

Inteligência Artificial

Lista de Exercícios – Algoritmos de Inferência da Lógica de Predicados - Profa. Heloisa

Recomendações

Informe-se e siga as convenções de notação e figuras adotadas:

- Em uma árvore de prova, as substituições realizadas nas unificações de cada cláusula e a regra unificada devem ser indicadas na árvore;
- A árvore de prova acompanha os passos realizados durante o algoritmo de inferência. Todas as alterações devem ser indicadas de forma que fique claro o momento em que elas ocorreram;
- Faça tudo e somente o que foi pedido no enunciado (mostrar passo a passo do algoritmo de inferência, construir árvore de prova, ou ambos).

Para resolver os exercícios desta lista você precisa:

- Saber o que é unificação e substituição e encontrar o unificador para duas sentenças lógicas atômicas;
- Saber eliminar quantificadores universais e existenciais de sentenças na forma de cláusulas definidas de primeira ordem em uma base de conhecimento para poder aplicar os algoritmos de inferência;
- Saber aplicar corretamente os algoritmos de encadeamento para frente e encadeamento para trás com busca em profundidade;
- Saber quando finalizar o algoritmo de inferência e responder a consulta colocada, principalmente no algoritmo de encadeamento para trás com busca em profundidade.
- Lembrar que a árvore de prova é uma árvore AND/OR e saber como representar os nós AND e OR.

- 1) Descreva a execução do Algoritmo de **Encadeamento para trás com busca em profundidade**, mostrando o passo a passo do algoritmo, com indicação de pontos em que houve retrocesso (se for o caso), e a construção da **árvore de prova AND/OR** para encontrar a resposta para a pergunta “Qual o custo da propaganda do programa P1?”, para a base de conhecimento dada abaixo. Assuma que as sentenças são utilizadas na ordem em que aparecem e que se sabe que o programa P1 passa no horário nobre e o público gosta.

Base de conhecimento:

$\forall x \text{ Bom}(x) \rightarrow \text{Assiste}(x)$

$\forall x \text{ Horario}(x, \text{Nobre}) \rightarrow \text{Assiste}(x)$

$\forall x \text{ Assiste}(x) \wedge \text{Gosta}(x) \rightarrow \text{Audiencia}(x, \text{Alta})$

$\forall x \text{ Programa}(x) \wedge \text{Audiencia}(x, \text{Alta}) \rightarrow \text{Propaganda}(x, \text{Cara})$

$\forall x \text{ Programa}(x) \wedge \text{Horario}(x, \text{Madrugada}) \rightarrow \text{Propaganda}(x, \text{Barata})$

Sentenças adicionadas à base para representar a situação específica:

$\text{Programa}(P1)$

$\text{Horario}(P1, \text{Nobre})$

$\text{Gosta}(P1)$

Base de Conhecimento sem quantificadores:

1) $\text{Bom}(x) \rightarrow \text{Assiste}(x)$

2) $\text{Horario}(x, \text{Nobre}) \rightarrow \text{Assiste}(x)$

3) $\text{Assiste}(x) \wedge \text{Gosta}(x) \rightarrow \text{Audiencia}(x, \text{Alta})$

4) $\text{Programa}(x) \wedge \text{Audiencia}(x, \text{Alta}) \rightarrow \text{Propaganda}(x, \text{Cara})$

5) $\text{Programa}(x) \wedge \text{Horario}(x, \text{Madrugada}) \rightarrow \text{Propaganda}(x, \text{Barata})$

Fatos:

6) $\text{Programa}(P1)$

7) $\text{Horario}(P1, \text{Nobre})$

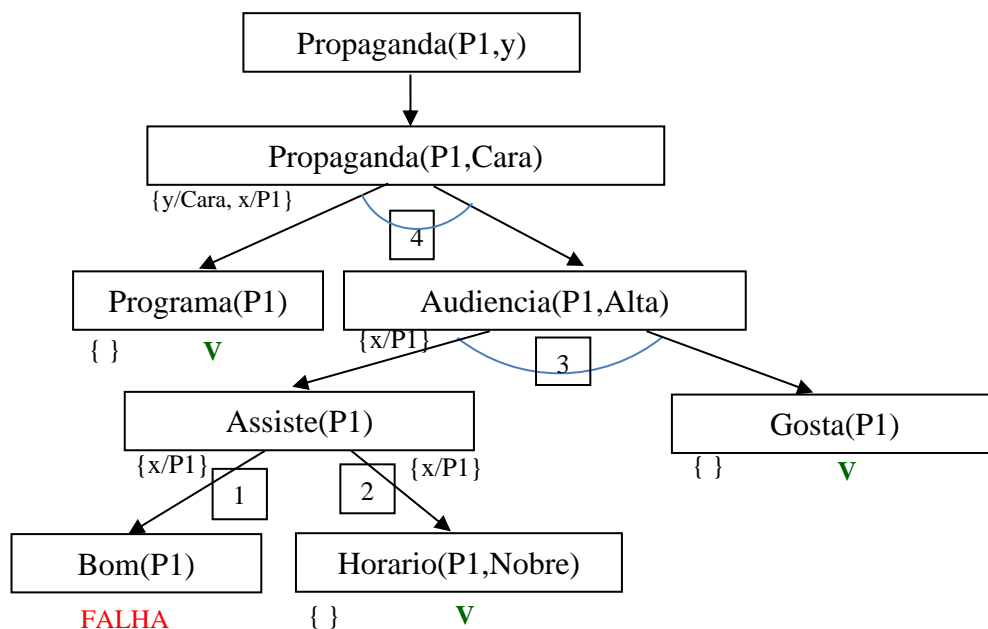
8) $\text{Gosta}(P1)$

Consulta: $\text{Propaganda}(P1, y)$

Passo a Passo da execução do algoritmo:

| Objetivo | Regra ou fato unificado | Substituição |
|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| $\text{Propaganda}(P1, y)$ | Regra 4 | $\{y/\text{Cara}, x/P1\}$ |
| $\text{Programa}(P1)$ | Fato 6 | $\{ \}$ Provado |
| $\text{Audiência}(P1, \text{Alta})$ | Regra 3 | $\{x/P1\}$ |
| $\text{Assiste}(P1)$ | Regra 1 | $\{x/P1\}$ |
| $\text{Bom}(P1)$ (Retrocesso) | FALHA | |
| $\text{Assiste}(P1)$ | Regra 2 | $\{x/P1\}$ |
| $\text{Horario}(P1, \text{Nobre})$ | Fato 7 | $\{ \}$ |
| $\text{Gosta}(P1)$ | Fato 8 | $\{ \}$ |

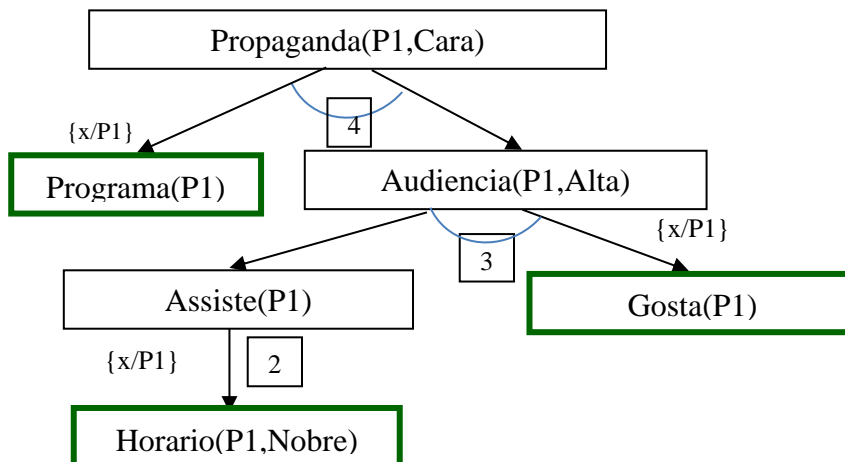
Árvore de Prova:



- 2) Descreva a execução do Algoritmo de **Encadeamento para frente**, mostrando o passo a passo do algoritmo e a construção da **árvore de prova AND/OR**, para encontrar a resposta para a pergunta “Qual o custo da propaganda do programa P1?”, para a base de conhecimento do exercício anterior. Assuma que as sentenças são utilizadas na ordem em que aparecem e que se sabe que o programa P1 passa no horário nobre e o público gosta.

| Iteração | Sentenças usadas na inferência | Sentença resultante (adicionada à BC) | Substituição |
|------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Iteração 1 | Regra 2 + Fato 7 | Assiste(P1) (Fato 9) | {x/P1} |
| | Regra 3 + Fato 9 + Fato 8 | Audiencia(P1,Alta) (Fato 10) | {x/P1} |
| | Regra 4 + Fato 6 + Fato 10 | Propaganda(P1,Cara) (Fato 11) | {x/P1} |
| Iteração 2 | Não ocorrem mais inferências | | |

A árvore de prova é construída das folhas em direção à raiz. Os nós com bordas verdes são os fatos iniciais conhecidos. Os demais, são adicionados à BC quando as inferências são feitas.



Base de Conhecimento após a execução do algoritmo:

- 1) $\text{Bom}(x) \rightarrow \text{Assiste}(x)$
- 2) $\text{Horario}(x, \text{Nobre}) \rightarrow \text{Assiste}(x)$
- 3) $\text{Assiste}(x) \wedge \text{Gosta}(x) \rightarrow \text{Audiencia}(x, \text{Alta})$
- 4) $\text{Programa}(x) \wedge \text{Audiencia}(x, \text{Alta}) \rightarrow \text{Propaganda}(x, \text{Cara})$
- 5) $\text{Programa}(x) \wedge \text{Horario}(x, \text{Madrugada}) \rightarrow \text{Propaganda}(x, \text{Barata})$

Fatos:

- 6) $\text{Programa}(\text{P1})$
- 7) $\text{Horario}(\text{P1}, \text{Nobre})$
- 8) $\text{Gosta}(\text{P1})$
- 9) $\text{Assiste}(\text{P1})$ (adicionado)
- 10) $\text{Audiencia}(\text{P1}, \text{Alta})$ (adicionado)
- 11) $\text{Propaganda}(\text{P1}, \text{Alta})$ (adicionado)

- 3) Descreva a execução do Algoritmo de **Encadeamento para trás com busca em profundidade**, mostrando o passo a passo do algoritmo, com indicação de pontos em que houve retrocesso (se for o caso), e a construção da **árvore de prova AND/OR** para encontrar a resposta para a pergunta “Qual o custo da propaganda do programa P2?”, para a base de conhecimento do exercício 1. Assuma que as sentenças são utilizadas na ordem em que aparecem e que se sabe que o programa P2 passa de madrugada e o público gosta.

Base de Conhecimento sem quantificadores:

- 1) $\text{Bom}(x) \rightarrow \text{Assiste}(x)$
- 2) $\text{Horario}(x, \text{Nobre}) \rightarrow \text{Assiste}(x)$
- 3) $\text{Assiste}(x) \wedge \text{Gosta}(x) \rightarrow \text{Audiencia}(x, \text{Alta})$
- 4) $\text{Programa}(x) \wedge \text{Audiencia}(x, \text{Alta}) \rightarrow \text{Propaganda}(x, \text{Cara})$
- 5) $\text{Programa}(x) \wedge \text{Horario}(x, \text{Madrugada}) \rightarrow \text{Propaganda}(x, \text{Barata})$

Fatos:

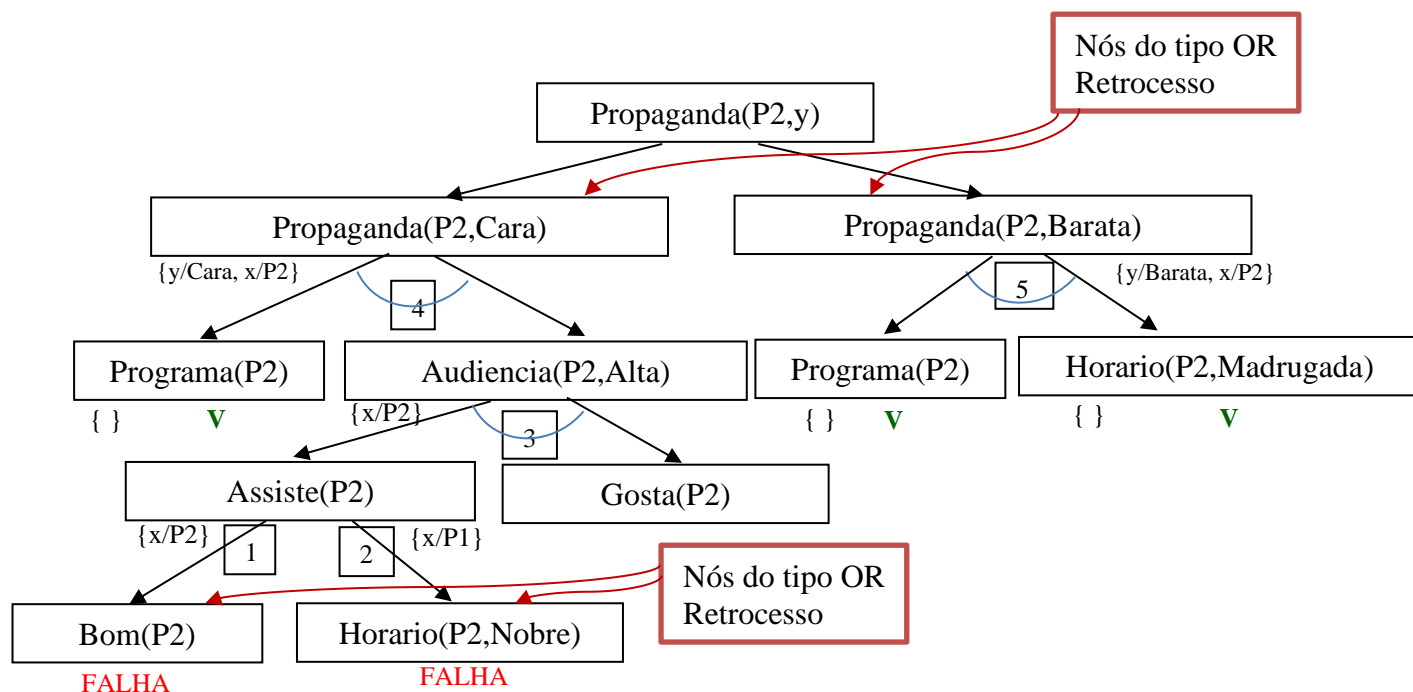
- 6) $\text{Programa}(\text{P2})$
- 7) $\text{Horario}(\text{P2}, \text{Madrugada})$
- 8) $\text{Gosta}(\text{P2})$

Consulta: $\text{Propaganda}(\text{P2}, y)$

Passo a Passo da execução do algoritmo:

| Objetivo | Regra ou fato unificado | Substituição |
|--------------------------------|-------------------------|------------------|
| Propaganda(P2, y) | Regra 4 | {y/Cara, x/P2} |
| Programa(P2) | Fato 6 | { } Provado |
| Audiência(P2,Alta) | Regra 3 | {x/P2} |
| Assiste(P2) | Regra 1 | {x/P2} |
| Bom(P2) (Retrocesso) | FALHA | |
| Assiste(P2) | Regra 2 | {x/P2} |
| Horario(P2,Nobre) (Retrocesso) | FALHA | |
| Propaganda(P2,y) | Regra 5 | {y/Barata, x/P2} |
| Programa(P2) | Fato 6 | { } Provado |
| Horario(P2,Madrugada) | Fato 7 | { } Provado |

Árvore de Prova:



- 4) Descreva a execução do Algoritmo de **Encadeamento para trás com busca em profundidade**, para a base de conhecimento representada em sentenças da lógica de primeira ordem (cláusulas definidas de primeira ordem) do sistema Consultor Financeiro, usando a consulta na forma Investimento(X). Construa a árvore **de prova (árvore AND/OR)** para os seguintes casos:
- Dois dependentes, R\$20.000,00 em poupança, renda estável de R\$30.000,00.
 - Dois dependentes, R\$30.000,00 em poupança, renda estável de R\$30.000,00.

Para resolver essa questão, é necessário assumir os seguintes significados:

- Os predicados abaixo são considerados verdadeiros de acordo com o significado dos operadores relacionais que eles representam, sem necessidade de existirem fatos na base para todos os possíveis valores das variáveis:
 - $\text{Maior}(x,y)$ representa a sentença “x é maior que y”.
 - $\text{Menor}(x,y)$ representa a sentença “x é menor que y”
 - $\text{Entre}(x,y,z)$ representa a sentença “o valor de x está entre y e z” (incluindo y e z)
- O operador de negação (\neg) inverte o valor verdade do predicado.

Base de conhecimento:

- $\text{Inadequada}(\text{Conta_poupança}) \rightarrow \text{Investimento}(\text{Poupança})$.
- $\text{Adequada}(\text{Conta_poupança}) \wedge \text{Adequada}(\text{Renda}) \rightarrow \text{Investimento}(\text{Ações})$.
- $\text{Adequada}(\text{Conta_poupança}) \wedge \text{Inadequada}(\text{Renda}) \rightarrow \text{Investimento}(\text{Combinação})$.
- $\forall x \text{ Quantia_poupada}(x) \wedge \text{Maior}(x, 20.000) \rightarrow \text{Adequada}(\text{Conta_poupança})$.
- $\forall x \text{ Quantia_poupada}(x) \wedge \neg \text{Maior}(x, 20.000) \rightarrow \text{Inadequada}(\text{Conta_poupança})$.
- $\forall x \text{ Ganhos}(x, \text{Estavel}) \wedge \text{Maior}(x, 50.000) \rightarrow \text{Adequada}(\text{Renda})$.
- $\forall x, y \text{ Ganhos}(x, \text{Estavel}) \wedge \text{Dependentes}(y) \wedge \text{Entre}(x, 36.000, 50.000) \wedge \text{Menor}(y, 3) \rightarrow \text{Adequada}(\text{Renda})$.
- $\forall x, y \text{ Ganhos}(x, \text{Estavel}) \wedge \text{Dependentes}(y) \wedge \text{Entre}(x, 36.000, 50.000) \wedge \neg \text{Menor}(y, 3) \rightarrow$
 $\text{Inadequada}(\text{Renda})$.
- $\forall x \text{ Ganhos}(x, \text{Estavel}) \wedge \neg \text{Maior}(x, 36.000) \rightarrow \text{Inadequada}(\text{Renda})$.
- $\forall x \text{ Ganhos}(x, \text{Instavel}) \rightarrow \text{Inadequada}(\text{Renda})$.

Base de conhecimento para o primeiro item da questão: Dois dependentes, R\$20.000,00 em poupança, renda estável de R\$30.000,00.

- $\text{Inadequada}(\text{Conta_poupança}) \rightarrow \text{Investimento}(\text{Poupança})$.
 - $\text{Adequada}(\text{Conta_poupança}) \wedge \text{Adequada}(\text{Renda}) \rightarrow \text{Investimento}(\text{Ações})$.
 - $\text{Adequada}(\text{Conta_poupança}) \wedge \text{Inadequada}(\text{Renda}) \rightarrow \text{Investimento}(\text{Combinação})$.
 - $\text{Quantia_poupada}(x) \wedge \text{Maior}(x, 20.000) \rightarrow \text{Adequada}(\text{Conta_poupança})$.
 - $\text{Quantia_poupada}(x) \wedge \neg \text{Maior}(x, 20.000) \rightarrow \text{Inadequada}(\text{Conta_poupança})$.
 - $\text{Ganhos}(x, \text{Estavel}) \wedge \text{Maior}(x, 50.000) \rightarrow \text{Adequada}(\text{Renda})$.
 - $\text{Ganhos}(x, \text{Estavel}) \wedge \text{Dependentes}(y) \wedge \text{Entre}(x, 36.000, 50.000) \wedge \text{Menor}(y, 3) \rightarrow \text{Adequada}(\text{Renda})$.
 - $\text{Ganhos}(x, \text{Estavel}) \wedge \text{Dependentes}(y) \wedge \text{Entre}(x, 36.000, 50.000) \wedge \neg \text{Menor}(y, 3) \rightarrow$
 $\text{Inadequada}(\text{Renda})$.
 - $\text{Ganhos}(x, \text{Estavel}) \wedge \neg \text{Maior}(x, 36.000) \rightarrow \text{Inadequada}(\text{Renda})$.
 - $\text{Ganhos}(x, \text{Instavel}) \rightarrow \text{Inadequada}(\text{Renda})$.
- Fatos:
- $\text{Dependentes}(2)$
 - $\text{Quantia_poupada}(20.000)$
 - $\text{Ganhos}(30.000, \text{Estavel})$

(Solução incompleta – falta fazer a árvore de prova)

- 5) Uma base de conhecimento foi construída, usando cláusulas definidas de primeira ordem, para identificar problemas em um eletrodoméstico. Construa a árvore de prova (árvore AND/OR) correspondente à execução do Algoritmo de **Encadeamento para trás com busca em profundidade** para a consulta **Problema(x)**, até encontrar uma (apenas uma) resposta para essa consulta. Antes de aplicar o algoritmo, faça a eliminação dos quantificadores universais e existenciais dando o tratamento adequado a cada um deles. Os fatos acrescentados à base correspondem à seguinte situação: tem alguma lâmpada no ambiente e ela não acende, o usuário sentiu cheiro de fumaça.

Base de conhecimento:

- 1) Observou(Ruptura_fio) \rightarrow Problema(Fio_rompido)
- 2) Falha(Alimentação) \wedge Falha(Energia) \rightarrow Problema(Fuzivel_queimado)
- 3) Falha(Alimentação) \wedge Observou(Estouro) \rightarrow Problema(Fuzivel_queimado)
- 4) $\forall x$ Lâmpada(x) \wedge Não_acende(x) \rightarrow Falha(Energia)
- 5) Observou(Cheiro_fumaça) \rightarrow Falha(Alimentação)

Fatos:

- 6) $\exists x$ Lâmpada(x) \wedge Não_acende(x)
- 7) Observou(Cheiro_fumaça)

Base de conhecimento após eliminação dos quantificadores:

- 1) Observou(Ruptura_fio) \rightarrow Problema(Fio_rompido)
- 2) Falha(Alimentação) \wedge Falha(Energia) \rightarrow Problema(Fuzivel_queimado)
- 3) Falha(Alimentação) \wedge Observou(Estouro) \rightarrow Problema(Fuzivel_queimado)
- 4) Lâmpada(x) \wedge Não_acende(x) \rightarrow Falha(Energia)
- 5) Observou(Cheiro_fumaça) \rightarrow Falha(Alimentação)

Fatos:

- 6) Lâmpada(L)
- 7) Não_acende(L)
- 8) Observou(Cheiro_fumaça)

(Solução incompleta – falta fazer a árvore de prova)