Formação Inteligência Artificial

Data Science Academy

Introdução à Inteligência Artificial

Tomada de Decisão

Introdução

Teoria da decisão = teoria da probabilidade + teoria da utilidade

Princípio de **Utilidade Máxima Esperada** (UME)

Data Science Academy

Introdução

função AGENTE-TD(*percepção*) **retorna** uma *ação*
variáveis estáticas: *estado_de_crença*, crenças probabilísticas sobre o estado atual do mundo
ação, a ação do agente

atualizar *estado_de_crença* com base em *ação* e *percepção*
calcular probabilidades de resultados de ações,
dadas descrições de ações e o *estado_de_crença* atual
selecionar *ação* com utilidade esperada mais alta
dadas as probabilidades de resultados e informações de utilidade
retornar *ação*

Data Science Academy

Teoria da Decisão

Teoria da Decisão

Utilizamos a notação RESULTADO(s0, a) para o estado que é o resultado determinístico de tomar a ação a no estado s0 e neste caso estamos considerando ambientes não determinísticos parcialmente observáveis.

RESULTADO (s0, a)

Estado

Ação

Data Science Academy

Teoria da Decisão

RESULTADO (a) = s′ | a, e

Data Science Academy

Teoria da Decisão

A probabilidade do resultado s′, dadas as observações de evidências:

P(RESULTADO (a) = s′ | a, e)

onde o a no lado direito da barra significa o evento em que a ação a é executada.

Teoria da Decisão

As preferências dos agentes são aprendidas por uma função utilidade, U(s), que atribui um único número utilidade para expressar a conveniência de um estado. A utilidade esperada de uma ação, dada a evidência, UE(a | e), é apenas o valor da utilidade média ponderada dos resultados, pela probabilidade que o resultado ocorra:

$$UE(a|\mathbf{e}) = \sum_{s'} P(\text{RESULTADO}(a) = s' \mid a, \mathbf{e})\, U(s')$$

Data Science Academy

Teoria da Decisão

O princípio da utilidade máxima esperada (UME) diz que um agente racional deve escolher a ação que maximize a utilidade esperada do agente:

$$ação = \underset{a}{\operatorname{argmax}}\, UE(a \mid \mathbf{e})$$

Data Science Academy

Teoria da Decisão

O cálculo P(RESULTADO (a) | a, e) requer um modelo causal completo do mundo

Data Science Academy

Teoria da Decisão

Data Science Academy

A Base da Teoria da Utilidade

A Base da Teoria da Utilidade

Intuitivamente, o princípio de utilidade máxima esperada (UME) parece um modo razoável de tomar decisões, mas não é de forma alguma evidente que ele seja o único modo racional.

Afinal, por que maximizar a utilidade média é tão especial?

Data Science Academy

A Base da Teoria da Utilidade

Utilizamos esta notação a seguir para descrever as preferências de um agente:

$A \succ B$ A é preferível a B.
$A \sim B$ O agente está indiferente entre A e B.
$A \succsim B$ O agente prefere A a B ou está indiferente entre eles.

$$L = [p_1, S_1; p_2, S_2; \ldots\ p_n, S_n]$$

Data Science Academy

A Base da Teoria da Utilidade

Ordenabilidade: Dadas duas loterias quaisquer, um agente racional deve preferir uma à outra ou, então, classificar as duas como igualmente preferíveis. Ou seja, o agente não pode evitar a decisão.

Apenas $(A \succ B)$, $(B \succ A)$, ou $(A \sim B)$ são possíveis.

Data Science Academy

A Base da Teoria da Utilidade

Transitividade: Dadas três loterias quaisquer, se um agente preferir A a B e preferir B a C, então o agente deverá preferir A a C.

$$(A \succ B) \land (B \succ C) \Rightarrow (A \succ C)$$

A Base da Teoria da Utilidade

Continuidade: Se alguma loteria B estiver entre A e C em preferência, haverá alguma probabilidade p de que o agente racional fique indiferente entre escolher B por garantia ou escolher a loteria que produz A com probabilidade p e C com probabilidade 1 – p.

$$A \succ B \succ C \Rightarrow \exists p\ [p, A; 1-p, C] \sim B$$

A Base da Teoria da Utilidade

Substitutibilidade: Se um agente está indiferente entre duas loterias A e B, então o agente está indiferente entre duas outras loterias complexas que são a mesma loteria, exceto pelo fato de A ser substituído por B em uma delas. Isso é válido independentemente das probabilidades e do(s) outro(s) resultado(s) das loterias.

$$A \sim B \Rightarrow [p, A; 1-p, C] \sim [p, B; 1-p, C]$$

Data Science Academy

A Base da Teoria da Utilidade

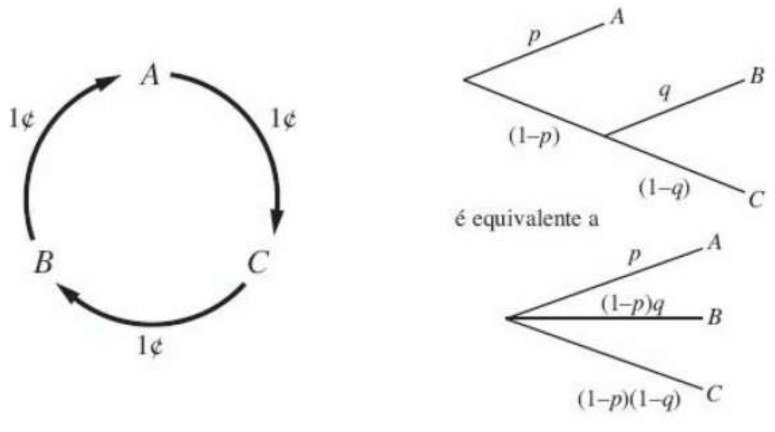
Monotonicidade: Suponha que existam duas loterias que tenham os mesmos dois resultados, A e B. Se um agente prefere A a B, então o agente deve preferir a loteria que tem uma probabilidade mais alta para A (e vice-versa).

$$A \succ B \Rightarrow (p > q \Leftrightarrow [p, A; 1-p, B] \succ [q, A; 1-q, B])$$

Data Science Academy

A Base da Teoria da Utilidade

Decomponibilidade: As loterias compostas podem ser reduzidas a loterias mais simples com o uso das leis da probabilidade. Isso se chama regra de "nada de diversão no jogo" porque afirma que duas loterias consecutivas podem ser compactadas em uma única loteria equivalente, como mostra a figura b abaixo:



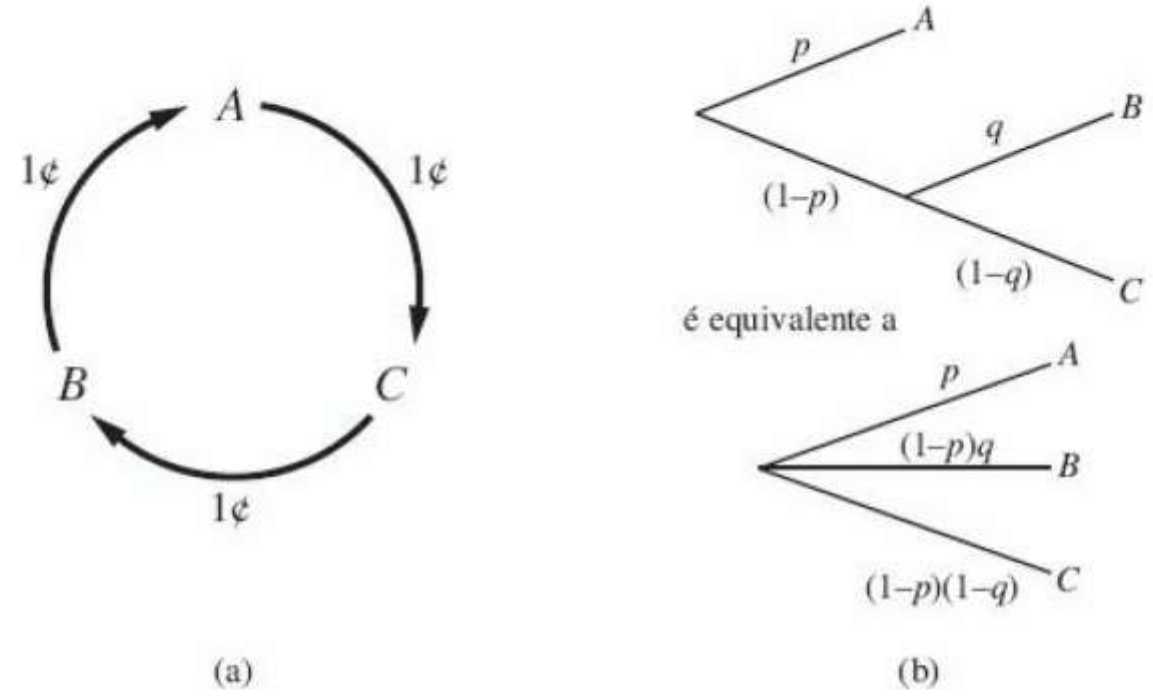
(a) (b)

$$[p, A; 1-p, [q, B; 1-q, C]] \sim [p, A; (1-p)q, B; (1-p)(1-q), C]$$

A Base da Teoria da Utilidade

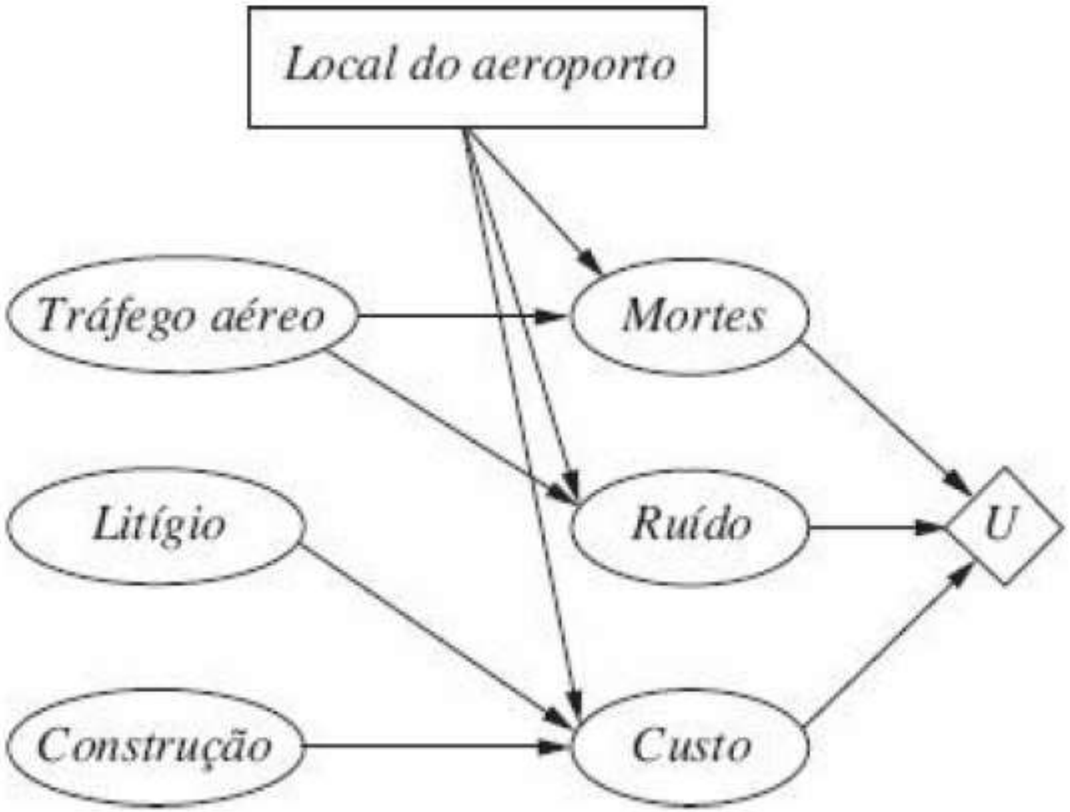
Axiomas da teoria da utilidade

A Base da Teoria da Utilidade



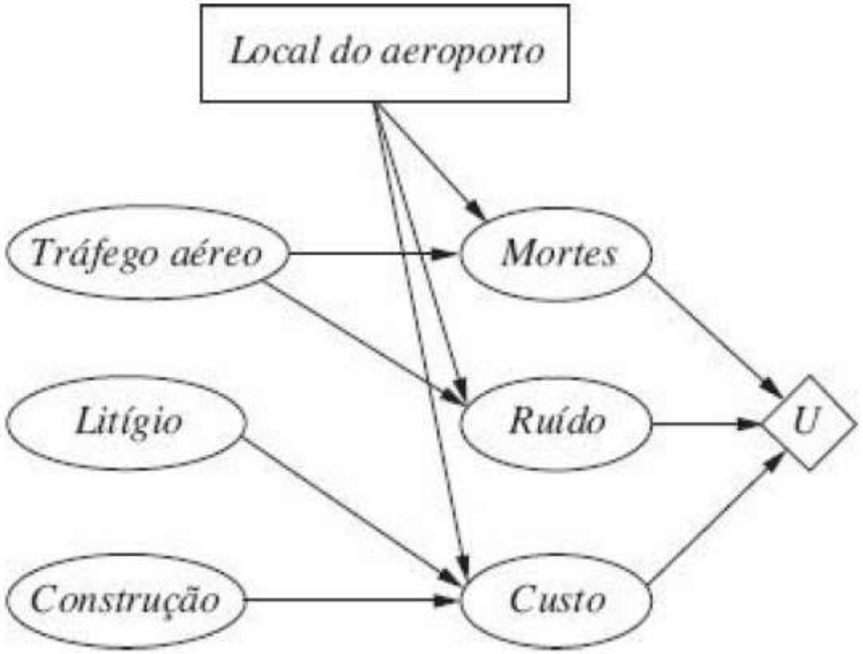
Redes de Decisão

Redes de Decisão



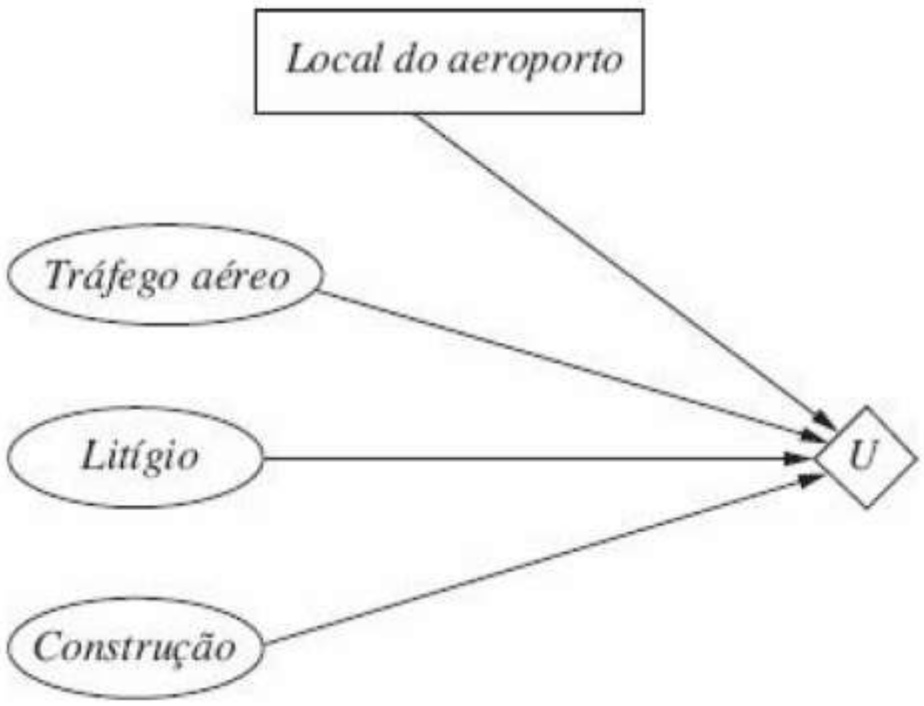
Data Science Academy

Redes de Decisão

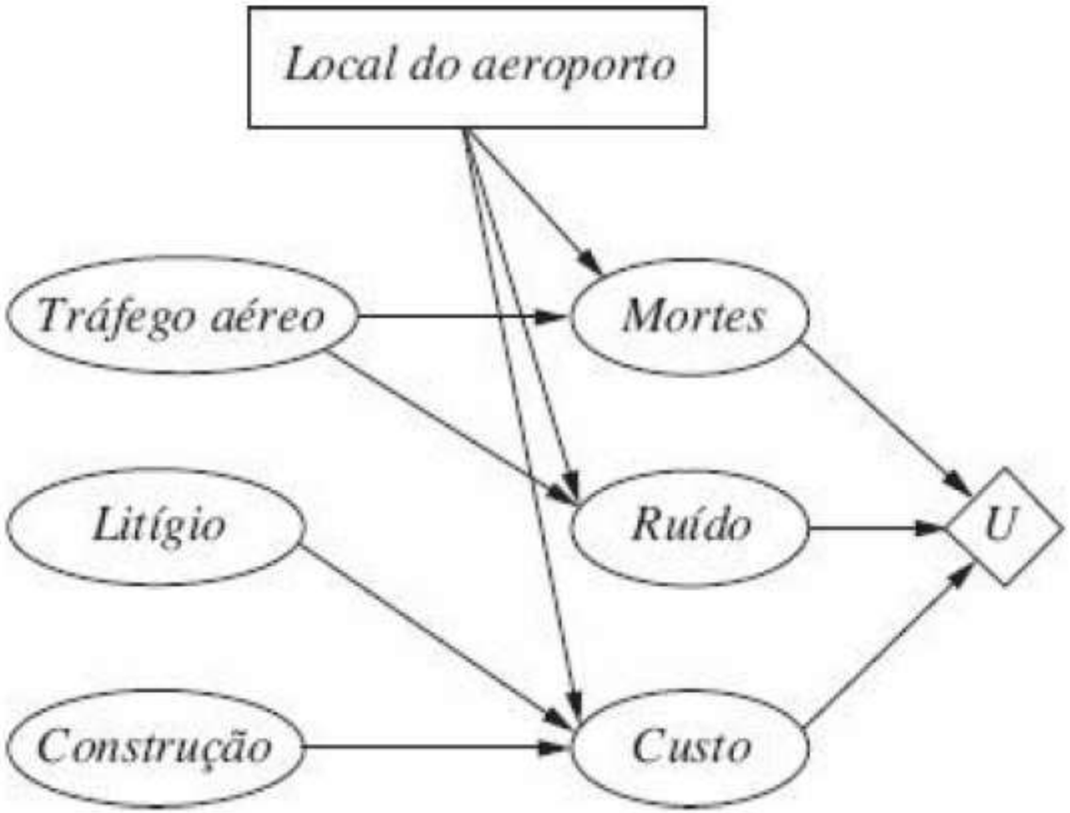


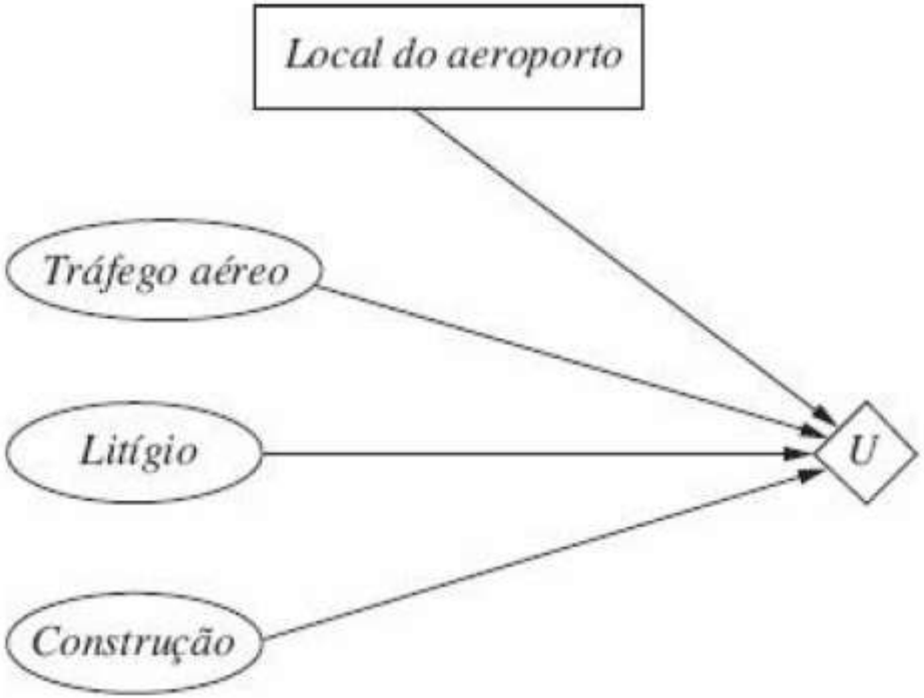
- Nós de acaso (elipses)
- Nós de decisão (retângulos)
- Nós de utilidade (losangos)

Redes de Decisão



Redes de Decisão





Redes de Decisão

Avaliação de redes de decisão

1. Definir as variáveis de evidência para o estado atual.
2. Para cada valor possível do nó de decisão:
   (a) Definir o nó de decisão com esse valor.
   (b) Calcular as probabilidades posteriores para os nós pais do nó de utilidade, usando um algoritmo-padrão de inferência probabilística.
   (c) Calcular a utilidade resultante para a ação.
3. Retornar a ação com a utilidade mais alta.

Data Science Academy

Agente de Coleta de Informações

Agente de Coleta de Informações

função AGENTE-DE-COLETA-DE-INFORMAÇÕES(*percepção*) **retorna** uma *ação*
variáveis estáticas: *D*, uma rede de decisão

integrar *percepção* a *D*
$j \leftarrow$ o valor que maximiza $VIP(E_j) / Custo(E_j)$
se $VIP(E_j) > Custo(E_j)$
então retornar SOLICITAR(E_j)
senão retornar a melhor ação a partir de *D*

Sistemas de Teoria da Decisão

Sistemas de Teoria da Decisão

Como cada vez mais processos de decisão tornam-se **automatizados**, a análise de decisão é cada vez mais utilizada para garantir que os processos automatizados se comportem como desejado.

Data Science Academy

Sistemas de Teoria da Decisão

As primeiras pesquisas de sistemas especialistas se concentravam em responder a perguntas, e não na tomada de decisões.

Data Science Academy

Sistemas de Teoria da Decisão

Um sistema que incorpora utilidades pode evitar uma das armadilhas mais comuns associadas ao processo de consulta:

confundir probabilidade e importância.

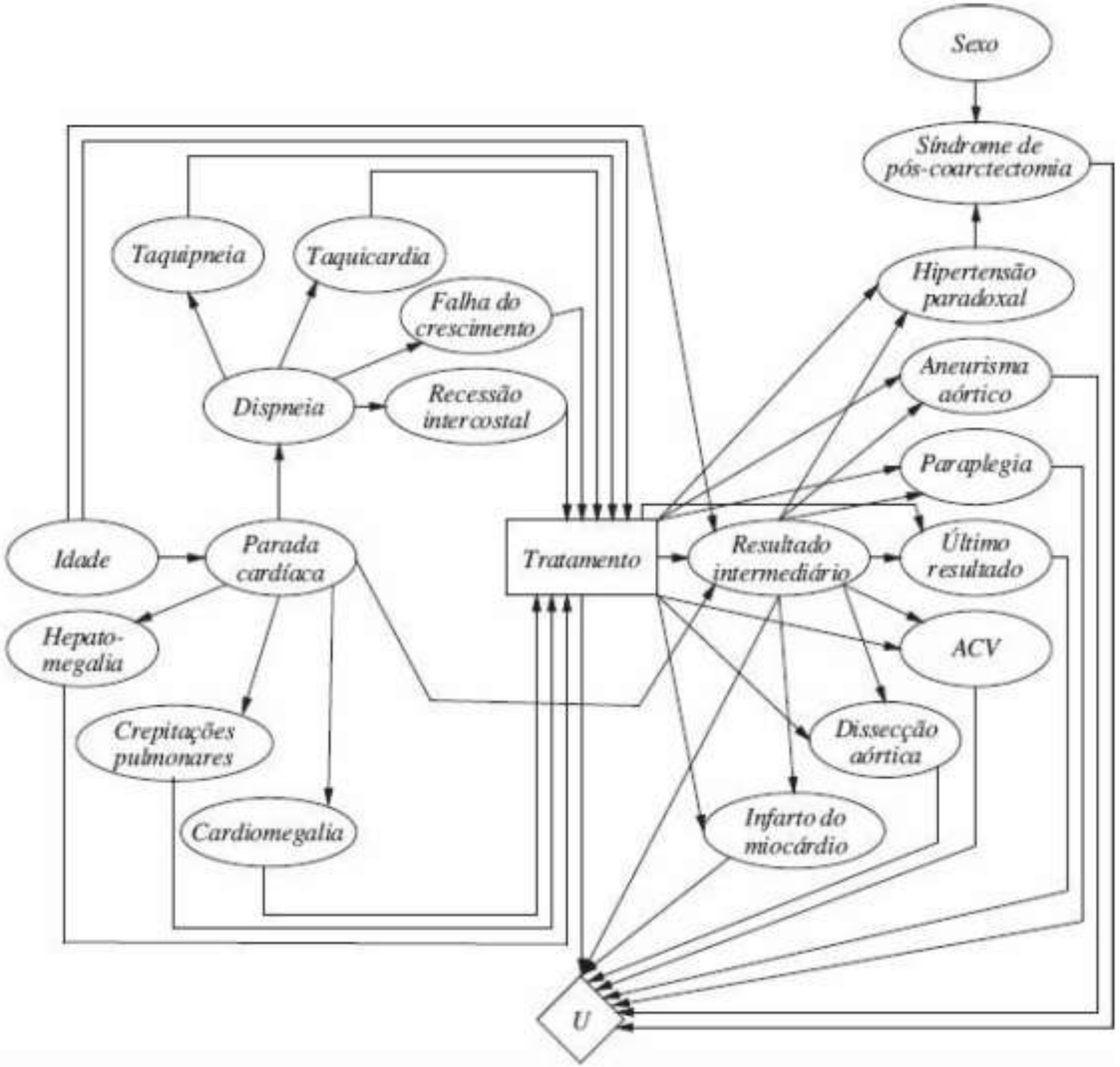
Sistemas de Teoria da Decisão

Descreveremos agora o processo de engenharia do conhecimento para sistemas especialistas de teoria da decisão. Como exemplo, vamos considerar o problema de selecionar um tratamento médico para uma espécie de doença congênita do coração, em crianças.

Cerca de 0,8% das crianças nascem com uma anomalia do coração, sendo a mais comum o estreitamento da aorta (uma constrição da aorta).

Sistemas de Teoria da Decisão

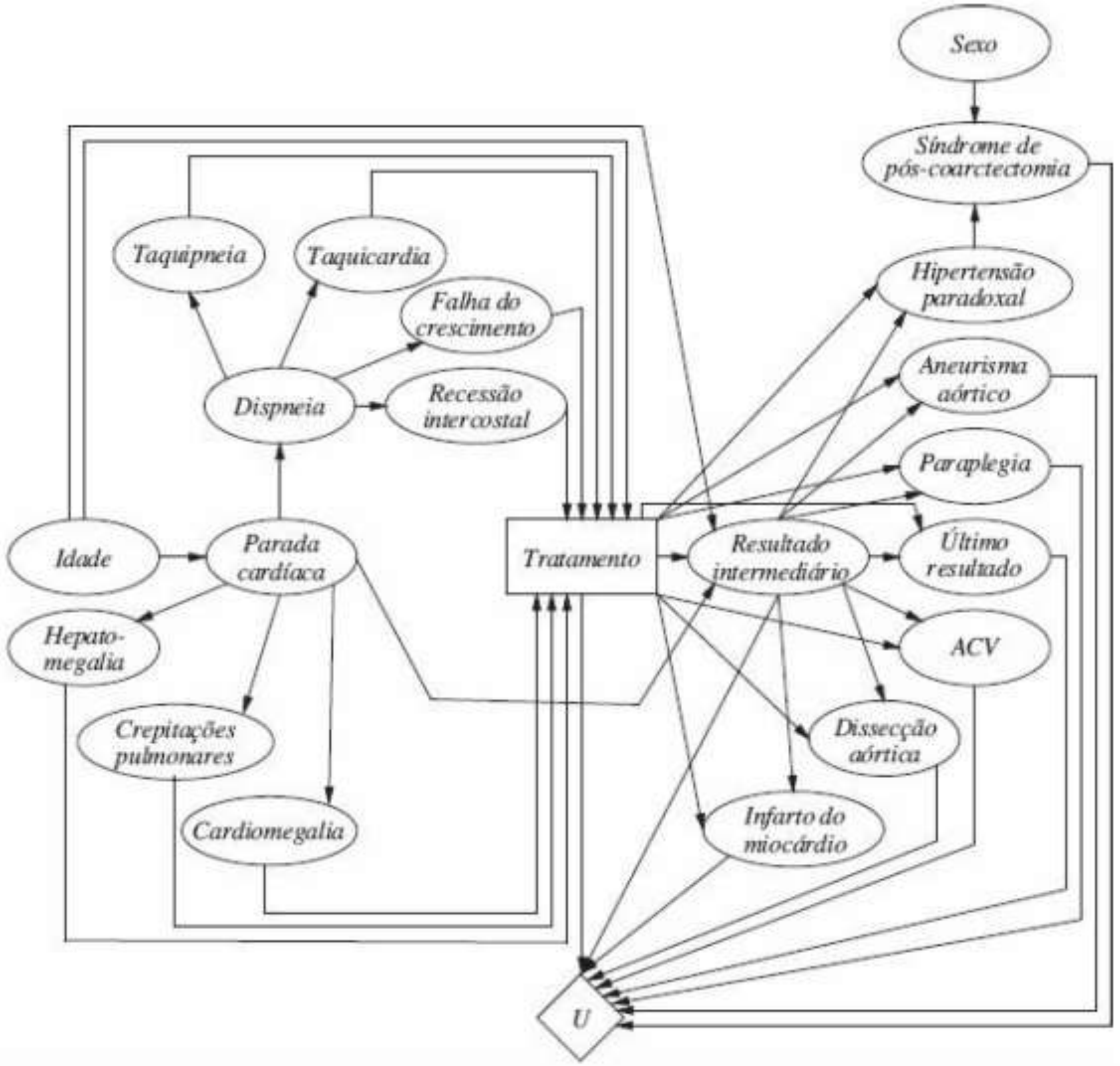
Crie um modelo causal. Determine quais são os sintomas possíveis, as doenças, os tratamentos e os resultados.



Data Science Academy

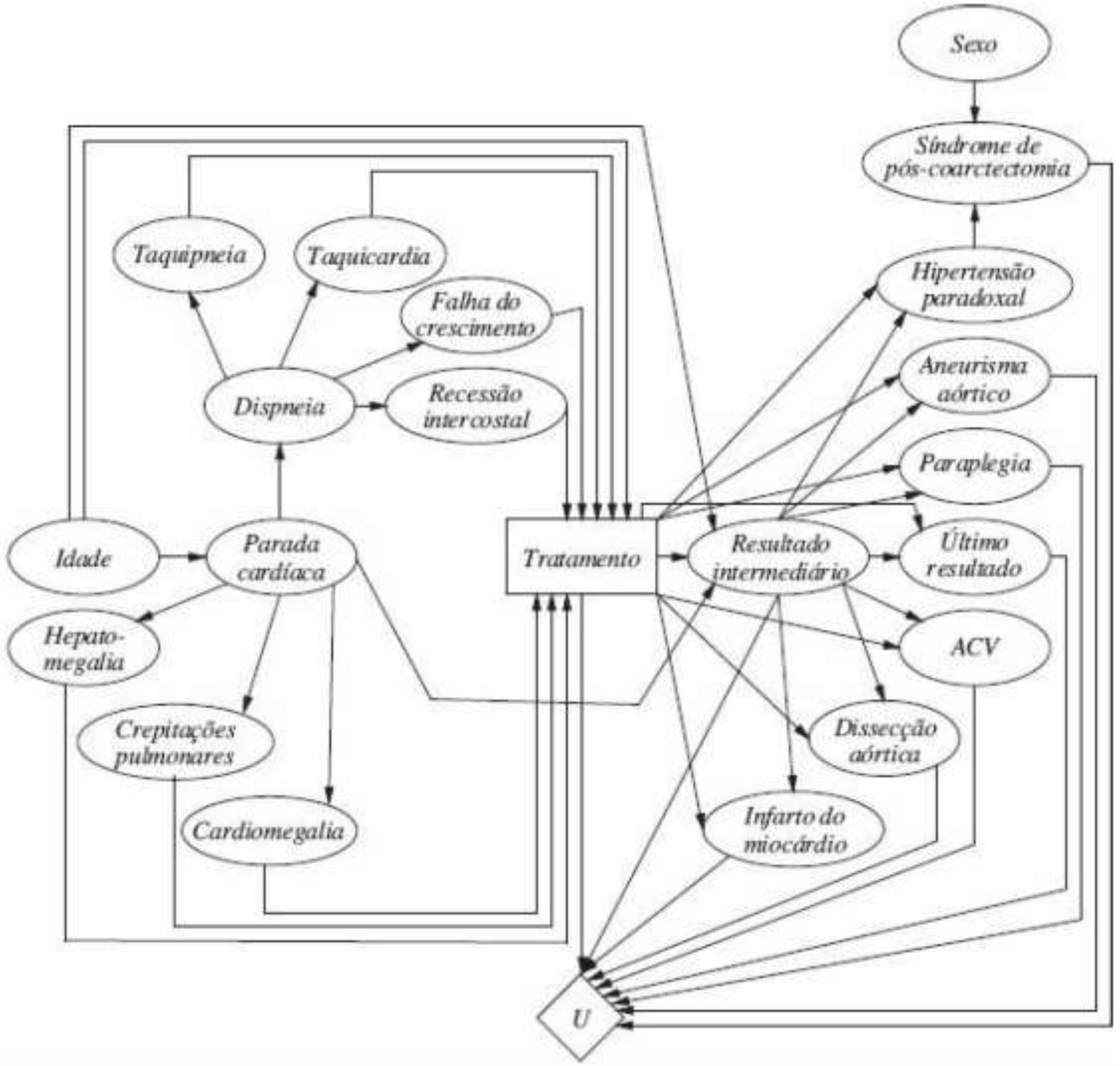
Sistemas de Teoria da Decisão

Simplifique até chegar a um modelo de decisão qualitativa.



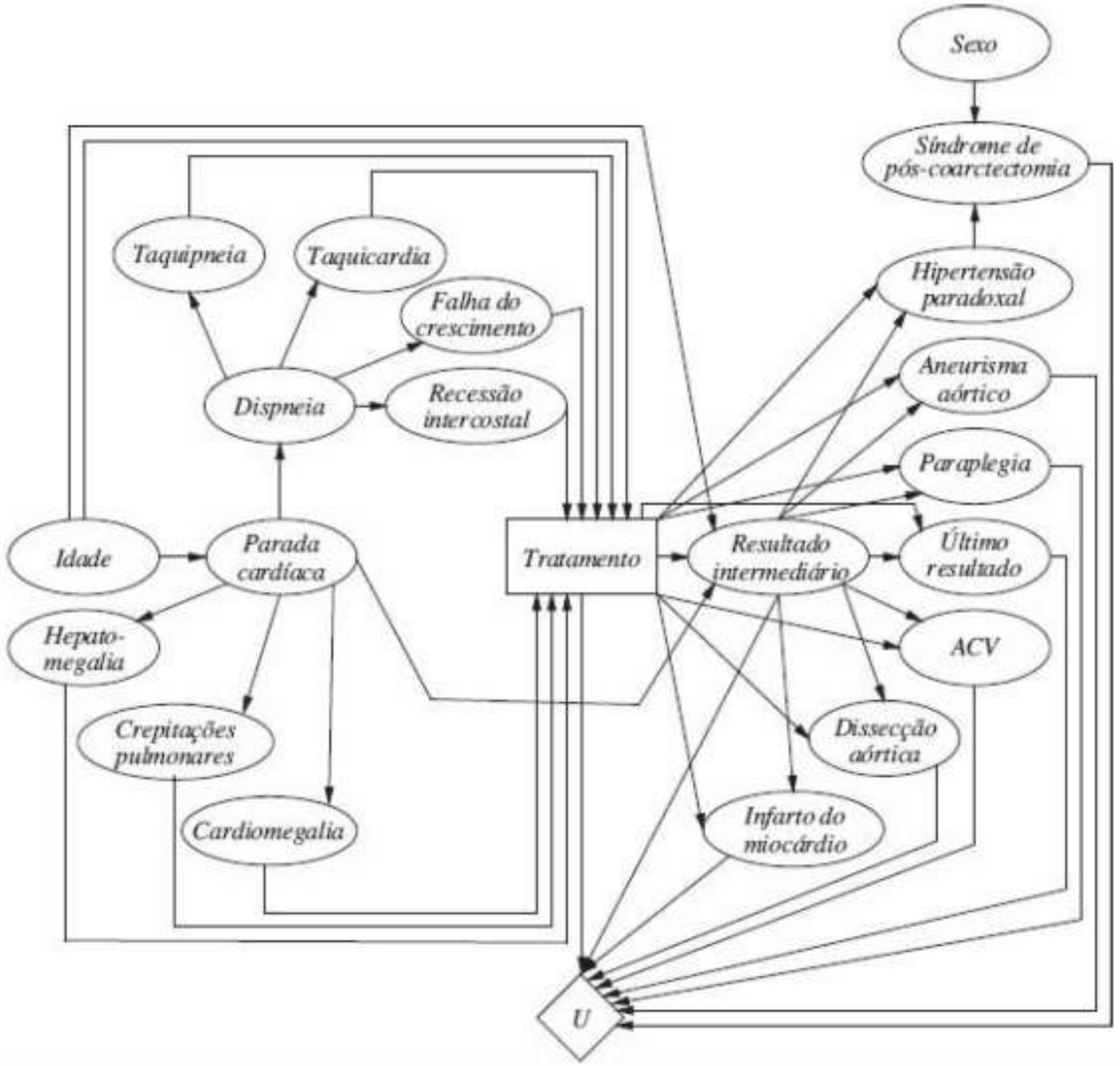
Sistemas de Teoria da Decisão

Atribua probabilidades.



Sistemas de Teoria da Decisão

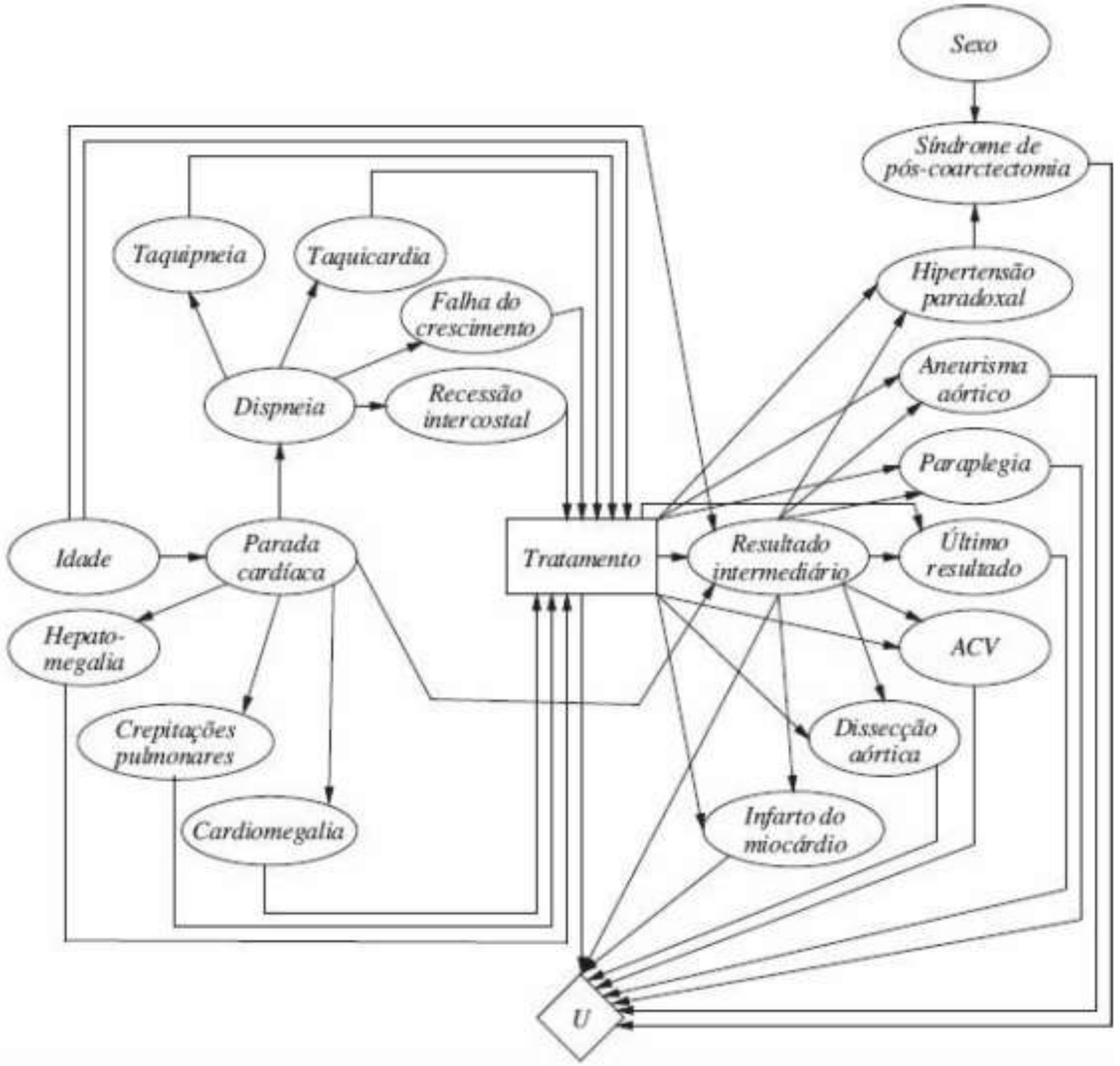
Atribua utilidades.



Data Science Academy

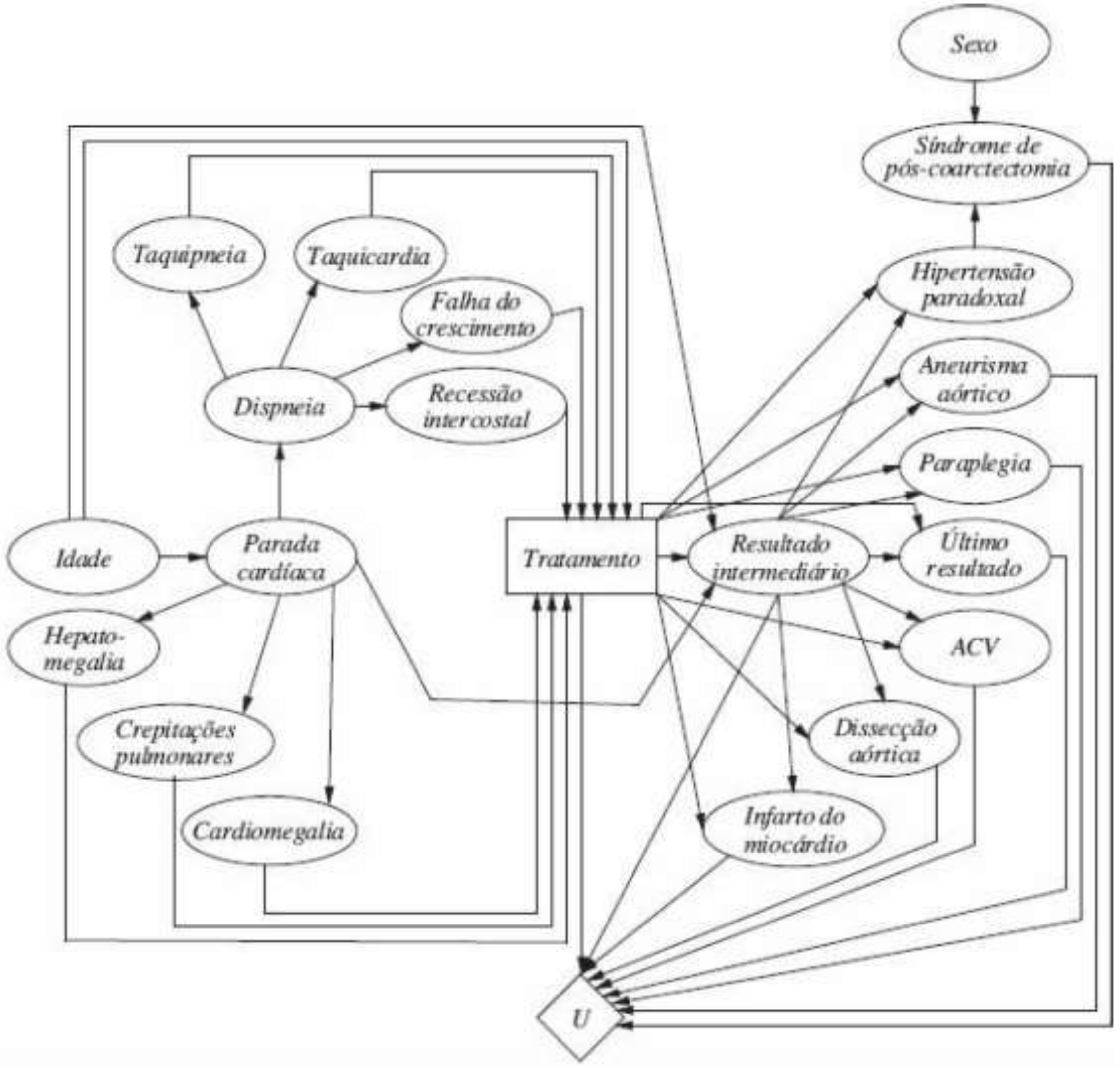
Sistemas de Teoria da Decisão

Verifique e refine o modelo.



Sistemas de Teoria da Decisão

Execute a análise de sensibilidade.



Iteração de Valor

Iteração de Valor

Apresentaremos agora, um algoritmo chamado de iteração de valor.

A ideia básica é calcular a utilidade de cada estado e, em seguida, usar as utilidades do estado para selecionar uma ação ótima em cada estado.

Iteração de Valor

A utilidade de um estado s é dada por:

$$U(s) = R(s) + \gamma \max_{a \in A(s)} \sum_{s'} P(s' \mid s, a) U(s')$$

A utilidade de um estado é a recompensa imediata correspondente a esse estado mais a utilidade descontada esperada do próximo estado, assumindo que o agente escolha a ação ótima.

Data Science Academy

Iteração de Valor

A utilidade de um estado s é dada por:

$$U(s) = R(s) + \gamma \max_{a \in A(s)} \sum_{s'} P(s' \mid s, a) U(s')$$

Equação de Bellman

Data Science Academy

Iteração de Valor

$$U_{i+1}(s) \leftarrow R(s) + \gamma \max_{a \in A(s)} \sum_{s'} P(s' \mid s, a) U_i(s')$$

Se houver n estados possíveis, haverá n equações de Bellman, uma para cada estado

Data Science Academy

Iteração de Valor

$$U_{i+1}(s) \leftarrow R(s) + \gamma \max_{a \in A(s)} \sum_{s'} P(s' \mid s, a) U_i(s')$$

Assumimos que a atualização será aplicada simultaneamente a todos os estados em cada iteração

Data Science Academy

Iteração de Valor

função ITERAÇÃO-DE-VALOR(mdp, ε) **retorna** uma função utilidade
entradas: mdp, um MDP com estados S, ações $A(s)$, modelo de transição $P(s'|s,a)$, recompensas $R(s)$, desconto γ,
ε, o erro máximo permitido na utilidade de qualquer estado
variáveis locais: U, U', vetores de utilidades para estados em S, inicialmente zero
δ, a mudança máxima na utilidade de qualquer estado em uma iteração

repita
$U \leftarrow U'$; $\delta \leftarrow 0$
para cada estado s **em** S **faça**
$$U'[s] \leftarrow R[s] + \gamma \max_{a \in A(s)} \sum_{s'} P(s' \mid s, a)\, U[s']$$
se $|U'[s] - U[s]| > \delta$ **então** $\delta \leftarrow |U'[s] - U[s]|$
até $\delta < \varepsilon(1-\gamma)/\gamma$
retornar U

Iteração de Política

Iteração de Política

Se uma ação é claramente melhor que todas as outras, a magnitude exata das utilidades nos estados envolvidos não precisa ser exata.

Data Science Academy

Iteração de Política

Avaliação de política:
Dada uma política, calcular a utilidade de cada estado se a política fosse executada.

Aperfeiçoamento de política:
Calcular uma nova política utilizando a observação de um passo para frente baseado em uma utilidade.

Data Science Academy

Iteração de Política

função ITERAÇÃO-DE-POLÍTICA(*mdp*) **retorna** uma política
  entradas: *mdp*, um MDP com estados S, ações $A(s)$, modelo de transição $P(s' \mid s, a)$
  variáveis locais: U, um vetor de utilidades para estados em S, inicialmente zero
    π, um vetor de política indexado pelo estado, inicialmente aleatório
  repita
    $U \leftarrow$ AVALIAÇÃO-DE-POLÍTICA(π, U, *mdp*)
    inalterado? $\leftarrow$ verdadeiro
    para cada estado s **em** S **faça**
    se $\max_{a \in A(s)} \sum_{s'} P(s' \mid s, a)\, U[s'] > \sum_{s'} P(s' \mid s, \pi[s])\, U[s']$ **então faça**
      $\pi[s] \leftarrow \operatorname{argmax}_{a \in A(s)} \sum_{s'} P(s' \mid s, a)\, U[s']$
      inalterado? $\leftarrow$ falso
  até *inalterado?*
  retornar π

Teoria dos Jogos

Teoria dos Jogos

A Teoria dos Jogos, a qual poderia se chamar muito apropriadamente de Teoria das Decisões Interdependentes, tem como objeto de análise situações onde o resultado da ação de indivíduos, grupo de indivíduos, ou instituições, depende substancialmente das ações dos outros envolvidos.

Teoria dos Jogos

A Teoria dos Jogos fornece a linguagem para a descrição de processos de decisão conscientes e objetivos envolvendo mais do que um indivíduo.

Teoria dos Jogos

A teoria dos jogos é usada para se estudar assuntos tais como eleições, leilões, balança de poder, evolução genética, etc.

Teoria dos Jogos

Em 1950, John F. Nash demonstrou o teorema minimax para grandes números de agentes (decisões com vários agentes).

Teoria dos Jogos

Análise, projeto e implementação de mecanismos de alocação de recursos.

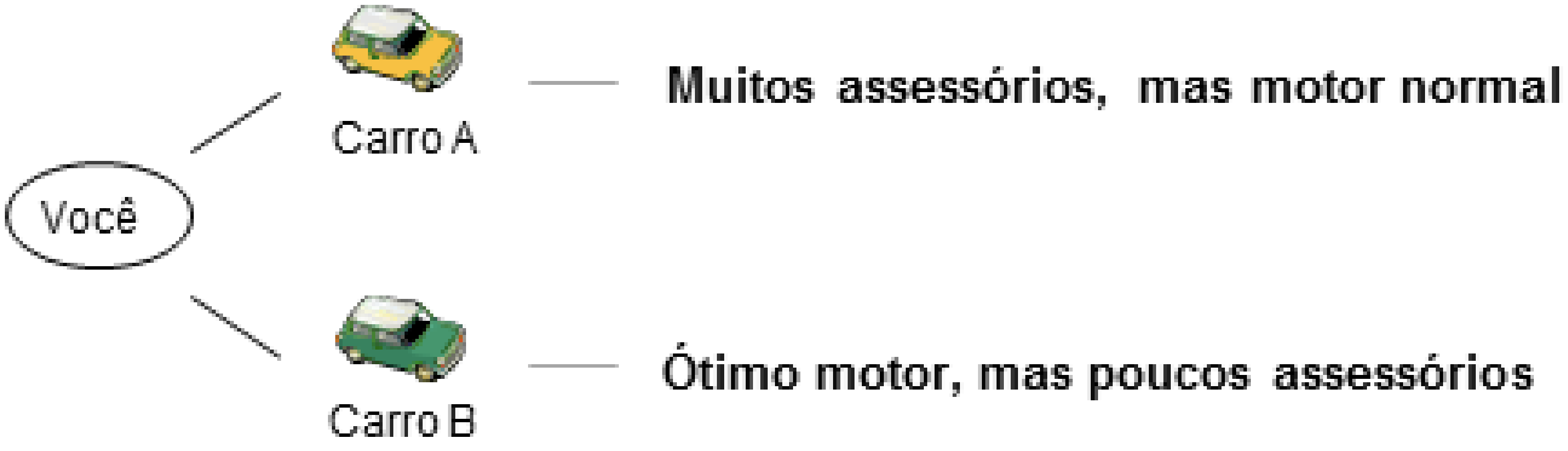
Teoria dos Jogos

Teoria dos Jogos é o estudo das tomadas de decisões entre indivíduos quando o resultado de cada um depende das decisões dos outros, numa interdependência similar a um jogo.

Data Science Academy

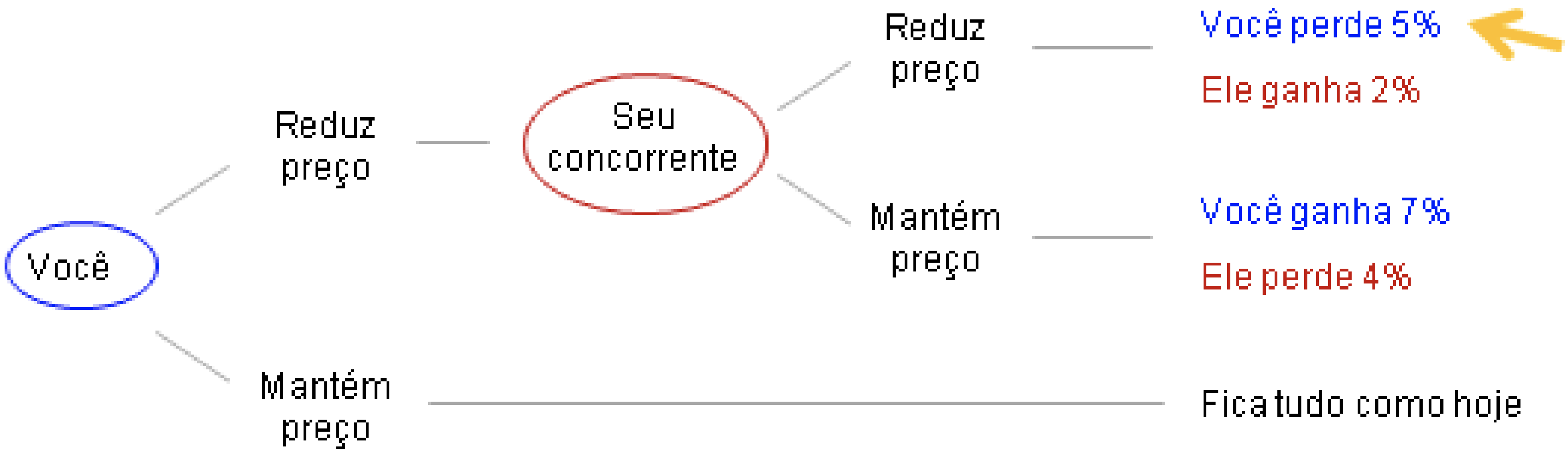
Teoria dos Jogos

O exemplo do carro é uma **decisão isolada** - a decisão é só sua e não há interferência de outros no resultado.



Teoria dos Jogos

A **Teoria dos Jogos** estuda cenários onde existem vários interessados em otimizar os próprios ganhos, as vezes em conflito entre si.



Teoria dos Jogos

Por isso, a melhor recomendação é: antes de tomar uma decisão, coloque-se no lugar do concorrente e imagine qual seria a reação dele dadas as ações e incentivos existentes!

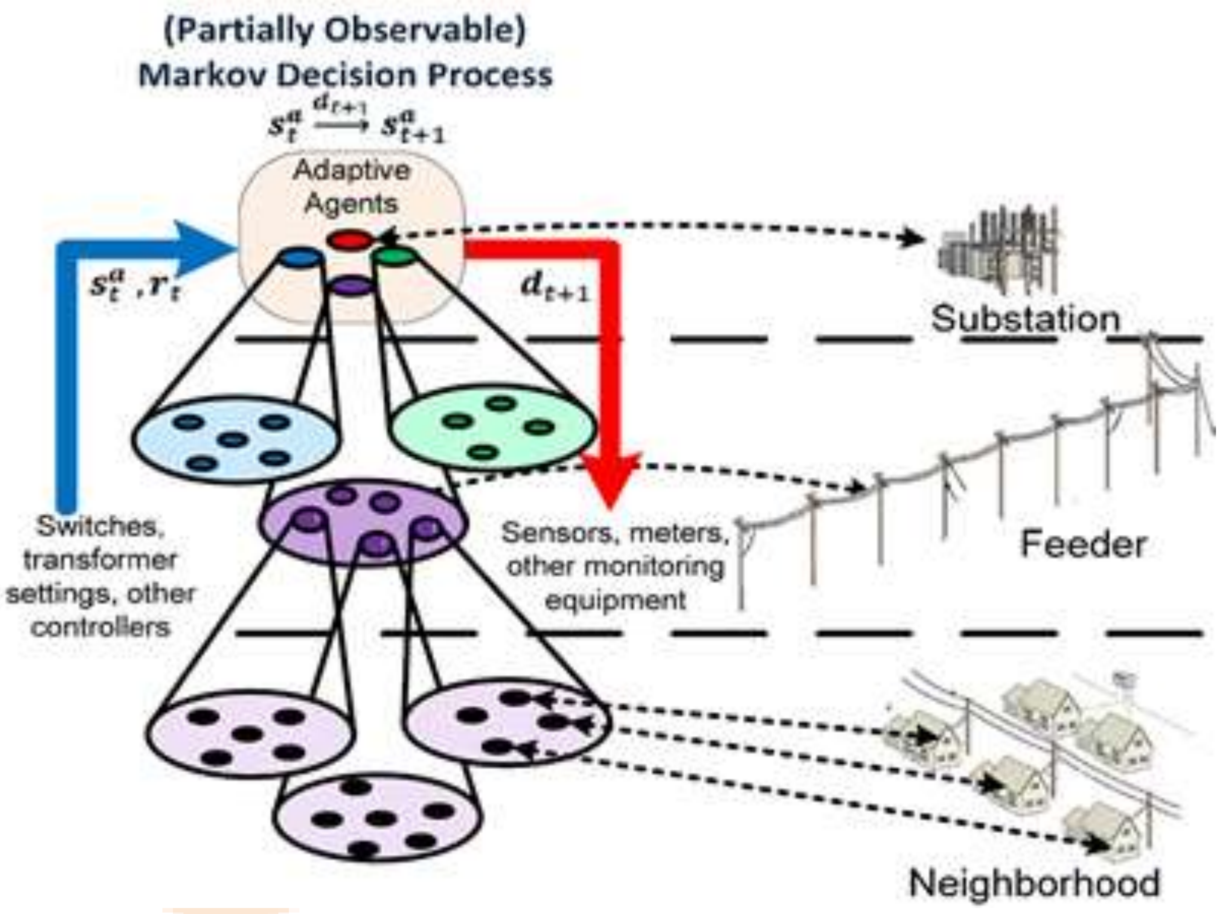
Data Science Academy

Decisões com Vários Agentes

Decisões com Vários Agentes

- E se a incerteza se deve a outros agentes e às decisões que eles tomam?

- E se as decisões desses agentes, por sua vez, forem influenciadas por nossas decisões?



Decisões com Vários Agentes

Projeto de agentes

Projeto de mecanismo

Data Science Academy

Decisões com Vários Agentes

Não é fundamental que as ações ocorram exatamente ao mesmo tempo; o que importa é que nenhum jogador tenha conhecimento das escolhas dos outros jogadores!

Data Science Academy

Decisões com Vários Agentes

Data Science Academy

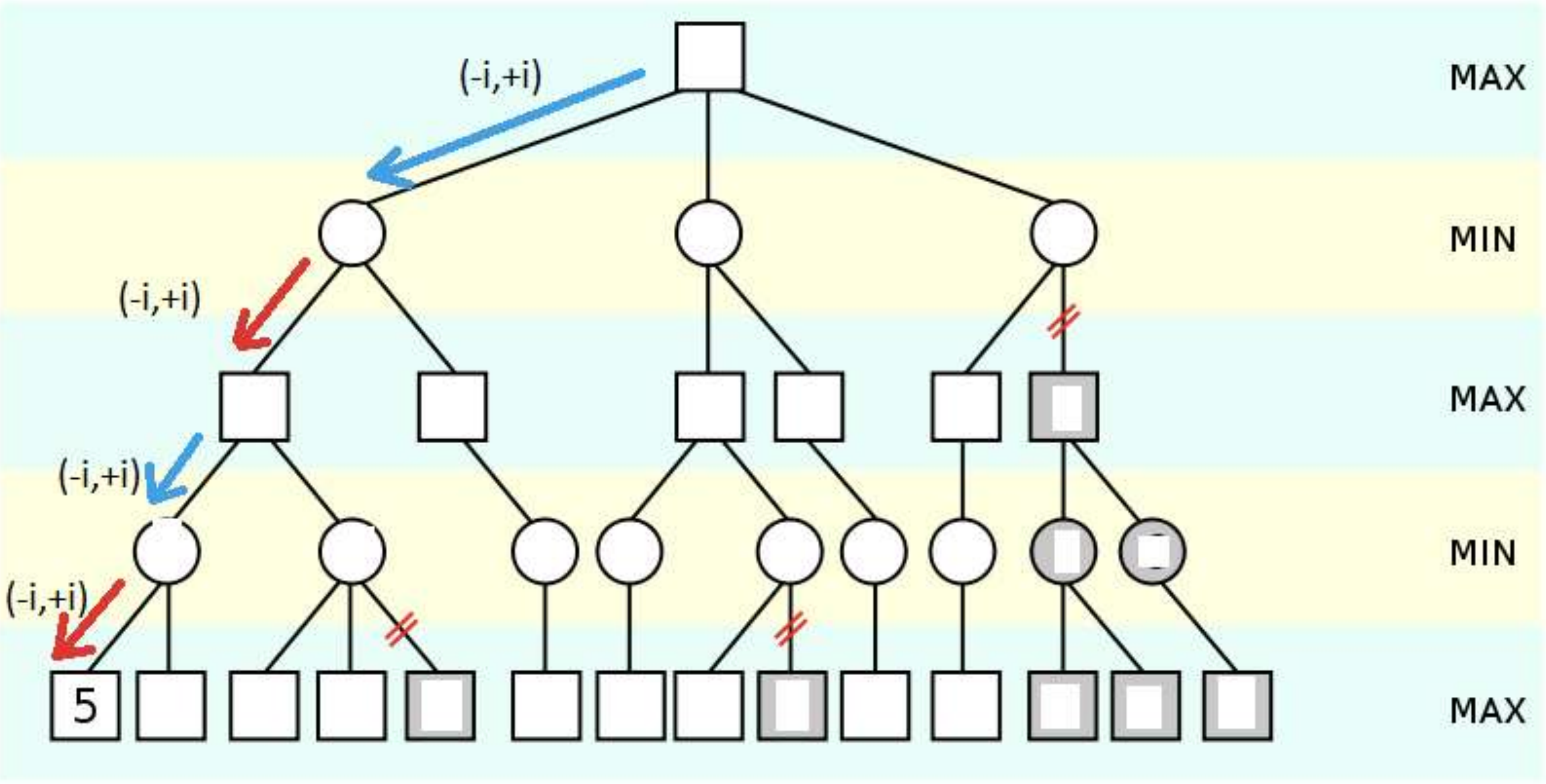
Decisões com Vários Agentes

Na Teoria das Jogos, está em jogo o pensamento estratégico!

Prisioneiro Vermelho

Prisioneiro Azul

Decisões com Vários Agentes



Obrigado

Data Science Academy