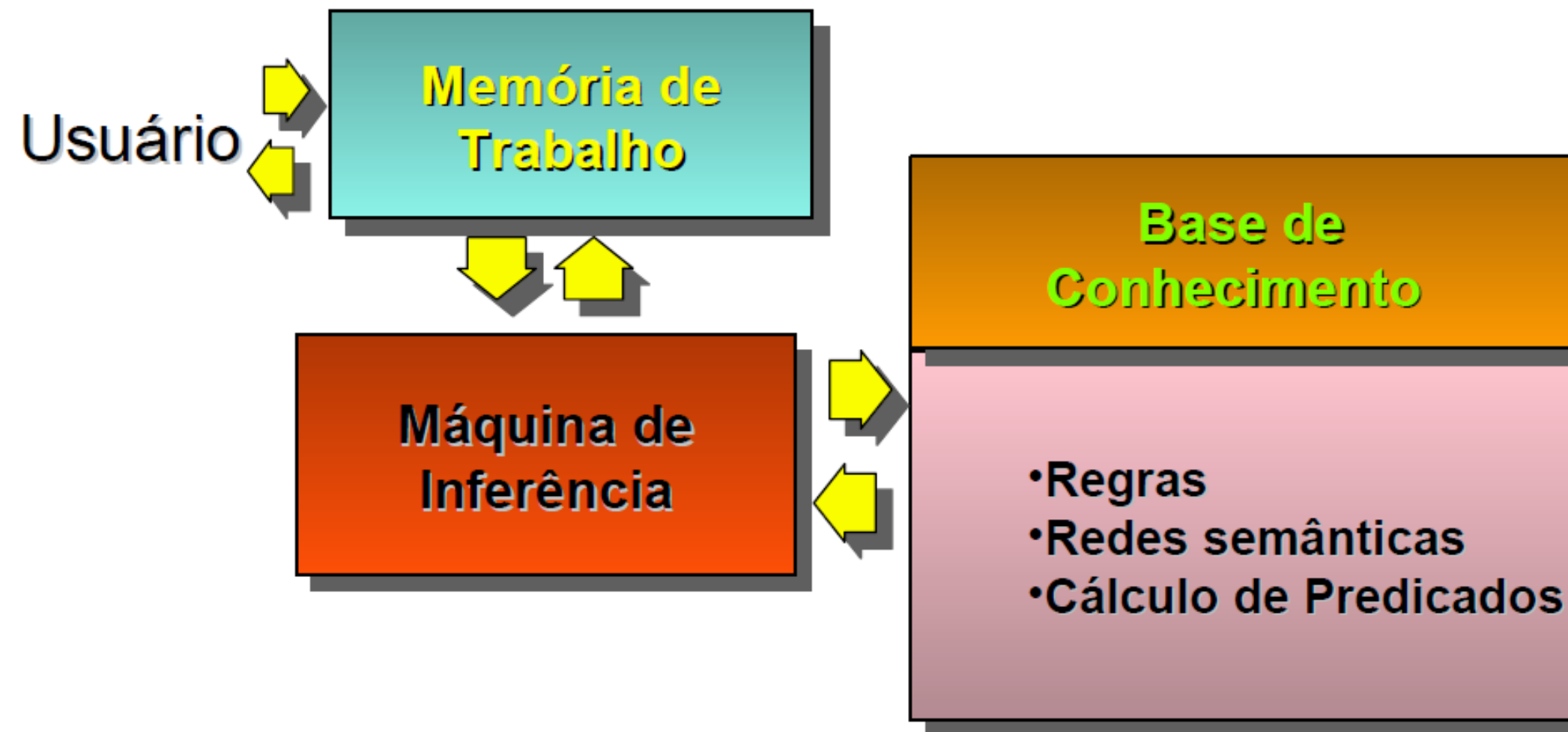
# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## MÁQUINA DE INFERÊNCIA

- É o processador em um sistema especialista que **confronta** os  **fatos**  contidos na **memória de trabalho** com os **conhecimentos** de **domínio** contidos na **base de conhecimento** para tirar **conclusões sobre o problema**
- Ele procura as regras para um casamento entre as suas **premissas** e as informações contidas na **memória de trabalho**
  - quando ele encontra um casamento, adiciona a **conclusão** da regra na memória de trabalha e continua

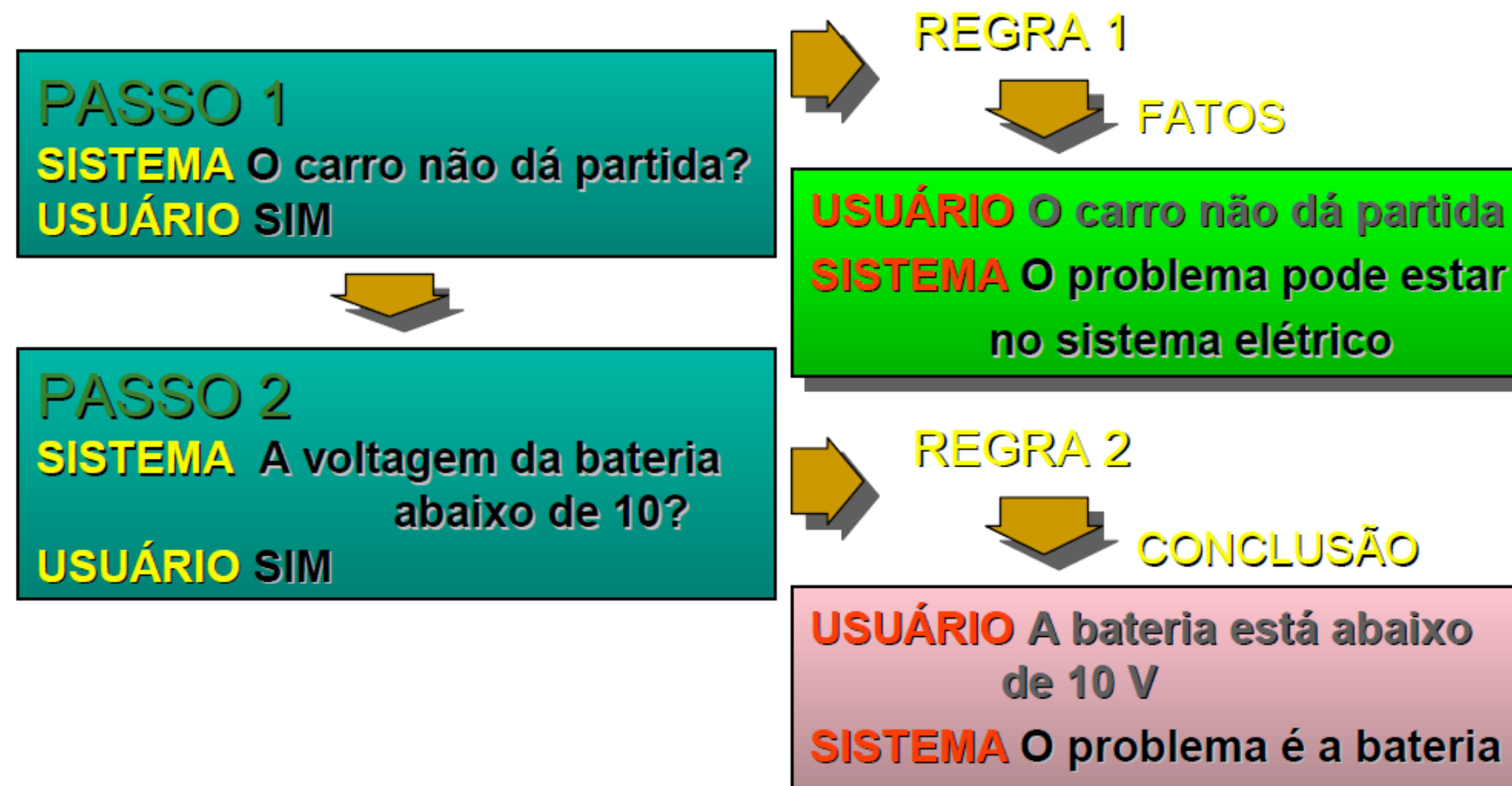
# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## MÁQUINA DE INFERÊNCIA



# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## MÁQUINA DE INFERÊNCIA



# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## MÁQUINA DE INFERÊNCIA

- Considerando uma regra:
  - **Se** as premissas estão contidas na memória de trabalho,
  - **Então** aplica-se a regra, adicionando as conclusões memória de trabalho
  - **Senão** passa para a próxima regra
  - **Quando** detecta-se que um objetivo foi atingido ou que mais nenhuma regra se aplica, o processo de raciocínio é encerrado
- As variações nesse mecanismo estão relacionadas a escolha das regras
  - primeira regra, a próxima regra etc.

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

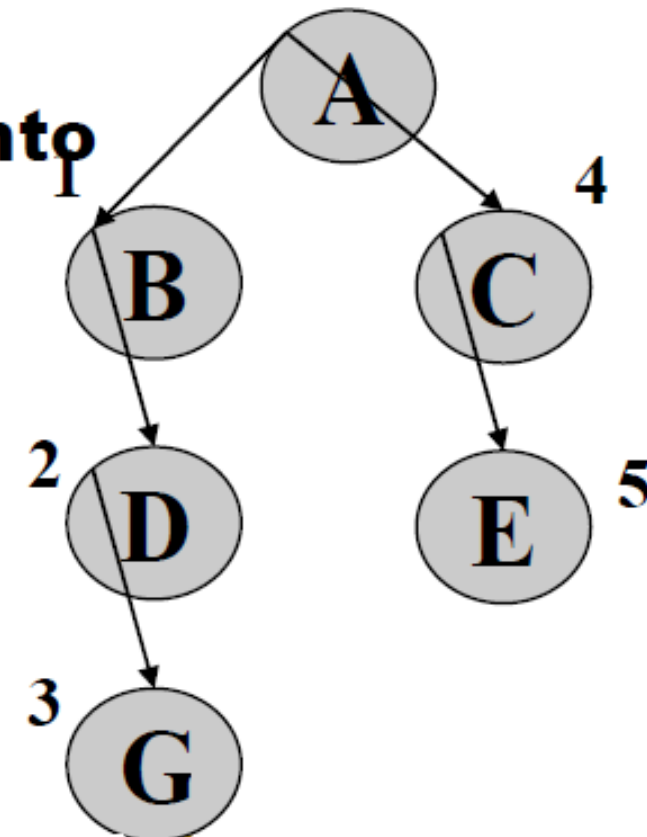
## MÁQUINA DE INFERÊNCIA

Regra 01: **Se** A = SIM **Então** B = SIM & C = SIM  
Regra 02: **Se** B = SIM **Então** D = 5  
Regra 03: **Se** C = SIM **Então** E = 10  
Regra 04: **Se** D > 2 **Então** G = 1024

**Encadeamento  
para frente**

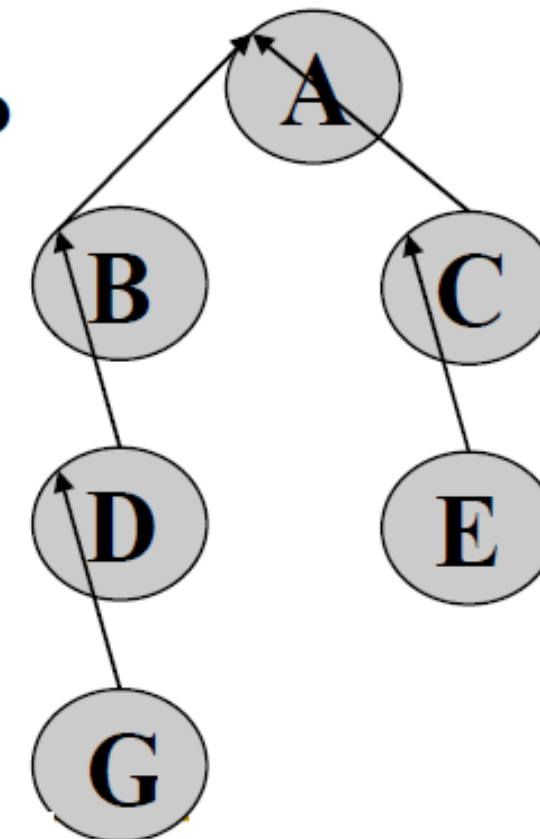
Sentido:

**premissa/  
conclusão**



**Encadeamento  
para traz**

Sentido:  
**conclusão/  
premissa**





# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## EXEMPLO DE INFERÊNCIA

### ■ Fatos

pai(josé, adão).  
pai(adão, lucas).  
pai(mateus, joaquim).  
mae(ana, celia).  
...

### ■ Regras

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

### ■ Meta

avo(X, lucas).

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## EXEMPLO DE INFERÊNCIA

- Começa o processo de inferência:
  - as variáveis X, Y e Z são instanciadas
    - **X = mateus** e **Y = joaquim**
    - **Y = joaquim** e **Z = lucas**
- Depois da instanciação se tem um caso especial da regra avo
  - **avo(mateus,lucas) :- pai(mateus,joaquim) ,**  
**pai(joaquim,lucas)**

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## EXEMPLO DE INFERÊNCIA

- Começa o processo de inferência:
  - as variáveis X, Y e Z são instanciadas
    - $X = \text{josé}$  e  $Y = \text{adão}$
    - $Y = \text{adão}$  e  $Z = \text{lucas}$
- Depois da instanciação se tem um caso especial da regra avo
  - $\text{avo}(\text{jose}, \text{lucas}) \text{ :- } \text{pai}(\text{josé}, \text{adão}) , \text{pai}(\text{adão}, \text{lucas})$

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

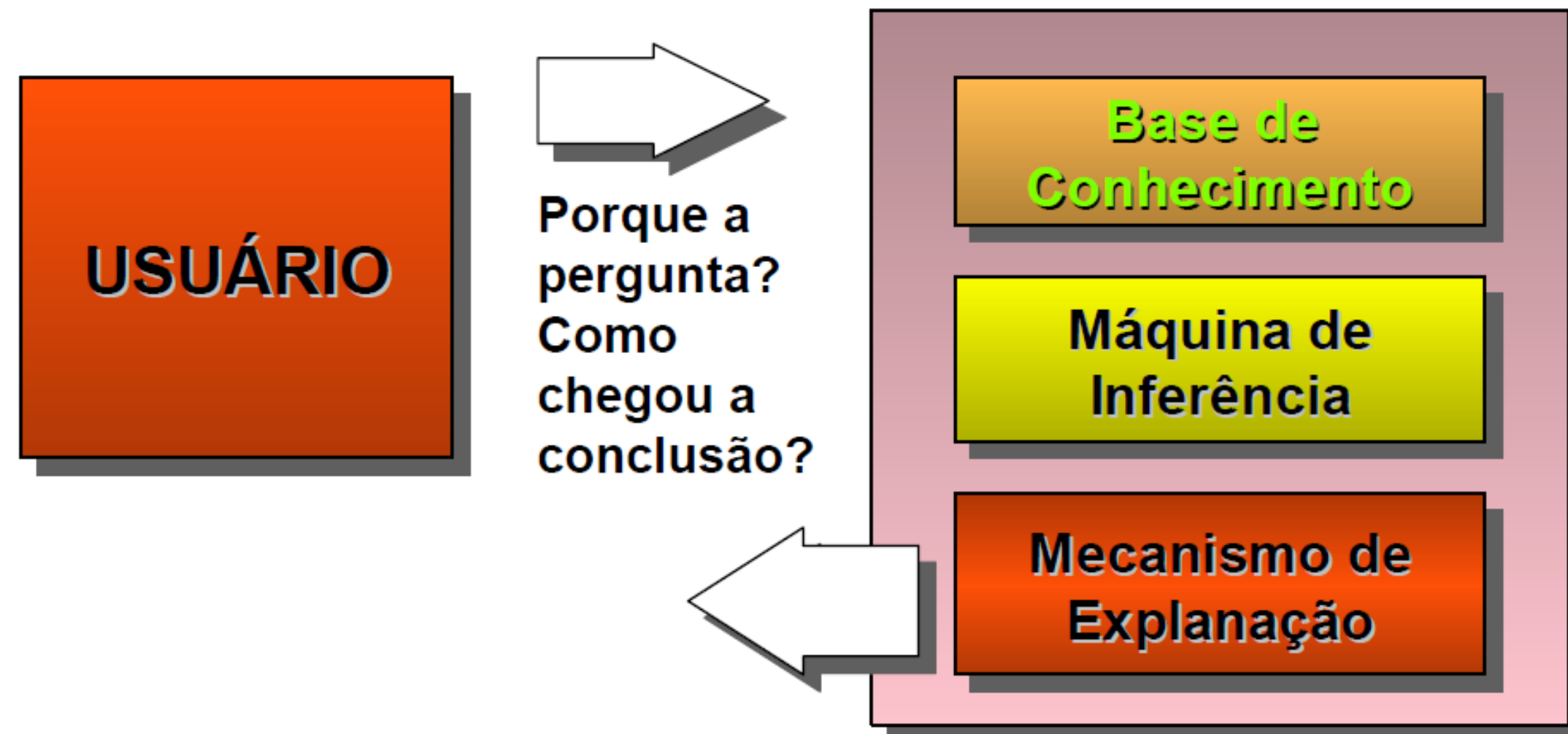
## EXEMPLO DE INFERÊNCIA

- Agora a máquina processa cada cláusula separadamente
  - **pai(josé,adão)**
  - **pai(adão,lucas)**
- As cláusulas são fatos da base de conhecimento
  - se infere então
    - **X = jose**
    - **“José é avó de Lucas”**
- Se as cláusulas fossem falsas, as variáveis seriam instanciadas novamente

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## MECANISMOS DE EXPLANAÇÃO

- É o mecanismo que permite responder ao usuário às perguntas do tipo *porque* e *como*



# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

## MECANISMOS DE EXPLANAÇÃO

- Um sistema especialista emite resposta utilizando três modos de técnicas diferentes:
  - **Primeiro modo**
    - o sistema determina um universo onde a resposta poderá ser encontrada
      - Por exemplo: pode determinar, de maneira geral, onde o petróleo poderá ser encontrado, sem no entanto afirmar de maneira precisa em que regiões se encontrará o petróleo
  - **Segundo modo**
    - o sistema é mais preciso e determina um resultado final
  - **Terceiro modo**
    - o sistema não emite resultado nenhum, apenas interage com o profissional que o está usando