

# Sistemas Especialistas Aplicados à Engenharia



EAILAB



**Expert Systems in  
Artificial Intelligence**



# Sistemas Especialistas Aplicados à Engenharia

## Introdução à Sistema Especialista



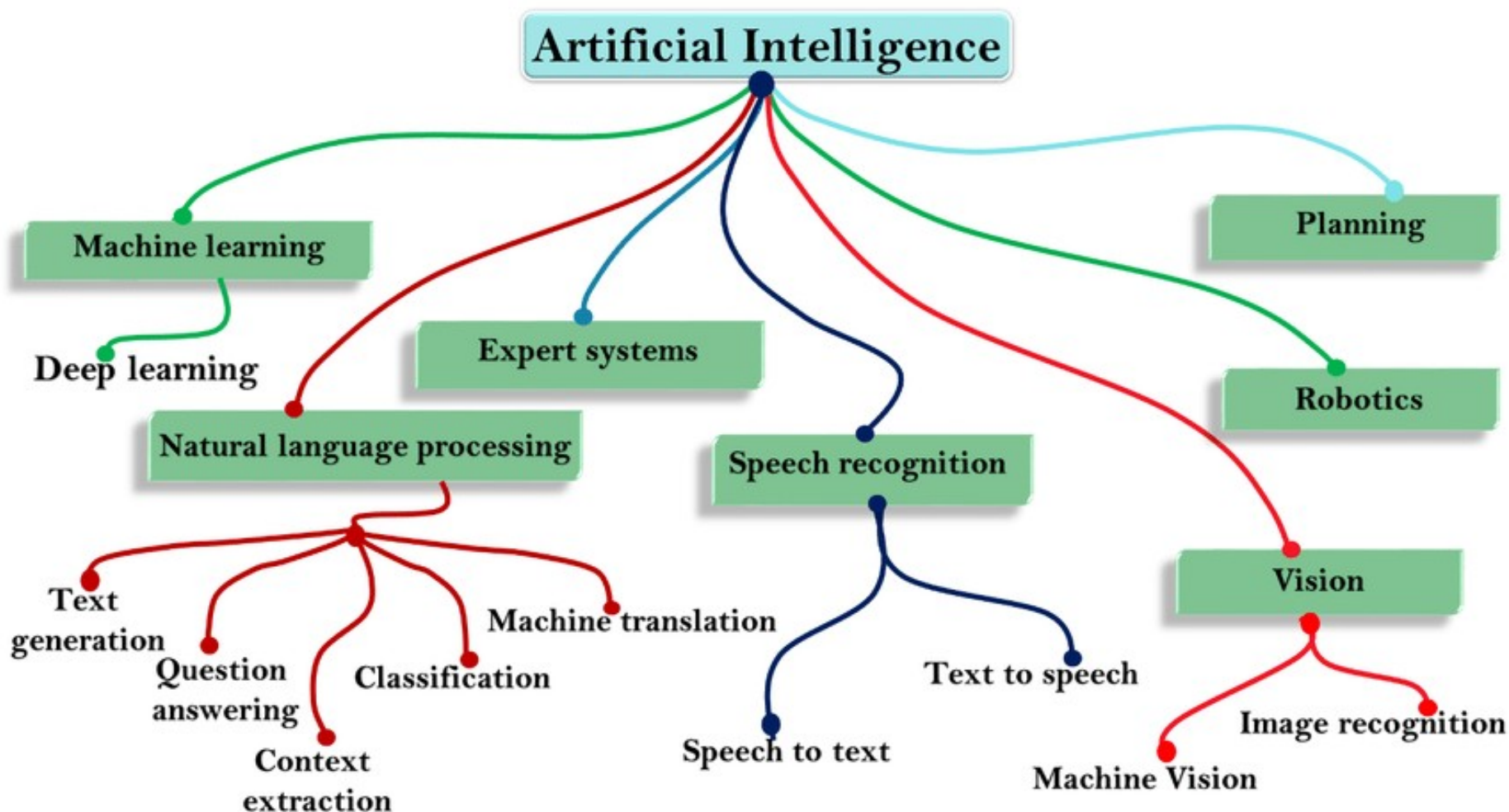
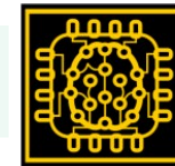
# *Mini-curriculo do Professor*

- Pós-doutorado em Ciências (Sistemas Eletrônicos) pela POLI/USP (2023)
- Doutor em Ciências (Sistemas Eletrônicos) pela POLI/USP (2021)
- Mestre em Engenharia Mecânica pela UNISANTA (2017).
- Tutoria EAD pela FGV (2004) e Docência Nível Superior pela FGV (2002).
- MBA Em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas RJ (2001), com extensão de MBA na Universidade da Califórnia – Campus Irvine (2001).
- Professor Licenciado para ensino de nível segundo grau pelo CEFET – Paraná (1995).
- Engenheiro Eletrônico pela UNISANTA (1991).
- Professor Titular EBTT (2022) da IFSP Cubatão desde 1992. Professor da UNISANTOS (2003 - 2015) e FORTEC (1990 - 1992).
- Pesquisador do EAILab e dos grupos de pesquisa Labmax e AutomSystem do IFSP.
- É colaborador e possui tutoriais publicados no Site Teleco ([www.teleco.com.br](http://www.teleco.com.br)), desde 2011.
- Obteve Certificações Cisco Business Transformation (2015), PMI (2012), Wireless CWNA, Cisco CCNA & CCNP de Router & Switches (2011).
- Inglês e Espanhol fluentes. Noções de Frances.
- Atuou profissionalmente em todo o Brasil, EUA, Inglaterra, França, Romênia, China e toda LATAM.
- Possui cursos de Fibras Óticas, Microcontroladores, Redes Wireless, Cisco (CCNA, QoS, VoIP), Gerenciamento de Projetos, entre outros.
- Atuou em empresas como Medidata, Cisco, Alcatel-Lucent (Nokia), MSI (hoje Menthum), Evadin, TV Tribuna (Afiliada Rede Globo), ocupando cargos Técnicos, de Consultoria e Gerencia.

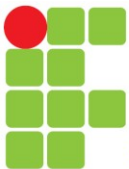




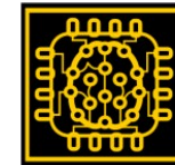
# Subcampos da Inteligência Artificial



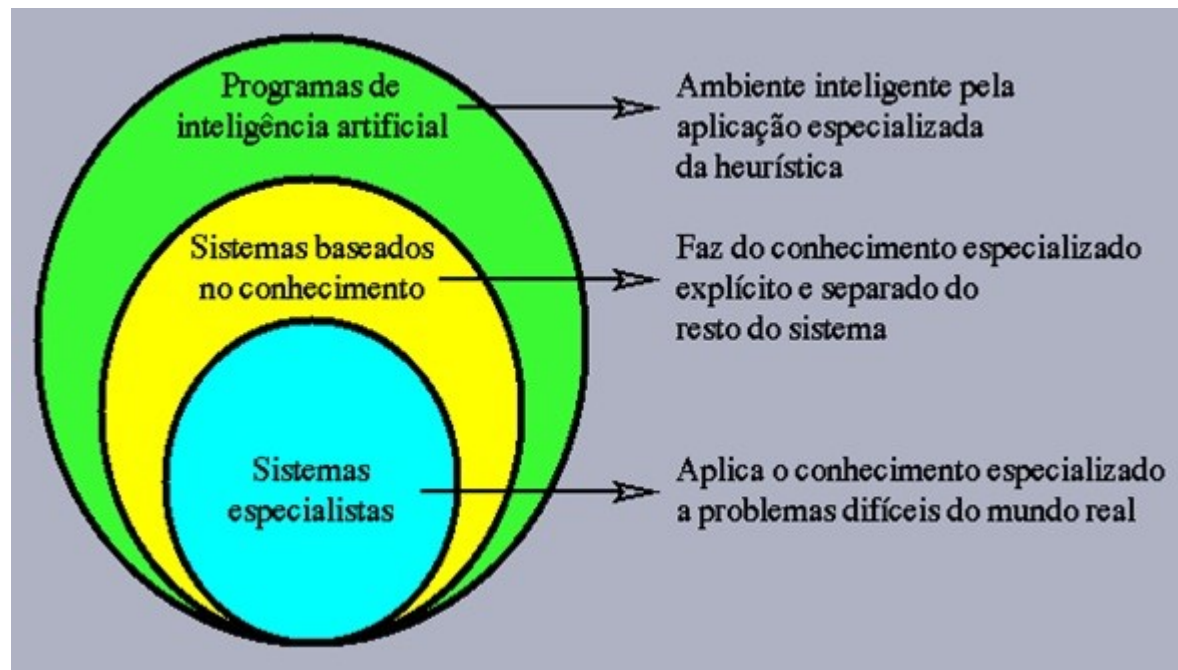
<https://eailab.labmax.org/2024/04/03/redes-neurais-artificiais-algoritmos-poderosos-para-aplicacoes-de-ia-e-ml/>



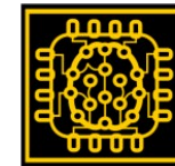
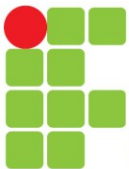
# Sistema Especialista



- Sistema computacional que emula a estratégia de resolução de problemas de um especialista humano.
- Subdivisão da IA, desenvolvido da necessidade de se processar informações não numéricas.
- Não possui a capacidade cognitiva de um especialista humano, mas em sua ausência, constitui-se em uma **importante ferramenta** para resolução de problemas.

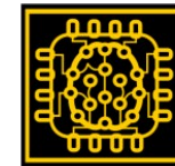
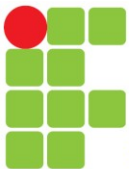


<https://computacao-sal.blogspot.com/2012/07/sistema-especialista-se-nara-suely.html>



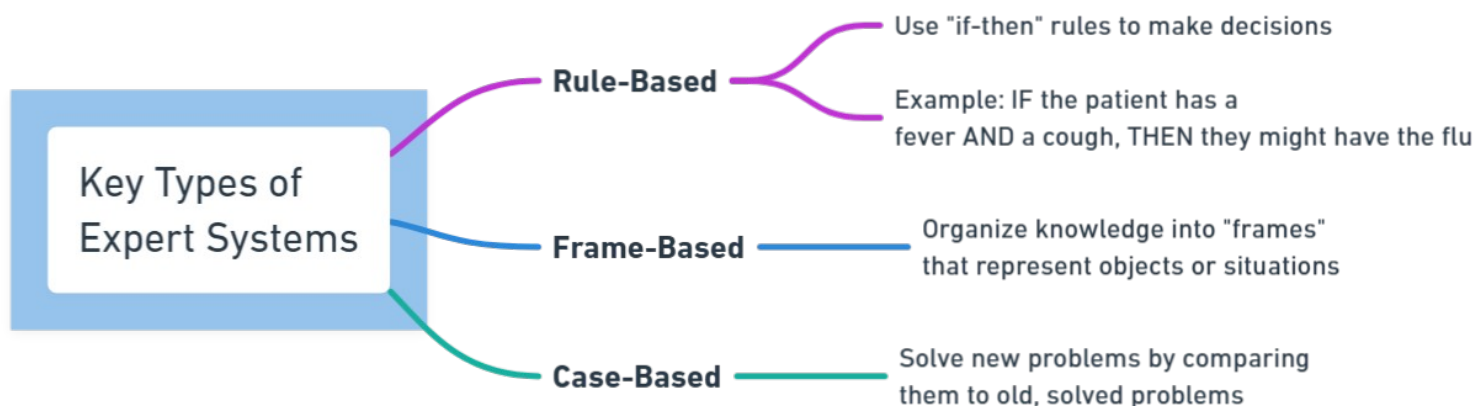
## **Sistema Especialista**

- Um SE é desenvolvido a partir da necessidade de se processar informações não numéricas, sendo capaz de apresentar conclusões sobre um determinado tema, desde que devidamente orientado e "alimentado".
- Um SE é baseado no conhecimento especialmente projetado para emular a especialização humana de algum domínio específico.
- Um SE possuirá uma base de conhecimento formada de fatos e regras sobre o domínio, tal como um especialista humano faria, e deve ser capaz de oferecer sugestões e conselhos aos usuários.

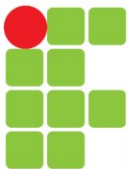


## Tipos de Sistemas Especialistas

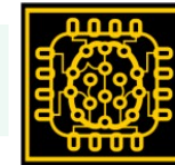
- **Baseados em Regras (rules):** usa regras “if-then” para tomar decisões. Exemplo: se o paciente tiver febre e tosse, poderá ter gripe.
- **Baseados em Quadros (frames):** organiza o conhecimento em "quadros" que representam objetos ou situações.
- **Baseados em Casos (cases):** resolve novos problemas comparando-os a problemas antigos e resolvidos.



<https://www.intellspot.com/expert-systems-examples/>

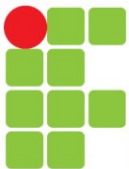


# Definições de Sistema Especialista

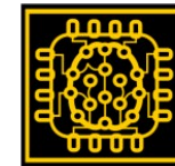


- **Sistema:** "Conjunto de elementos, materiais ou ideais, entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação"
- **Especialista:** "Pessoa que se consagra com particular interesse a certo estudo."
- **Sistema Especialista (*Expert System*):**
  - O SE emula a capacidade de **tomada de decisão** (*decision making system* - DMS) de um especialista humano.
  - São projetados para resolver problemas complexos através do **raciocínio** utilizando corpos de conhecimento, representados principalmente como **regras** se-então (*if-then*), em vez de através de código processual convencional.
  - São constituídos por uma **série de regras** que analisam informações sobre uma classe específica de problema.
  - Os primeiros sistemas especialistas foram criados na década de 1970 e depois proliferaram na década de 1980.
  - Os SEs estão entre as primeiras aplicações bem-sucedidas de software de IA.





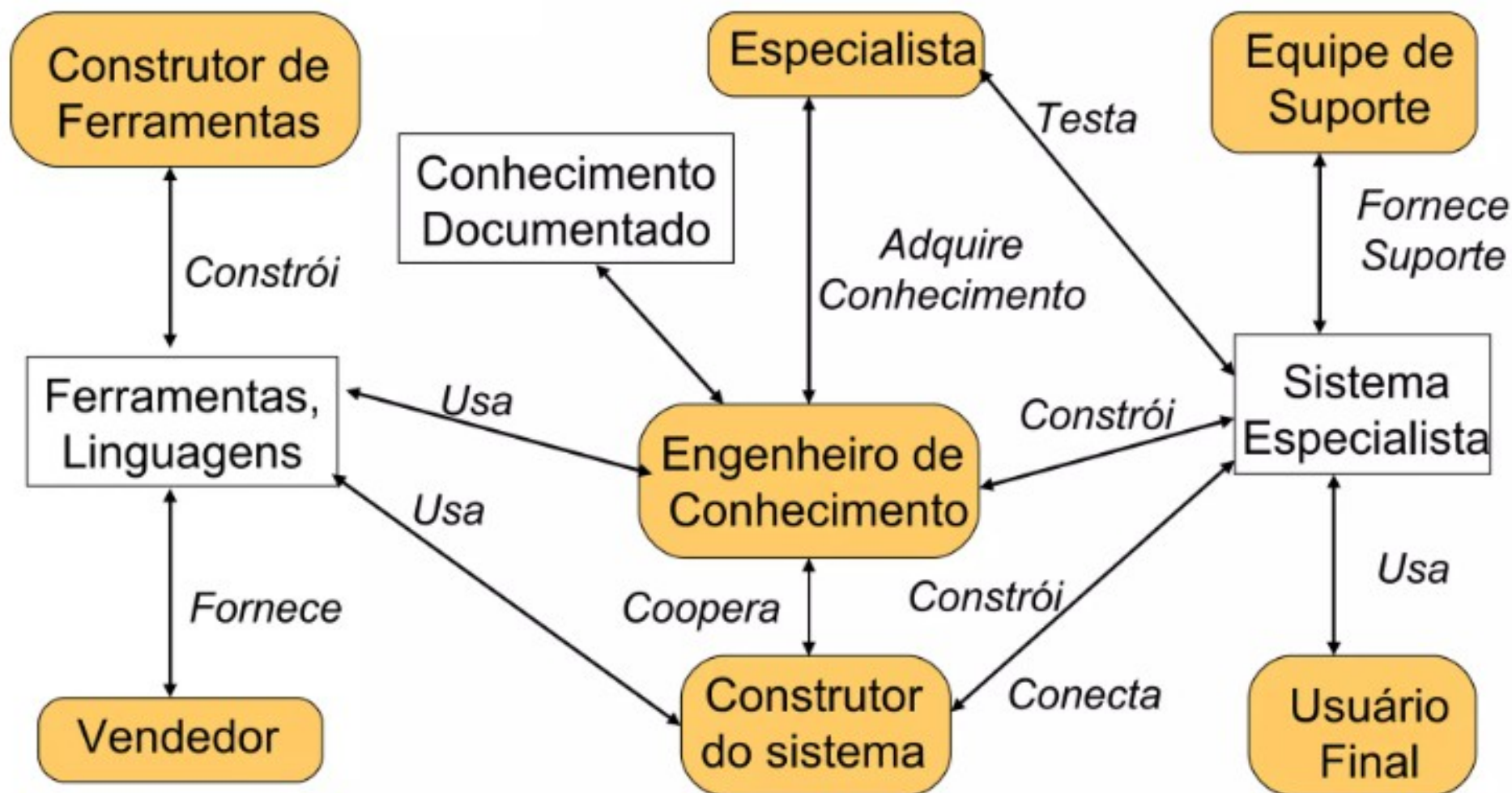
# Comparação Entre SE e IA



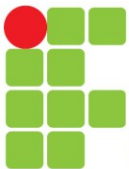
## Sistemas Especialistas e Outros Tipos de IAs

Característica	Sistema Especialista	Machine Learning (ML)
Fonte do conhecimento	Especialista humano	Dados
Método de aprendizagem	Regras explicitamente programadas	Aprendizagem à partir dos dados
Explicação	Pode explicar razoavelmente	Geralmente é uma “caixa preta”
Melhor usado para	Problemas bem definidos	Reconhecimento de padrões, previsões

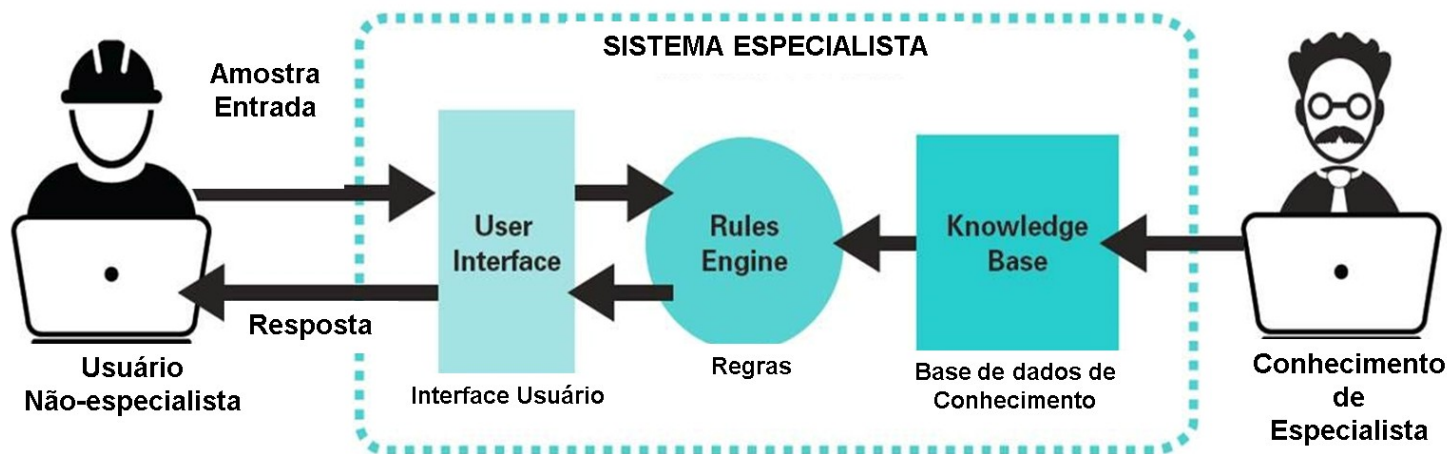
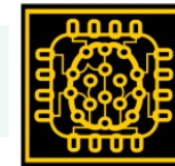
<https://www.intellspot.com/expert-systems-examples/>



<https://engcarolinesousa.blogspot.com/2014/05/sistema-especialista.html>



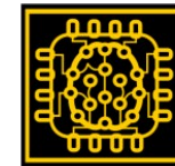
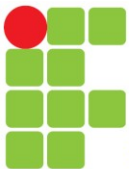
# Arquitetura de Sistema Especialista



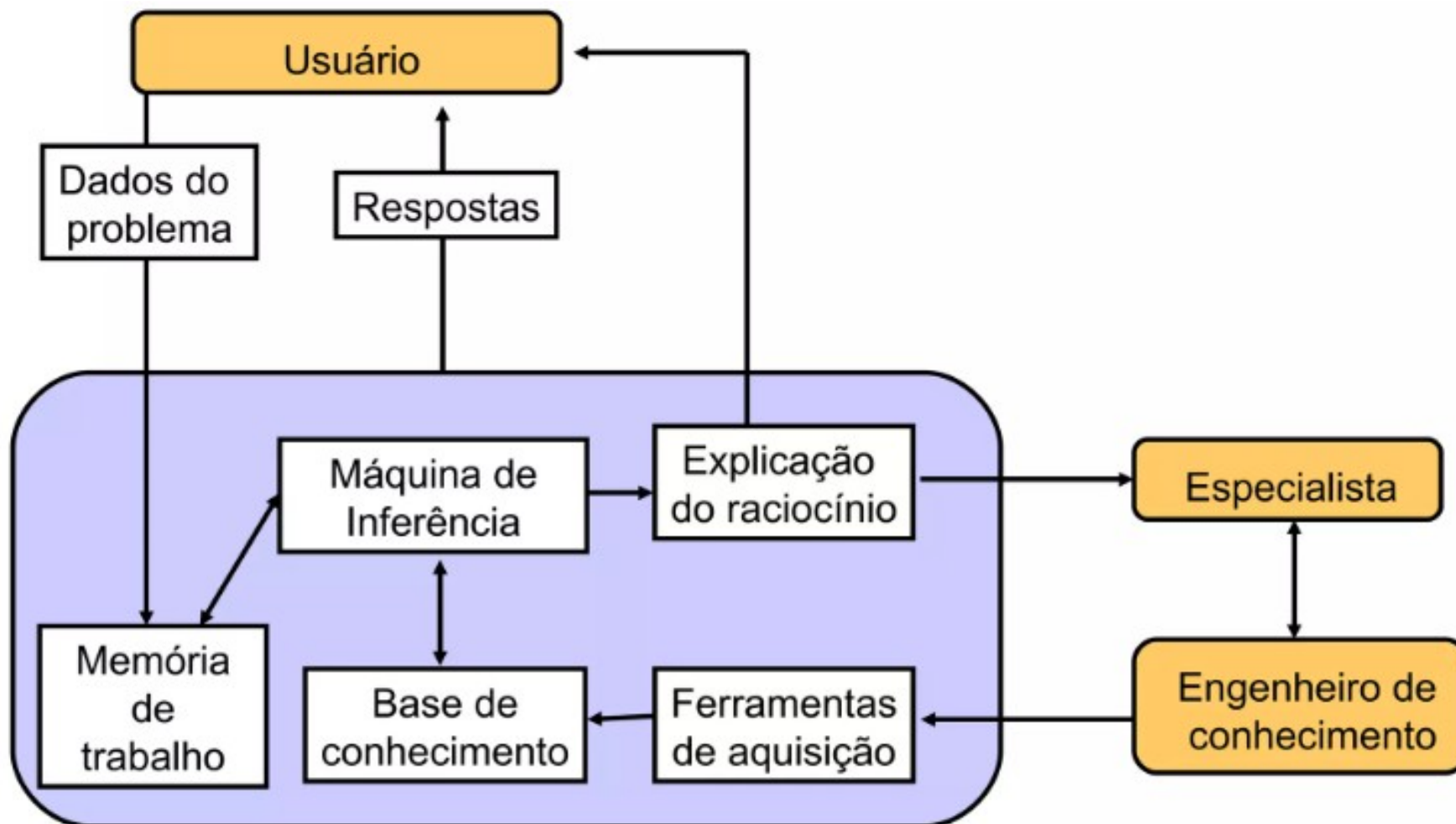
Resposta = Recomendação do Sistema Especialista

## Problemas Solucionados por SE

- São do tipo que seria atendido por um especialista humano.
- Especialistas reais **devem fornecer regras** gerais indicando como analisariam o problema.
- A partir da análise de casos e dados de teste, analistas, com o auxílio do especialista, podem ainda derivar regras para o SE.

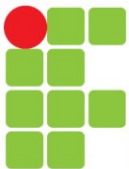


## Arquitetura de Um Sistema Especialista Baseado em Regras

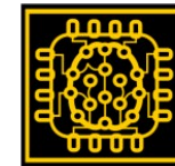


<https://engcarolinesousa.blogspot.com/2014/05/sistema-especialista.html>





# Classes de Problemas de SEs



## Classes de Problemas

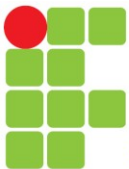
O problema pode ser decomposto em um conjunto de subproblemas independentes, menores e mais fáceis?

- Decomponíveis;
- Não decomponíveis.

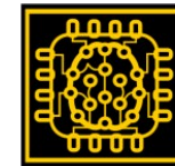
Certos passos em direção à solução podem ser ignorados ou pelo menos desfeitos caso fique provado que são imprudentes?

- **Ignoráveis:** as etapas para a solução podem ser ignoradas. Ex.: demonstração de teoremas;
- **Recuperáveis:** as etapas para a solução podem ser desfeitas. Ex.: quebra-cabeça de 8;
- **Irrecuperáveis:** as etapas para a solução não podem ser desfeitas. Ex.: xadrez.

7	2	4		1	2
5		6	3	4	5
8	3	1	6	7	8

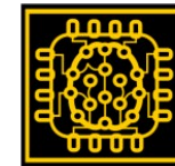
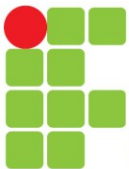


# *Classes de problemas em SEs*



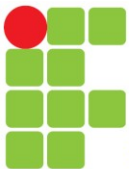
A recuperabilidade de um problema tem papel importante na determinação da complexidade da estrutura de controle necessária para a solução do problema.

- **Ignoráveis:** estrutura de controle simples que nunca retrocede;
- **Recuperáveis:** estrutura de controle ligeiramente mais complicada (utilizará o retrocesso com uma estrutura de pilha na qual as decisões de pilha na qual as decisões são gravadas se precisarem ser desfeitas mais tarde), que às vezes comete erros;
- **Irrecuperáveis:** sistema que depende muito esforço para tomar decisões (sistema de planejamento no qual toda uma sequencia de passos é analisada de antemão, para descobrir onde levará, antes do primeiro passo ser realmente tomado), já que são definitivas.

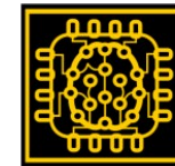


## O universo do problema é previsível?

- **Resultado certo:** pode-se usar planejamento para gerar uma sequência de operadores que certamente levará a uma solução.
  - Exemplo: quebra-cabeça de 8;
- **Resultado incerto:** pode-se usar planejamento para, na melhor das hipóteses, gerar uma sequência de operadores com boas chances de levar a uma solução.
  - Exemplo: bridge, truco, canastra.
  - Para solucionar problemas desse tipo é necessário permitir que um processo de revisão de planos ocorra durante a execução do plano e que seja fornecida a realimentação necessária.



# *Tipos de Solução em SEs*

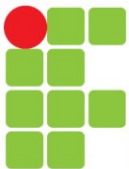


## Tipos de Solução?

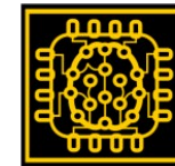
Uma boa solução para o problema pode ser considerada óbvia sem haver comparação com todas as soluções possíveis?

- **Aceitam qualquer caminho:** podem ser solucionados em tempo razoável através do uso de heurísticas que sugerem bons caminhos a serem explorados.
- **Só aceitam o melhor caminho:** não existe a possibilidade de usarmos qualquer heurística que possa prever a melhor solução, portanto, será realizada uma busca mais exaustiva.
  - Exemplo: problema do Caixeiro Viajante.





# *Tipos de Solução em SEs*



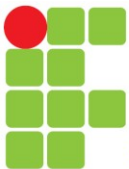
## Tipos de Solução?

A solução desejada é um estado do mundo ou um caminho pra um estado?

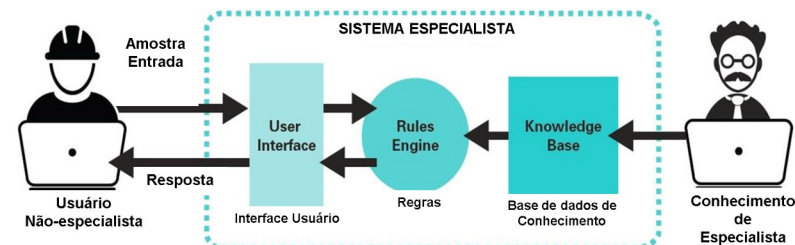
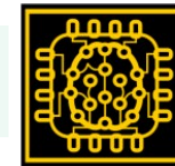
- A solução é um **estado** do mundo.
  - Exemplo: a compreensão da linguagem natural.
- A solução é um **caminho** para um estado.
  - Exemplo: o problema das jarras d'água.

Há necessidade absoluta de grande quantidade de conhecimento para resolver o problema, ou o conhecimento é importante apenas para limitar a busca?

- Muito conhecimento é importante apenas para restringir a busca. Ex.: xadrez.
- Muito conhecimento é necessário até mesmo para que se possa reconhecer uma solução.
  - Ex.: folhar jornais diários para decidir qual deles apoia o governo e qual apoia a oposição nas próximas eleições.

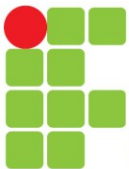


# Inferência em Sistema Especialista

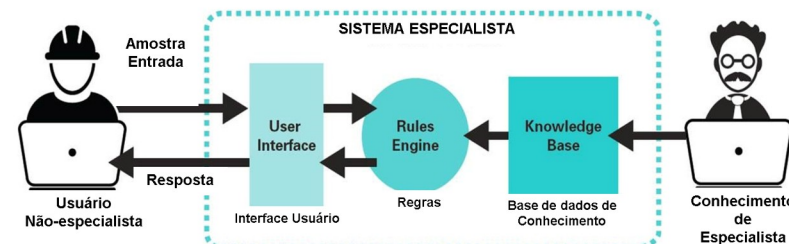
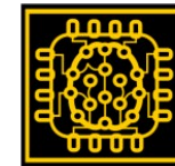


## Motor de Inferência?

- Elemento essencial para a existência de um sistema especialista.
- É o núcleo do sistema.
- É por intermédio dele que os fatos e regras e heurística que compõem a base de conhecimento são aplicados no processo de resolução do problema.
- A capacidade do motor de inferência é baseada em uma combinação de procedimentos de raciocínios que se processam de forma **regressiva** e **progressiva**.

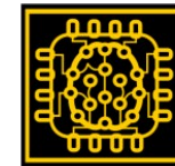
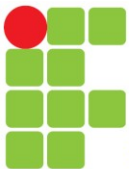


# Base de Conhecimento de SE



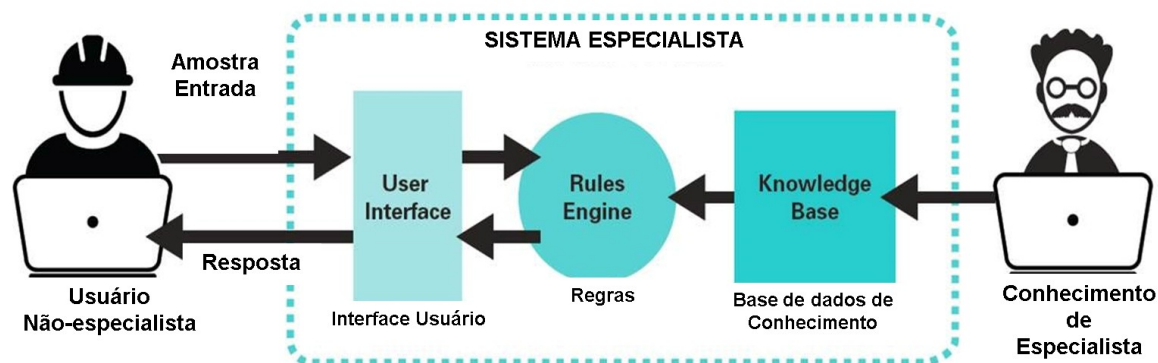
## Base de Conhecimento?

- Consiste da integração de sub-bases de conhecimento constituídas pelas regras que reflipam o conhecimento, as necessidades de informações, etc.
- Exemplo:
  - Uma empresa tem as bases de conhecimento de publicidade, setor de pessoal, setor de vendas, contabilidade, etc.
  - De cada área específica da organização pode ser extraída uma sub-base de conhecimento, que, integradas, compõem a base de regras dos especialistas da empresa.

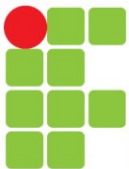


## Passos para o desenvolvimento de um SE?

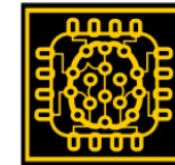
1. Seleção do Problema. O primeiro passo é selecionar o "problema".
2. Aquisição de Conhecimento.
3. Representação do Conhecimento.
4. Codificação de Conhecimento.
5. Teste de conhecimento e avaliação.
6. Implementação e Manutenção.







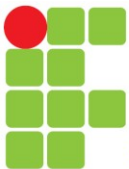
# *Vantagens de um SE*



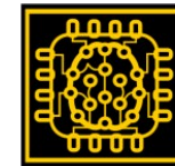
- Um SE é capaz de estender as facilidades de tomada de decisão para muitas pessoas.
- Um SE pode melhorar a produtividade e desempenho dos usuários, pois o provê com um vasto conhecimento, permitindo utilizá-lo em suas tomadas de decisão;
- Ses reduzem o grau de dependência em relação ao especialista humano.
- Ses são ferramentas adequadas para serem utilizadas em treinamentos de grupos de pessoas, de forma rápida e agradável, além de prestar suporte imediato para os treinamentos durante a utilização dos conhecimentos na realização de suas tarefas diárias.

## **Exemplo de Sistema Especialista:**

<https://www.youtube.com/watch?v=qGiQed6Cwqs>



# Exemplos de Aplicação de SEs



## HEALTHCARE



- Diagnosis Support – Suggests possible diseases (e.g., Isabel)
- Treatment Planning – Recommends care steps (e.g., Oncotype DX)
- Drug Safety – Checks for interactions
- Remote Monitoring – Tracks patient vitals from home

## FINANCE



- Loan Approval – Evaluates credit info
- Fraud Detection – Flags suspicious activity (e.g., NICE Actimize)
- Investment Advice – Builds portfolios (e.g., Betterment)
- Auto Trading – Executes trades by rules

## MANUFACTURING



- Process Control – Optimizes factory settings
- Fault Diagnosis – Detects equipment issues
- Production Planning – Schedules efficiently
- Robot Guidance – Automates precision work

## EDUCATION



- Smart Tutors – Adapts lessons (e.g., ALEKS)
- Custom Learning – Suggests courses (e.g., Coursera)
- Essay Grading – Scores writing (e.g., ETS e-rater)

## CUSTOMER SERVICE



- Chatbots – Answers FAQs 24/7
- Virtual Assistants – Completes tasks (e.g., Alexa)
- Auto Support – Guides troubleshooting

## AGRICULTURE



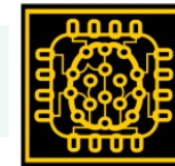
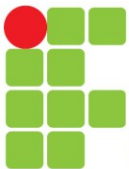
- Crop Care – Gives farming tips (e.g., John Deere tools)
- Pest Forecasting – Predicts outbreaks
- Precision Farming – Uses data for better yields

## ENGINEERING



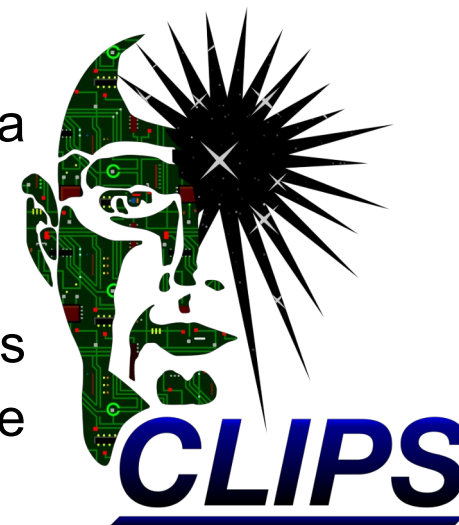
- Design Help – Suggests safe structures
- Simulation – Tests under stress (e.g., ANSYS)
- CAD/CAM – From model to machine

<https://www.intellspot.com/expert-systems-examples/>



## C-Language Integrated Production System (CLIP)

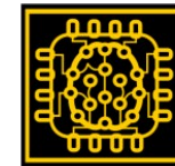
- Desenvolvido no Johnson Space Center da NASA de 1985 a 1996;
- É uma linguagem de programação baseada em regras;
- Útil para criar sistemas especializados e outros programas em que uma solução heurística é mais fácil de implementar e manter do que uma solução algorítmica.
- Escrito em C para portabilidade, CLIPS pode ser instalados e usado em uma ampla variedade de plataformas.
- Desde 1996, o CLIPS está disponível como software de domínio público.



<https://www.clipsrules.net/>



# Referências



- KERSCHBAUMER, R. Sistemas Especialistas. Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna (IFC). Disponível em: <https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/3-Sistemas-Especialistas.pdf>. Acessado em Maio 9, 2024.
- LUCAS, P. J . F., VAN DER GAAG, L. Principles of Expert Systems. Centre for Mathematics and Computer Science, Amsterdam, Addison-Wesley, 1991. Disponível em: <https://cs.ru.nl/~peterl/proe.pdf>. Acessado em Maio 9, 2024.
- SAIBENE, A.; ASSALE, M.; GILTRI, Marta. ert systems: Definitions, advantages and issues in medical field applications. Expert Systems with Applications, v. 177, p. 114900, 2021.
- DE BARCELOS SILVA, A. *et al.* Intelligent personal assistants: A systematic literature review. Expert Systems with Applications, v. 147, p. 113193, 2020.
- YANG, X.; ZHU, C. Industrial Expert Systems Review: A Comprehensive Analysis of Typical Applications, in IEEE Access, vol. 12, pp. 88558-88584, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3419047.
- KRISHNAMOORTHY, C. S.; RAJEEV, S. Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers, CRC Press, CRC Press LLC, 1996. ISBN: 0849391253.
- GIARRATANO, J. C.; RILEY, G. D. Expert Systems – Principles and Programming, Thomson Course Technology, Australia, 4º ed, 2005. Disponível online em: <https://archive.org/details/expertsystems/pri4thegiar/mode/2up>. Acesso em Março 31, 2025.