

SADC

**Sistemas de Apoio à Decisão Clínica
(Clinical Decision Support Systems)**

Mestrado em Informática Médica

5 ECTS

Inês Dutra, João Gama e Alípio Jorge

Estrutura do curso

- 6/7 aulas
- 3 módulos
 - Introdução
 - Programação Lógica Indutiva
 - Raciocínio com Incertezas
 - Sistemas e aula prática
- Avaliação
 - Trabalho escrito + apresentação
 - Entrega: 1 ou 8 de Fevereiro

Conteúdo

- Introdução
 - Histórico
 - Motivação
 - Objetivos do curso
- Formas de representação do conhecimento
- Técnicas de aprendizagem de máquina
- Programação Lógica Indutiva
- Raciocínio com Incertezas
- Aplicações práticas e sistemas

Introdução

- Sistemas de apoio à decisão clínica?
- Possível definição:
- "active knowledge systems which use two or more items of patient data to generate case-specific advice" [\[Wyatt J, Spiegelhalter D, 1991\]](#).
- “a computer program that provides reminders, advice or interpretation specific to a given patient at a particular time”

Introdução: possíveis tarefas

- Generating alerts and reminders
- Diagnostic assistance
- Therapy critiquing and planning
- Image recognition and interpretation
- Porém, podem ser e fazer mais do que isso num contexto mais amplo

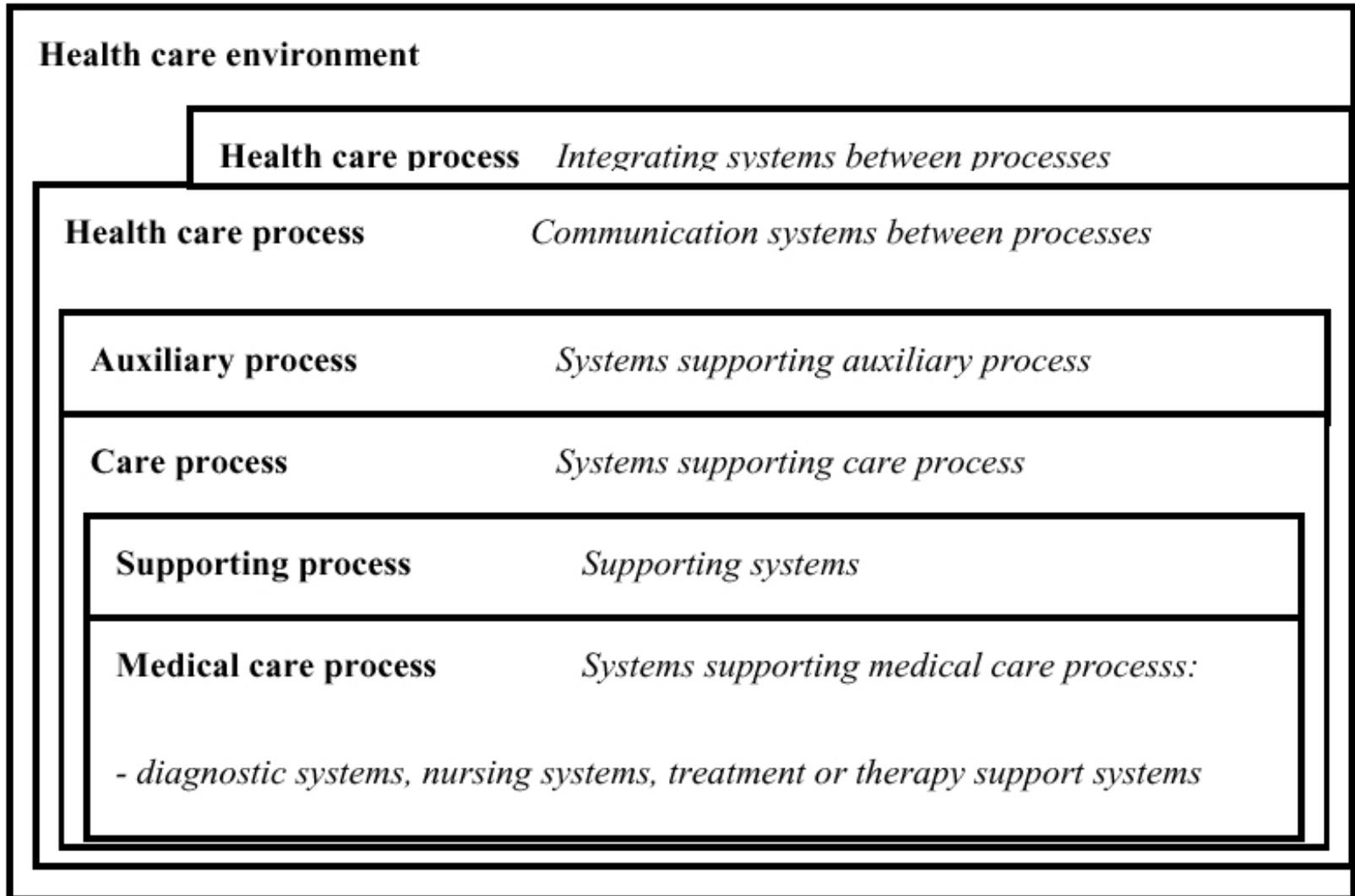
Introdução

- Segundo [Perreault & Metzger, 1999]: SADCs devem possuir 4 funções principais:
 - Administrativa: devem dar suporte à codificação clínica e documentação, autorização de procedimentos, e encaminhamento de pacientes, dentre outras atividades administrativas
 - Gestão de complexidade clínica e detalhes: por exemplo, armazenamento de dados de pacientes sendo estudados, ou protocolos de quimioterapia, gestão de chamadas médicas, gestão de encaminhamento de pacientes e medicina preventiva
 - Controle de custo: Monitoração de medicação, prevenção de testes duplicados ou desnecessários
 - Suporte à Decisão: Suporte ao diagnóstico clínico e procedimentos para tratamento; promoção de “best practices”, guias específicos de acordo com a condição do paciente, e gestão de populações com doença e sem doença

Introdução

- Em qualquer destas funções, podem ser usadas técnicas de Inteligência Artificial (IA), técnicas estatísticas e/ou de otimização
- Com o objetivo de tornar os processos mais eficientes:
 - Quantitativamente
 - Qualitativamente

Introdução: tipos de sistemas



Introdução: motivação

- Podemos sobreviver sem um SADC?
- Sim e não!!!
- Sim: comunidades carentes, sem acesso à tecnologia, continuarão sendo atendidas e medicadas, sem o auxílio de aparato computacional sofisticado
- Não:
 - se quisermos melhorar a eficiência de diagnósticos e proporcionar qualidade de vida e sobrevida de pacientes de alto risco
 - Qtde cada vez maior de dados gera a necessidade de utilização de ferramentas computacionais para armazená-los e analisá-los

Introdução: aplicações

[Home](#)

[Antibiotics and
Infectious Diseases](#)

[Trauma Management](#)

[Cancer](#)

[Surgery and Post-
Operative Care](#)

[Chest Pain](#)

[Pulmonology
and Ventilation](#)

[Dentistry](#)

[Pediatrics](#)

[Dermatology](#)

[Orthopedics](#)

[Drugs and
Toxicology](#)

[Laboratory](#)

[Emergency](#)

[Intensive Care](#)

[Epilepsy](#)

[Internal Medicine](#)

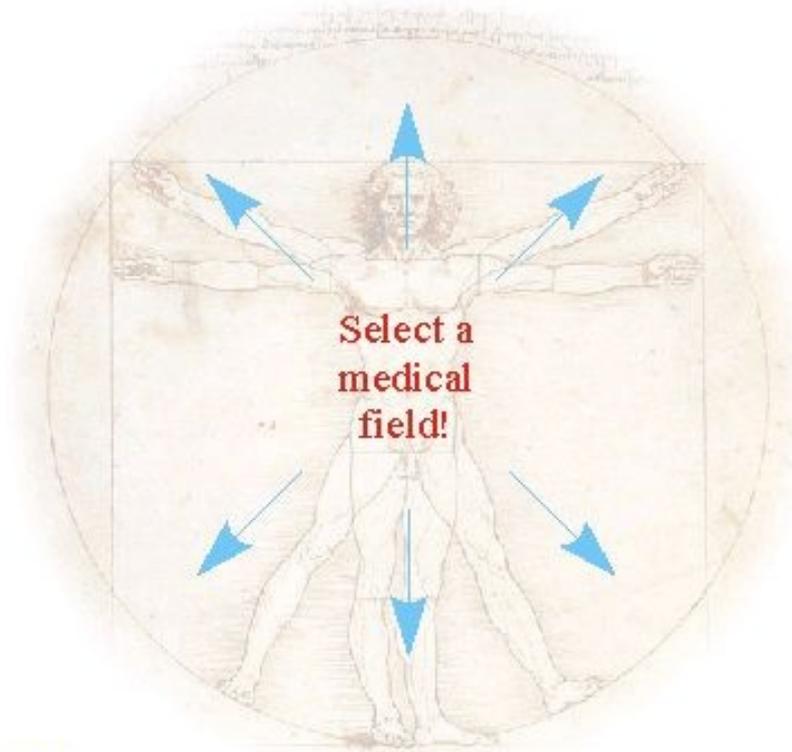
[Family Practice](#)

[Image Analysis](#)

[Genetics](#)

[Geriatrics](#)

[Gynecology](#)



Introdução: breve histórico

- Utilização de IA: começou nos anos 70 produzindo vários sistemas experimentais
 - Baseados em regras
 - Baseados em redes de Bayes
 - Causais

Introdução: breve histórico

- **AAPHelp** (de Dombal, 1972)
- Para tratamento de dor abdominal aguda com sugestão de cirurgia dependendo da gravidade
- Uma das primeiras tentativas de implementar raciocínio automático com incertezas, usando rede de Bayes naïve.

Introdução: breve histórico

- **INTERNIST I** (Pople and Myers, 1974)
- Um dos primeiros SADC projetado para apoio à diagnose
- Sistema especialista baseado em regras para o diagnóstico de problemas complexos. Usava uma lista de estados compatíveis, baseados em um banco de dados estruturado em árvore para ligar doenças e sintomas
- Nos anos 80, a parte mais valiosa do sistema foi identificada como sendo o banco de dados.
- Este banco de dados foi a base de outros sistemas subsequentes, como por exemplo, CADUCEUS e o Quick Medical Reference (QMR), este, um SADC comercializado

Introdução: breve histórico

- **MYCIN** (1976)
- Sistema especialista baseado em regras para diagnóstico e recomendação de tratamento de certas infecções sanguíneas (seleção antibiótica para pacientes com bacteremia ou meningite)
- Foi estendido mais tarde para outras doenças infecciosas
- O conhecimento clínico é representado como um conjunto de regras IF-THEN
- Diagnósticos são apresentados com fatores de confiabilidade
- É um sistema orientado ao objetivo (goal-directed system),
- Usa uma estratégia de raciocínio baseado em encadeamento para trás (backward chaining) e busca em profundidade

Introdução: breve histórico

MYCIN (cont.)

- Foi desenvolvido em meados dos anos 70 por Ted Shortliffe e colegas na Universidade de Stanford
- É, provavelmente, o sistema especialista mais famoso na área médica, descrito por Mark Musen como sendo "the first convincing demonstration of the power of the rule-based approach in the development of robust clinical decision-support systems" [[Musen, 1999](#)].
- Seu sucessor, EMYCIN (Essential MYCIN), utiliza as estruturas de controle do MYCIN e foi desenvolvido em Stanford em 1980.
- EMYCIN foi utilizado para construir PUFF, um sistema projetado para interpretar testes de função pulmonar em pacientes com problemas pulmonares

Introdução: breve histórico

- **CASNET** (Causal ASsociational NETworks) (anos 60)
- Ferramenta geral para construir sistemas especialistas para diagnóstico e tratamento de doenças
- Aplicação mais popular: CASNET/Glaucoma para diagnóstico e tratamento de glaucoma.
- Conhecimento clínico representado como uma rede associativa causal
- Desenvolvido na Universidade de Rutgers e implementado em FORTRAN.

Introdução: breve histórico

- **PIP** (Present Illness Program) anos 70
- Desenvolvido pelo MIT e Tufts-New England Medical Center
- Funções: adquirir dados e gerar hipóteses sobre processos de desenvolvimento de doenças renais

Introdução: breve histórico

- **ABEL** (Acid-Base and Electrolyte program) (anos 80)
- Utiliza raciocínio causal
- Desenvolvido no MIT

Introdução: breve histórico

- **ONCOCIN**
- Sistema especialista baseado em regras para gestão de protocolos em oncologia
- Desenvolvido na Universidade de Stanford
- Suporte a médicos no tratamento de pacientes em quimioterapia
- Primeiro sistema que tentou modelar decisões ao longo do tempo utilizando uma linguagem de fluxograma
- Histórico de eventos passados e duração das ações são levados em consideração

Introdução: breve histórico

- **DXplain** (anos 80, comercializado) [[LCS MGH Harvard Medical School](#)].
- Utiliza dados clínicos (sinais, sintomas, testes de laboratório) para produzir uma lista ordenada de diagnósticos que podem explicar (ou estar associados a) manifestações clínicas
- Explica porque os diagnósticos foram considerados
- Sugere coleta de informação extra
- Lista as manifestações clínicas que são atípicas de uma determinada doença
- inclui 2.200 doenças e 5.000 sintomas
- Desenvolvido no [Laboratory of Computer Science](#), Massachusetts General Hospital, Harvard Medical School

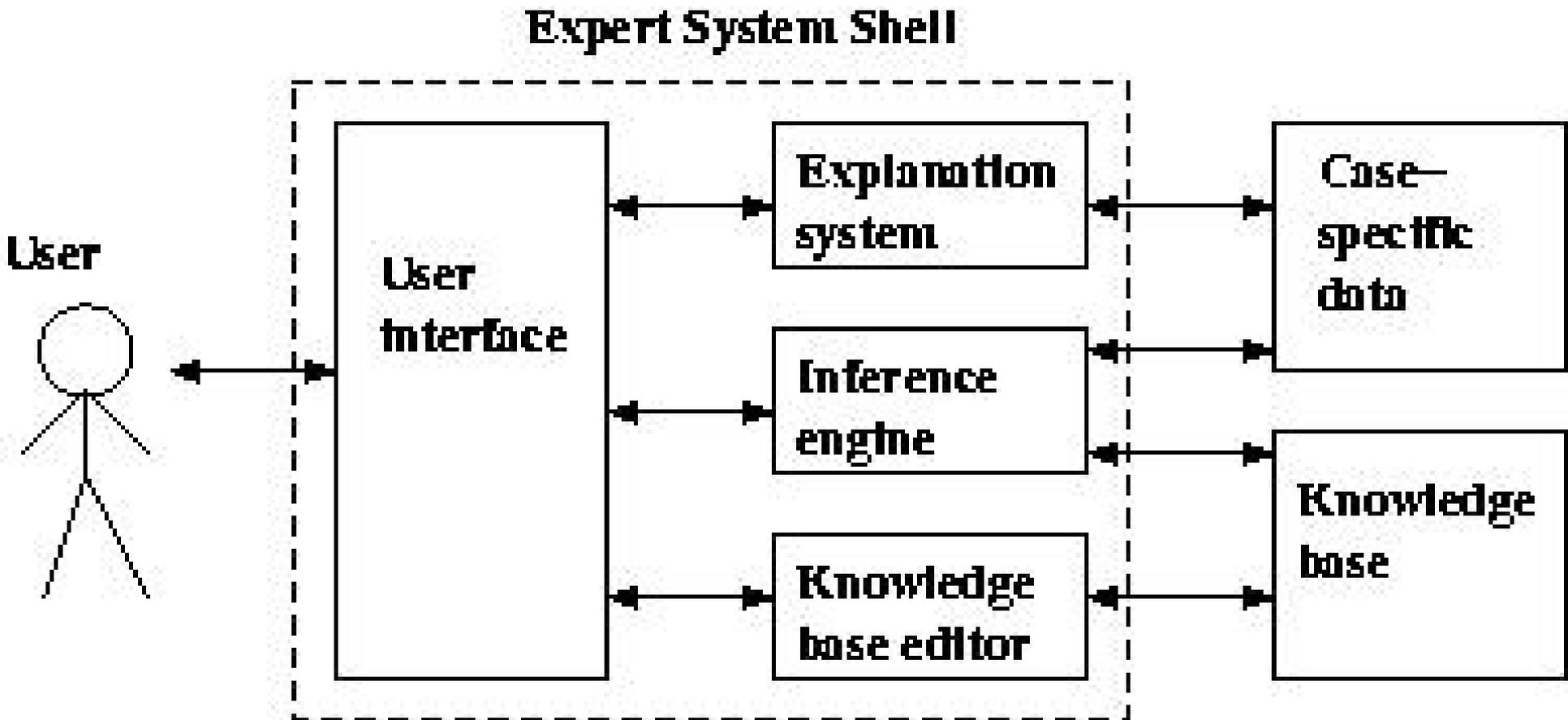
Introdução: breve histórico

- **QMR** (Quick Medical Reference) (1980)
- Contém um banco de dados de doenças, diagnósticos, associações entre doenças e informação laboratorial
- Foi projetado para 3 tipos de uso: livro eletrônico, planilha e programa de consulta [[Miller RA, 1989](#)]
- Desenvolvido pela Universidade de Pittsburgh e por [First Databank](#), California.

Introdução

- Sistemas especialistas foram e ainda são muito populares
- conhecimento geralmente representado por regras IF-THEN
- Sistemas **dedutivos!**
- Com módulo explicativo

Introdução: sistemas especialistas



Sistemas dedutivos: exemplo

“A lei americana diz que é crime um americano vender armas para nações hostis. Nono, um país inimigo dos EUA, tem alguns mísseis, e todos estes mísseis foram vendidos pelo Coronel Oeste, que é americano”.

Como provar que o coronel é criminoso?

...é um crime um americano vender armas para nações hostis...

(8) Para todo x,y,z $Amer(x) \wedge Arma(y) \wedge Nacao(z) \wedge Hostil(z) \wedge Vende(x,z,y) \rightarrow Crim(x)$

...Nono...tem alguns mísseis...

(10) Existe x $Dono(Nono,x) \wedge Missil(x)$

...todos estes mísseis foram vendidos pelo Coronel Oeste...

(3) Para todo x $Dono(Nono,x) \wedge Missil(x) \rightarrow Vende(Oeste,Nono,x)$

(4) Para todo x $Missil(x) \rightarrow Arma(x)$

(5) Para todo x $Inimigo(x,EUA) \rightarrow Hostil(x)$

(6) $Americano(Oeste)$

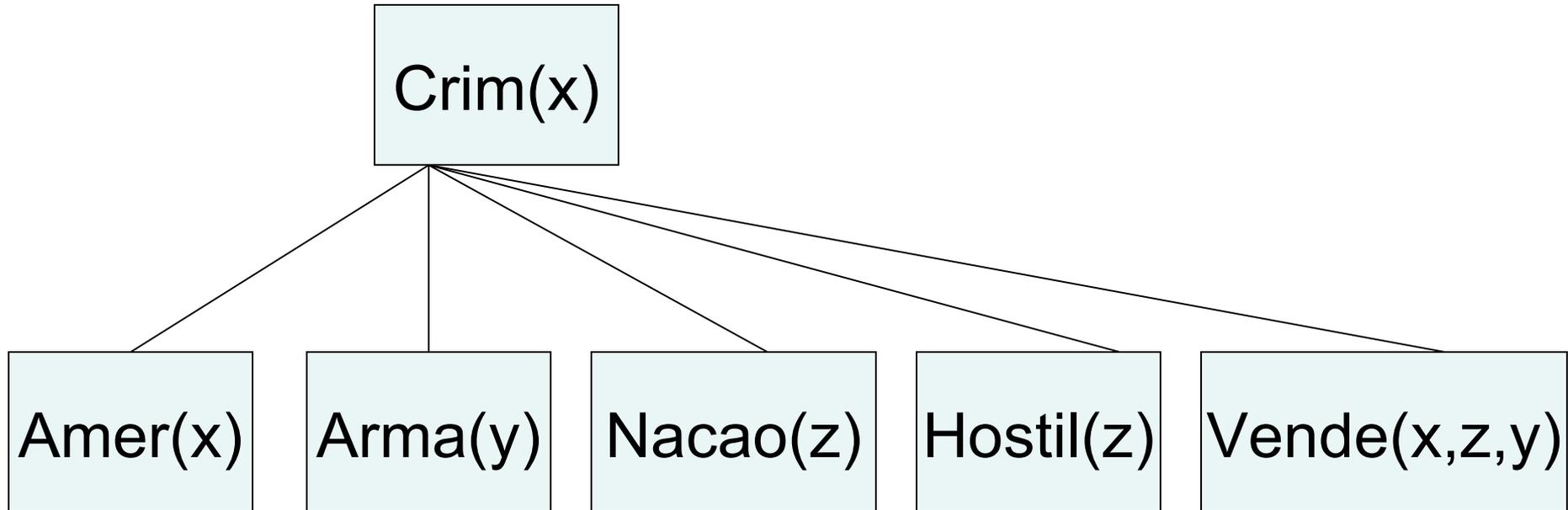
(7) $Nacao(Nono)$

(8) $Inimigo(Nono,EUA)$

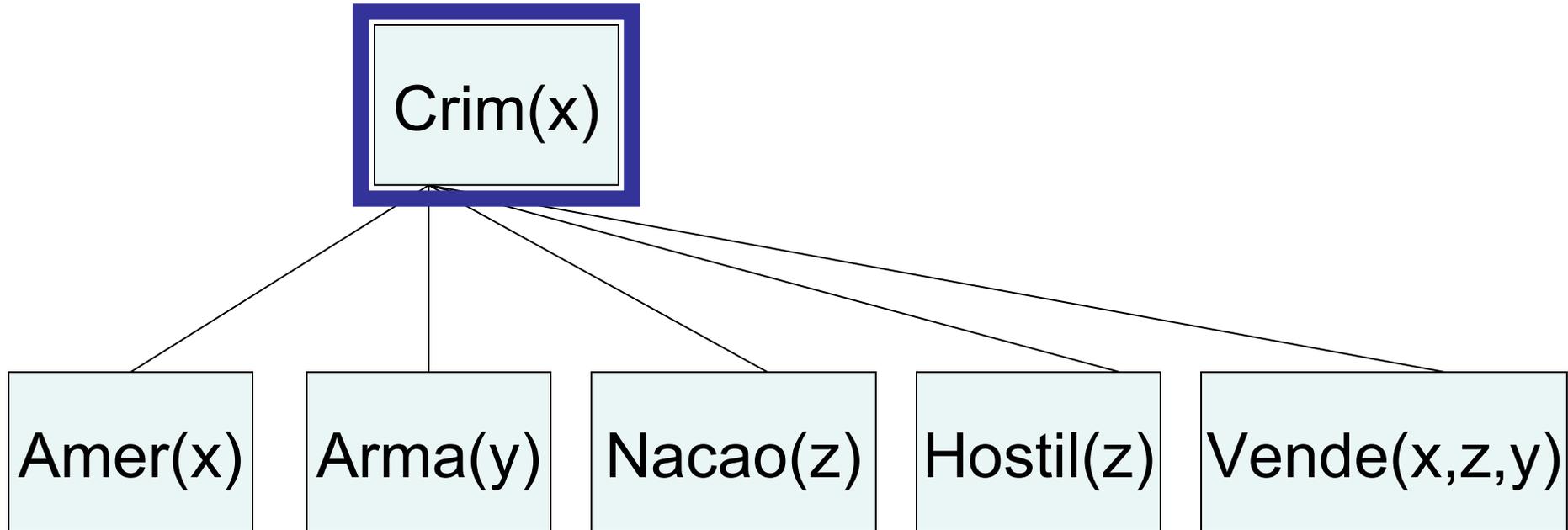
(9) $Nacao(EUA)$

(10) $Arma(M1)$

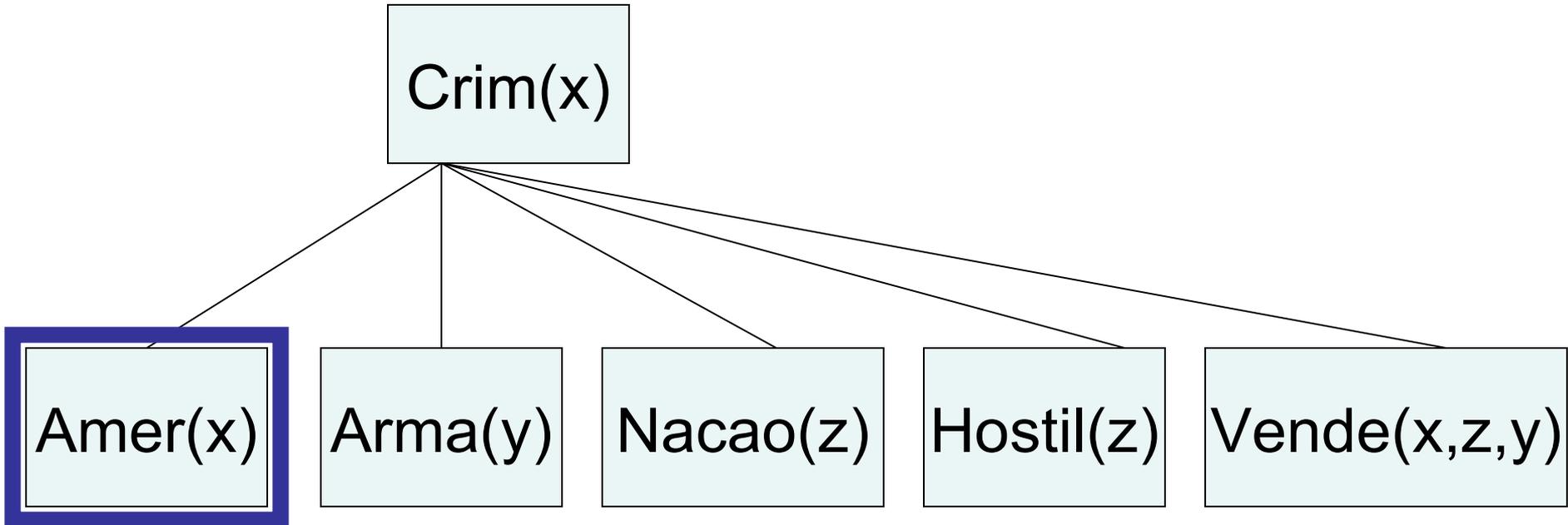
Sistemas dedutivos: exemplo



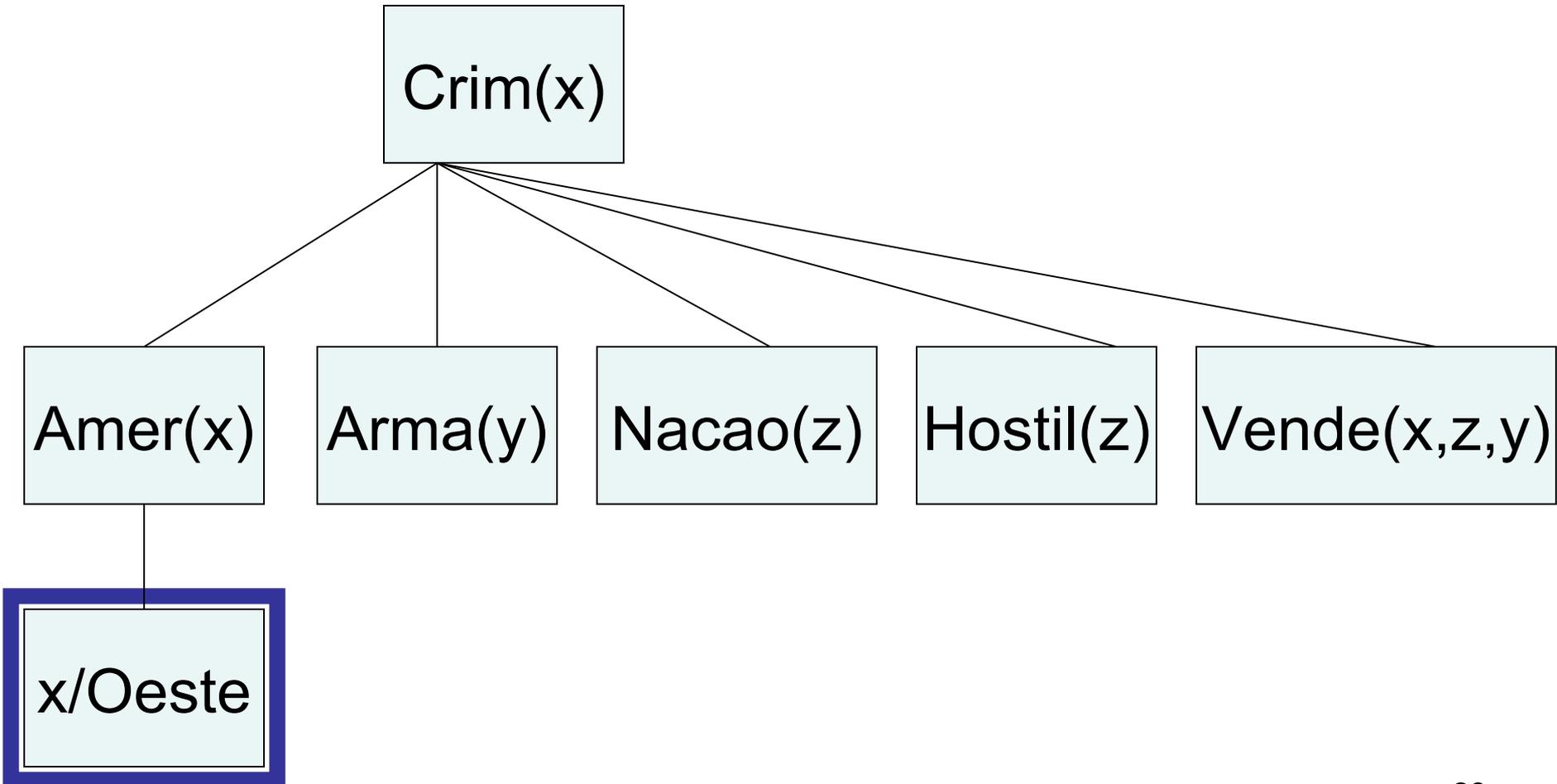
Sistemas dedutivos: exemplo



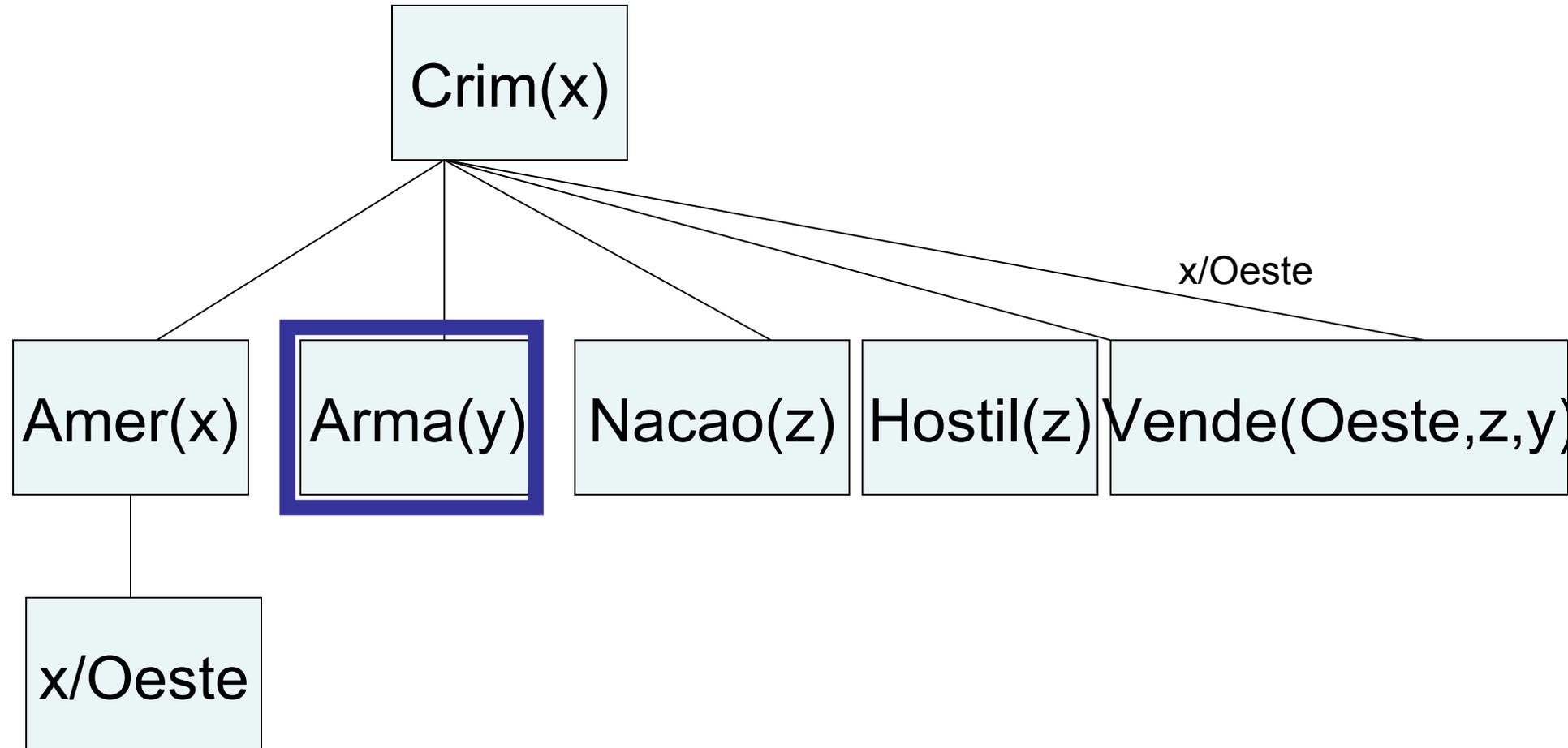
Sistemas dedutivos: exemplo



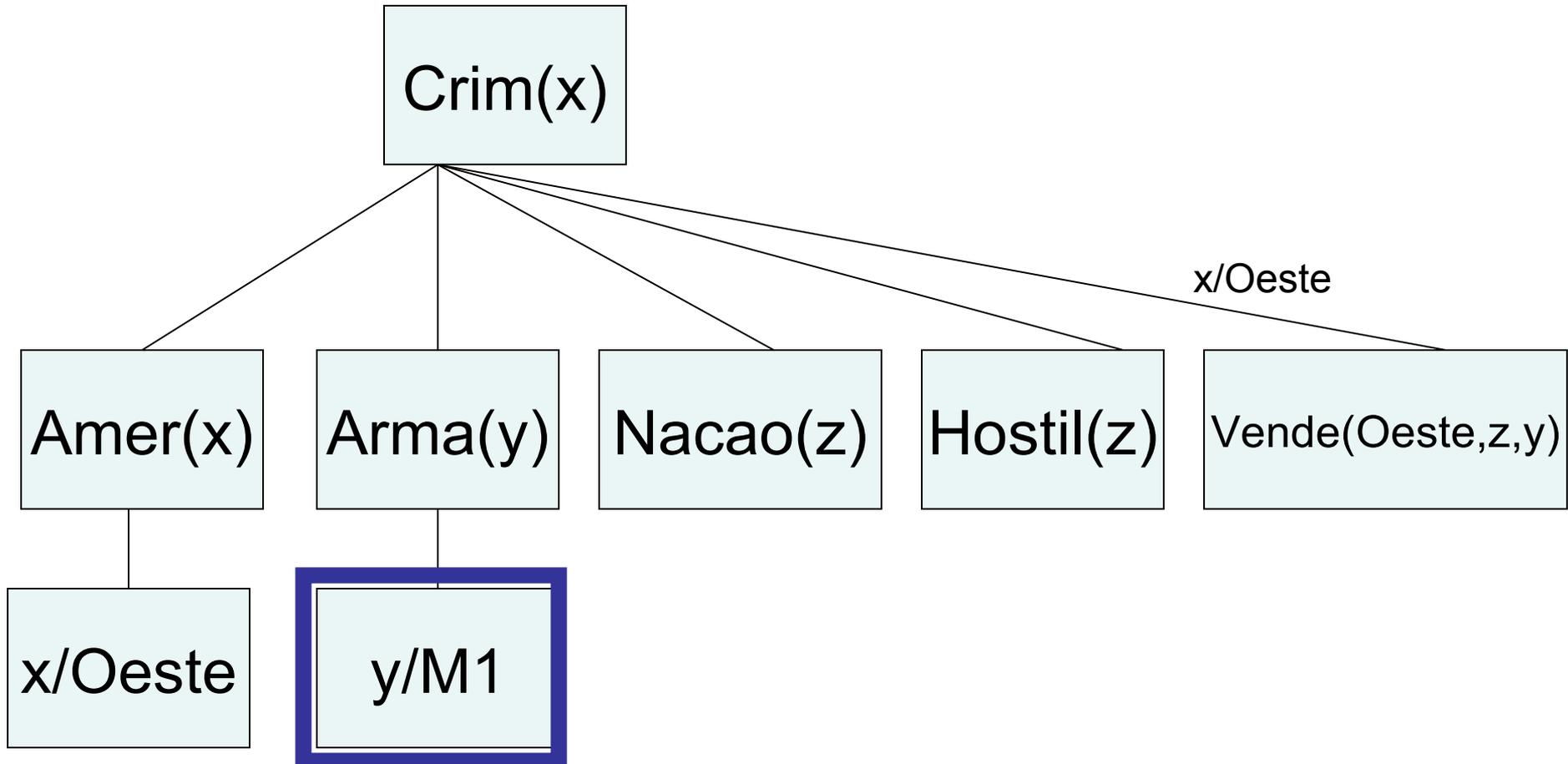
Sistemas dedutivos: exemplo



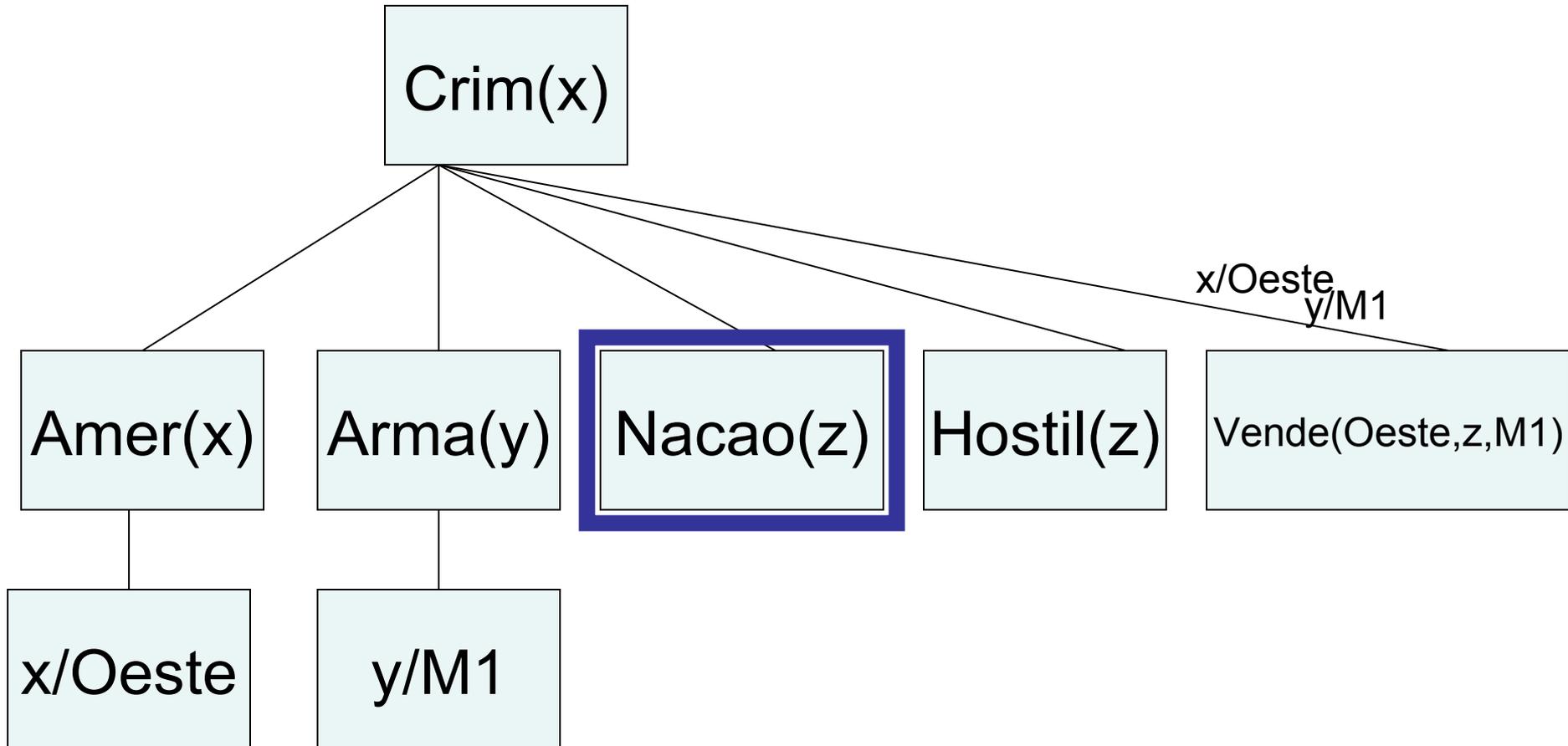
Sistemas dedutivos: exemplo



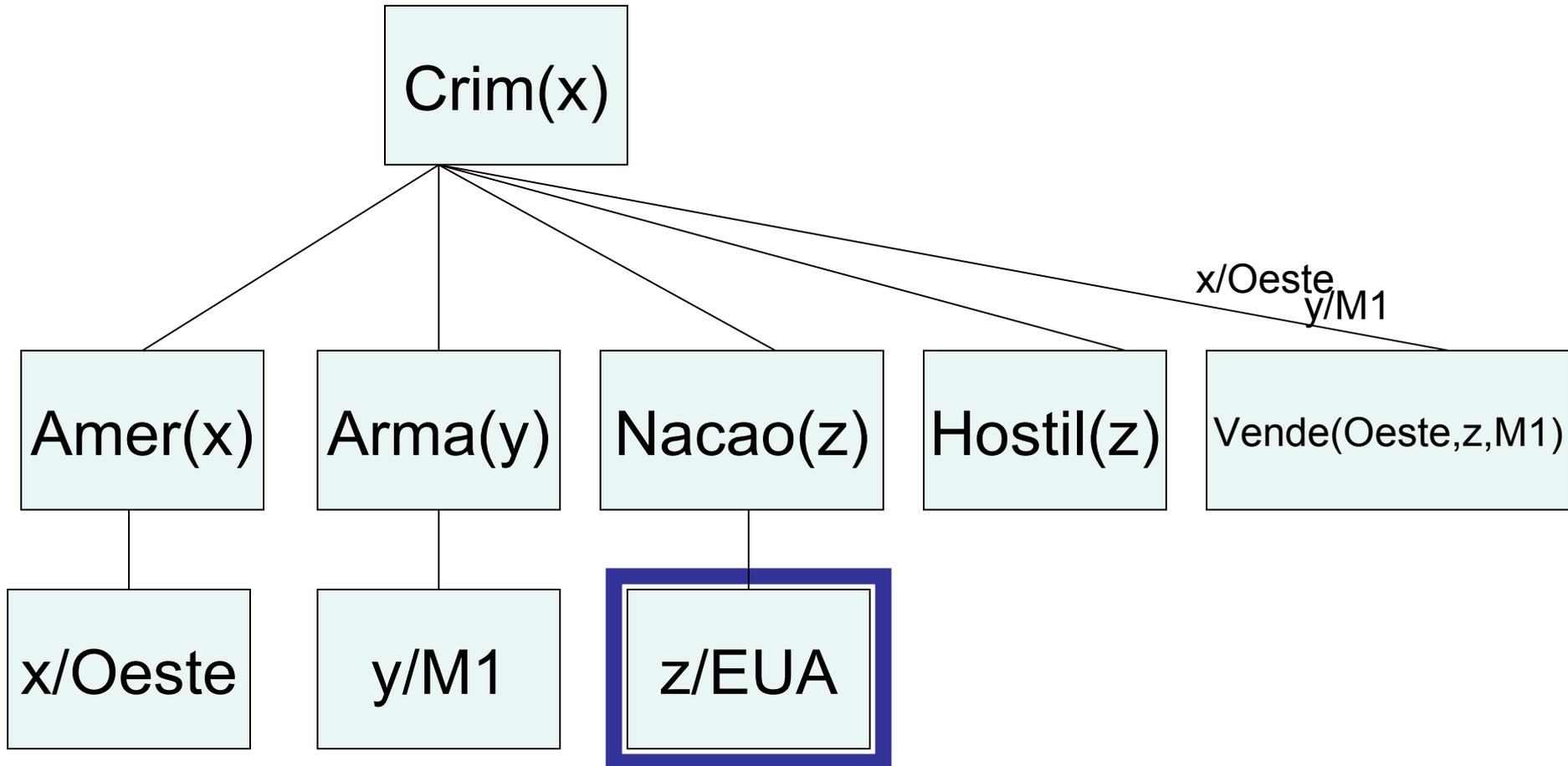
Sistemas dedutivos: exemplo



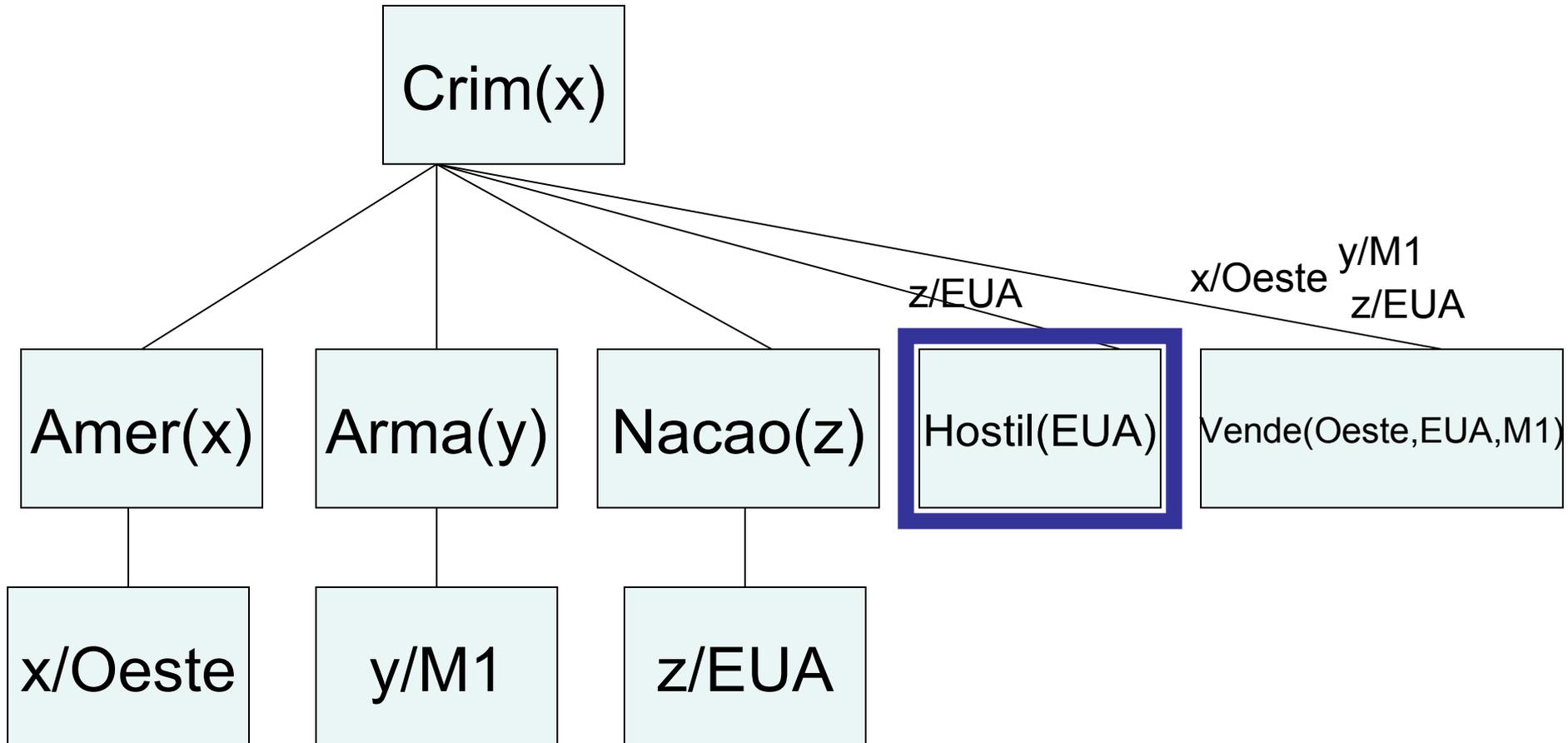
Sistemas dedutivos: exemplo



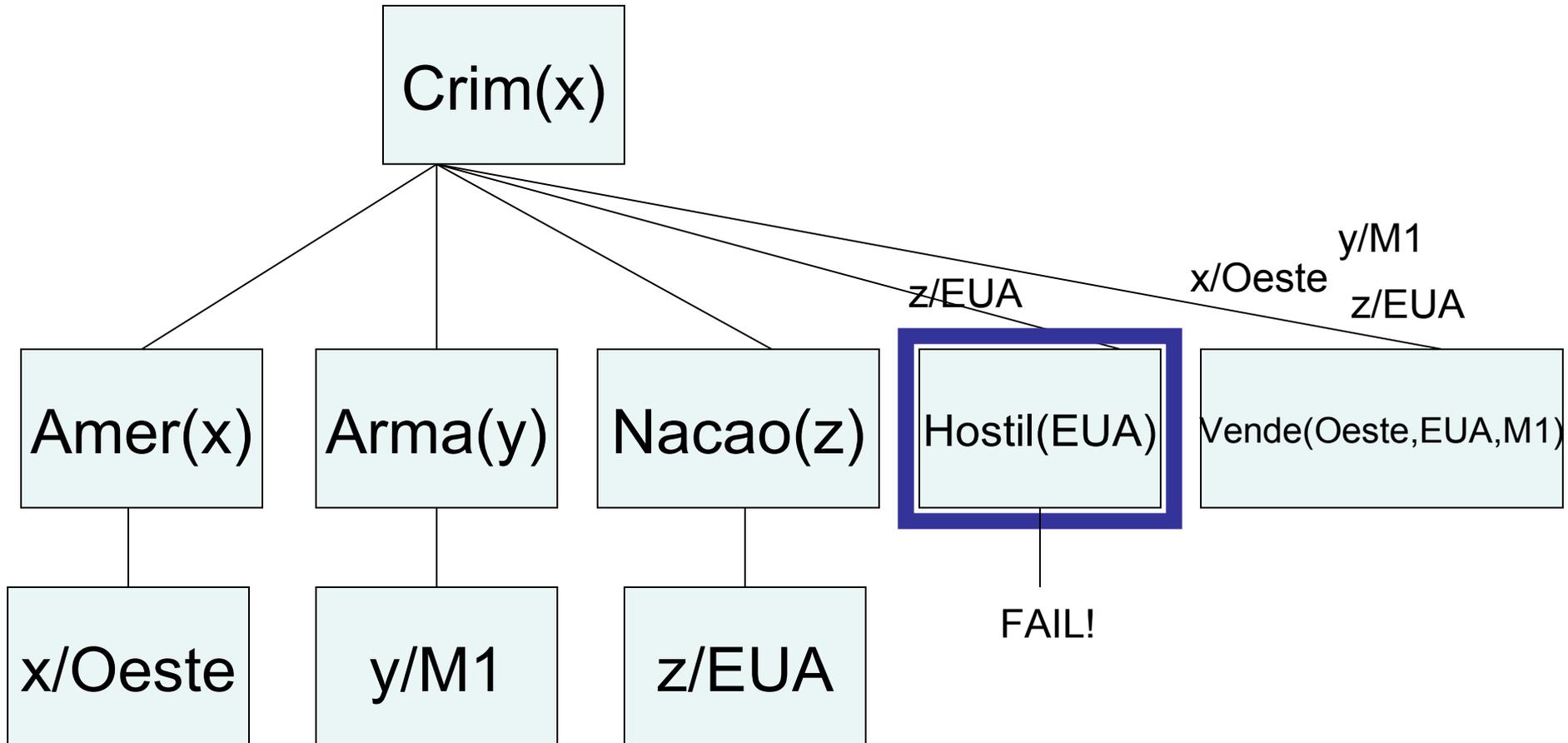
Sistemas dedutivos: exemplo



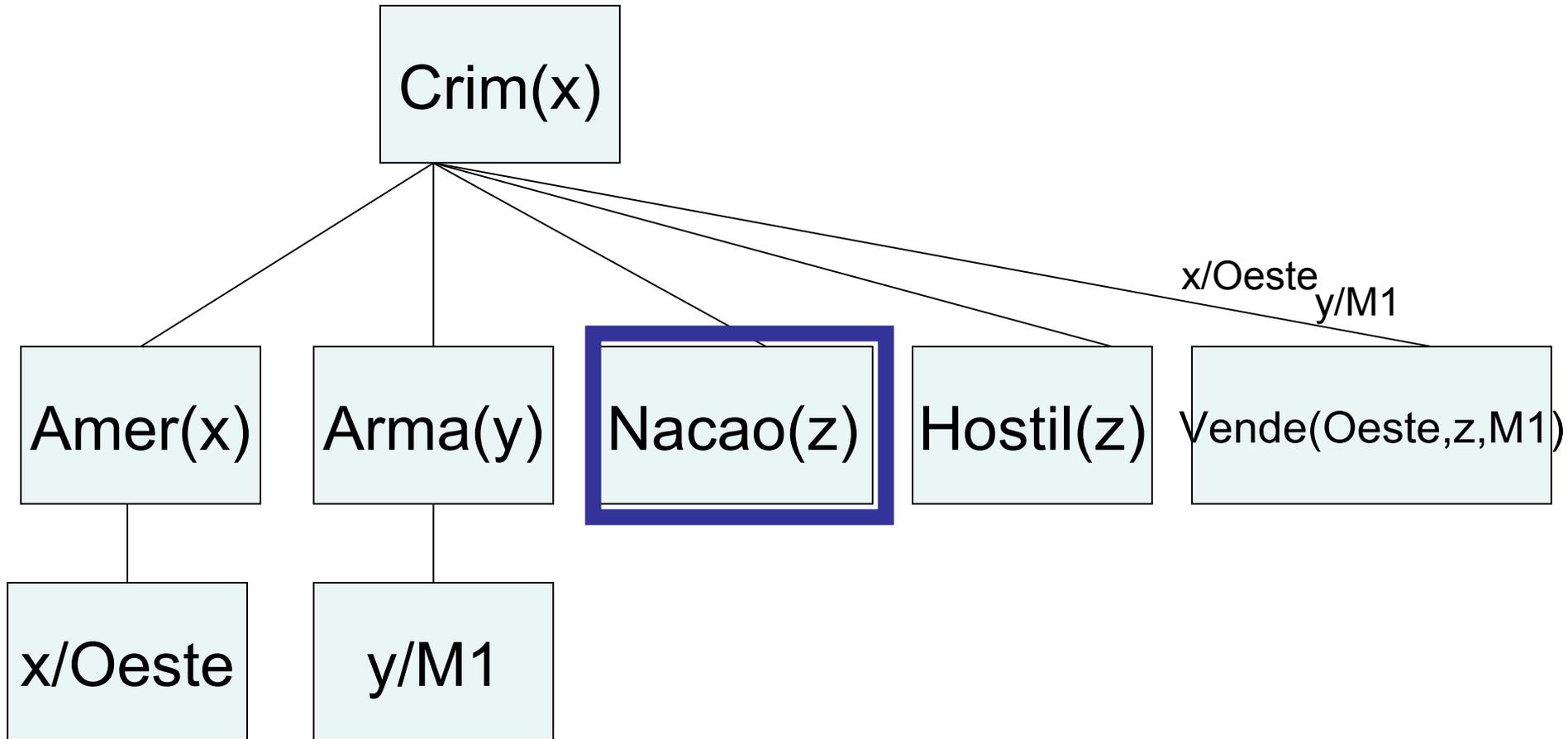
Sistemas dedutivos: exemplo



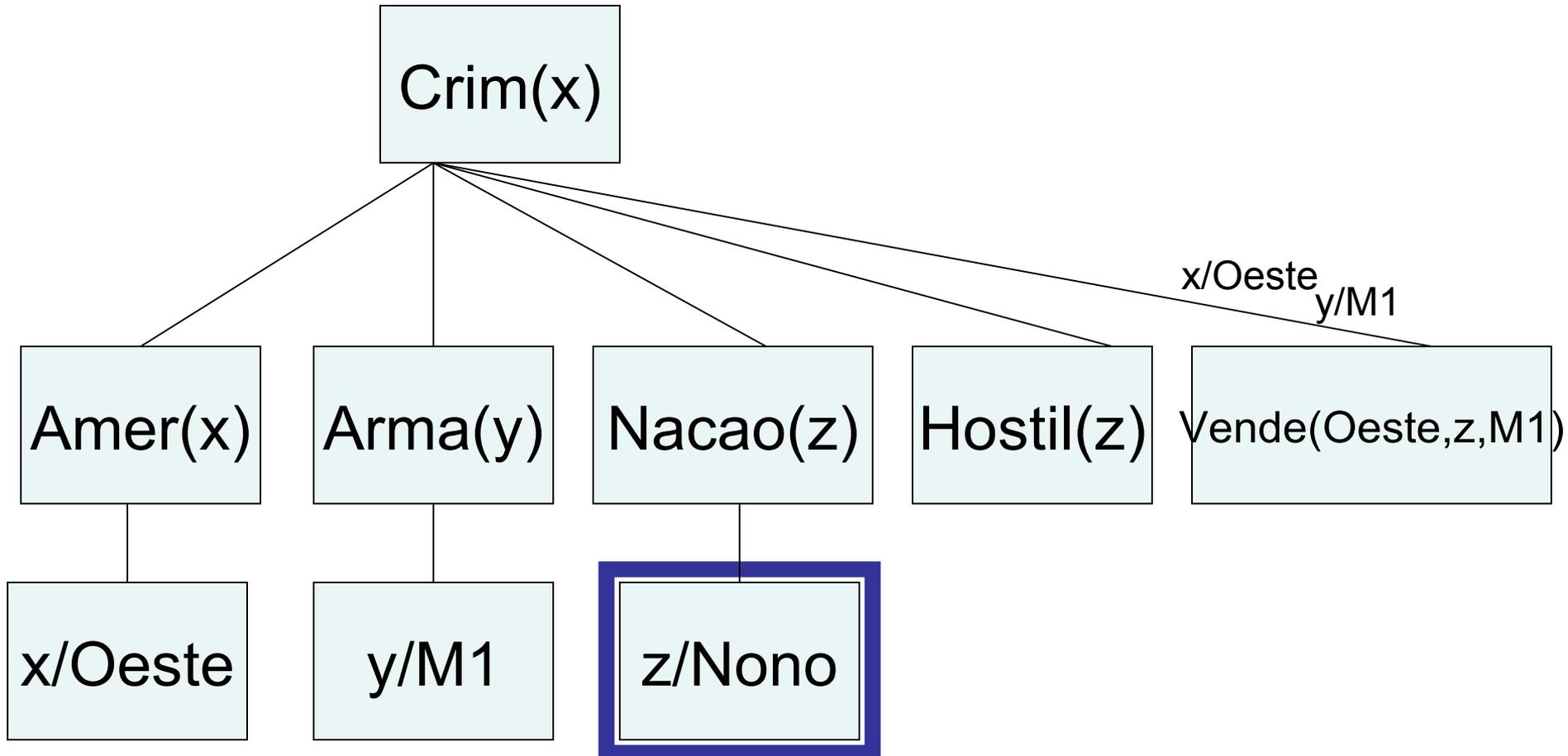
Sistemas dedutivos: exemplo



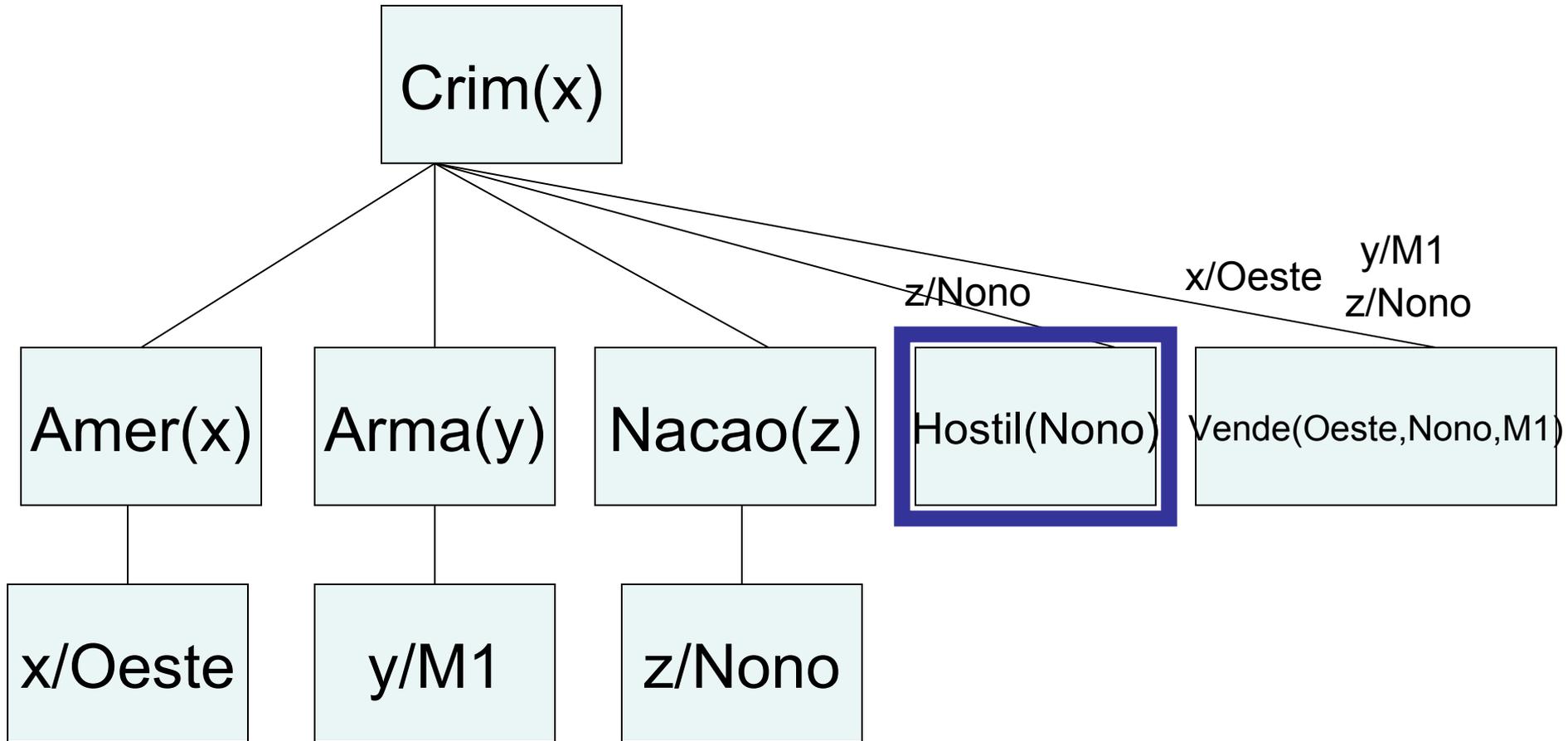
Sistemas dedutivos: exemplo



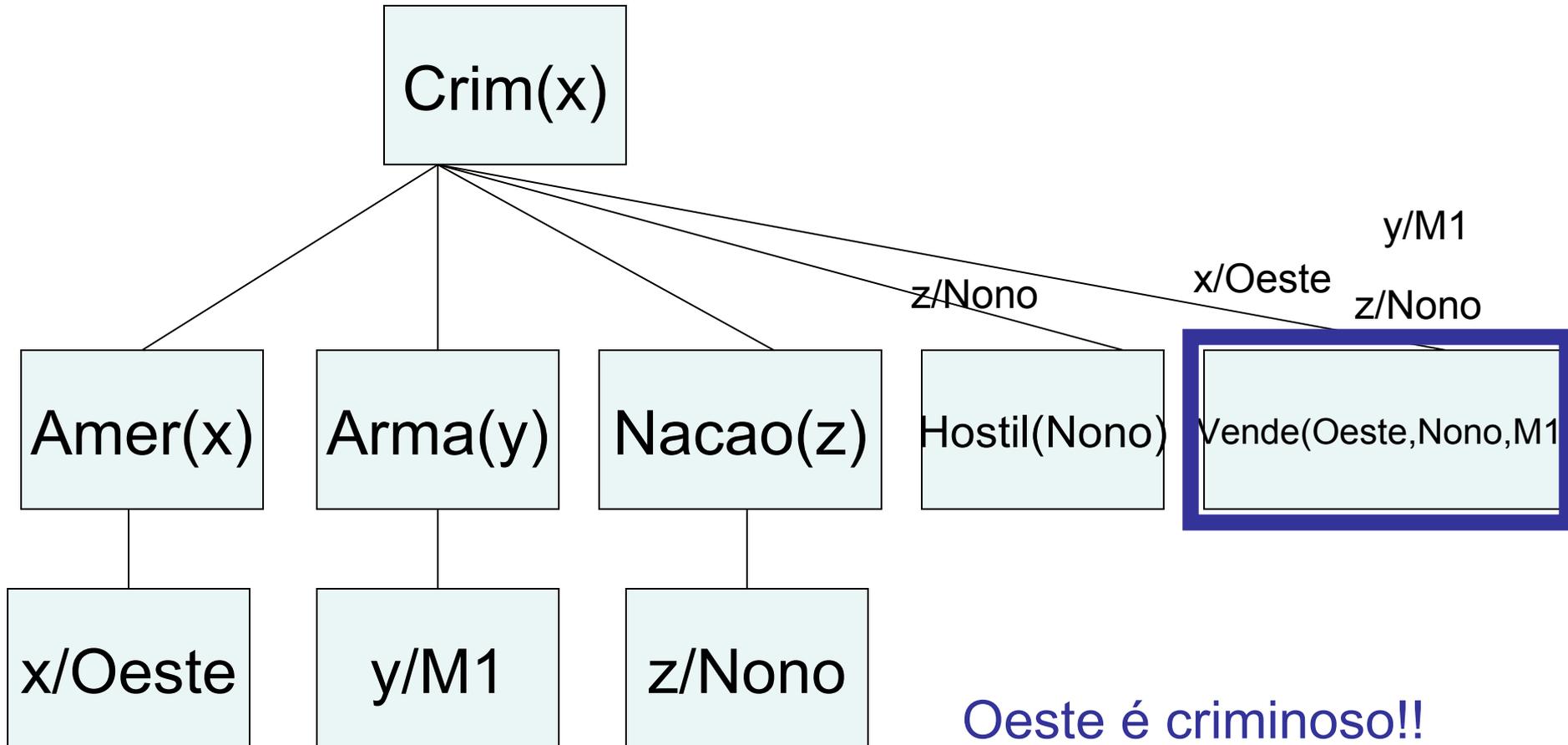
Sistemas dedutivos: exemplo



Sistemas dedutivos: exemplo



Sistemas dedutivos: exemplo



Introdução: MYCIN

- Exemplo de regra:
IF the infection is primary-bacteremia
AND the site of the culture is one of the sterile sites
AND the suspected portal of entry is the gastrointestinal tract
THEN there is suggestive evidence (0.7) that infection is bacteroid.
- MYCIN usa uma notação que não é exatamente em língua inglesa

Introdução: MYCIN

MYCIN -- A typical consultation

1. Patient's name: (first - last)

** **FRED BRAUN**

(Questions 1-3 request background patient data).

2. Sex:

** **M**

3. Age:

** **55**

4. Are there any cultures for Fred Braun which may be related to the present illness, and from which organisms have been grown successfully in the microbiology laboratory?

** **Y**

- - - CULTURE - 1 - - -

5. From what site was the specimen for CULTURE - 1 taken?

** **BLOD**
= **BLOOD**

(System corrects typing error).

6. Please give the date and time when CULTURE-1 was obtained.
(mo/da/yr time)

** **JUN 20, 1977** The first organism isolated from the blood culture of 20-JUN-77 (CULTURE-1) will be referred to as:

- - - ORGANISM - 1 - - -

7. Enter the laboratory - reported identity of ORGANISM-1:

** **UNKNOWN**

(Typically identity is not known yet).

8. The strain (gram or Ziehl-Neelsen acid-fast) of ORGANISM-1:

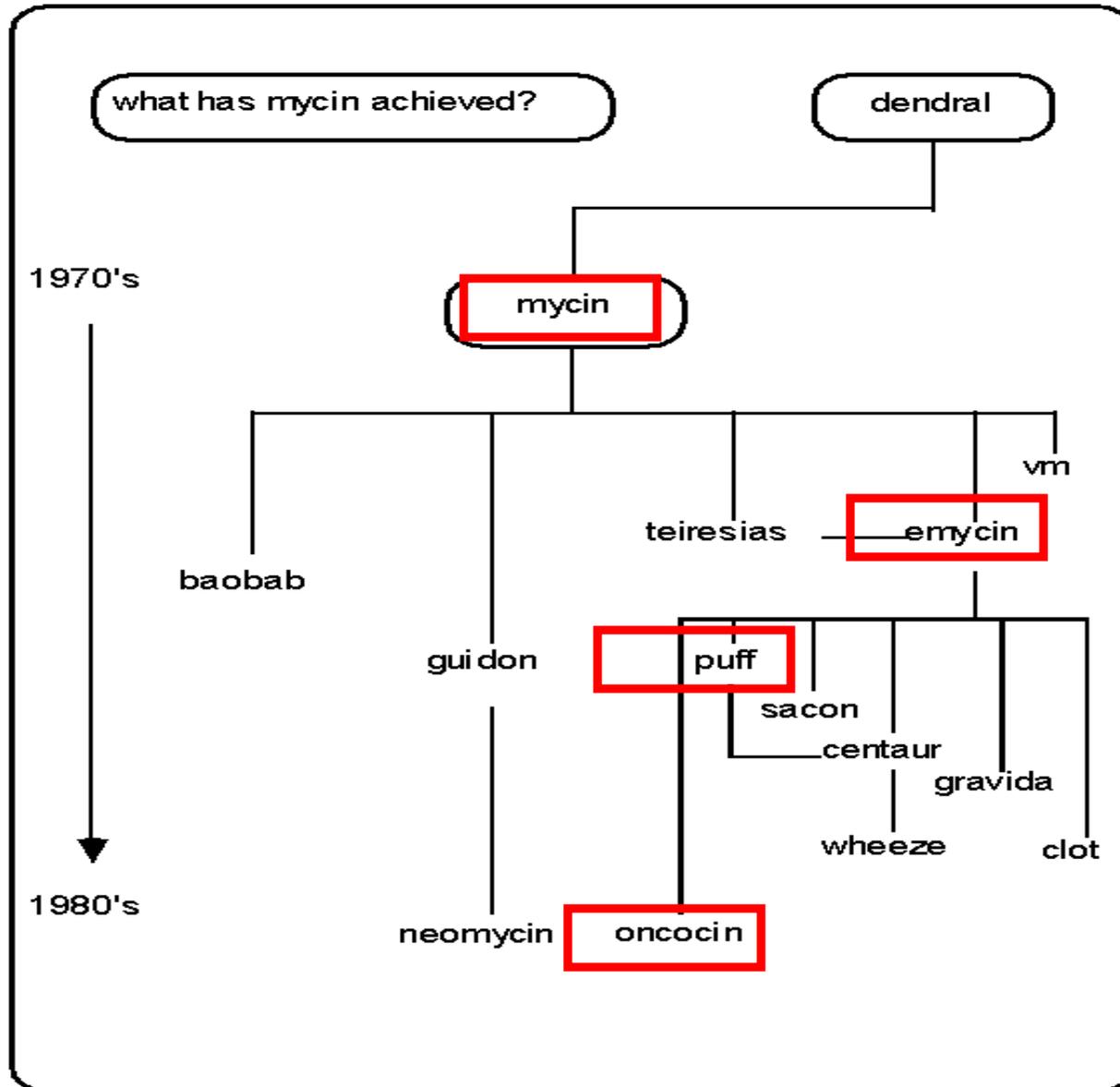
** **NEG**

Introdução: MYCIN

- Sistema dedutivo:
 - Médico e paciente fornecem dados (anamnese e sintomas) que fazem MYCIN iniciar uma busca em profundidade, orientada ao objetivo para encontrar o “melhor” diagnóstico e forma de tratamento

Introdução: MYCIN

- Fonte: <http://www.computing.surrey.ac.uk/ai/PROFILE/mycin.html>



Introdução: sistemas especialistas

- Vantagens
 - Provê respostas consistentes para perguntas repetitivas, processos e tarefas
 - Mantém níveis significantes de informação
 - Motiva o esclarecimento da lógica da tomada de decisões
 - Nunca esquece de perguntar alguma coisa 😊

Introdução: sistemas especialistas

- Desvantagens
 - Falta de senso comum necessário em processos de tomada de decisão
 - Não cria respostas em circunstâncias não usuais, como os humanos fazem
 - Especialista nem sempre consegue explicar seu raciocínio
 - erros no banco de dados podem levar a conclusões erradas
 - Não conseguem se adaptar às modificações do ambiente, a menos que se modifique o banco de dados

Introdução: outros métodos

- Árvores de decisão
- Clusterização (agrupamento)
- Baseados em explicação
- Baseados em casos
- Aprendizagem por reforço
- Redes neuronais
- Algoritmos genéticos
- Programação evolutiva
- Estatísticos
- Híbridos
-

Introdução

- Neste curso:
 - Programação lógica indutiva
 - Raciocínio com incertezas

Introdução: sistemas de aprendizagem

- Aprendizagem de máquina?
 - Extração de informação relevante de dados, de forma automática, utilizando métodos computacionais ou estatísticos
 - Métodos podem ser dedutivos ou indutivos
- Dedução versus Indução?
- Indução é o raciocínio a partir de observações

Raciocínio Dedutivo

\mathcal{T}

\mathcal{U}

\mathcal{B}

\vDash

\mathcal{E}

parent(X,Y) :- mother(X,Y)
parent(X,Y) :- father(X,Y)

\cup

mother(penelope,victoria)
mother(penelope,artur)
father(christopher,victoria)
father(christopher,artur)

\vDash

parent(penelope,victoria)
parent(penelope,artur)
parent(christopher,victoria)
parent(christopher,artur)

Raciocínio Indutivo

\mathcal{E}

\mathcal{U}

\mathcal{B}

\vDash

\mathcal{T}

parent(penelope,victoria)
parent(penelope,artur)
parent(christopher,victoria)
parent(christopher,artur)

\cup

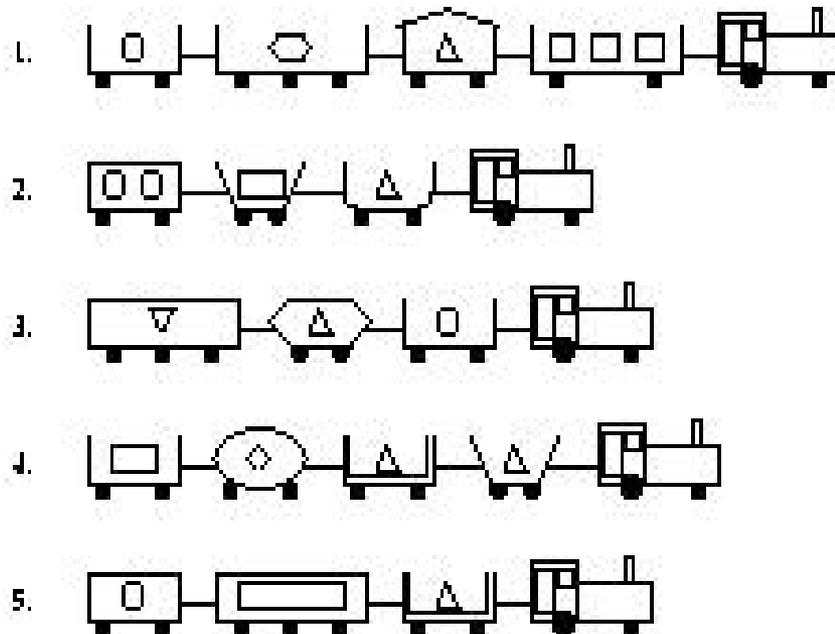
mother(penelope,victoria)
mother(penelope,artur)
father(christopher,victoria)
father(christopher,artur)

\vDash

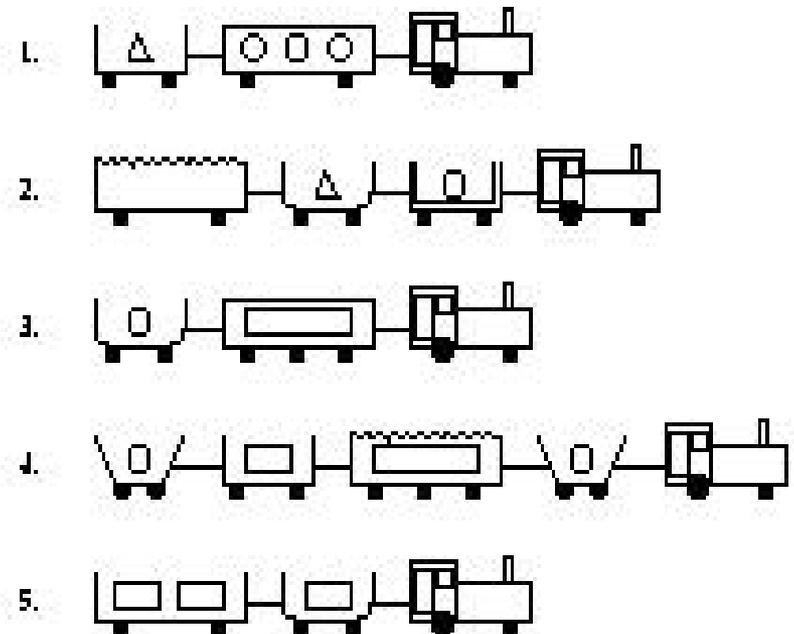
parent(X,Y) :- mother(X,Y)
parent(X,Y) :- father(X,Y)

Programação Lógica Indutiva: exemplo

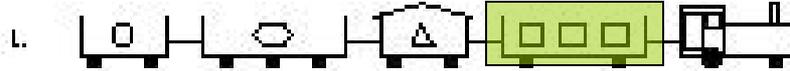
TRAINS GOING EAST



TRAINS GOING WEST



Programação Lógica Indutiva: exemplo



short(car_12).

closed(car_12).

long(car_11).

long(car_13).

short(car_14).

open_car(car_11).

open_car(car_13).

open_car(car_14).

shape(car_11,rectangle).

shape(car_12,rectangle).

shape(car_13,rectangle).

shape(car_14,rectangle).

load(car_11,rectangle,3).

load(car_12,triangle,1).

load(car_13,hexagon,1).

load(car_14,circle,1).

wheels(car_11,2).

wheels(car_12,2).

wheels(car_13,3).

wheels(car_14,2).

has_car(east1,car_11).

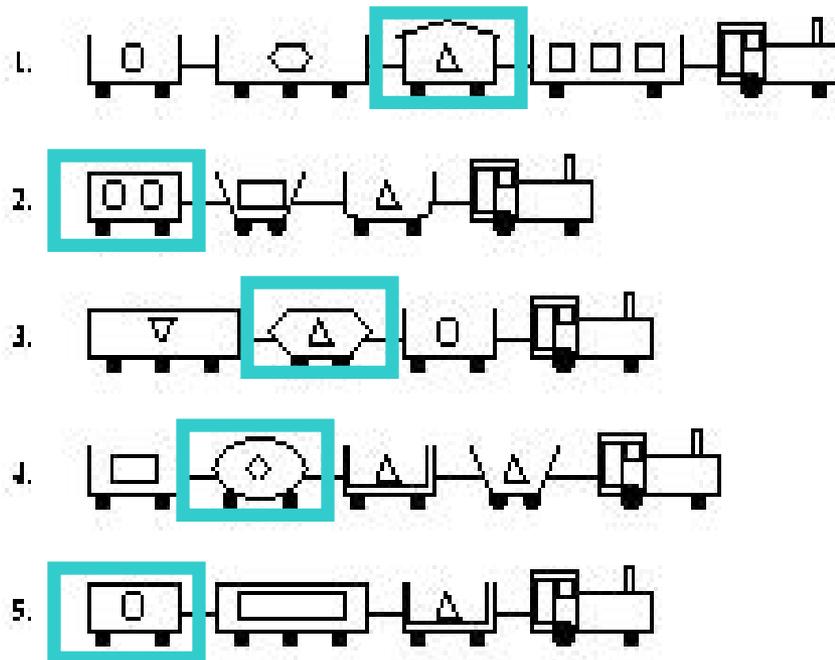
has_car(east1,car_12).

has_car(east1,car_13).

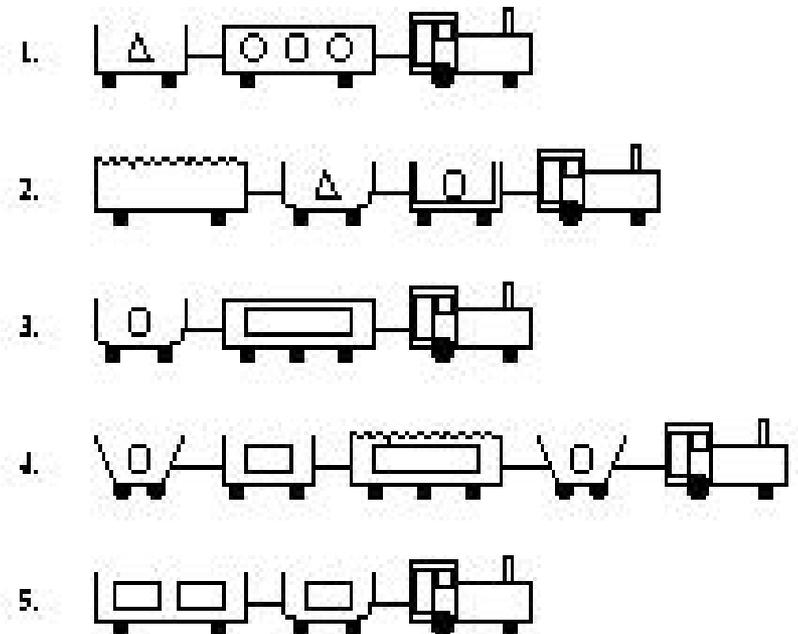
has_car(east1,car_14).

Programação Lógica Indutiva: exemplo

TRAINS GOING EAST

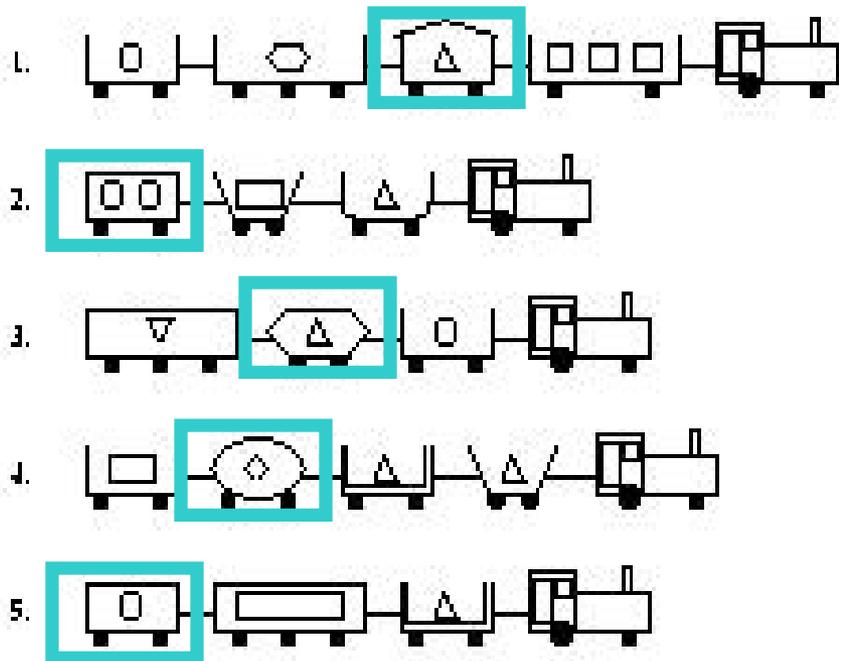


TRAINS GOING WEST

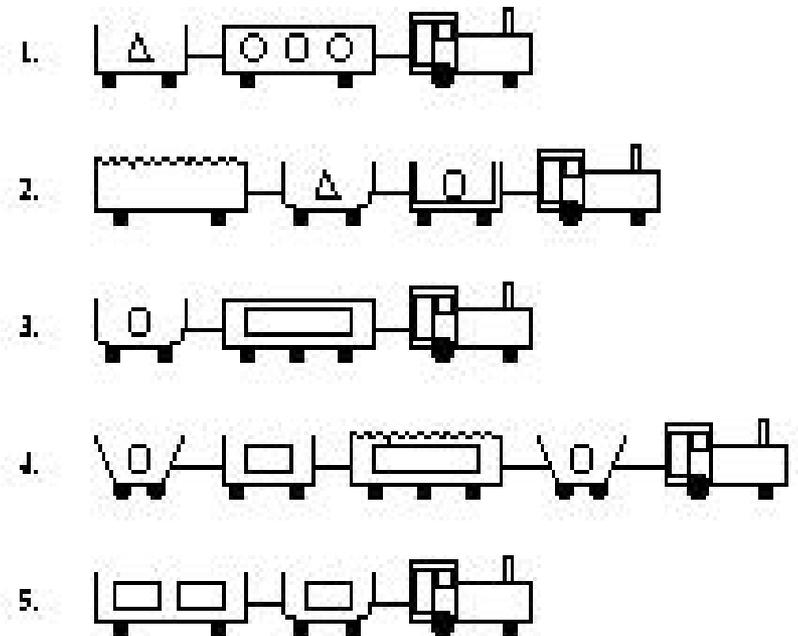


Programação Lógica Indutiva: exemplo

TRAINS GOING EAST



TRAINS GOING WEST



eastbound(T) IF has_car(T,C) AND short(C) AND closed(C)

Outro exemplo menos trivial: extração de conhecimento relevante de mamografias

is_malignant(A) if

'BIRADS_category'(A,b5), 'MassPAO'(A,present), 'Age'(A,age6570),
previous_finding(A,B,C), 'MassesShape'(B,none),
'Calc_Punctate'(B,notPresent),
previous_finding(A,C), 'BIRADS_category'(C,b3).

Esta regra diz que A é um caso maligno SE:

classified as BI-RADS 5 AND

had a mass present

in a patient who:

was between the ages of 65 and 70

had two prior mammograms (B, C)

and prior mammogram (B):

had no mass shape described

had no punctate calcifications

and prior mammogram (C) was classified as BI-RADS 3



Programação Lógica Indutiva

- Mais formalmente:
- Dados:
 - Conjuntos de exemplos e (observações, casos) rotulados como positivos ou negativos (classe c)
 - Uma linguagem
 - Possivelmente, um conjunto de restrições
- Encontrar:
 - Uma hipótese h , tal que $h(e_i) = c_i$
 - Para o maior número possível de exemplos

Programação Lógica Indutiva

- Vantagens:
 - Utilização de uma linguagem fácil de interpretar, mais próxima do especialista
 - Classificadores mais concisos
 - Poder de representação: representa relações
- Devantagens:
 - Tamanho do espaço de busca para alguns problemas
 - Classificação não probabilística