

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
E COMPUTACIONAL

INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS ESPECIALISTAS

ERICK GALANI MAZIERO



4

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. Arquitetura de um Sistema Especialista	7
Figura 4.2. Linhas de transmissão entre usinas e estações de distribuição de energia do estado do MS.	13
Figura 4.3. Exemplo de interface do REC_ESP com usuário do sistema especialista..	14



LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Base de conhecimento de compatibilidade entre baterias e dispositivos eletrônicos.....	10
--	----

EMENDAS

SUMÁRIO

4 INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS ESPECIALISTAS	5
4.1 Sistemas baseados em conhecimento	5
4.2 Etapas do desenvolvimento de um Sistema Especialista (SE)	7
4.3 O motor de inferência	9
4.4 Formas de interação com o SE	11
4.5 Tomada de decisão	11
4.6 Exemplos de Sistemas Especialistas	12
4.6.1 REC_ESP.....	12
4.7 Vantagens e limitações de um SE	14
REFERÊNCIAS	16
GLOSSÁRIO	17

4 INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS ESPECIALISTAS

4.1 Sistemas baseados em conhecimento

Em 1969, na universidade de Stanford nasceu o DENDRAL, um sistema baseado em conhecimento que tinha a finalidade de inferir a estrutura molecular a partir das informações fornecidas por um espectrômetro de massa. Como o sistema tinha de explorar uma quantidade exponencial de possíveis estruturas para as medições de massa, seus autores consultaram especialistas de química analítica para, segundo algumas heurísticas, escolher as estruturas mais prováveis para as medições de massa.

O DENDRAL é digno de menção por ser o primeiro sistema de conhecimento intensivo bem-sucedido, abrindo caminho para sistemas baseados em conhecimento. Outros pesquisadores de Stanford investiram em um projeto chamado *Heuristic Programming Project* (HPP), que investigou até que ponto os sistemas baseados em conhecimento seriam úteis em outras áreas de conhecimento.

O principal esforço foi em um sistema de diagnóstico médico, o MYCIN, que detectava infecções sanguíneas. O MYCIN continha cerca de 450 regras obtidas com especialistas médicos e se saiu tão bem quanto médicos especialistas e até melhor que médico em início de carreira.

Em 1982 surgiu o primeiro sistema especialista de uso comercial bem-sucedido. O R1 ajudava a configurar novos pedidos de computadores feitos à DEC (Digital Equipment Corporation). A DEC, em 1988 já tinha entregue mais de 40 sistemas especialistas.

Esses sistemas evidenciam a importância da representação do conhecimento humano para uso de sistemas inteligentes. Isso ajudou a popularizar linguagens de programação lógica, como o Prolog e o PLANNER.

Um **sistema** é, portanto, dito **especialista** quando seu comportamento, ou decisões, imita o comportamento ou decisões de um especialista da área de atuação do sistema. Assim, um sistema especialista de diagnóstico em uma área médica baseia-se em conhecimento obtido de médicos da área. Esse sistema diagnosticará de acordo com o conhecimento que obteve dos médicos, imitando suas decisões.

Um sistema especialista é tipicamente escolhido como solução para problemas que um especialista humano poderia resolver. Geralmente, quanto mais complexo o problema a ser solucionado, mais técnicas de IA comporão o sistema especialista.

A diferença entre um **sistema algorítmico** e um sistema especialista é que o sistema algorítmico armazena limitado conhecimento em formato de código (por exemplo, pelo uso de comandos condicionais). Os sistemas especialistas, no entanto, utilizam uma base de conhecimento extraída de especialistas do domínio do problema a ser resolvido. Caso seja necessário aumentar o conhecimento do domínio para melhorar o desempenho do sistema, o sistema algorítmico necessitará de mudança em seu código. Já o sistema especialista precisará apenas aumentar sua base de conhecimento, raramente necessitando alterar seu motor de inferência na base de conhecimento.

Um SE pode ser utilizado em diversos cenários com o intuito de agilizar e uniformizar soluções em organizações. Podemos citar diversos cenários:

- Gerenciamento de decisões;
- Diagnóstico de problemas;
- Monitoramento e controle de processos;
- Seleção e classificação de opções.

Pode-se citar, também, diversas áreas funcionais em que um SE pode ser utilizado:

- Gestão financeira;
- Estratégias de marketing;
- Gerenciamento de materiais;
- Planejamento de recurso capital;
- Dentre outras.

4.2 Etapas do desenvolvimento de um Sistema Especialista (SE)

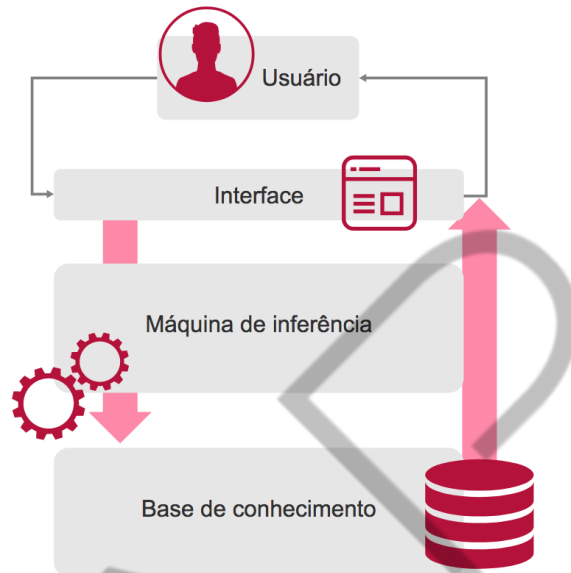


Figura 4.1. Arquitetura de um Sistema Especialista
Fonte: Google (2017)

A figura apresenta uma possível arquitetura para um SE. O usuário interage com o sistema através de uma interface, por meio da qual se possa obter respostas para problemas do domínio escolhido. A interface repassa as entradas fornecidas pelo usuário à máquina (ou motor) de inferência, que, por sua vez, busca na base de conhecimento a resposta mais provável para o questionamento do usuário.

A seguir, considere os passos para a construção de um SE:

Definição do problema: deve-se definir o “problema” a ser resolvido pelo SE. O escopo do problema deve ser formalizado, pois dificilmente um sistema especialista conseguirá tratar todo o domínio de um problema.

Imagine um sistema especialista da área médica, uma base de conhecimento que possibilite identificar todas as doenças conhecidas através de seus sintomas pode ser uma tarefa árdua, pois necessitaria de diversos especialistas para obtenção de conhecimento. Veja que há diversas especialidades médicas.

Aquisição do conhecimento: aqui, dada delimitação do problema (por exemplo, identificar doenças cardíacas, dados seus sintomas), um ou mais

especialistas do domínio deverão ser exaustivamente consultados para a montagem da base de conhecimento.

É importante que o construtor do SE tenha também algum conhecimento do problema, o que pode ser obtido em materiais de caráter introdutório ao assunto escolhido. Ter um conhecimento do domínio, possibilitará uma conversa mais informada com os peritos da área escolhida.

Representação do conhecimento: após a obtenção do conhecimento junto a especialistas, esse conhecimento deve ser adequado a uma representação do conhecimento. No capítulo anterior foram apresentados diversos formalismos para a representação do conhecimento, como a LPO (Lógica de Primeira Ordem) e Redes Semânticas. Esses formalismos possibilitam a criação de diversos motores de inferência, para tomada de decisão com base no conhecimento representado.

Um **engenheiro do conhecimento** é um profissional especialista em representar o conhecimento obtido dos especialistas em algum dos formalismos citados.

Codificação: nesse passo, basicamente, deve-se codificar o sistema que, utilizando a base de conhecimento em uma dada representação, atenderá a demandas do usuário do SE. Como outro sistema computacional, uma arquitetura modular e escalável deve ser adotada para que o sistema possa crescer sem modificações muito estruturais no código.

Avaliação do SE: após a construção do sistema, os especialistas do domínio, junto com os construtores do SE, devem verificar a consistência das respostas obtidas automaticamente. Geralmente, separa-se um conjunto do conhecimento obtido pelos especialistas para essa etapa. Esse conjunto de teste não deve estar presente na base de conhecimento do SE. Diversas medidas de avaliação podem ser utilizadas, como precisão (P), cobertura (C) e a medida-F (uma média harmônica entre P e C).

Detectando-se uma baixa performance do SE, a causa deve ser identificada. Pode ser devido ao conhecimento, que é insuficiente ou está armazenado de maneira inconsistente. Ou pode ser devido à máquina de inferência (codificação) que não é poderosa o suficiente para buscar o conhecimento necessário para a resposta esperada.

Manutenção: por fim, o sistema deve ser bem documentado e ter uma interface de fácil utilização para os usuários do sistema. Se a base de conhecimento possibilitar a dedução de novos conhecimentos, periodicamente, o sistema deve ser avaliado para verificar se o conhecimento aderido está correto.

4.3 O motor de inferência

É considerado o cérebro do SE, pois atua sobre a base de conhecimento (raciocina), em busca de uma resposta a uma questão do problema. Como visto nos capítulos anteriores, o motor de inferência pode utilizar uma abordagem de busca até encontrar uma resposta para o usuário, quando o conhecimento está armazenado em uma árvore de decisão, por exemplo.

O raciocínio pode ser feito de maneira progressiva ou regressiva. No raciocínio progressivo, à medida que o usuário vai fornecendo evidências do problema, o sistema vai desencadeando o processo de busca na base de conhecimento até encontrar uma resposta para o usuário.

Já no raciocínio regressivo, o SE escolhe, segundo alguma heurística, uma resposta/hipótese (que inclusive pode ser fornecida pelo usuário) ao problema e, numa busca reversa, verifica se a resposta é plausível, segundo o conhecimento armazenado na base de conhecimento.

Caso a representação do conhecimento tenha sido em Lógica de Primeira Ordem, o uso de uma linguagem como o Prolog traz recursos de inferência como **backtracking** (ou retrocesso) em cláusulas de LPO.

Para exemplificar o uso do **backtracking**, considere uma simples base de conhecimento em LPO que representa a compatibilidade entre modelos de baterias e determinados equipamentos eletrônicos:

Tabela 4.1. Base de conhecimento de compatibilidade entre baterias e dispositivos eletrônicos

1	Compatível(Bateria_58PX, Filmadora1)
2	Compatível(Bateria_58PX, Celular1)
3	Compatível(Bateria_98UX, Celular1)
4	Compatível(Bateria_765, Notebook1)
5	Compatível(Bateria_58PX, Celular2)
6	Compatível(Bateria_123, Celular3)

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Agora imagine que se deseja saber se há algum dispositivo eletrônico compatível com dois tipos de bateria: “Bateria_58PX” e “Bateria_98UX”. Para isso realiza-se uma pergunta, no seguinte formato:

Compatível(Bateria_58PX, Y), Compatível(Bateria_98UX, Y)

A primeira cláusula da pergunta é instanciada com o conhecimento da linha 1 e $Y = \text{Filmadora1}$. Agora, deve-se procurar pela segunda cláusula com o valor de Y instanciado, ou seja, *Compatível (Bateria_98UX, Filmadora1)*. Essa busca não retorna valor. Nesse ponto ocorre o **backtracking**, em que se retorna ao momento em que Y foi instanciado como “Filmadora1” e desfaz essa operação.

Agora, a primeira cláusula é instanciada com o conhecimento da linha 2 e $Y = \text{Celular1}$. Agora, procura-se por *Compatível (Bateria_98UX, Celular1)* e obtém-se sucesso com o conhecimento da linha3. Assim, conclui-se que os dois modelos de bateria são compatíveis com o dispositivo “Celular1”.

Embora pareça trivial, o *backtracking* resolve problemas de busca em LPO sem que o programador tenha que codificar a busca. No entanto, em bases de conhecimento muito grandes, esse procedimento pode levar a uma explosão combinatória, pois é um procedimento inerentemente combinatório.

4.4 Formas de interação com o SE

Um sistema especialista pode ter diversas formas de interagir com o usuário, como uma interface gráfica que contém diversos elementos de escolha (formulários) para o usuário dar evidências ou sintomas, por exemplo, e obter uma resposta.

A forma mais intuitiva é o uso da linguagem natural, por meio de um diálogo. Nesse caso, o SE deve ter um bom módulo de PLN (Processamento da Linguagem Natural) para interpretar o texto do usuário e mapear o que é dito para o conhecimento armazenado na base de conhecimento.

Considerando o exemplo apresentado anteriormente (*backtracking*), um usuário poderia utilizar a seguinte entrada em linguagem natural:

“Existe algum dispositivo que seja compatível com as baterias ‘Bateria_58PX’ e ‘Bateria_98UX’?”

Cabe ao módulo de interpretação textual converter a entrada nas cláusulas *Compatível(Bateria_58PX, Y)*, *Compatível(Bateria_98UX, Y)* e retornar o valor de Y para o usuário.

4.5 Tomada de decisão

Um sistema especialista deve imitar um especialista da área em que vai atuar. Portanto, dada uma entrada ao sistema, seja por texto, voz ou imagens, ele deve **tomar a decisão** que melhor representa a decisão do especialista. Em um cenário real, um especialista ficará com certa incerteza com relação a qual decisão tomar e optará pela mais provável, isto é, optará pela decisão com maior **probabilidade** de acerto.

Levando em conta as possíveis decisões que um sistema pode tomar e suas probabilidades, tem-se um formalismo chamado de **redes de decisão** (ou diagramas de influência) muito útil à construção de sistemas especialistas.

As redes de decisão são um mecanismo geral para tomadas de decisão racional. Essas redes basicamente representam o estado atual do agente, suas ações

possíveis a partir do estado atual e o estado que resultará da escolha de uma ação e o ganho obtido dessa escolha.

4.6 Exemplos de Sistemas Especialistas

Além dos exemplos citados no início deste capítulo (DENDRAL, MYCIN e R1), veja mais um exemplo de SE, descrito a seguir.

4.6.1 REC_ESP

É fácil encontrar um problema que pode ser resolvido com um SE. Por exemplo, quando alguém liga para um *helpdesk*, para resolver um problema encontrado numa ferramenta ou serviço, como um serviço de conexão com a internet, o atendente, geralmente, segue um roteiro de perguntas. Após grande número de atendimentos, os atendentes poderiam ser consultados com o intuito de extrair esse “roteiro” do atendimento e gerar um SE.

Obviamente, no exemplo anterior, podem surgir problemas de clientes que não serão resolvidos diretamente pelo SE, mas boa parte dos problemas será! No caso de um problema que o SE não encontre solução, um atendente pode ser acionado e, nesse caso, o conhecimento do SE deve ser aumentado com novas regras para, numa próxima ligação ter maior poder de resolução.

Bronaut *et al.* (2007) apresentam o REC_ESP, um SE desenvolvido para a retomada do sistema de elétricos de potência do estado do Mato Grosso do Sul. Feito em conjunto entre a ENERSUL e a UFMS, o REC_ESP tem seu conhecimento extraído de um manual de operações da ENERSUL e do conhecimento dos operadores do sistema elétrico.

A base de conhecimento do REC_ESP consiste de um conjunto de regras que levam a sugestões sistêmicas, a partir de verificações de variáveis em pontos estratégicos do sistema elétrico (como tensão, patamar de carga, etc.). Um exemplo de regra, que apresenta uma sugestão, a partir da tensão é descrito a seguir:

Se Tensão na barra A maior que 145 kV

Então, tem-se Tensão elevada, o Disjuntor 01 não pode ser fechado

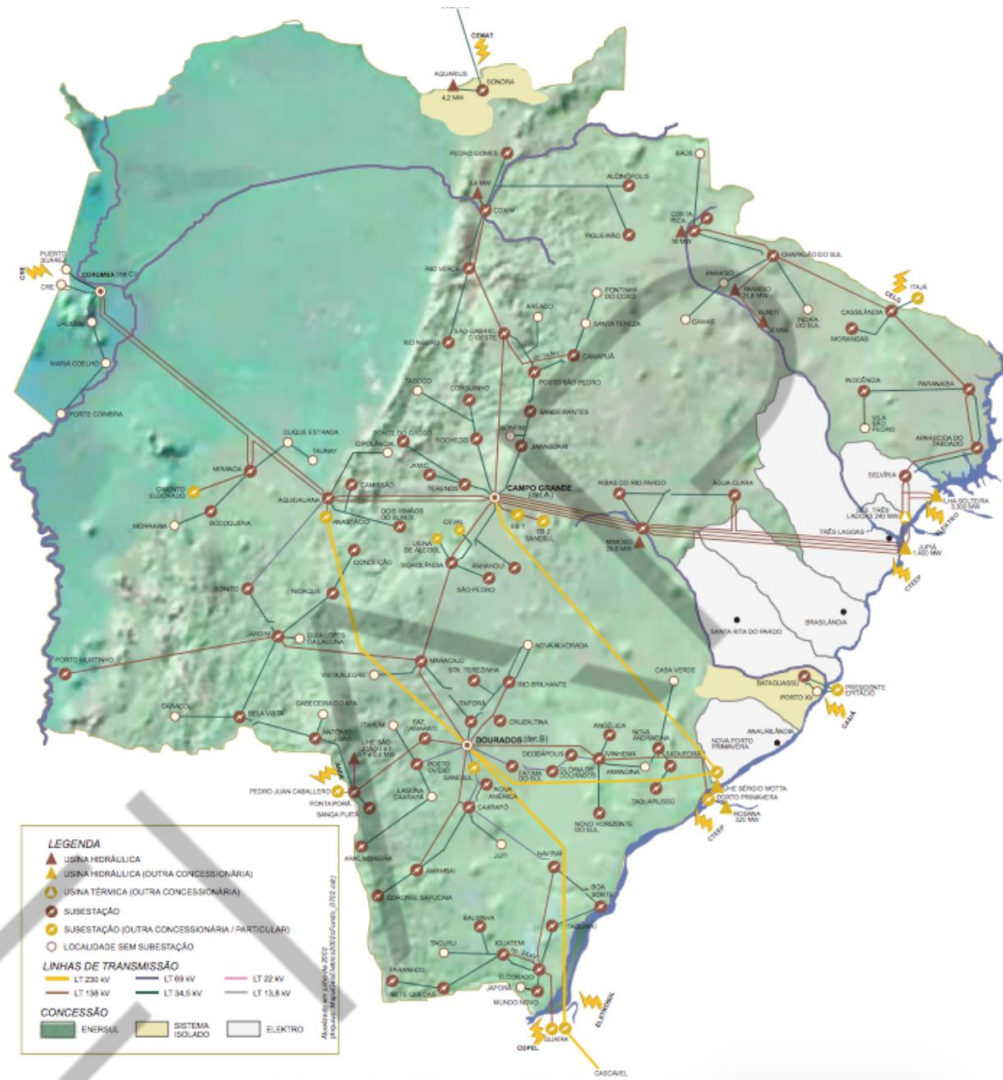


Figura 4.2. Linhas de transmissão entre usinas e estações de distribuição de energia de MS
Fonte: Bronaut *et al.* (2007)

Como o objetivo do SE é restabelecer as linhas de transmissão de energia mais prioritárias para o estado do MS, ele tem um sistema de busca (inferência) que analisa os caminhos entre as estações centrais e estações de borda, escolhendo as linhas mais prioritárias.

A interface do REC_ESP com os usuários é feita pela apresentação do diagrama do sistema elétrico, e os passos para a recomposição do sistema são feitos depois de priorizadas as linhas de transmissão. A figura apresenta um exemplo de

interface entre o sistema e os usuários do SE, em que se tem o diagrama da rede elétrica ao fundo e orientação para o restabelecimento da energia.



Figura 4.3. Exemplo de interface do REC_ESP com usuário do sistema especialista
Fonte: Figura extraída de Bronaut *et al.* (2007)

É interessante que o REC_ESP não serve apenas para guiar os operadores no restabelecimento do sistema de eletricidade, mas também é utilizado para treinar novos operadores antes de ocorrer problemas na rede elétrica.

4.7 Vantagens e limitações de um SE

A grande vantagem de um SE é que ele armazena conhecimento de um ou mais especialistas e o torna disponível para uma grande quantidade de usuários. Um motor de inferência atuando nesse conhecimento agiliza o procedimento de um usuário que não demandará a assimilação das regras armazenadas, levando a uma rápida atuação no problema.

As pessoas não são eternas e, em determinados segmentos profissionais, elas mudam constantemente de empresa, levando consigo seu conhecimento profissional e do negócio. As bases de conhecimento de SE permitem que boa parte do conhecimento dos profissionais seja “perpetuado” e fique disponível para futuros profissionais.

O SE, além de seu uso em situações reais, pode ser utilizado para treinamento de nossos operadores da área de conhecimento do SE.

Além das vantagens de um SE, vale a pena considerar cenários em que sua atuação nem sempre é possível. Um SE é útil em problemas de domínio bem delimitado com disponibilidade de especialistas, dos quais se possa extrair e construir uma base de conhecimento.

Em alguns problemas, no entanto, a extração do conhecimento de especialistas não é uma tarefa trivial, além do que se dispõe de uma grande quantidade de informações já tratadas pelos especialistas. Nesses casos, outras técnicas da IA podem ser aplicadas com maior agilidade e resultados satisfatórios.

Essas técnicas consistem na aplicação de algoritmos que identificam padrões nas informações e geram modelos que resolvem outros problemas baseados nos dados de entrada do sistema, “imitando” implicitamente o comportamento dos especialistas que tratam as informações. Esses métodos serão apresentados no próximo capítulo sob o tema de Aprendizagem de Máquina.

REFERÊNCIAS

BRONAUT, A.; PINTO, J. O. P.; COLLAZOS, L. K.; LEITE, L. C.; GALOTTO JR., L.; GONÇALVES, A. M. M.; SANTINI JR., L. C.; OLIVEIRA, L. L.; RENNÓ, M. A. G.; SANTOS, N. M. S. **Sistema Especialista para Auxílio na Tomada de Decisões para Recomposição em Tempo Real**. Anais do IV Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. Minas Gerais. 2007.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

WATERMAN, D. A. **A Guide to Expert Systems**. Addison-Wesley, 1986.

GLOSSÁRIO

Espectrômetro de massa	Ferramenta de análise física que identifica moléculas por medição da massa e da caracterização da estrutura química.
Programação lógica	Técnica de desenvolvimento de algoritmos baseada em lógica matemática.
Árvore de decisão	É uma representação gráfica de uma tabela de decisão. Permite avaliar problemas por meio de decisões sequenciais, até chegar a uma solução.
Explosão combinatória	Condição inerente a alguns problemas matemáticos, nos quais um pequeno aumento do tamanho do problema pode levar a um imenso aumento do tempo ou espaço necessário para obtenção da resposta.
Helpdesk	Termo em Inglês que significa literalmente “balcão de ajuda”. É um serviço de atendimento ao cliente, que busca solução de problemas e dúvidas.