

# Algoritmo de inferência –Encadeamento para frente

- Ativar todas as regras cujas premissas são satisfeitas, adicionando suas conclusões aos fatos conhecidos.
  - Sentenças com implicação são chamadas de **regras**
  - Sentenças atômicas são chamadas **fatos**
  - Sentenças atômicas no antecedente da regra são chamadas de premissas
  - Uma premissa é satisfeita quando existe um fato e uma substituição que torna premissa = fato
- Repetir o processo até que a consulta seja respondida ou até que nenhum fato novo seja adicionado.
  - Um fato é novo se não for uma nova renomeação de um fato conhecido (sentenças idênticas exceto pelo nome das variáveis).
  - Ex: Gosta(x,sorvete) e Gosta(y,sorvete) são novas renomeações uma da outra.

# Algoritmo de inferência –Encadeamento para frente

- Sentenças de implicação: 1, 4, 5 e 6

1.  $\text{Americano}(x) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Vende}(x,y,z) \wedge \text{Hostil}(z) \rightarrow \text{Criminoso}(x)$
2.  $\text{Possui}(\text{Nono}, \text{M1})$
3.  $\text{Míssil}(\text{M1})$
4.  $\text{Míssil}(x) \wedge \text{Possui}(\text{Nono}, x) \rightarrow \text{Vende}(\text{West}, x, \text{Nono})$
5.  $\text{Míssil}(x) \rightarrow \text{Arma}(x)$
6.  $\text{Inimigo}(x, \text{América}) \rightarrow \text{Hostil}(x)$
7.  $\text{Americano}(\text{West})$
8.  $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$

# Exemplo – primeira iteração

1.  $\text{Americano}(x) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Vende}(x,y,z) \wedge \text{Hostil}(z) \rightarrow \text{Criminoso}(x)$

- Regra 1 tem premissas não satisfeitas
- Inferência não é feita

Sentenças atômicas:

2.  $\text{Possui}(\text{Nono}, \text{M1})$

3.  $\text{Míssil}(\text{M1})$

7.  $\text{Americano}(\text{West})$

8.  $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$

# Exemplo – primeira iteração

1.  $\text{Americano}(x) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Vende}(x,y,z) \wedge \text{Hostil}(z) \rightarrow \text{Criminoso}(x)$

- Regra 1 tem premissas não satisfeitas
- Inferência não é feita

4.  $\text{Míssil}(x) \wedge \text{Possui}(\text{Nono}, x) \rightarrow \text{Vende}(\text{West}, x, \text{Nono})$

- Regra 4 é satisfeita com  $\{x/M1\}$  e sentenças atômicas:
- $\text{Míssil}(M1)$
- $\text{Possui}(\text{Nono}, M1)$

Sentenças atômicas:

2.  $\text{Possui}(\text{Nono}, M1)$

3.  $\text{Míssil}(M1)$

7.  $\text{Americano}(\text{West})$

8.  $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$

# Exemplo – primeira iteração

1.  $\text{Americano}(x) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Vende}(x,y,z) \wedge \text{Hostil}(z) \rightarrow \text{Criminoso}(x)$

- Regra 1 tem premissas não satisfeitas
- Inferência não é feita

4.  $\text{Míssil}(x) \wedge \text{Possui}(\text{Nono}, x) \rightarrow \text{Vende}(\text{West}, x, \text{Nono})$

- Regra 4 é satisfeita com  $\{x/M1\}$  e sentenças atômicas:
- $\text{Míssil}(M1)$
- $\text{Possui}(\text{Nono}, M1)$
- $\text{Vende}(\text{West}, M1, \text{Nono})$  é adicionada

Sentenças atômicas:

- 2.  $\text{Possui}(\text{Nono}, M1)$
- 3.  $\text{Míssil}(M1)$
- 7.  $\text{Americano}(\text{West})$
- 8.  $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$
- 9.  $\text{Vende}(\text{West}, M1, \text{Nono})$

# Exemplo – primeira iteração

## 5. $\text{Míssil}(x) \rightarrow \text{Arma}(x)$

- A regra 5 é satisfeita com  $\{x/M1\}$  e sentença atômica:
- $\text{Míssil}(M1)$
- $\text{Arma}(M1)$  é adicionada

Sentenças atômicas:

2.  $\text{Possui}(\text{Nono}, M1)$
3.  $\text{Míssil}(M1)$
7.  $\text{Americano}(\text{West})$
8.  $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$
9.  $\text{Vende}(\text{West}, M1, \text{Nono})$
10.  $\text{Arma}(M1)$

# Exemplo – primeira iteração

## 5. $\text{Míssil}(x) \rightarrow \text{Arma}(x)$

- A regra 5 é satisfeita com  $\{x/M1\}$  e sentença atômica:
- $\text{Míssil}(M1)$
- $\text{Arma}(M1)$  é adicionada

## 6. $\text{Inimigo}(x, \text{América}) \rightarrow \text{Hostil}(x)$

- A regra 6 é satisfeita com  $\{x/Nono\}$  e sentença atômica:
- $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$
- $\text{Hostil}(\text{Nono})$  é adicionada

Sentenças atômicas:

2.  $\text{Possui}(\text{Nono}, M1)$
3.  $\text{Míssil}(M1)$
7.  $\text{Americano}(\text{West})$
8.  $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$
9.  $\text{Vende}(\text{West}, M1, \text{Nono})$
10.  $\text{Arma}(M1)$
11.  $\text{Hostil}(\text{Nono})$

# Exemplo - segunda iteração

1.  $\text{Americano}(x) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Vende}(x,y,z) \wedge \text{Hostil}(z) \rightarrow \text{Criminoso}(x)$

- Regra 1 é satisfeita com  $\{x/\text{West}, y/\text{M1}, z/\text{Nono}\}$  e sentenças atômicas:

- $\text{Americano}(\text{West})$
- $\text{Arma}(\text{M1})$
- $\text{Vende}(\text{West}, \text{M1}, \text{Nono})$
- $\text{Hostil}(\text{Nono})$

Sentenças atômicas:

- 2.  $\text{Possui}(\text{Nono}, \text{M1})$
- 3.  $\text{Míssil}(\text{M1})$
- 7.  $\text{Americano}(\text{West})$
- 8.  $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$
- 9.  $\text{Vende}(\text{West}, \text{M1}, \text{Nono})$
- 10.  $\text{Arma}(\text{M1})$
- 11.  $\text{Hostil}(\text{Nono})$



# Exemplo - segunda iteração

1.  $\text{Americano}(x) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Vende}(x,y,z) \wedge \text{Hostil}(z) \rightarrow \text{Criminoso}(x)$

- Regra 1 é satisfeita com  $\{x/\text{West}, y/\text{M1}, z/\text{Nono}\}$  e sentenças atômicas:

- $\text{Americano}(\text{West})$
- $\text{Arma}(\text{M1})$
- $\text{Vende}(\text{West}, \text{M1}, \text{Nono})$
- $\text{Hostil}(\text{Nono})$

- $\text{Criminoso}(\text{West})$  é adicionada

Sentenças atômicas:

- 2.  $\text{Possui}(\text{Nono}, \text{M1})$
- 3.  $\text{Míssil}(\text{M1})$
- 7.  $\text{Americano}(\text{West})$
- 8.  $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$
- 9.  $\text{Vende}(\text{West}, \text{M1}, \text{Nono})$
- 10.  $\text{Arma}(\text{M1})$
- 11.  $\text{Hostil}(\text{Nono})$
- 12.  $\text{Criminoso}(\text{West})$

- Resposta: True
- Nesse ponto, nenhuma nova inferência é possível, porque toda sentença que poderia ser uma conclusão produzida por encadeamento para a frente já está contida na BC.
- Essa base de conhecimento é chamada ponto fixo do processo de inferência.

# Exemplo – árvore de prova

(M1 é constante)

Árvore AND/OR  
Nós AND: conjunção  
Nós OR: disjunção

Os fatos conhecidos são as folhas da árvore  
A árvore é construída a partir das folhas

Americano(West)

Míssil(M1)

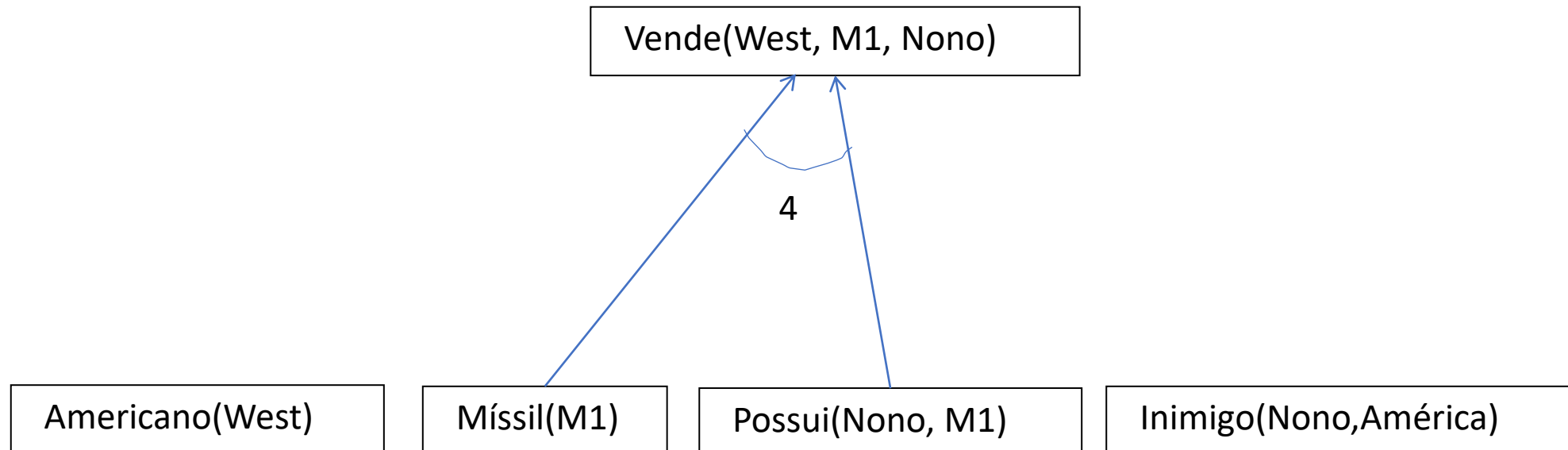
Possui(Nono, M1)

Inimigo(Nono, América)

# Exemplo – árvore de prova

(M1 é constante)

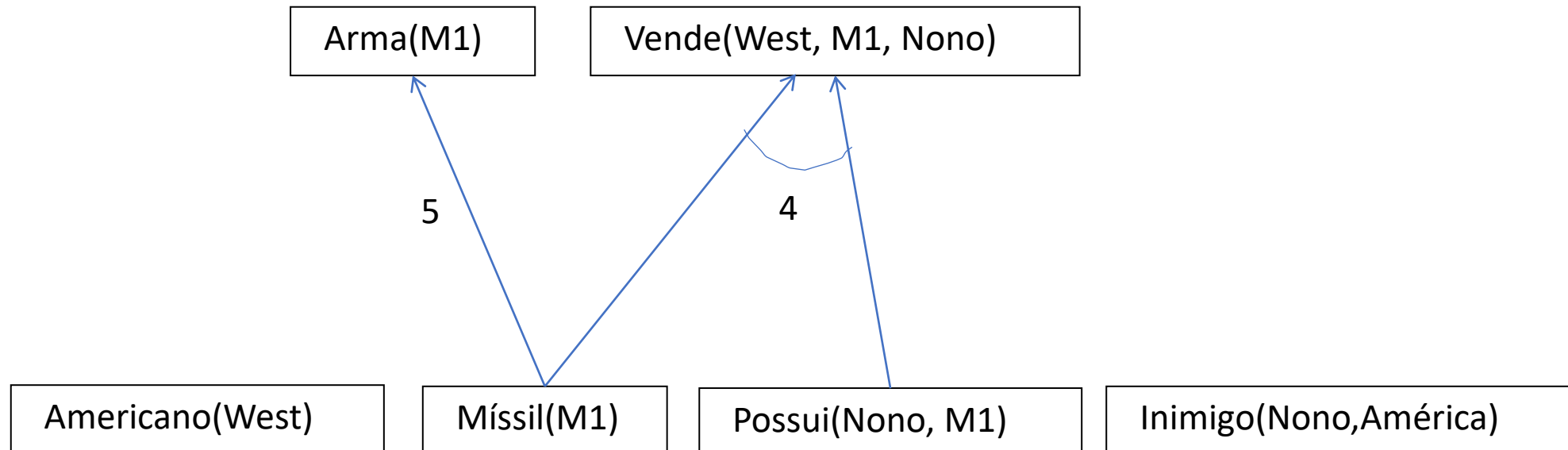
Árvore AND/OR  
Nós AND: conjunção  
Nós OR: disjunção



# Exemplo – árvore de prova

(M1 é constante)

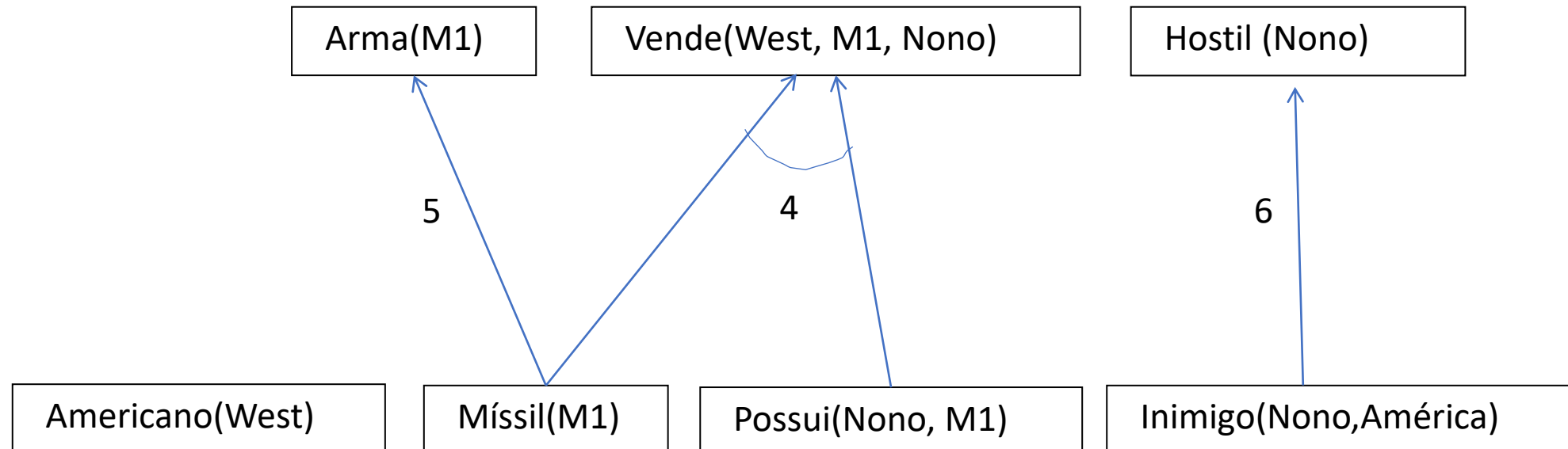
Árvore AND/OR  
Nós AND: conjunção  
Nós OR: disjunção



# Exemplo – árvore de prova

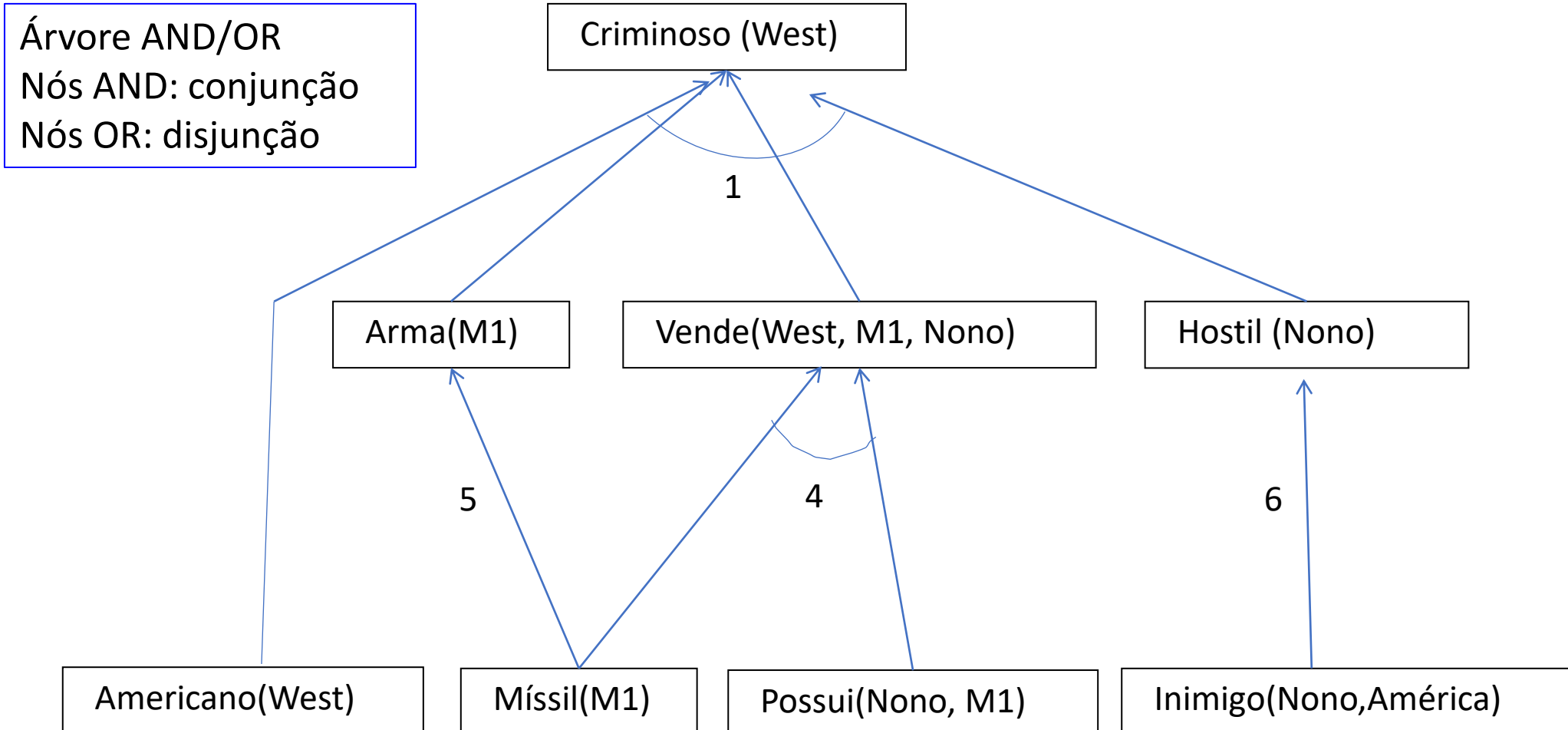
(M1 é constante)

Árvore AND/OR  
Nós AND: conjunção  
Nós OR: disjunção



# Exemplo – árvore de prova

(M1 é constante)



# Exemplo – árvore de prova

- Árvore de execução do encadeamento para frente
  - Os fatos iniciais são mostrados no nível inferior.
  - Começando com os fatos conhecidos, o algoritmo ativa todas as regras cujas premissas são satisfeitas, adicionando suas conclusões aos fatos conhecidos.
  - O processo se repete até a consulta ser respondida (o objetivo ser provado) ou até que não seja mais possível derivar um fato novo.

# Algoritmo de inferência –Encadeamento para trás com busca em profundidade

- A busca começa pelo objetivo e aplica regras (implicações) de trás para frente.
- A operação de unificação é feita entre consequentes de implicações e fatos.
- Quando o conseqüente é satisfeito, é substituído pelas premissas com as substituições feitas
- Quando uma regra é utilizada para substituir o objetivo por subobjetivos, os subobjetivos são armazenados em uma pilha (ou provados recursivamente).
- Quando um objetivo em uma conjunção tem sucesso, sua substituição (instanciações) é aplicada aos subobjetivos subsequentes.



# Algoritmo de inferência – Encadeamento para trás com busca em profundidade

- Quando um objetivo unifica com um fato, o objetivo está resolvido, e pode ou não haver substituições resultantes da unificação
- Exemplos:
  - Objetivo: Americano (West)    Fato: Americano (West)
  - Unifica
  - Substituições: { }
  - Objetivo: Americano (x)    Fato: Americano (West)
  - Unifica
  - Substituições: {x/West}

# Algoritmo – Encadeamento para trás com busca em profundidade para cláusulas definidas de primeira ordem

**Função** ET-CD(objetivo\_atual);

% **A lista de FECHADOS mantém os objetivos que são provados para evitar laços**

**Início**

**Se** objetivo\_atual é membro de fechados

**Então** retorna SUCESSO

**Senão** acrescente objetivo\_atual a fechados;

**Enquanto** restarem fatos ou regras para serem unificados **faça**

**Início**

...

...

**fim;**

**retornar** FALHA;

**fim.**

**Enquanto** restarem fatos ou regras para serem unificados **faça**

**Inicio**

**caso**

Objetivo\_atual unifica com um fato:

**retorne** substituições unificadoras;

Objetivo\_atual é uma negação ( $\sim p$ ):

**inicio**

chamar ET-CD para p;

**Se** ET-CD retornar FALHA

**então** **retornar** { }

**senão** **retornar** FALHA;

**fim;**

Objetivo\_atual é uma conjunção ( $p_1 \wedge p_1 \wedge \dots p_n$ ):

**inicio**

**para** cada termo da conjunção **fazer**

**inicio**

chamar ET-CD para termos da conjunção;

**se** ET-CD **retornar** FALHA

**então** **retornar** FALHA

**senão** aplicar substituições a outros termos da conjunção;

**fim;**

**se** ET-CD **retornar** SUCESSO para todos os termos da conjunção

**então** **retornar** composição das unificações;

**senão** **retornar** FALHA;

**fim;**

Objetivo\_atual unifica com a conclusão da regra ( $p \leftarrow q$ ):

**inicio**

aplicar substituições da unificação do objetivo a premissa (q);

chamar ET-CD para a premissa;

**se** ET-CD retornar SUCESSO

**então** retornar composição das substituições de p e q

**senão** retornar FALHA

**fim;**

**fim** {caso};

**fim;**

retornar FALHA;

**fim.**

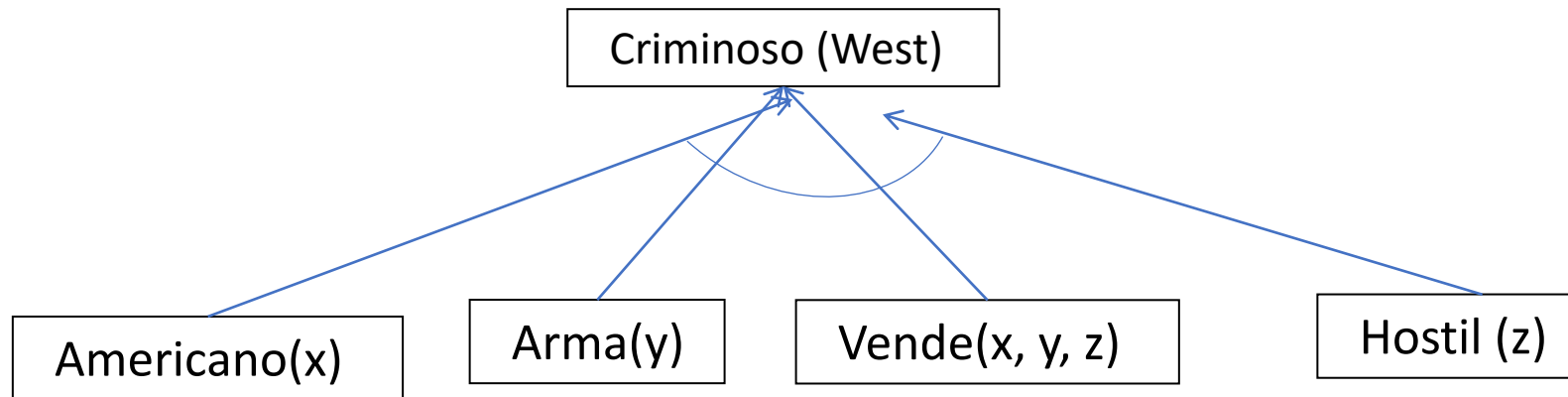
# Algoritmo de inferência – Encadeamento para trás com busca em profundidade – Exemplo

- Base de conhecimento

1.  $\text{Americano}(x) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Vende}(x,y,z) \wedge \text{Hostil}(z) \rightarrow \text{Criminoso}(x)$
2.  $\text{Possui}(\text{Nono}, M1)$
3.  $\text{Míssil}(M1)$
4.  $\text{Míssil}(x) \wedge \text{Possui}(\text{Nono}, x) \rightarrow \text{Vende}(\text{West}, x, \text{Nono})$
5.  $\text{Míssil}(x) \rightarrow \text{Arma}(x)$
6.  $\text{Inimigo}(x, \text{América}) \rightarrow \text{Hostil}(x)$
7.  $\text{Americano}(\text{West})$
8.  $\text{Inimigo}(\text{Nono}, \text{América})$

- Consulta:
- $\text{Criminoso}(\text{West})$

# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova



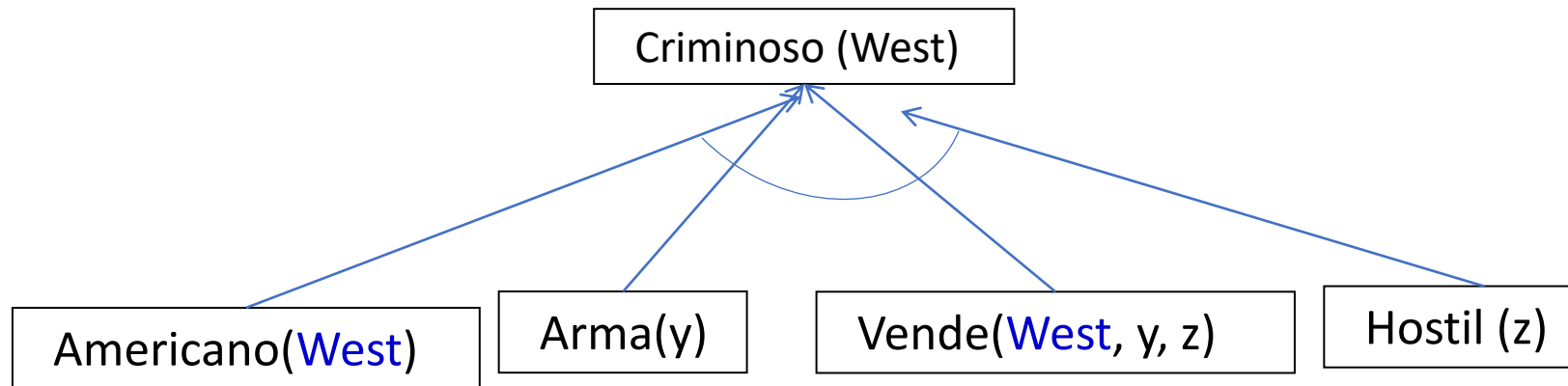
Objetivo: **Criminoso(West)**

unifica com o consequente da implicação:

**$\text{Americano}(x) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Vende}(x,y,z) \wedge \text{Hostil}(z) \rightarrow \text{Criminoso}(x)$**

Com a substituição:  **$\{x/\text{West}\}$**

# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova



Objetivo:  $\text{Americano}(\text{West}) \wedge \text{Arma}(y) \wedge \text{Vende}(\text{West}, y, z) \wedge \text{Hostil}(z)$

O novo objetivo é o antecedente da regra com as substituições feitas

Cada subobjetivo da conjunção deve ser provado

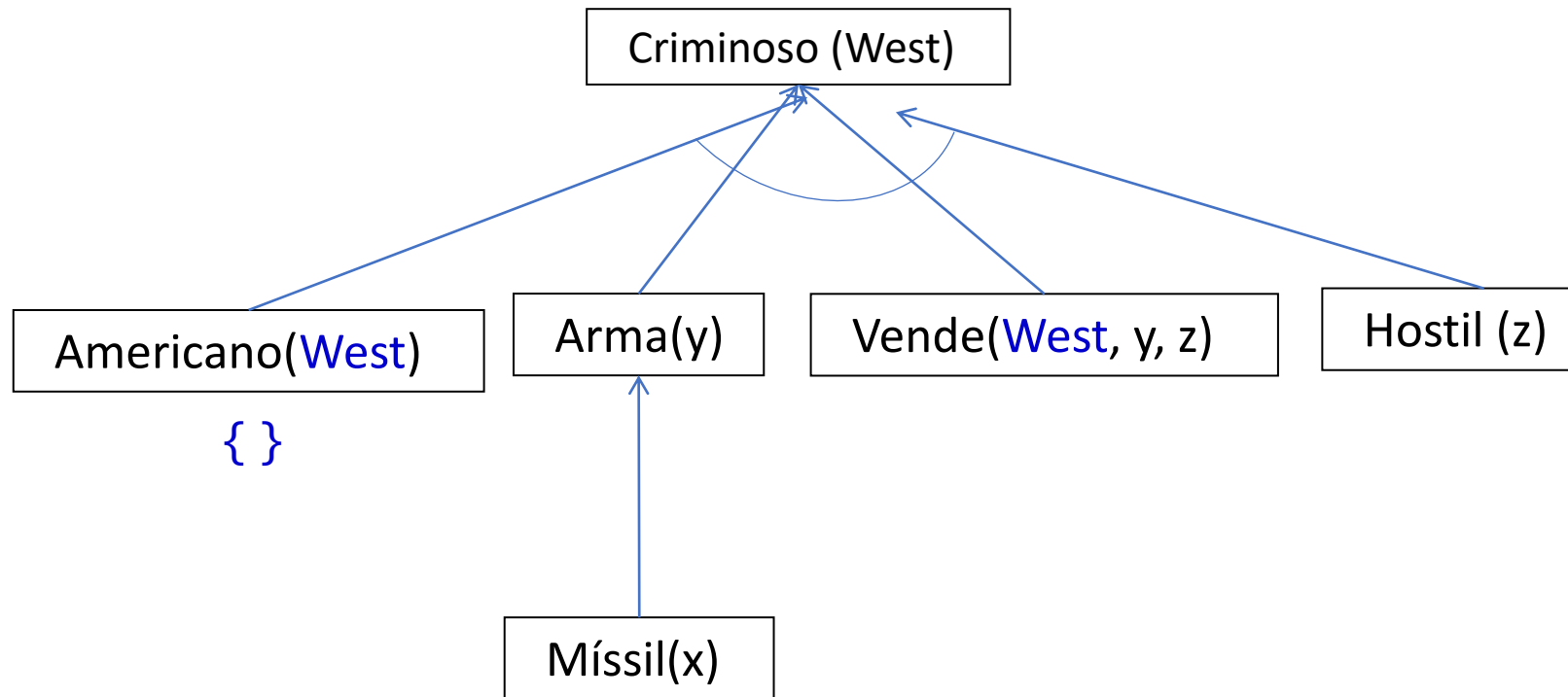
Objetivo:  $\text{Americano}(\text{West})$

Unifica com o fato:  $\text{Americano}(\text{West})$

Com a substituição:  $\{ \}$



# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova

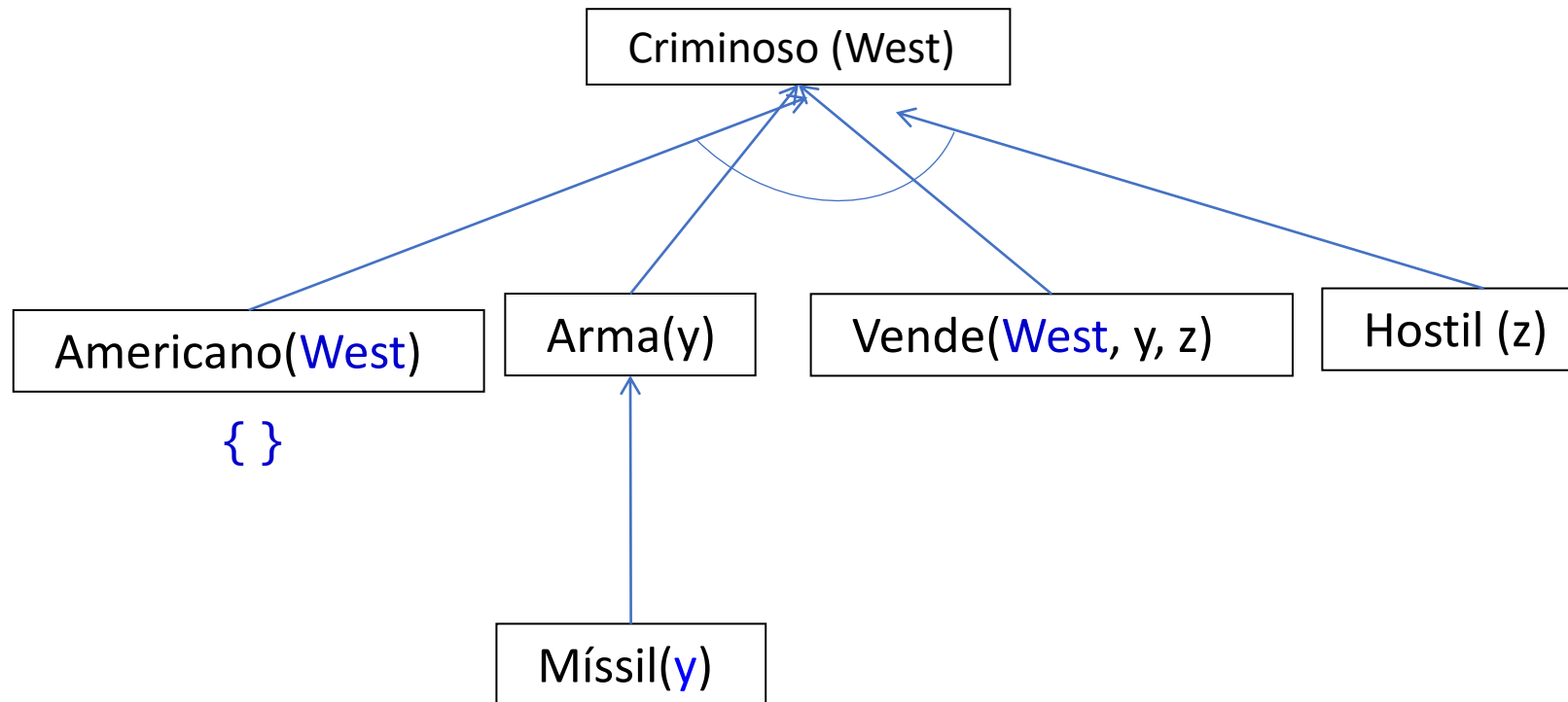


Objetivo:  $\text{Arma}(y)$

Unifica com o consequente da regra:  $\text{Míssil}(x) \rightarrow \text{Arma}(x)$

Com a substituição:  $\{y/x\}$

# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova

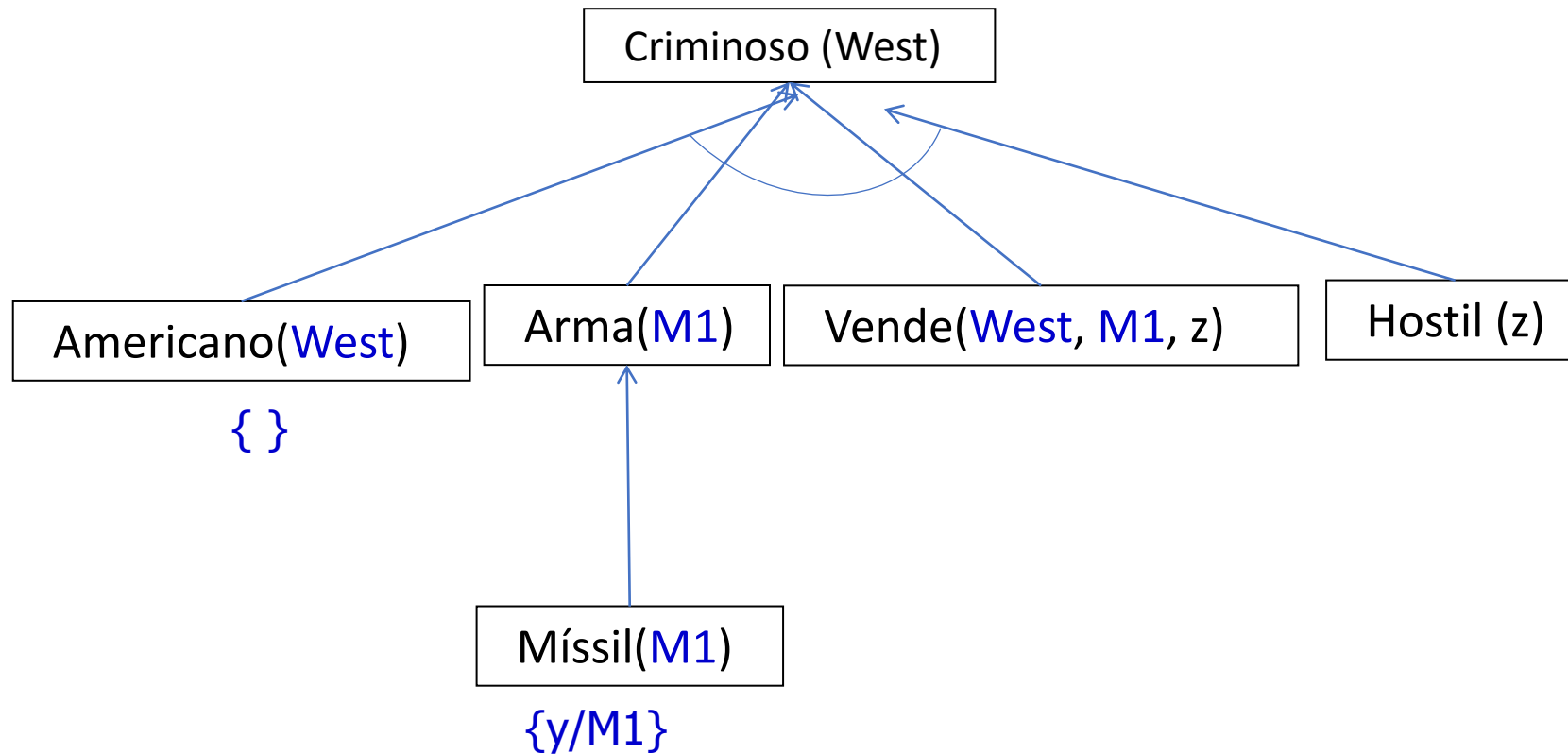


Objetivo: Míssil(y)

Unifica com o fato: Míssil(M1)

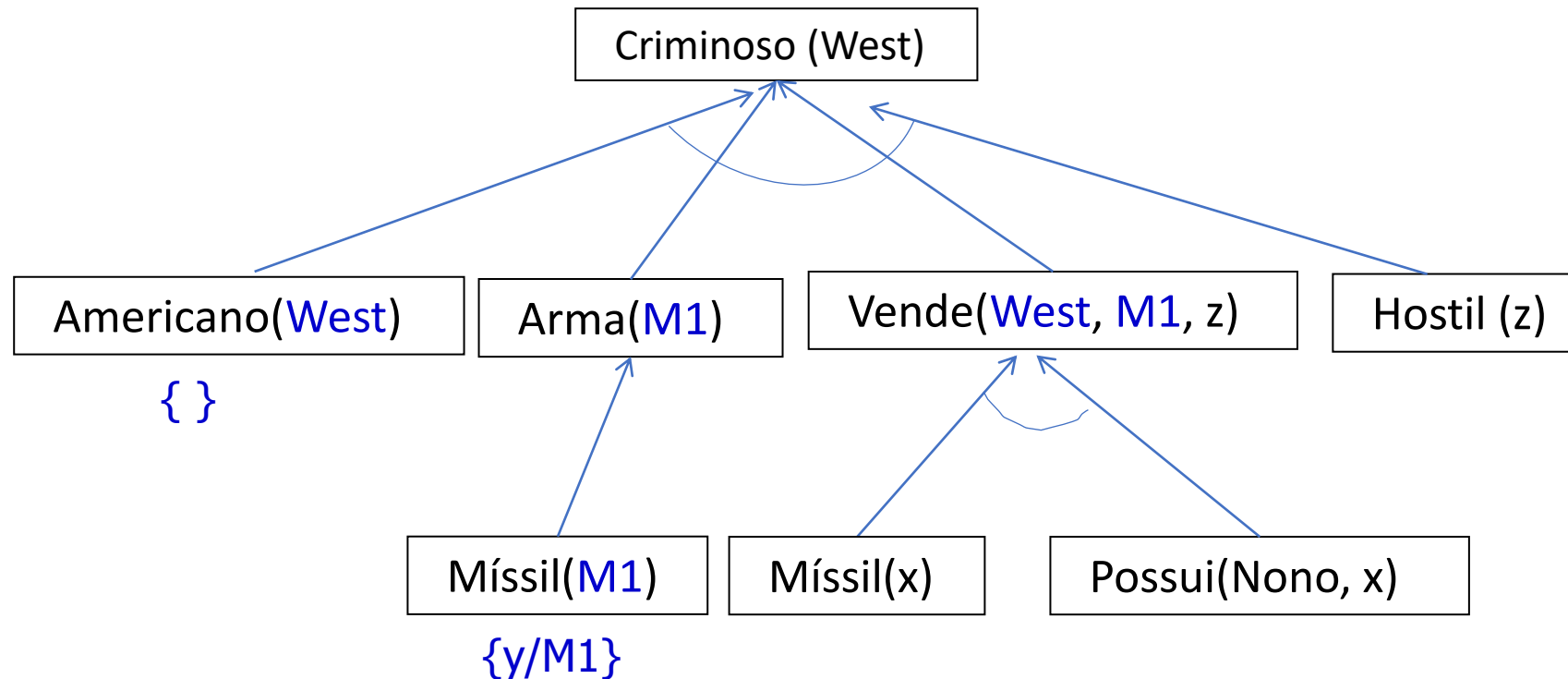
Com a substituição: {y/M1}

# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova



A substituição **{y/M1}** é aplicada a outros termos da conjunção

# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova



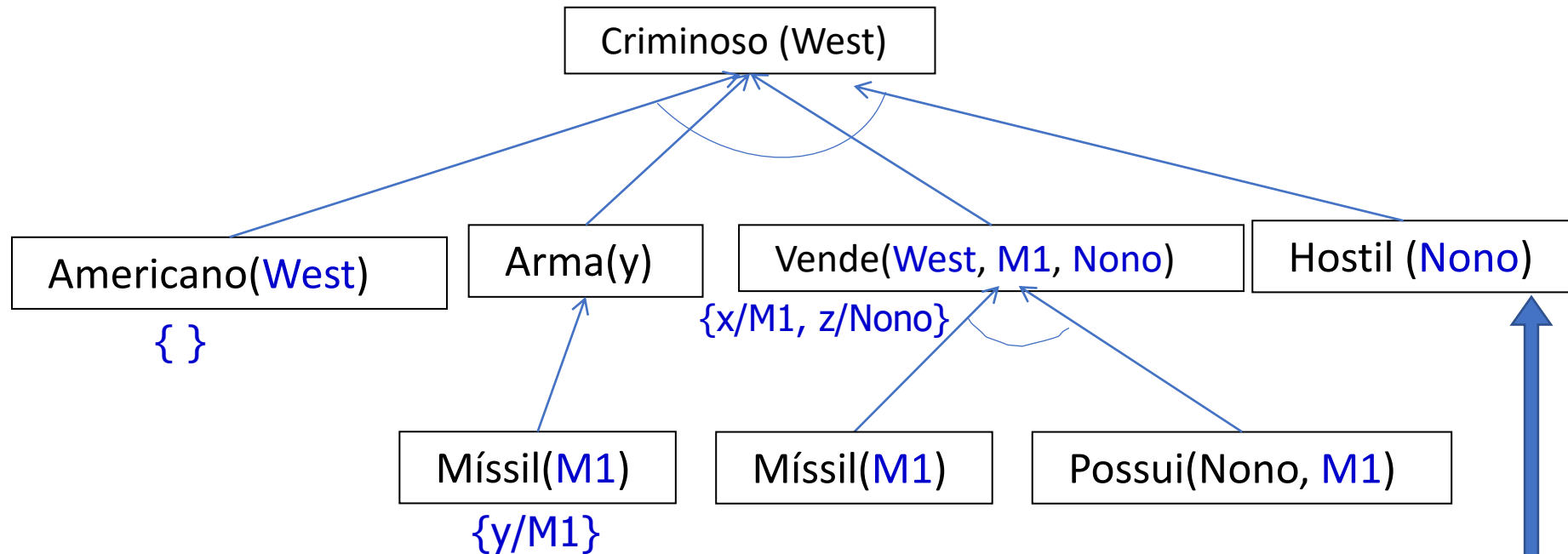
Objetivo: **Vende(West, M1, z)**

Unifica com o consequente da regra:

**Míssil(x)  $\wedge$  Possui(Nono, x)  $\rightarrow$  Vende(West, x, Nono)**

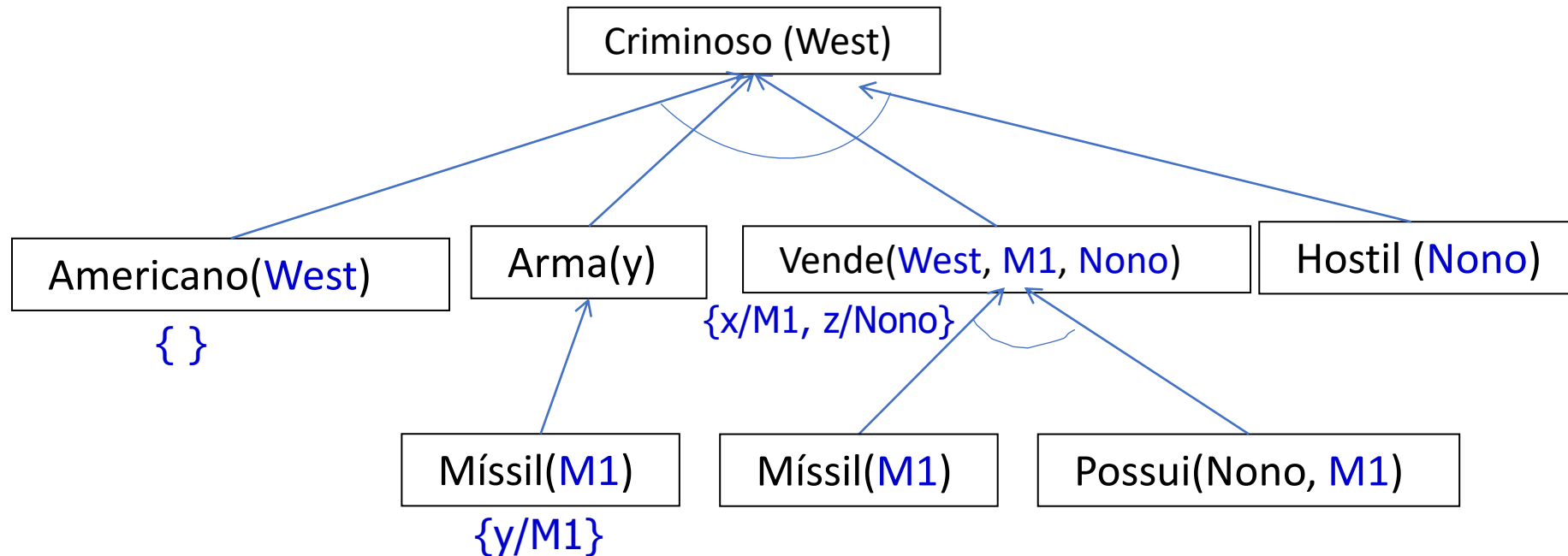
Com a substituição: **{x/M1, z/Nono}**

# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova



A substituição  $\{z/Nono\}$  é aplicada a outros termos da conjunção

# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova



Objetivo:  $\text{Míssil}(M1) \wedge \text{Possui}(\text{Nono}, M1)$

O novo objetivo é o antecedente da regra com as substituições feitas

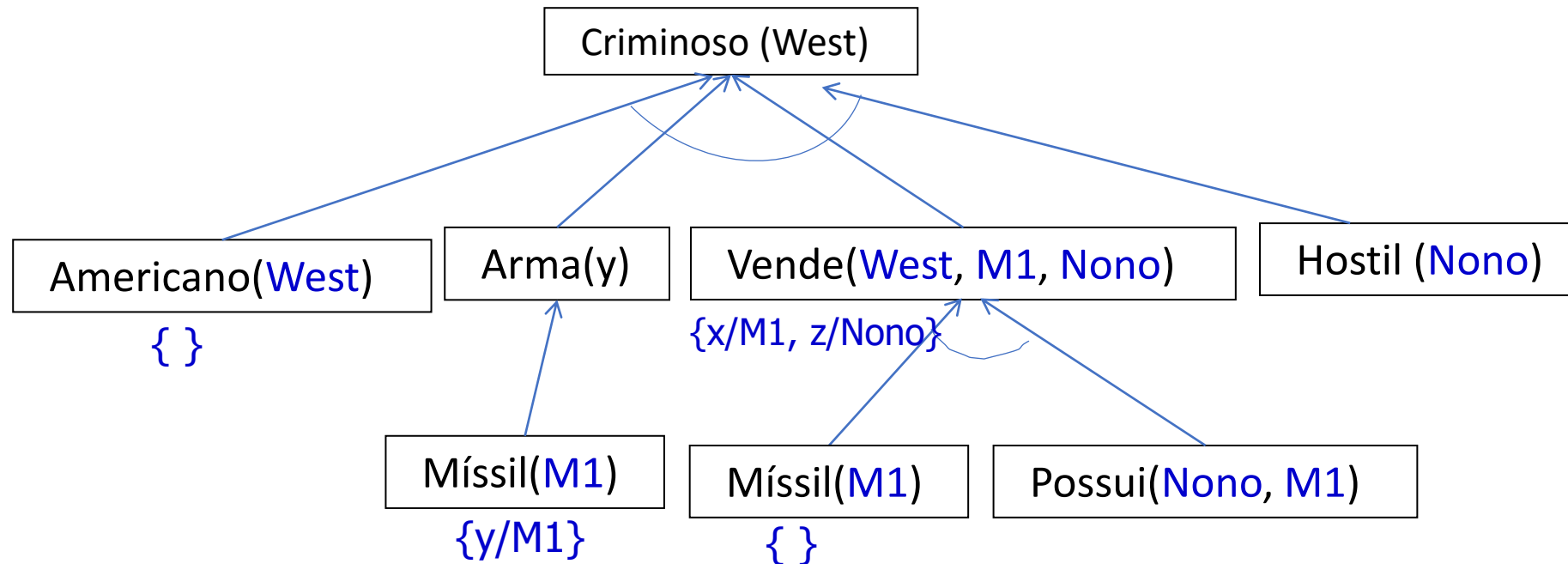
Cada subobjetivo da conjunção deve ser provado

Objetivo:  $\text{Míssil}(M1)$

Unifica com o fato:  $\text{Míssil}(M1)$

Com a substituição:  $\{ \}$

# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova

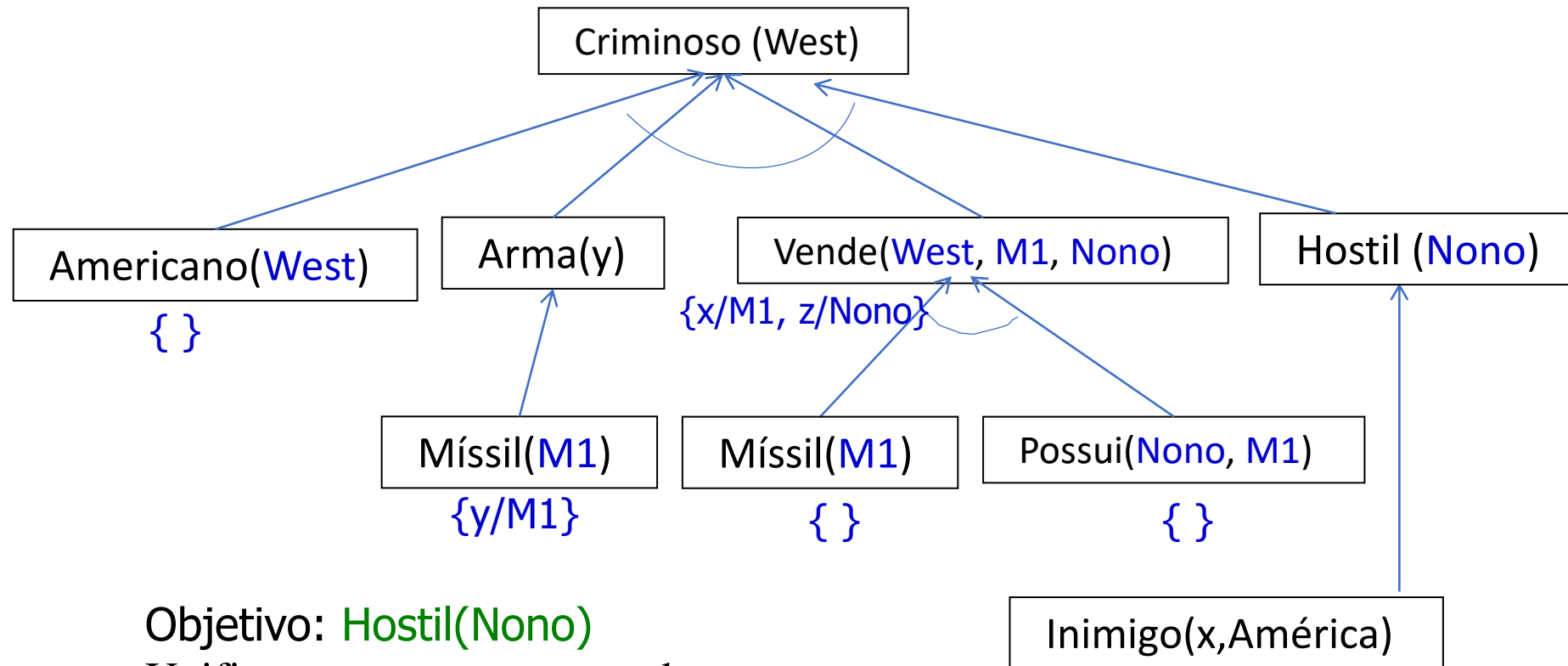


Objetivo: **Possui(Nono, M1)**

Unifica com o fato: **Possui(Nono, M1)**

Com a substituição:  $\{ \}$

# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova



Objetivo: **Hostil(Nono)**

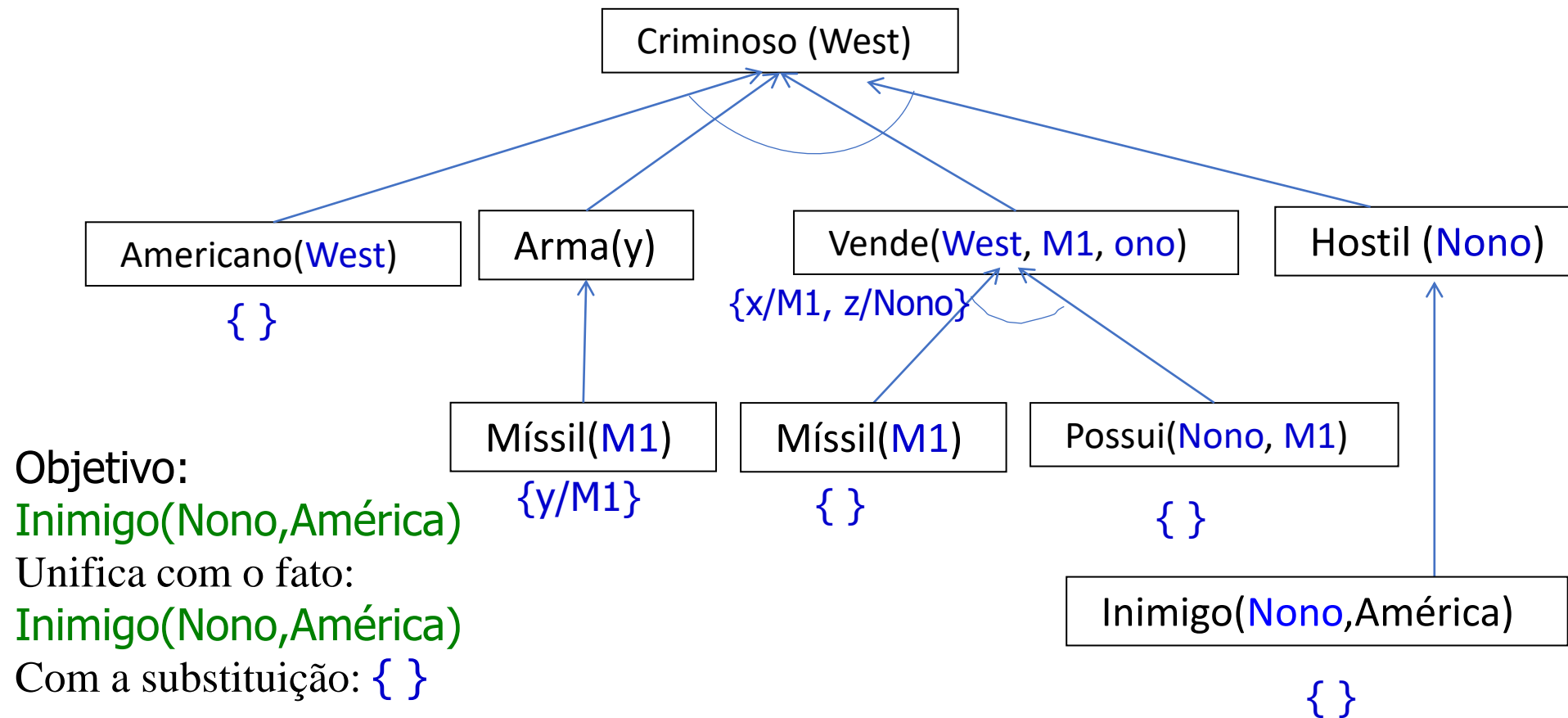
Unifica com o consequente da regra:

**Inimigo(x,América) → Hostil(x)**

Com a substituição:  $\{x/Nono\}$



# Encadeamento para trás com busca em profundidade – Árvore de Prova



- Próxima aula:
- Exemplos de Algoritmos de Inferência na Lógica de Predicados