

Sistemas Inteligentes

Aula 04/11

Sistemas Especialistas

Sistemas Especialistas

- **Introdução aos Sistemas Especialistas (SEs)**
- **Conceitos básicos e exemplo de SE**
- **Arquitetura e desenvolvimento de SEs**
- **Aquisição de Conhecimento**
- **Classes de tarefas e áreas de aplicação**
- **Benefícios e Limitações**

Histórico: GPS (1960s)

■ **General Problem Solver (GPS)**

- H. Simon; J. C. Shaw; A. Newell (1957)
- 1º programa de computador a separar conhecimento (regras como dados de entrada) de estratégia de solução (máquina solucionadora genérica)
- Motivação:
 - *Leis do pensamento + máquinas poderosas*

■ **Problemas:**

- Fraca representação de conhecimento
- Bom para pequenos problemas suficientemente formalizados
- Explosão combinatória de estados em problemas do mundo real

Histórico: Primeiros SEs (1960s-1970s)

■ DENDRAL

- Universidade de Stanford (1965)
- Considerado o 1º sistema especialista (escrito em Lisp) para:
 - *Inferir estrutura molecular de componentes desconhecidos dadas a massa espectral e a resposta nuclear magnética*
- Conhecimento especializado para a busca por possíveis estruturas moleculares
- Fez sucesso (publicações científicas) e é utilizado como base de software até hoje

Histórico: Primeiros SEs (1960s-1970s)

■ MYCIN

- Tese de doutorado de Edward Shortliffe, da Universidade de Stanford, no início dos anos 70
- Programa em Lisp para diagnosticar rapidamente meningite e outras infecções bacterianas, e prescrever tratamento
- Representação de conhecimento baseada em aproximadamente 500 regras probabilísticas
- Introduziu explicação e boa interface com usuário
- 90% de acerto

■ Exemplo de regra

```
if the infection is meningitis and  
the type of infection is bacterial and  
the patient has undergone surgery and  
the patient has undergone neurosurgery and  
the neurosurgery-time was < 2 months ago and  
the patient got a ventricular-urethral-shunt  
then infection = e.coli(.8) or klebsiella(.75)
```

Histórico: 1970s & 1980s

■ 1970s: Esforço para desenvolver melhores (e mais especializadas)

- Linguagens de representação de conhecimento
- Mecanismos de inferência

■ Conclusões

- O poder de um sistema é derivado do conhecimento específico, e não de esquemas de inferências e formalismo particular que ele emprega
- As linguagens existentes já bastam

■ 1980s: Grande *boom* dos SEs

- [XCON](#), [XSEL](#), CATS-1, ...

CATS-1

■ Problema da General Electric:

- Aposentadoria de David Smith: engenheiro especialista em falhas de motores elétrico-diesel de locomotivas
- Custo deste tipo de engenheiro

■ Solução convencional

- Treinamento de engenheiros novatos

■ 1980: Construção de CATS-1 (DELTA)

- Meses de entrevista, 3 anos para o primeiro protótipo
- Permite diagnóstico em poucos minutos
- Existe um em cada oficina
- Dá treinamento, é amigável e explica decisões

Outros sistemas

- **Administração:** FOLIO ajuda administradores a determinar metas de investimentos de clientes e selecionar portfólios;
- **Advocacia:** JUDITH ajuda advogados a argumentar a respeito de casos de lei civil;
- **Agricultura:** POMME ajuda no trato de macieiras;
- **Computação:** XCON configura sistemas computacionais para clientes;
- **Eletrônica:** SOPHIE ensina estudantes a respeito de circuitos elétricos;
- **Engenharia:** REACTOR assiste operadores de reatores no diagnóstico e tratamento de acidentes nucleares;
- **Física:** GAMMA ajuda físicos nucleares a identificar composição de substâncias desconhecidas;
- **Medicina:** ONCOCIN ajuda no tratamento de pacientes com câncer.

Especialista humano

- Decisão sobre um assunto a partir de fatos e hipóteses, com base no conhecimento de anos.
- Raciocínio verificando novos fatos e formulando novas hipóteses.
- Pode não haver decisão se os fatos à disposição não forem suficientes.
- Pode haver erro de conclusão, justificado pelos fatos à disposição e conhecimento acumulado.
- Além de inferir conclusões, tem capacidade de aprender, melhorar seu desempenho de raciocínio e qualidade de suas decisões.

Sistemas Especialistas – definição

- Sistemas que empregam o conhecimento humano para resolver problemas que requerem a presença de um especialista.
- Atendem a uma aplicação determinada e limitada do conhecimento humano.
- Capazes de emitir uma decisão, com o apoio em conhecimento justificado, a partir de uma base de informação.
- Uma das áreas de aplicação de maior sucesso da IA
- Faz parte dos chamados *knowledge-based systems*.

Sistemas Especialistas – utilidade

- Repositório de conhecimento a ser transmitido a outros profissionais da área
 - Capacitar não-especialistas
- Assistente a especialistas
- Decisões consistentes
 - Para as mesmas condições, mesmo conjunto de decisões
- Mecanismos heurísticos para problemas “não algoritmizados” ou com processamento demorado
 - Podem não levar à solução, mas quase sempre conduzem a soluções de modo rápido

Sistemas Especialistas – quando?

- O problema justifica o custo e esforço de construção do SE
- Não existem especialistas disponíveis (no local) para resolver diretamente o problema
- Existem especialistas para cooperarem na construção do SE
- O problema pode ser solucionado por meio de raciocínio simbólico (próximo dos humanos)
- O problema não pode ser resolvido por meio de métodos computacionais tradicionais
- O problema não é demasiado grande nem demasiado genérico

Ferramentas para construção de SEs

■ Opções

- *Shell* ([OPS](#), ExpertSinta, KAS, ...) é o mais utilizado
- Linguagens de programação para IA (Lisp, Prolog)
- Linguagens de programação gerais (OOP)
- Linguagens híbridas (componentes de IA): regras + objetos ([CLIPS](#), [JESS](#), [JEOPS](#), ...)

■ Critérios de escolha

- Facilidade de uso, flexibilidade, desempenho, portabilidade e interface com sistema
- Limitações do formalismo de representação de conhecimento escolhido: poder descritivo
- Limitações do motor de inferência: controle suficiente
- Área de aplicação: diagnóstico, monitoração e controle, configuração ...

Plataformas e ferramentas

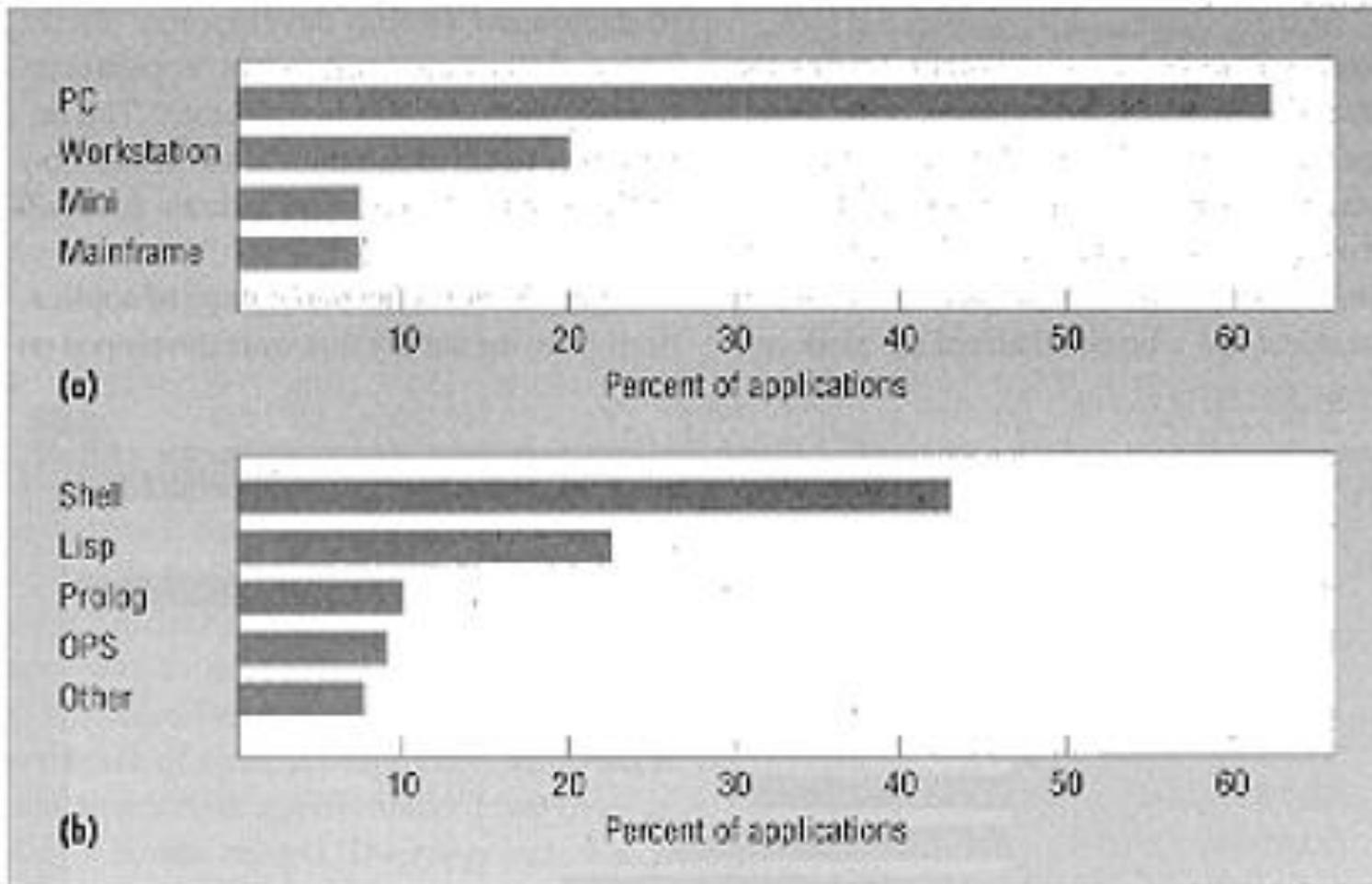


Figure 3. The percent of expert system applications developed (a) on different platforms; (b) with different software.

Até 1996

Classes de tarefas

- **Interpretação:** formar conclusões a partir de dados
- **Predição:** projetar consequências de situações
- **Diagnóstico e reparo:** determinar a causa de maus funcionamentos, e prescrever e implementar soluções
- **Projeto:** configurar componentes de forma a atingir um objetivo
- **Planejamento:** obter a sequência de passos para atingir um objetivo
- **Monitoração:** comparar o comportamento de um sistema com aquilo que seria de esperar
- **Tutoriais:** detectar e corrigir deficiências, e auxiliar processos de aprendizagem
- **Controle:** governar o comportamento de um sistema

Classes de tarefas

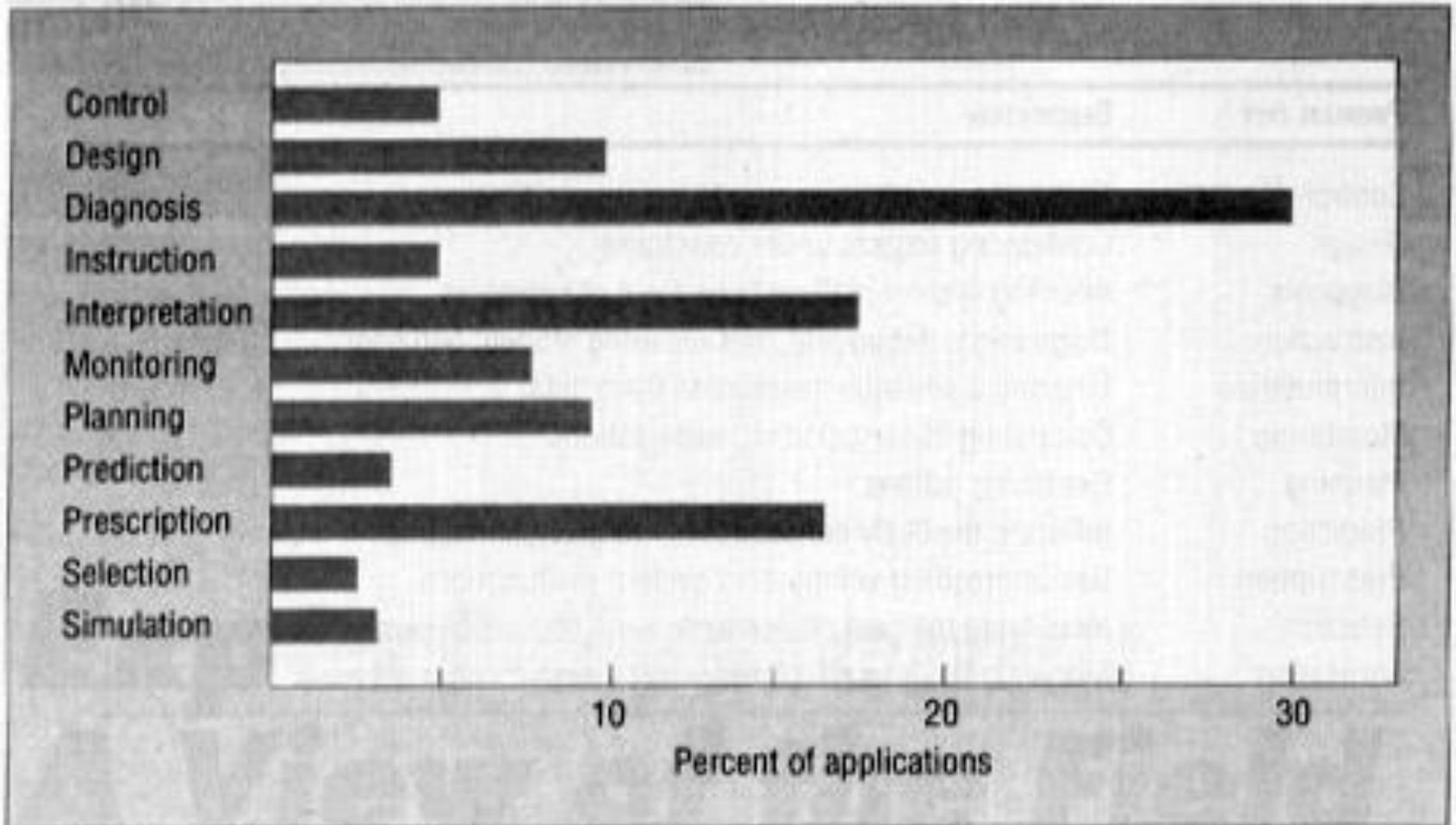


Figure 2. The percentage of expert system applications by problem type.

Áreas de aplicação: evolução

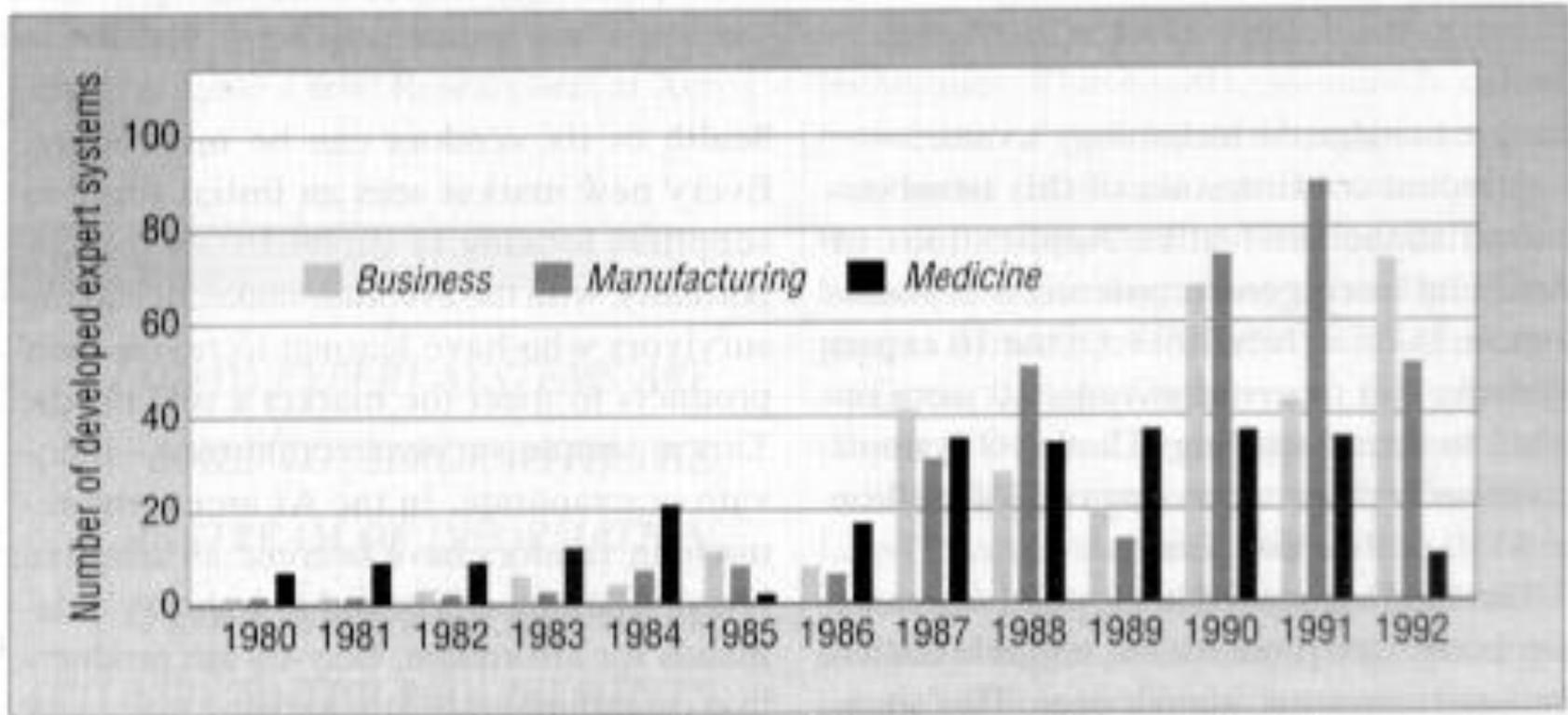


Figure 5. The number of expert systems developed per year for business, manufacturing, and medicine.

Evolução do mercado de SEs

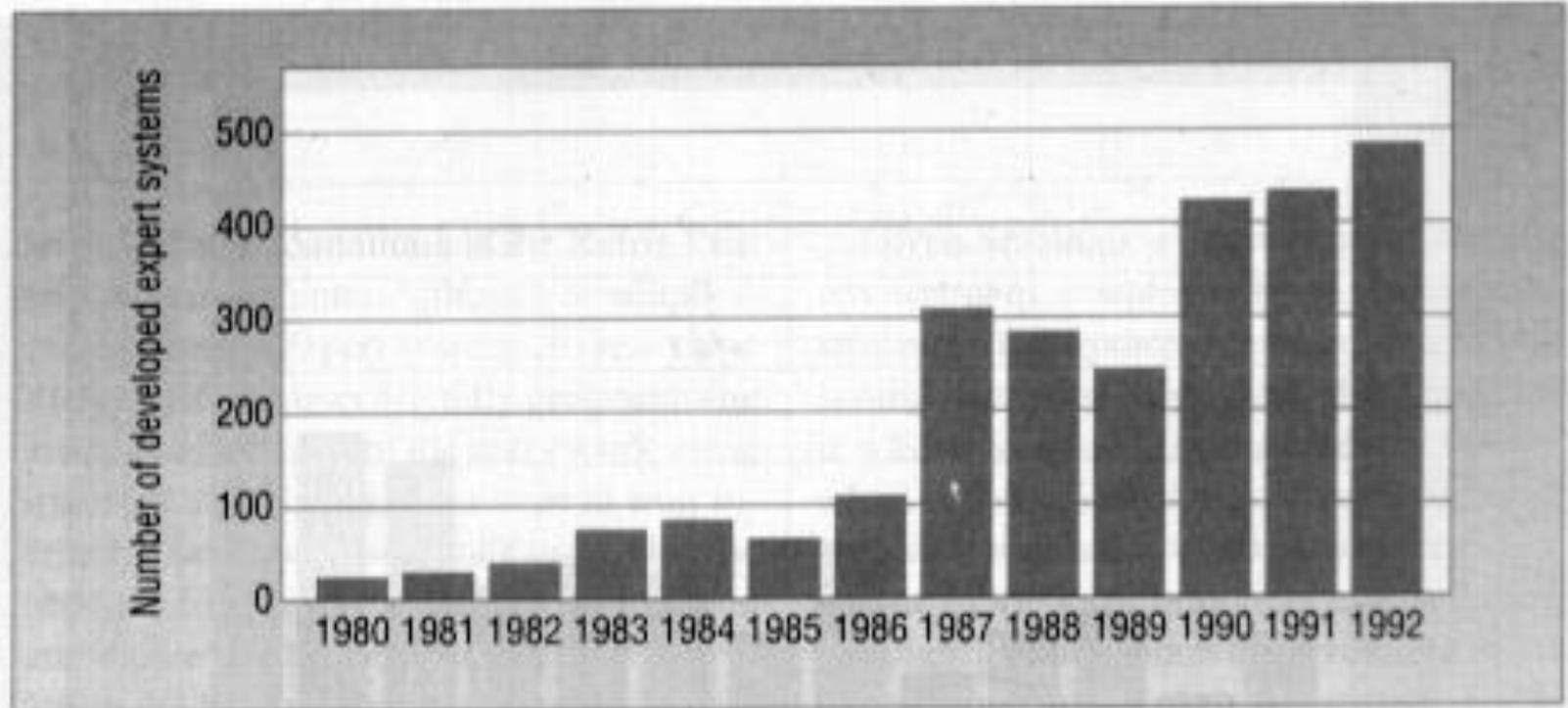


Figure 4. The number of expert systems developed from 1980 to 1992.

Conceitos básicos

■ **Expertise**

- Conhecimento especializado adquirido por longo treinamento, leitura e experiência

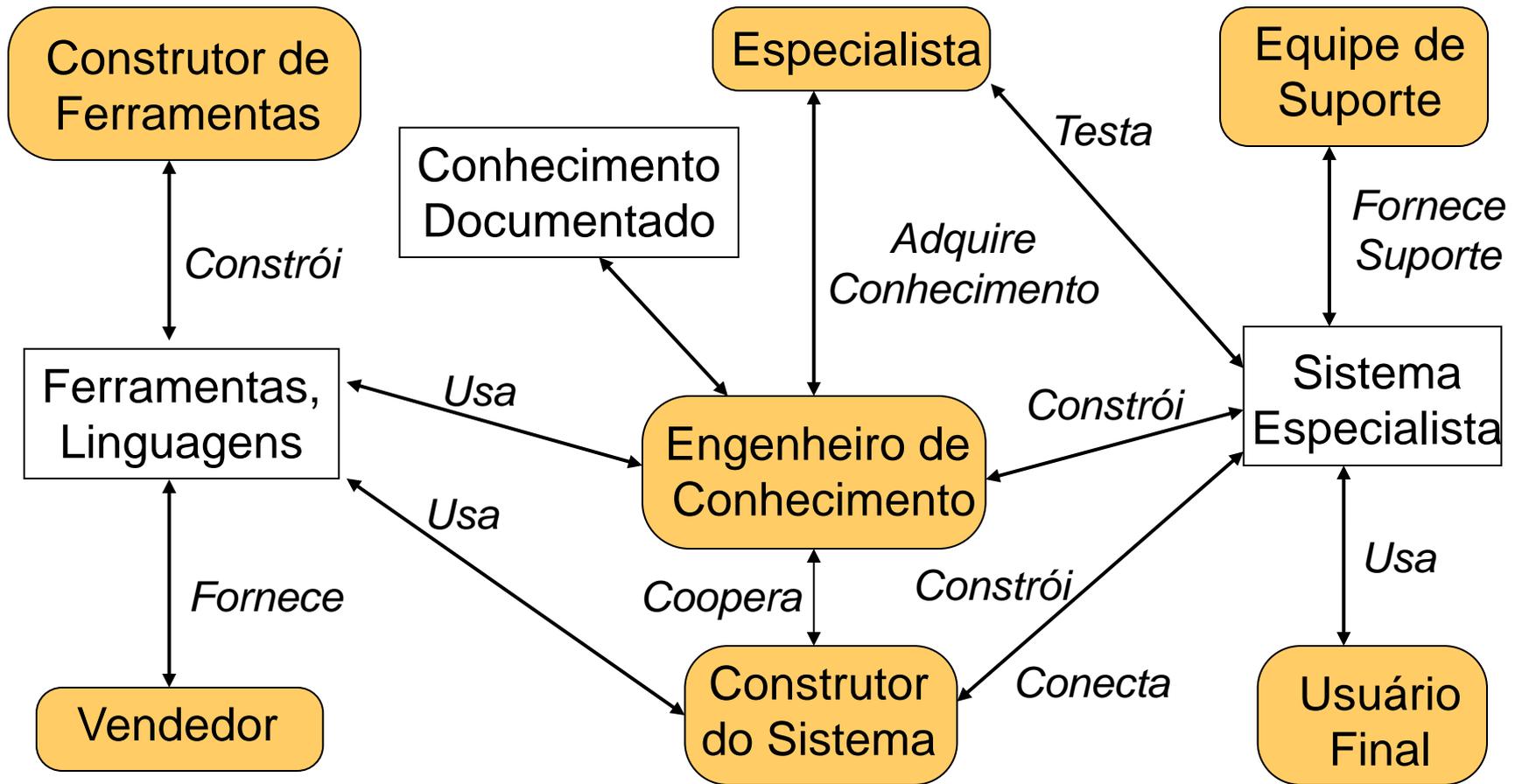
■ **Especialista**

- Possui o conhecimento, experiência, métodos e a habilidade de aplicá-los para dar conselhos e resolver problemas.

■ **Engenheiro de conhecimento**

- Guia a aquisição, representação do conhecimento especializado, bem como a implementação e refinamento do SE.

Personagens de um SE



Desenvolvimento de um SE

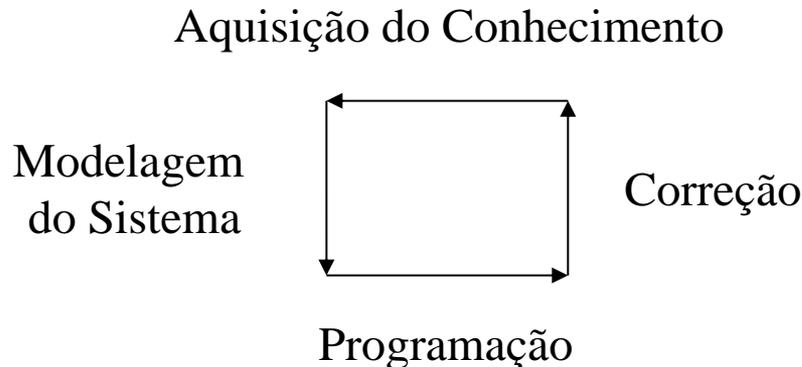
1) Construção da base de conhecimento

- **Aquisição de conhecimento!**
- Representação de conhecimento (formalização)

2) Implementação

- Codificação
- Construção do sistema de explicação, interface, etc.

3) Refinamento e validação



Aquisição de conhecimento

■ **Aquisição/explicitação de conhecimento**

- Acumulação, transferência e transformação de alguma fonte de conhecimento para um computador (base de conhecimento).
- Espécie de engenharia de requisitos mais complexa

■ **Pode-se originar de várias fontes:**

- Especialistas, livros e documentos, filmes, ...

■ **Principais fases da aquisição**

- Identificar características do problema
- Isolar os conceitos principais e suas relações (ontologia)
- Identificar inferências sobre estes conceitos

Gargalo na construção de SEs

■ **Dificuldade de introspecção**

- O especialista quase nunca está ciente de como usa o conhecimento
- Algumas soluções são intuitivas ou “compiladas”.
- O especialista tem dificuldade de verbalizar sob pressão
- Uso de vocabulário próprio (jargão)

■ **O conhecimento expesso pode ser irrelevante**

- Quantidades enormes de informações supérfluas são coletadas, para em seguida serem organizadas.
- Desafio: evitar informação irrelevante sem bloquear a descoberta de conceitos adicionais.

Gargalo na construção de SEs

- **O conhecimento exposto pode ser incompleto**
 - O especialista pode não lembrar o conhecimento aprofundado para resolver um problema
 - O especialista pode pular pontos importantes
- **O conhecimento exposto pode ser incorreto ou inconsistente**
 - Afinal quem garante a qualidade da solução, já que ela é “coisa de especialista”?
 - A racionalidade que se deseja modelar é limitada (H. Simon)

Métodos de aquisição

■ **3 categorias:** Manual, Semi-automático e Automático

■ **Manual**

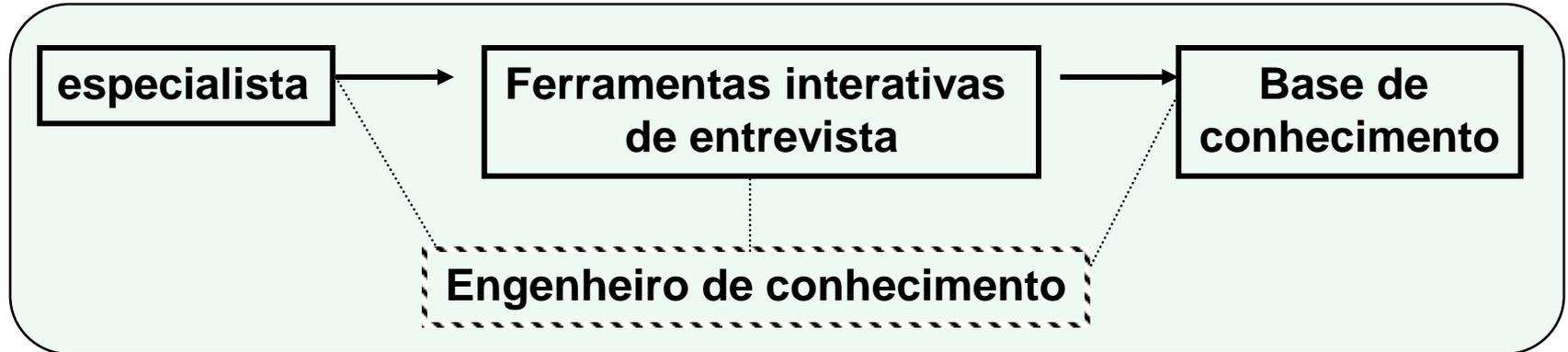
- Entrevistas (estruturadas ou não estruturadas)
- *Tracking methods* (análise de protocolos e observação)



Métodos de aquisição

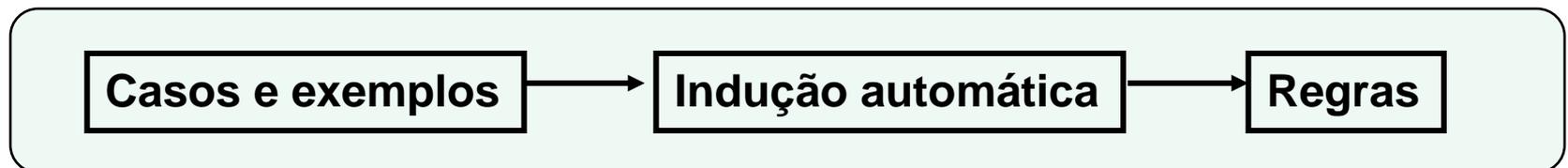
■ Semi-automáticos

- Ajuda ao especialista (*grid repertory analysis*)
- Ajuda ao engenheiro de conhecimento (editores, documentadores, ...)

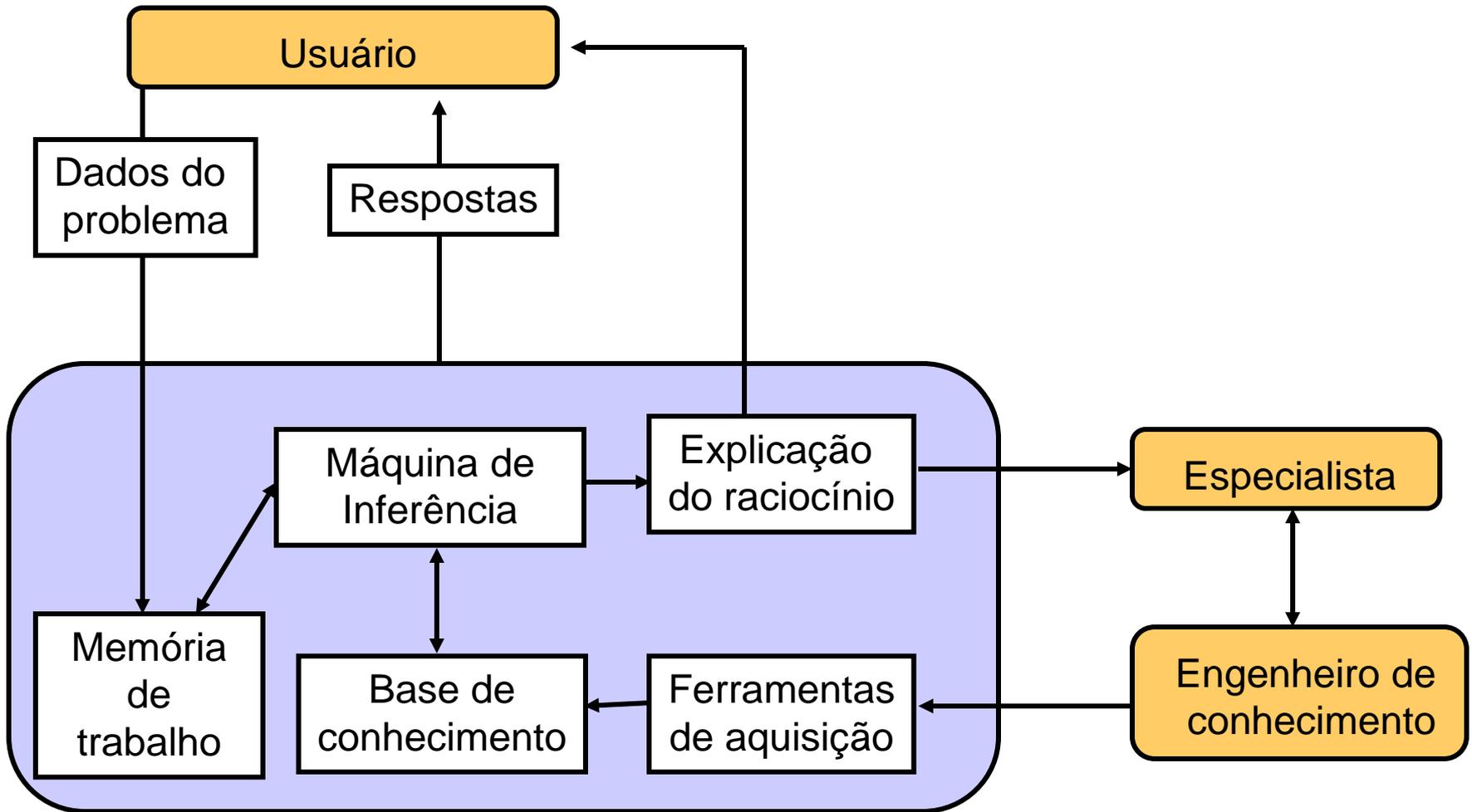


■ Automático:

- *Machine learning*



Arquitetura de Sistemas Especialistas baseados em regras



Raciocínio baseado em regras

- Representação do conhecimento para a resolução do problema por meio de regras do tipo “**se...então...**” (regras de produção)

- Exemplo:

Se (o motor de arranque não gira) e

(as luzes não acendem)

Então

(o problema está nos cabos da bateria)

Diagnóstico de falhas em automóveis

(raciocínio para trás – orientado ao objetivo)

Memória de Trabalho

o problema é X

Base de Conhecimento

Regra1: se

o motor tem combustível, e

o motor trabalha

então

o problema é nas velas

Regra2: se

o motor não trabalha, e

as luzes não ligam

então

o problema é nos cabos da bateria

Regra3: se

o motor não trabalha, e

as luzes ligam

o problema é no motor de arranque

Regra4: se

o depósito tem combustível, e

o carburador tem combustível

então o motor tem combustível

Diagnóstico de falhas em automóveis

(raciocínio para trás – orientado ao objetivo)

Memória de Trabalho

o motor tem combustível
o motor trabalha
o problema é nas velas

Base de Conhecimento

Regra1: se

o motor tem combustível, e
o motor trabalha
então
o problema é nas velas

Regra2: se

o motor não trabalha, e
as luzes não ligam
então
o problema é nos cabos da bateria

Regra3: se

o motor não trabalha, e
as luzes ligam
o problema é no motor de arranque

Regra4: se

o depósito tem combustível, e
o carburador tem combustível
então o motor tem combustível

Diagnóstico de falhas em automóveis

(raciocínio para trás – orientado ao objetivo)

Memória de Trabalho

o depósito tem combustível
o carburador tem combustível
o motor tem combustível
o motor trabalha
o problema é nas velas

Base de Conhecimento

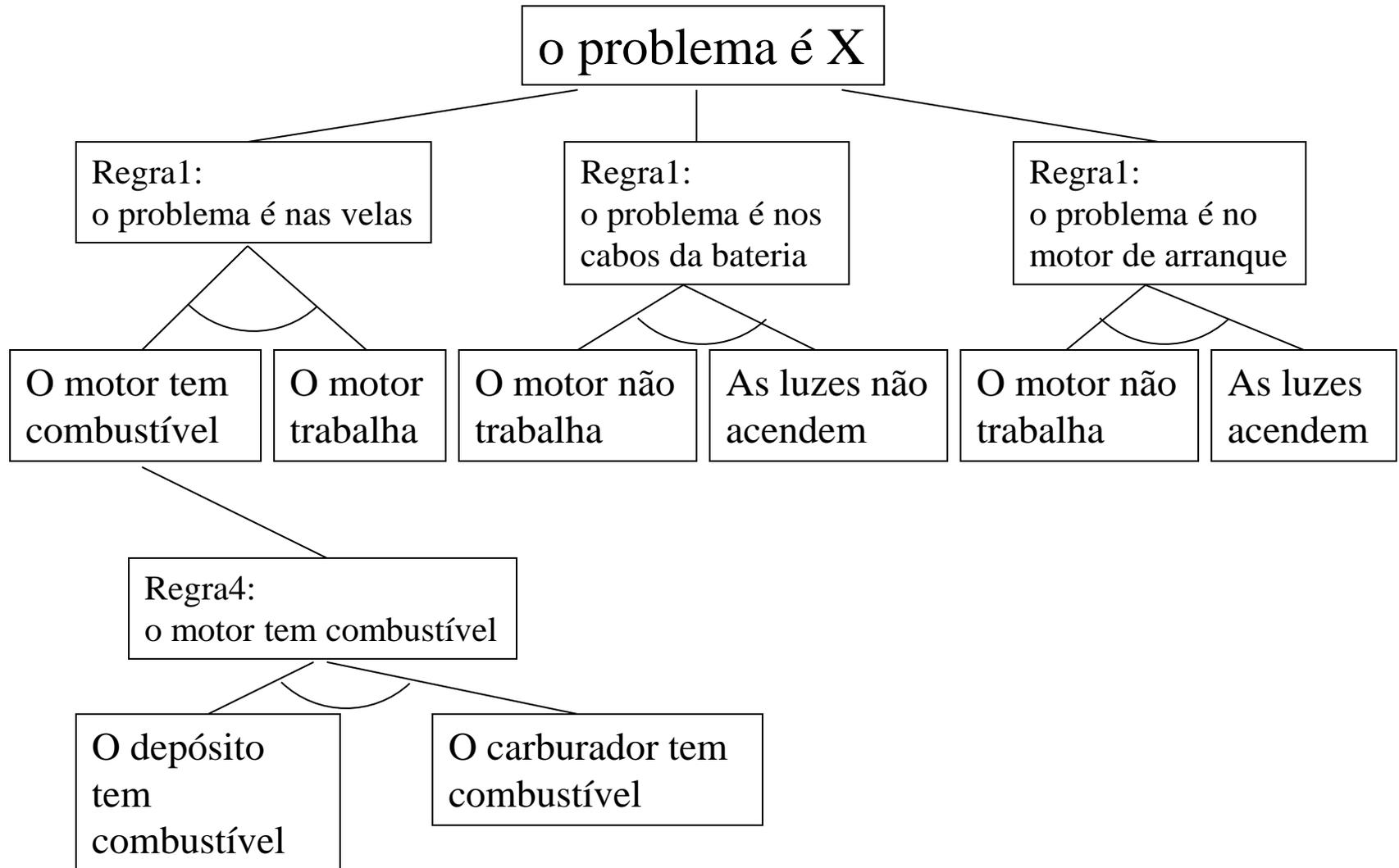
Regra1: se
o motor tem combustível, e
o motor trabalha
então
o problema é nas velas

Regra2: se
o motor não trabalha, e
as luzes não ligam
então
o problema é nos cabos da bateria

Regra3: se
o motor não trabalha, e
as luzes ligam
o problema é no motor de arranque

Regra4: se
o depósito tem combustível, e
o carburador tem combustível
então o motor tem combustível

Grafo para a busca pela solução



Diagnóstico de avarias em automóveis

(raciocínio para a frente - orientado aos dados)

Memória de Trabalho

o carburador tem combustível (sim)

o depósito tem combustível (sim)

o motor tem combustível

o motor trabalha (sim)

o problema é das velas

Base de Conhecimento

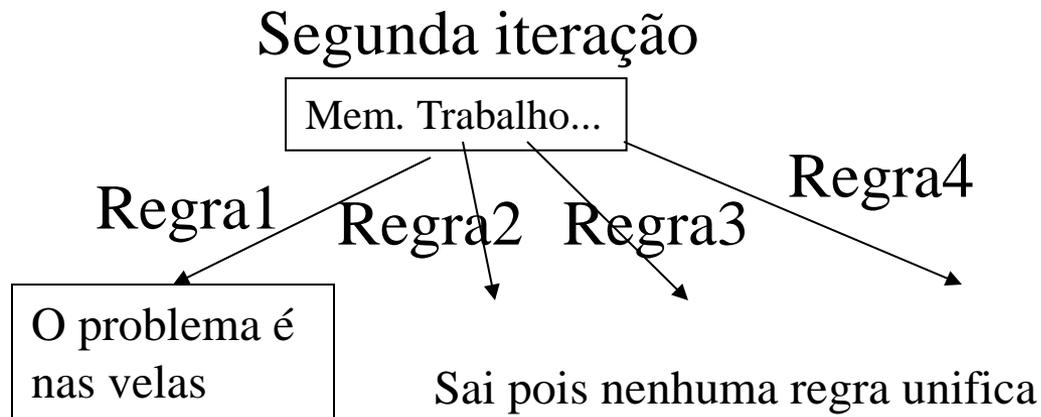
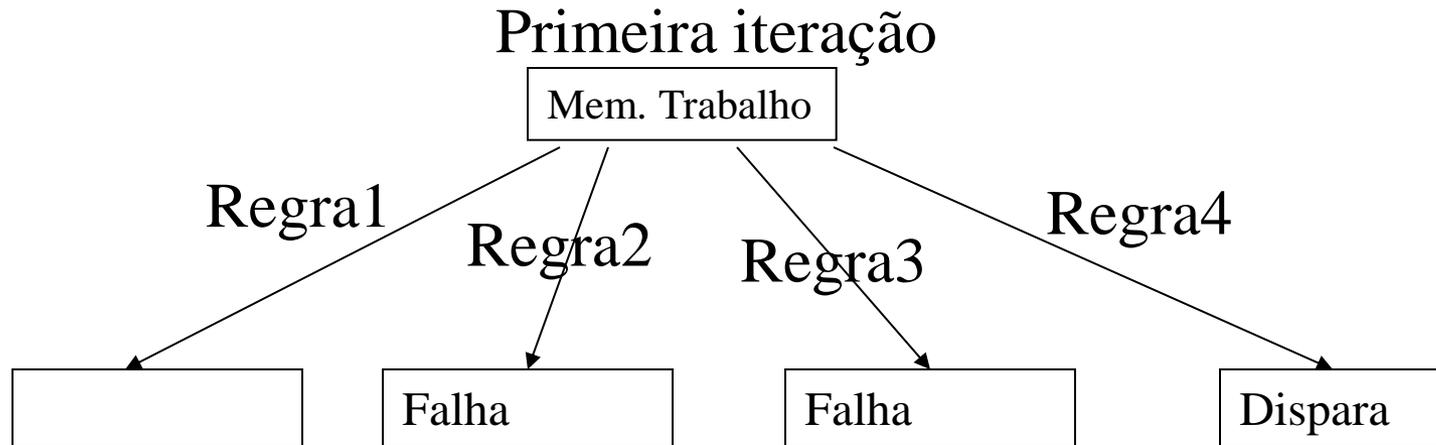
Regra1: se
o motor tem combustível, e
o motor trabalha
então
o problema é nas velas

Regra2: se
o motor não trabalha, e
as luzes não ligam
então
o problema é nos cabos da bateria

Regra3: se
o motor não trabalha, e
as luzes ligam
o problema é no motor de arranque

Regra4: se
o depósito tem combustível, e
o carburador tem combustível
então o motor tem combustível

Grafo para a busca pela solução



Raciocínio baseado em modelos

- Em vez de se utilizarem heurísticas na resolução de um problema;
- A análise é fundamentada diretamente na especificação e funcionalidade do sistema físico (um modelo do sistema);
- Normalmente aplica-se no diagnóstico;
- O sistema é simulado assim como a estrutura e funcionamento das suas componentes;
- Exemplo de um circuito de somadores e multiplicadores.

Raciocínio baseado em casos

- Regras heurísticas e modelos teóricos são dois tipos de informação que os especialistas humanos utilizam para resolver problemas;
- Outra estratégia utilizada é o raciocínio baseado em casos (*Case-Based Reasoning* - CBR);
- Utiliza uma base de dados com soluções de problemas para resolver novas situações;
- Exemplos: medicina, justiça, programação de computadores, arquitetura, história...

Outras possibilidades

■ **Raciocínio Baseado em Representações Híbridas**

- regras+casos
- regras+modelos
- modelos+casos

■ **Raciocínio com Incerteza ou Informação Incompleta:**

- Probabilidades
- Fatores de certeza
- Sistemas difusos

Benefícios do SE

- Criação de repositório de conhecimento
- Crescimento de produtividade e qualidade
- Habilidade de resolver problemas complexos
- Flexibilidade e modularidade
- Operação em ambientes arriscados
- Credibilidade
- Habilidade de trabalhar com informações incompletas ou incertas
- Fornecimento de treinamento

Problemas e limitações

- Avaliação de desempenho difícil
- É difícil extrair conhecimento especialista
- Só trabalham muito bem em domínios estreitos
- Engenheiros de Conhecimento são raros e caros
- Transferência de conhecimento está sujeito a um grande número de preconceitos

Experimento com Expert Sinta

■ Download do Shell:

- <http://www.lia.ufc.br/~bezerra/exsinta/>

■ Demonstração em aula

■ Exercício

- Cria um sistema especialista simples em uma área a sua escolha (na qual se considere “especialista”)