

REDES NEURAI ARTIFICIAIS

- **Curso de Informática**

- **Semestre 2001/2**

- **Professor Responsável:**

Prof. Dr. Fernando Osório

E-Mail: osorio@exatas.unisinos.br

Web: <http://www.inf.unisinos.br/~osorio/neural.html>

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

TEMAS DE ESTUDO: Hybrid Machine Learning Tools / Sistemas Híbridos Inteligentes

Conceitos básicos:

- *Inteligência e Aprendizado*
- *Soluções Híbridas*
- *Representação de Conhecimentos:*
Métodos Simbólicos e Métodos Conexionistas - Aprendizado de Máquinas

Sistemas Híbridos Inteligentes

Sistemas Híbridos Neuro-Simbólicos

- *SYNHESYS*
- *KBANN*
- *INSS*

Discussão final

Bibliografia e Material Complementar

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Inteligência: do Humano ao Artificial



REPRODUZIR A
→
INTELIGÊNCIA HUMANA



- O que é Inteligência ?
- O que é um ser Inteligente ?

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Inteligência: do Natural ao Artificial



REPRODUZIR A
→
INTELIGÊNCIA HUMANA



- O que é Inteligência ?
- O que é um ser Inteligente ?

- * Associação de idéias e conceitos
- * Concluir coisas
- * Capacidade de aprendizado
- * Acúmulo de conhecimentos
- * Raciocínio: lógico, abstrato, dedução, analogia, indução, inferência, síntese, análise

- * Uso prático de experiências e conhecimentos passados
- * Tomada de decisões
- * Criar coisas novas (criatividade)
- * Saber o que eu sei (saber explicar)
- * Interação
- * Comunicação

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Inteligência Artificial: Conceitos Básicos



REPRODUZIR A
→
INTELIGÊNCIA HUMANA



- **Conceito de Inteligência:** CAPACIDADE DE **RESOLVER PROBLEMAS**
CAPACIDADE DE **APRENDER**
CAPACIDADE DE **SE ADAPTAR / MELHORAR**
- Realizar Atividades Inteligentes
- Sistemas Inteligentes:
 - * Sistemas Especialistas
 - * Sistemas de Apoio ao Diagnóstico e a Decisão
 - * Reprodução de atividades típicas dos seres humanos:
Fala, Audição, Visão, Deslocamento, Manipulação de Objetos, etc.
 - * Jogos: jogo da velha, xadrez, jogos de ação

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistemas Híbridos - Uma nova abordagem

* Características / Propriedades:

- Explorar a complementaridade dos módulos
- Divisão de tarefas / Especialização
- Modularidade = Múltiplas inteligências
- Diversificação dos conhecimentos:
 - Representação dos conhecimentos
 - Novas fontes de conhecimentos

Principal exemplo: SER HUMANO

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Inteligência Artificial: Soluções Híbridas

Inteligência Humana $\Rightarrow$ Inteligência Artificial

Aprendizado Humano $\Rightarrow$ Aprendizado de Máquinas

Métodos de Raciocínio e Aquisição de Conhecimentos Múltiplos $\Rightarrow$ Sistemas Híbridos

*** Sistemas Especialistas de 1a. Geração:**

- Aquisição manual de conhecimentos
- Problemas: Base de Conhecimentos (regras e fatos)

*** Sistemas Especialistas de 2a. Geração:**

- Aquisição automática de conhecimentos
- Integração de diferentes métodos da I.A.

“Sistemas Híbridos”

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Inteligência Artificial: Soluções Híbridas

Inteligência Humana $\Rightarrow$ Inteligência Artificial

Aprendizado Humano $\Rightarrow$ Aprendizado de Máquinas

Métodos de Raciocínio e Aquisição de Conhecimentos Múltiplos $\Rightarrow$ Sistemas Híbridos

Sistemas Inteligentes Híbridos

Projeto de Pesquisa HMLT - *Hybrid Machine Learning Tools*

“Ferramentas Híbridas de Aprendizado para o Máquinas”

Coordenador Prof. Fernando Osório

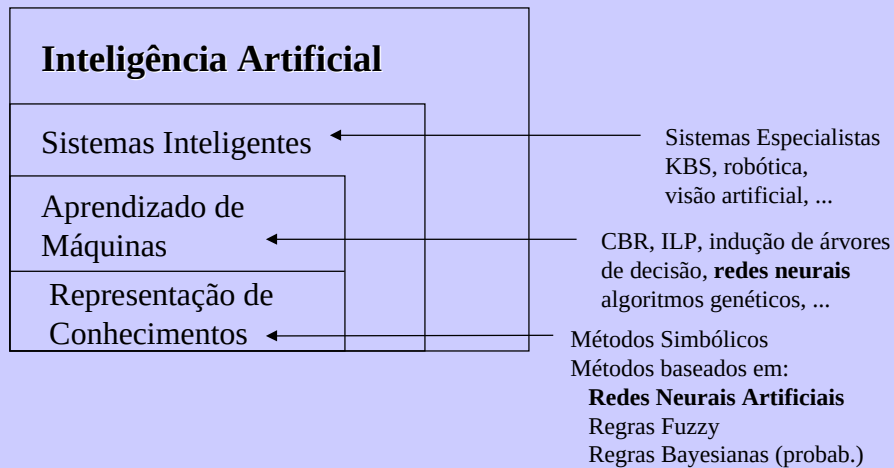
**Bolsistas de Iniciação Científica.... Carla Medeiros Barros (ex-bolsista)
João Ricardo de Bittencourt Menezes
Rafael Guterres Jeffman**

Mestrando..... Farlei Heinen (PIP/CA 2000)

Cooperação: Laboratoire LEIBNIZ - Grenoble, França

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Inteligência Artificial: Aprendizado de Máquinas



F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Métodos Simbólicos: Aquisição de Conhecimentos



F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Métodos Simbólicos: Representação de Conhecimentos

- * Sistemas baseados em conhecimentos:
KBS - Knowledge Base Systems, Expert Systems (Frames e Redes Semânticas)
Rule Based Systems, Production Rule Systems
- * Sistemas baseados em regras de lógica difusa ou nebulosa
Fuzzy Expert Systems
- * Sistemas baseados em probabilidades
Redes Bayesianas
- * Sistemas baseados em casos ou exemplos
CBR - Case Based Reasoning
- * Árvores de decisão
IDT - Inductive Decision Trees
- * Algoritmos Genéticos
GA - Genetic Algorithms

Sistemas Especialistas baseados em Conhecimento Simbólico
Dado um problema:
Assume-se usualmente $\Rightarrow$ Conhecimento é *Completo e Correto*

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Métodos Simbólicos: Representação de Conhecimentos

$\Rightarrow$ Conhecimentos Teóricos

$$\begin{aligned} \text{XOR} &= (A \text{ Or } B) \text{ And Not } (A \text{ And } B) \\ &\text{ou} \\ \text{XOR} &= (A \text{ And Not } (B)) \text{ Or } (\text{Not } (A) \text{ And } B) \end{aligned}$$

$\Rightarrow$ Conhecimentos Empíricos

A	B	XOR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Métodos Simbólicos: Representação de Conhecimentos

⇒ Conhecimentos Teóricos / Simbólicos

Se existem 2 casas na horizontal, vertical ou diagonal
com uma marca do jogador oponente
e a terceira casa está livre
Então jogar nesta casa!

⇒ Conhecimentos Empíricos / Dados

X ₂		X
O ₁	O ₃	X ₄
O ₅		

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Métodos de Aprendizado de Máquinas

- Aprendizado por analogia / por instâncias
Sistemas baseados em casos
CBR - *Case Based Reasoning*
- Aprendizado por Indução
Indução de Árvores de Decisão
ID3, C4.5, CN2 - *Induction of Decision Trees*
ILP - *Inductive Logic Programming (Prolog)*
- Aprendizado por evolução/seleção
Algoritmos Genéticos
GA e GP - *Genetic Algorithms / Genetic Programming*
- Aprendizado por reforço (*reinforcement learning*)
- Aprendizado Bayesiano (probabilista)
- Aprendizado Neural
MLP Back-Propagation - *Artificial Neural Networks*

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

BASE DE DADOS SOBRE O PROBLEMA

NÚMERO	CÉU	TEMPERATURA	HUMIDADE	VENTO	CLASSE
1	ensolarado	elevada	alta	não	N
2	ensolarado	elevada	alta	sim	N
3	coberto	elevada	alta	não	P
4	chuvoso	média	alta	não	P
5	chuvoso	baixa	normal	não	P
6	chuvoso	baixa	normal	sim	N
7	coberto	baixa	normal	sim	P
8	ensolarado	média	alta	não	N
9	ensolarado	baixa	normal	não	P
10	chuvoso	média	normal	não	P
11	ensolarado	média	normal	sim	P
12	coberto	média	alta	sim	P
13	coberto	elevada	normal	não	P
14	chuvoso	média	alta	sim	N

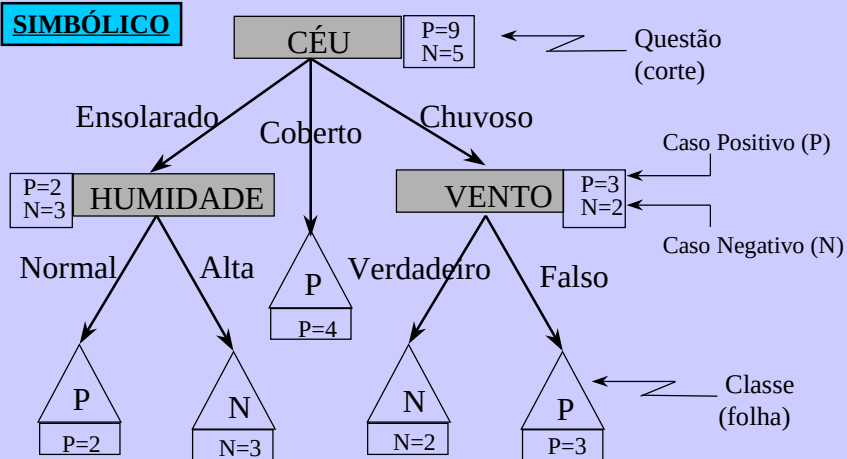
Tabela – Conjunto de dados de aprendizado : Condições meteorológicas

N = Negativo (tempo ruim)

P = Positivo (tempo bom)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

SIMBÓLICO



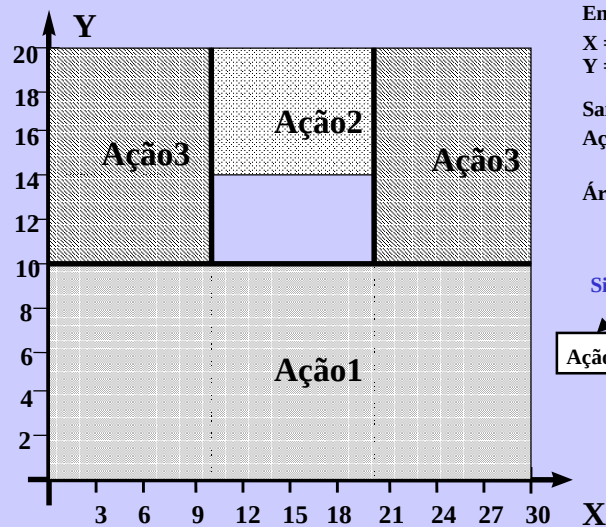
IF ((CÉU=Ensolarado **and** HUMIDADE=Normal) **or**
 (CÉU=Coberto) **or**
 (CÉU=Chuvoso **and** VENTO=Falso))

Then Classe = P

**ARVORE DE
DECISÃO**

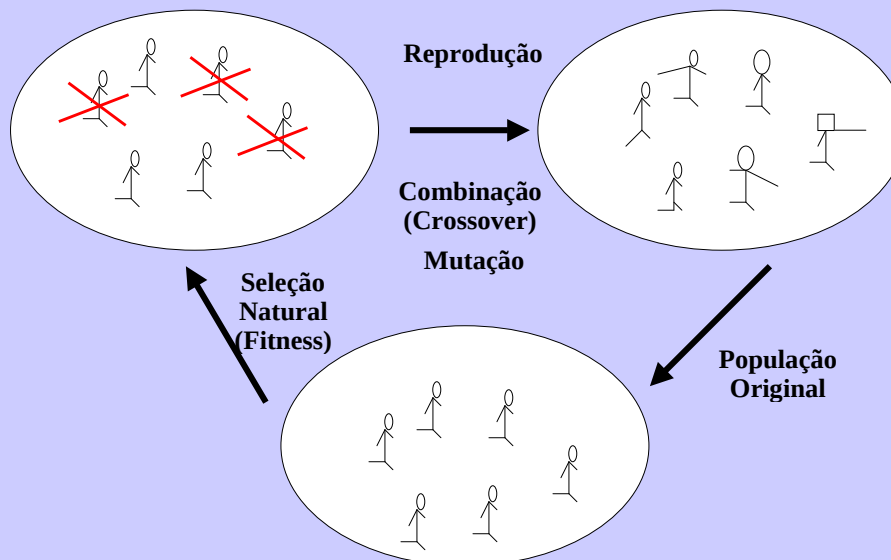
F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Métodos Simbólicos: Árvores de Decisão



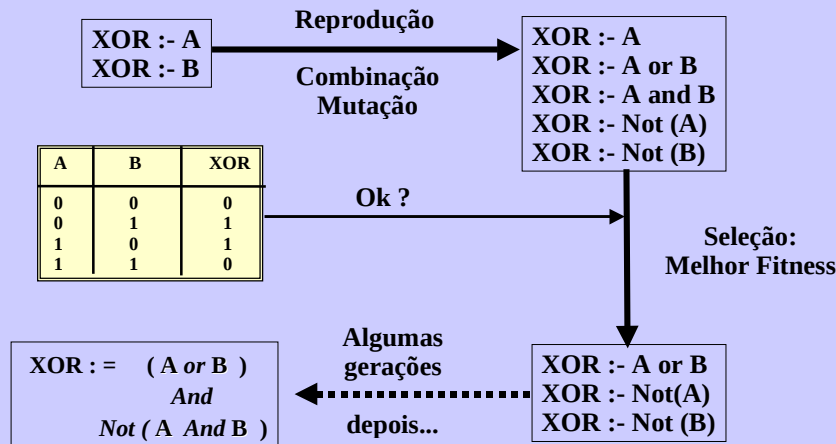
F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Aprendizado de Máquinas: Algoritmos Genéticos



F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Aprendizado de Máquinas: Algoritmos Genéticos



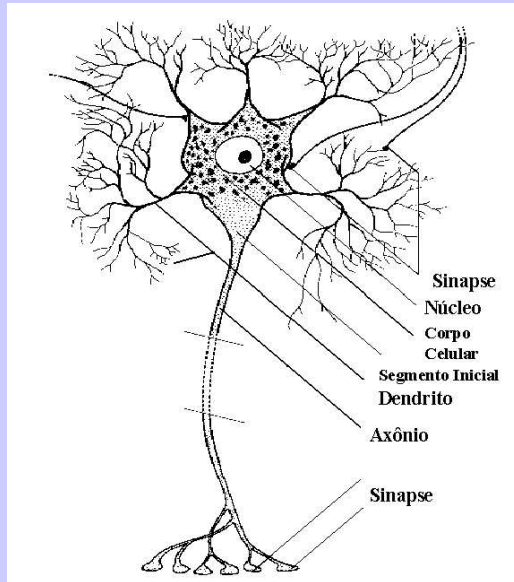
F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Métodos Simbólicos: Vantagens e Desvantagens

- + Conhecimento representado por **regras** (ou outra estrutura similar) que podem ser **facilmente interpretadas e analisadas**;
- + **Permite a explicação** do processo que levou a uma determinada **resposta**;
- + **Fácil inserção de novos conhecimentos** obtidos à partir do especialista ou através de métodos automáticos de aquisição de conhecimentos;
- Necessidade de se trabalhar com **conhecimentos completos e exatos** sobre um determinado problema;
- Dificuldade de **explicitar todos os conhecimentos** relativos ao problema através de regras simbólicas;
- Dificuldade para tratar **informações imprecisas ou aproximadas**, e valores numéricos (**dados quantitativos**).

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

I.A. - Métodos Conexionistas: Conceitos Básicos



Redes Neurais Artificiais:

Neurônio...

Modelo Simulado

Modelo SIMPLIFICADO

Características Básicas:

Adaptação

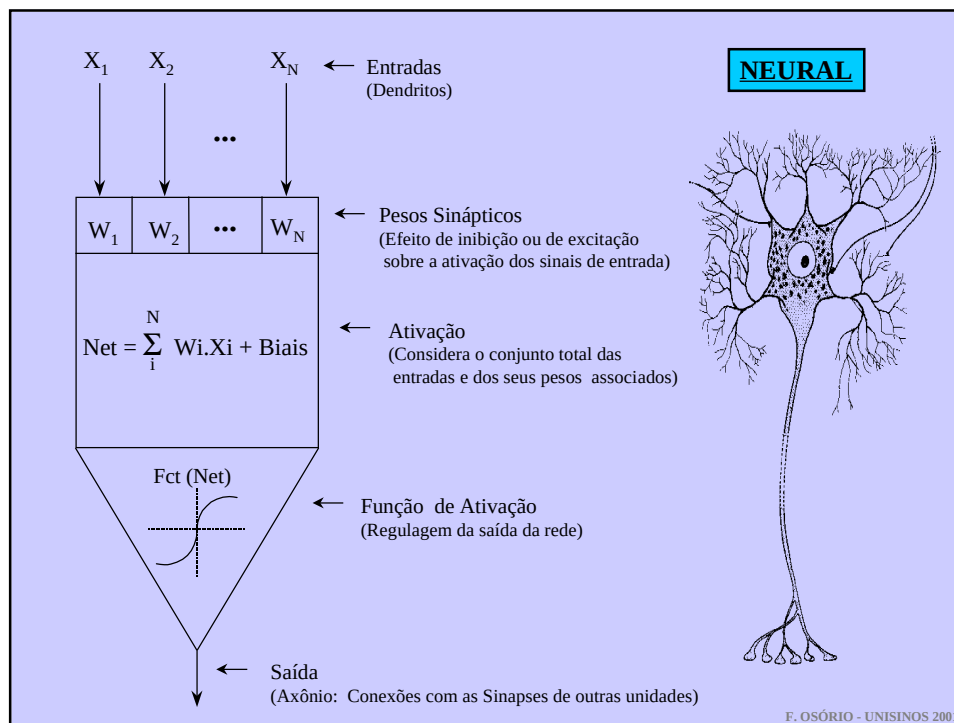
Aprendizado

Autômato

Representação de Conhecimentos:

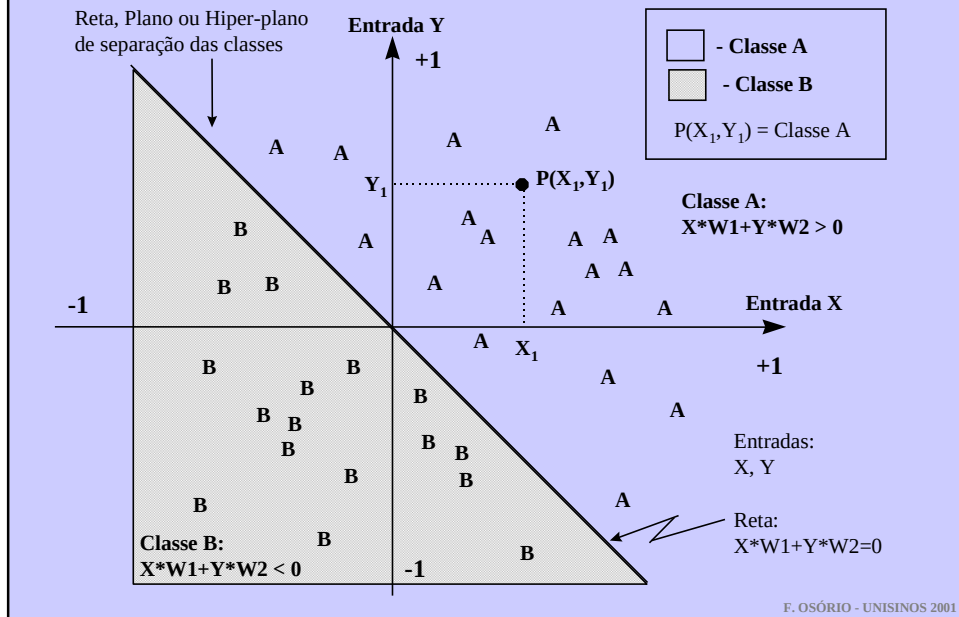
Baseada em Conexões

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

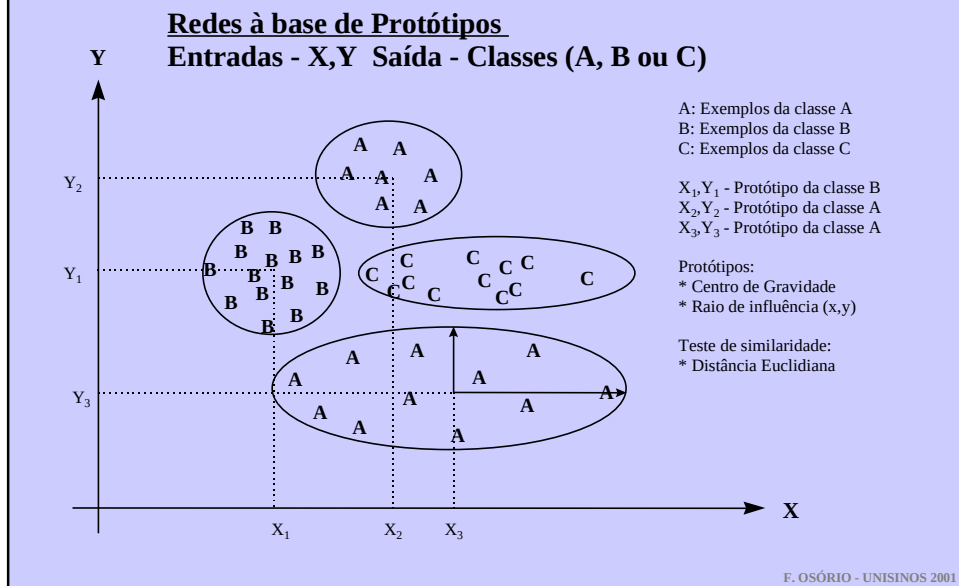


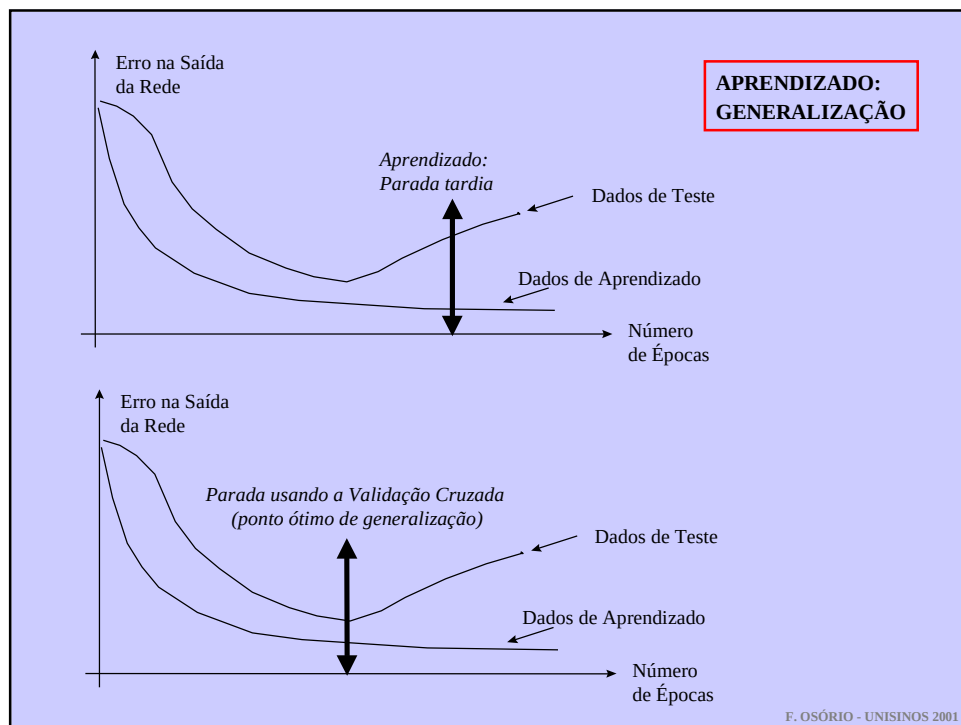
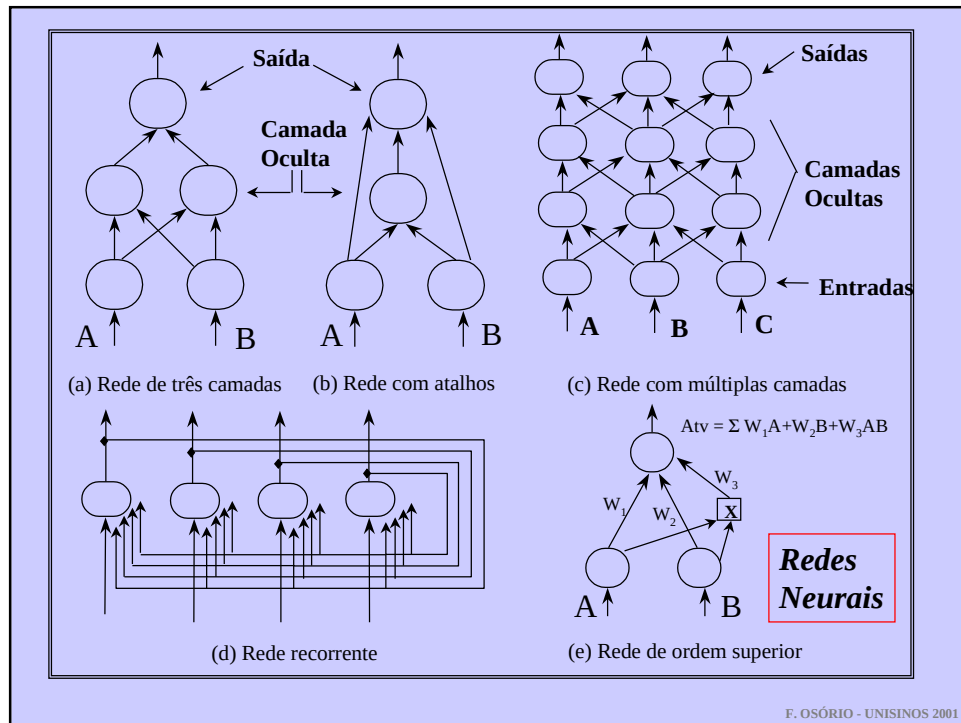
F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Métodos Conexionistas: Representação de Conhecimentos



Métodos Conexionistas: Representação de Conhecimentos





Métodos Conexionistas: Vantagens e Desvantagens

- + **Aquisição automática de conhecimentos empíricos** à partir de uma base de exemplos de aprendizado referente a um problema;
- + Manipulação de **dados quantitativos, aproximados e mesmo incorretos** com uma degradação gradual das respostas;
- + Grande **poder de representação de conhecimentos** através da criação de relações ponderadas entre as entradas do sistema;
- **Dificuldade de configuração** das redes em relação à sua **estrutura** inicial e também no que se refere aos **parâmetros** dos algoritmos de aprendizado;
- **Dificuldade de explicitar os conhecimentos** adquiridos pela rede através de uma linguagem compreensível para um ser humano;
- **Dificuldade de convergência** (bloqueios) e **instabilidade**, inerentes aos algoritmos de otimização empregados;
- **Lentidão do processo de aprendizado** / adaptação.

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistemas Híbridos Inteligentes

* Conceitos Básicos:

- Complementaridade
- Divisão de tarefas / Especialização
- Modularidade
- Diversificação:
 - Representação de Conhecimentos
 - Fontes de Aquisição de Conhecimentos

Exemplo: SER HUMANO

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistemas Híbridos Inteligentes

*** Combinar as diferentes técnicas:**

- Árvores de Decisão
- Algoritmos Genéticos
- Redes Neurais Artificiais
- CBS (Case Based Reasoning = Raciocínio baseado em Casos)
- RBS (Rule Based Systems = Sistemas baseados em Regras)
- Regras Nebulosas (Fuzzy Rules)
- Sistemas Probabilistas (Bayesian)
- ...

*** Exemplos:** Neuro+IDT, Neuro+Fuzzy, Neuro+CBR, Neuro+GA, RBS+CBR, GA+RBS, ...

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistemas Híbridos Inteligentes: Integração

*** Módulos Básicos:**

- Métodos Simbólicos: CBR, KBS, IDT, GA, Fuzzy, ...
- Métodos Conexionistas: Redes Neurais

*** Tipos de Integração:**

- Simbólico-Difuso
- Simbólico-Genético
- Neuro-Genético
- Neuro-CBR
- Neuro-Simbólicos
 - Neuro-Fuzzy
 - Neuro- IDT
 - Neuro-KBS

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistemas Híbridos Neuro-Simbólicos

S.H.N.S.

INTEGRAÇÃO:

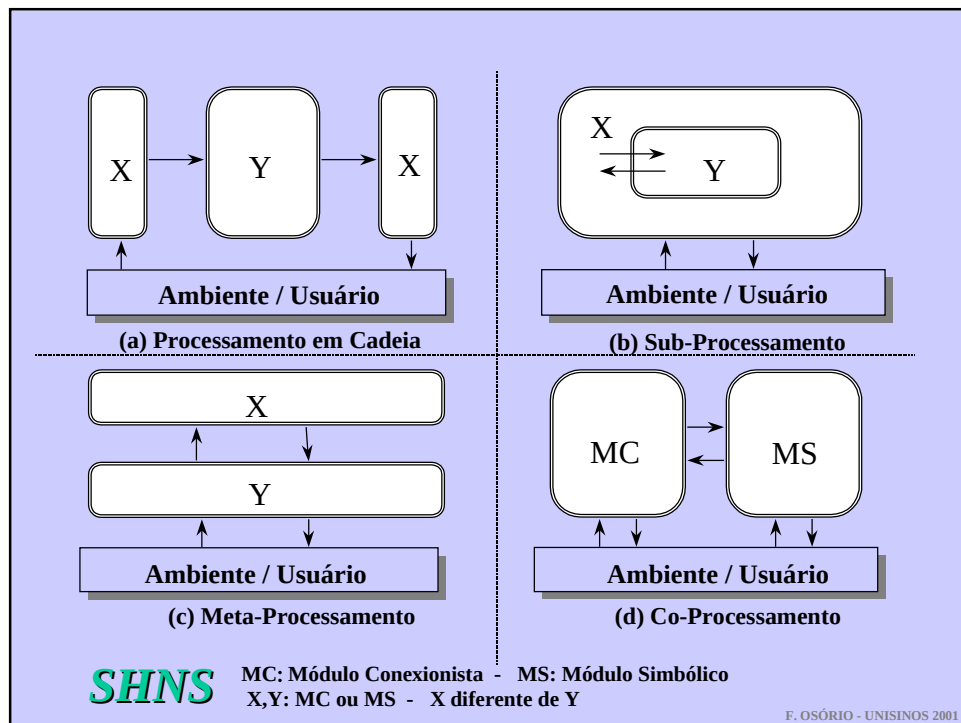
NÍVEL SIMBÓLICO
NÍVEL SUB-SIMBÓLICO

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistemas Híbridos Neuro-Simbólicos

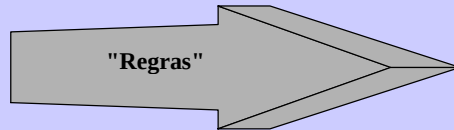
Conexionista Puro	Puramente Conexionista = Módulo Conexionista «simbólico»	Módulo Simbólico + Módulo Conexionista	Puramente Simbólico = Módulo Simbólico «estendido»	Simbólico Puro
	Sistemas Híbridos			
	Método Unificado	Método Híbrido	Método Unificado	
	<i>Híbrido no sentido amplio</i>	<i>Híbrido no sentido restrito</i>	<i>Híbrido no sentido amplio</i>	

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001



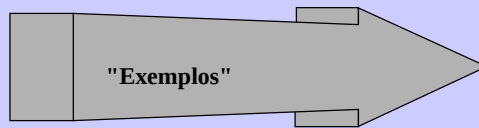
Aquisição de Conhecimentos

Conhecimentos Teóricos



Módulo Simbólico *MS*

Aquisição de Conhecimentos



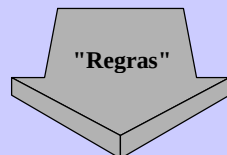
Módulo Conexcionista *MC*

Conhecimentos Empíricos

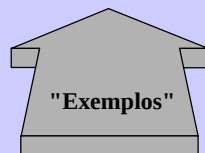
F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Aquisição de Conhecimentos

Conhecimentos Teóricos



Aquisição de Conhecimentos

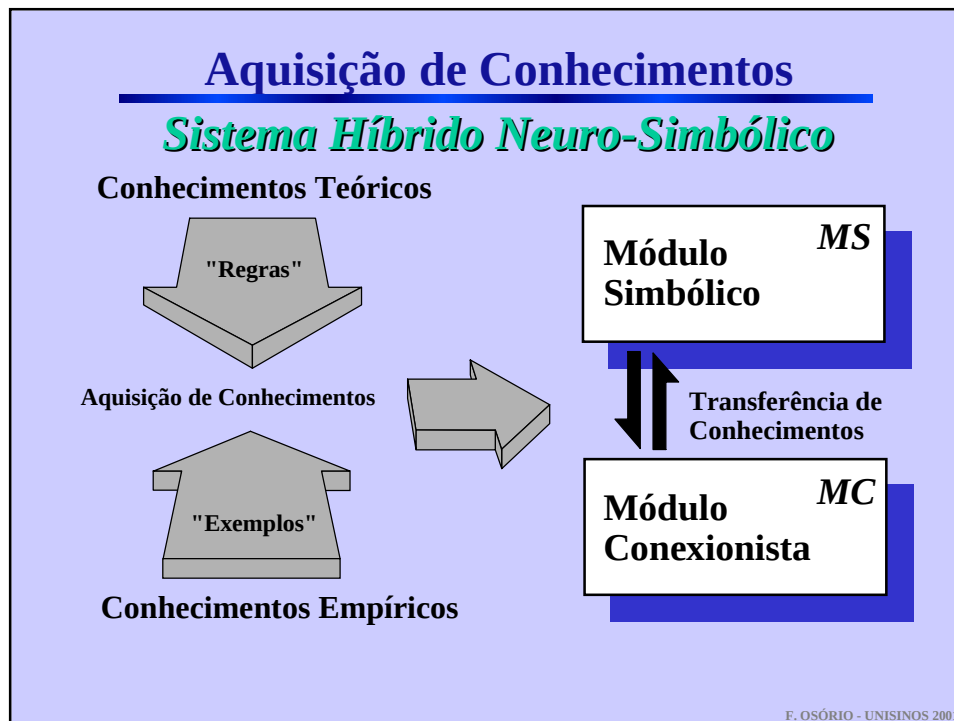


Conhecimentos Empíricos

Módulo Simbólico *MS*

Módulo Conexcionista *MC*

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001



Sistemas Híbridos Neuro-Simbólicos

1. SYNHESYS - A. Giacometti

Symbolic and NEural Hybrid Expert SYstem Shell

Rede incremental baseada em protótipos - ARN2

Módulo simbólico de inferência com «Forward/Backward Chaining»

2. KBANN - G. Towell

Knowledge Based Artificial Neural Networks

Rede do tipo MLP com uso do algoritmo Back-Propagation

Compilação de regras em uma RNA, aprendizado e extração de regras

3. INSS - F. Osório

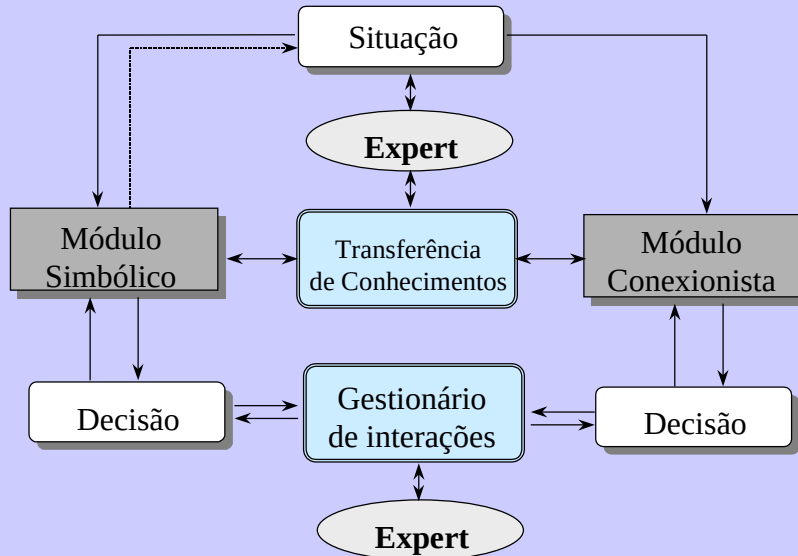
Incremental Neuro-Symbolic System

Rede incremental do tipo MLP com uso do algoritmo Cascade-Correlation

Compilação de regras, aprendizado, extração e validação

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

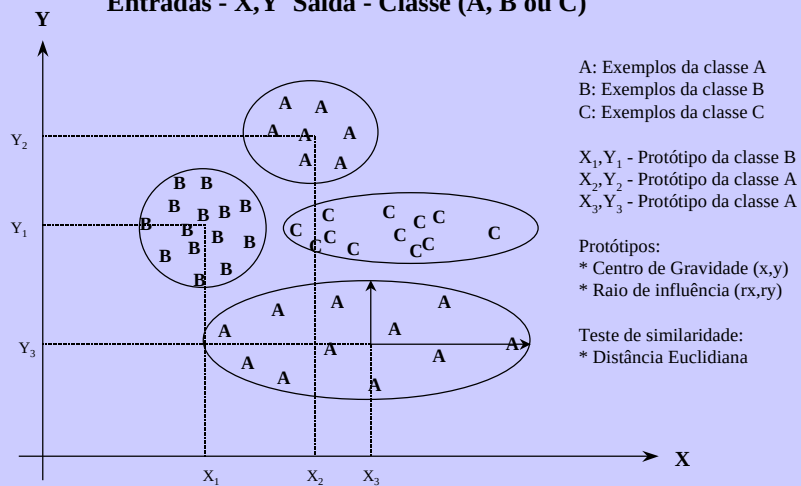
Sistema SYNHESYS



F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema SYNHESYS

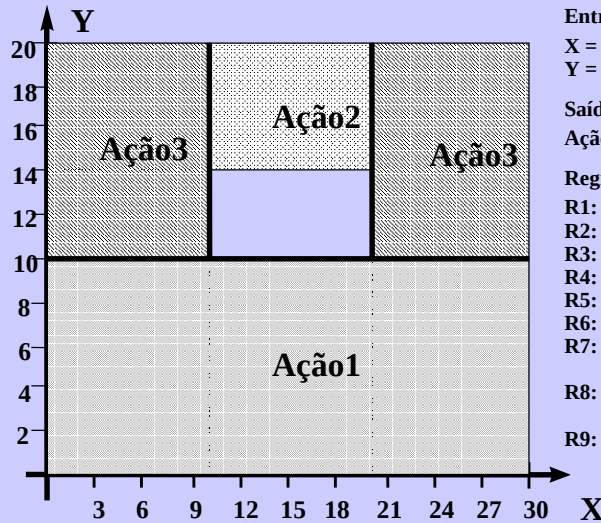
Entradas - X,Y Saída - Classe (A, B ou C)



Protótipos: Hiper-elipsoides / Hiper-Esferas

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema SYNHESYS



Entradas:

$X = [0..30]$

$Y = [0..20]$

Saídas (Ações):

Ação1 , Ação2 , Ação3 

Regras:

R1: Se Y in $[0..10]$ então Y_Frac

R2: Se Y in $[10..20]$ então Y_Forte

R3: Se X in $[0..10]$ então X_Frac

R4: Se X in $[10..20]$ então $X_Médio$

R5: Se X in $[20..30]$ então X_Forte

R6: Se Y_Frac então Ação1

R7: Se Y_Forte e X_Frac

então Ação3

R8: Se Y_Forte e X_Forte

então Ação3

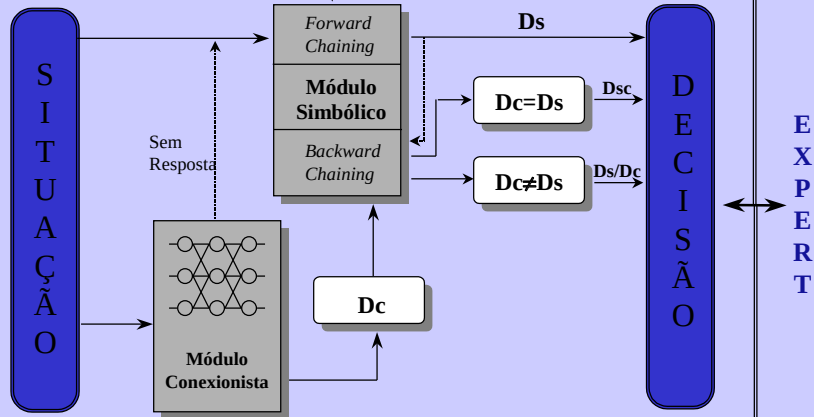
R9: Se Y in $[14..20]$ e $X_Médio$

então Ação2

Protótipos: Hiper-retângulos

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Ds : Decisão do Módulo Simbólico
Dc : Decisão do Módulo Conexionista
Dsc : Decisão Simbólico-Conexionista



Synhesys

Aprendizado / Adaptação (Pode usar Ds)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistemas Híbridos Neuro-Simbólicos



1. SYNHESYS - A. Giacometti

Symbolic and NEural Hybrid Expert SYstem Shell

Rede incremental baseada em protótipos - ARN2

Módulo simbólico de inferência com «Forward/Backward Chaining»



2. KBANN - G. Towell

Knowledge Based Artificial Neural Networks

Rede do tipo MLP com uso do algoritmo Back-Propagation

Compilação de regras em uma RNA, aprendizado e extração de regras

3. INSS - F. Osório

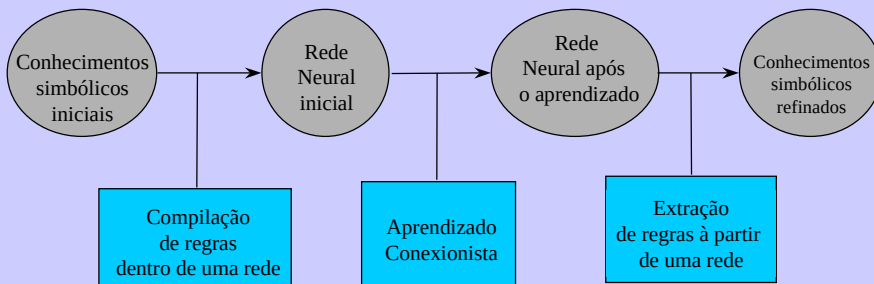
Incremental Neuro-Symbolic System

Rede incremental do tipo MLP com uso do algoritmo Cascade-Correlation

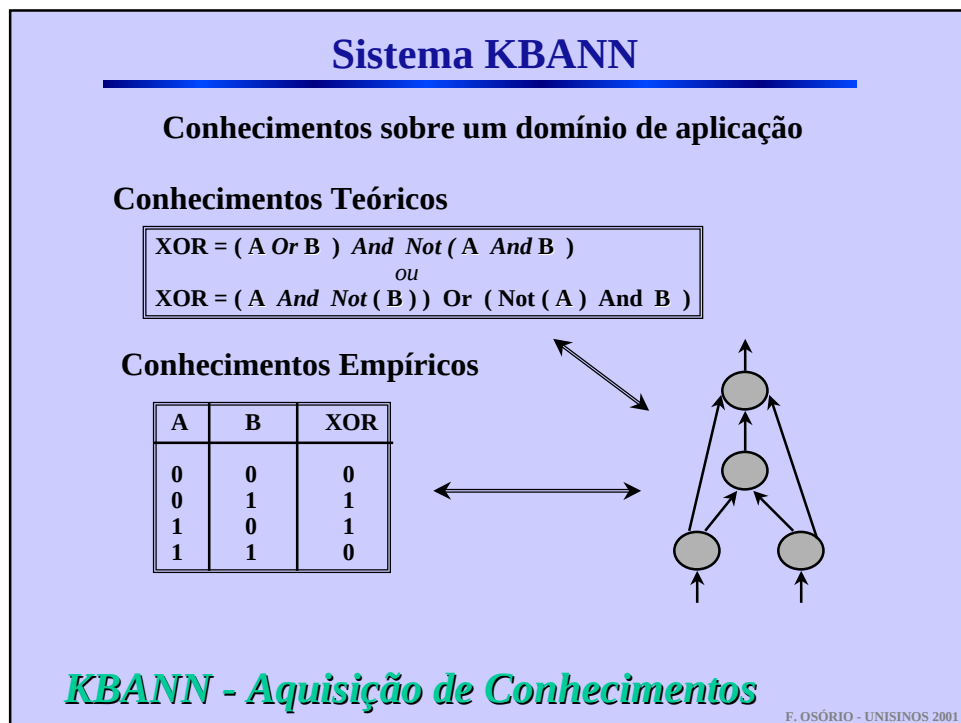
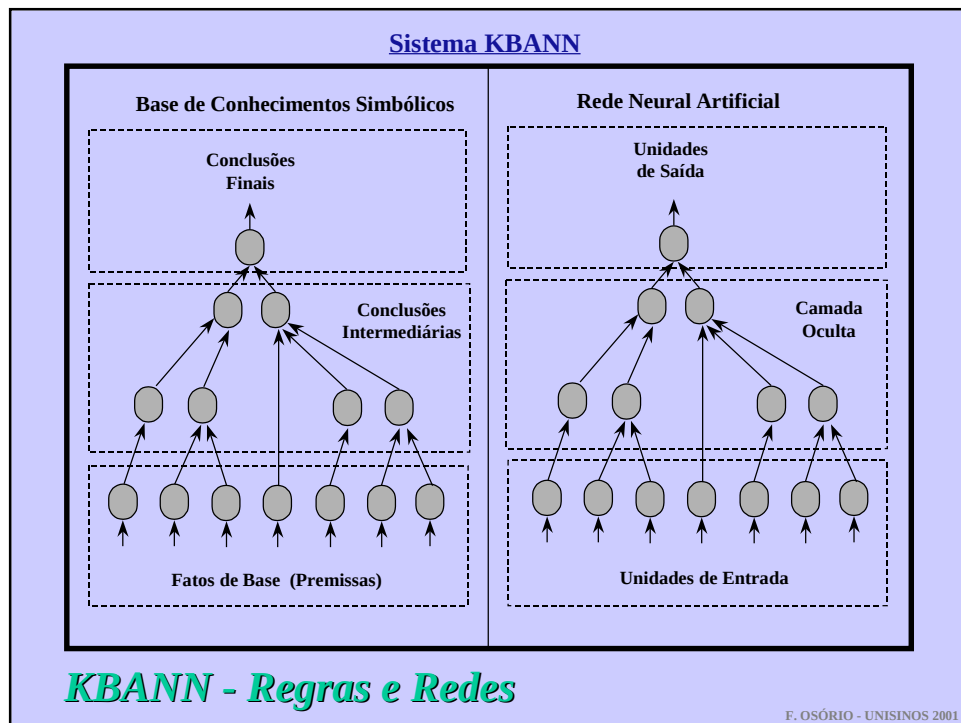
Compilação de regras, aprendizado, extração e validação

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema KBANN



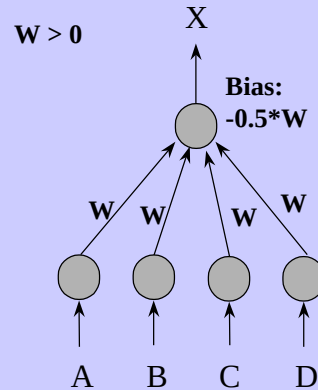
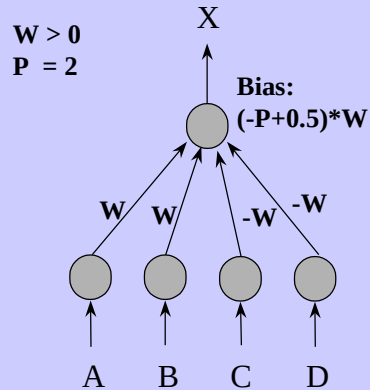
F. OSÓRIO - UNISINOS 2001



Sistema KBANN

Operador E - Conjunção:
 $X :- A, B, \text{Not}(C), \text{Not}(D).$

Operador OU - Disjunção:
 $X :- A. \quad X :- B.$
 $X :- C. \quad X :- D.$

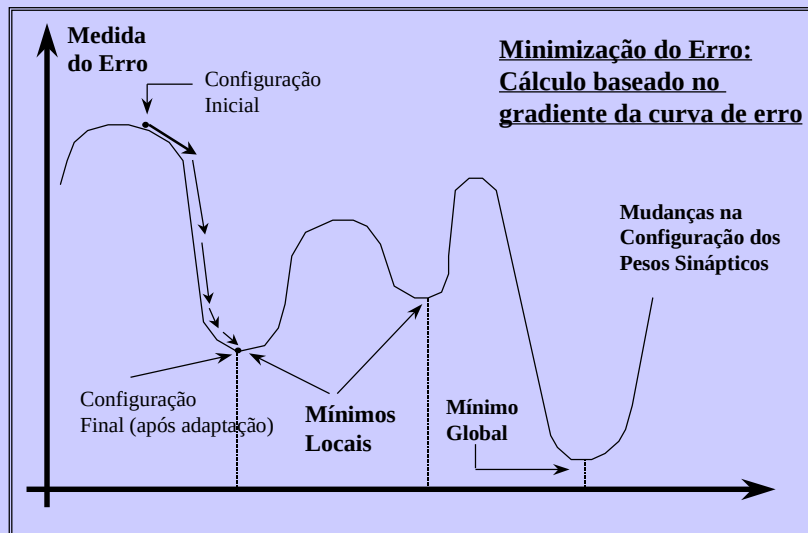


KBANN - Compilação de Regras

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema KBANN

RNA : Multi-Layer Perceptron (MLP) - Algoritmo utilizado : Back-Propagation

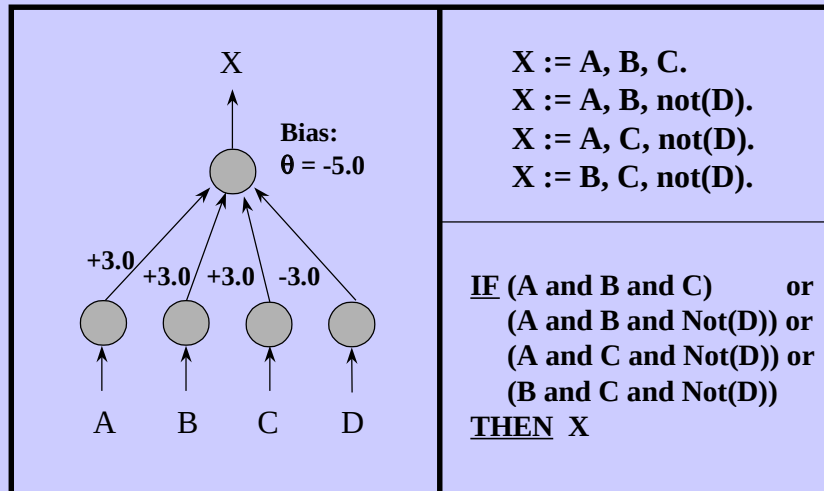


KBANN - Aprendizado

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema KBANN

Algoritmo SUBSET



KBANN - Extração de Regras

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema KBANN

Pontos fracos do Sistema KBANN



- Algoritmo de aprendizado pouco eficiente (Back-Propagation)
- Redes Neurais estáticas
- Bases de conhecimentos (regras e exemplos) com problemas significativos de incompletude ou de incorreção
- Mudança do significado das unidades inseridas na rede neural
- Processo de extração de regras muito pesado (complexo)
- Extração de regras : implica na análise de todas as unidades da rede
- Utiliza unicamente regras simbólicas muito simples (compilação e extração)
- Regras de produção IF/THEN - Representação de conhecimentos pobre
- Dificuldade para trabalhar com atributos quantitativos (variáveis contínuas)

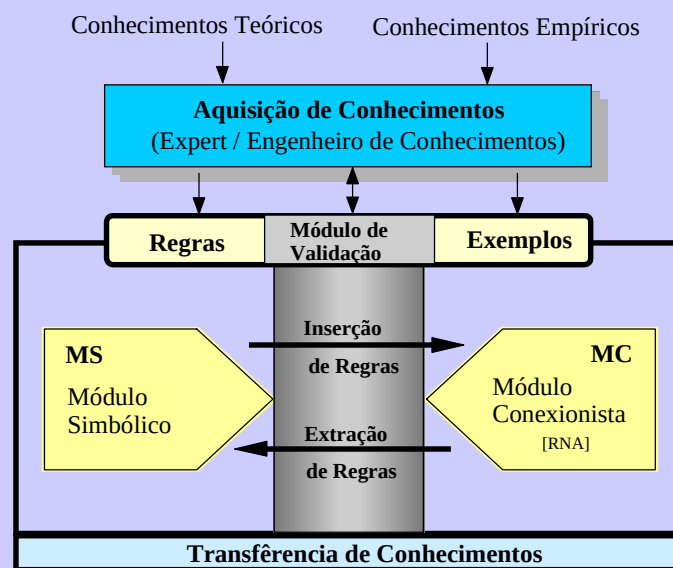
F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistemas Híbridos Neuro-Simbólicos

- ✓ 1. SYNHESYS - A. Giacometti
Symbolic and NEural Hybrid Expert SYstem Shell
Rede incremental baseada em protótipos - ARN2
Módulo simbólico de inferência com «Forward/Backward Chaining»
- ✓ 2. KBANN - G. Towell
Knowledge Based Artificial Neural Networks
Rede do tipo MLP com uso do algoritmo Back-Propagation
Compilação de regras em uma RNA, aprendizado e extração de regras
- ➔ 3. INSS - F. Osório
Incremental Neuro-Symbolic System
Rede incremental do tipo MLP com uso do algoritmo Cascade-Correlation
Compilação de regras, aprendizado, extração e validação

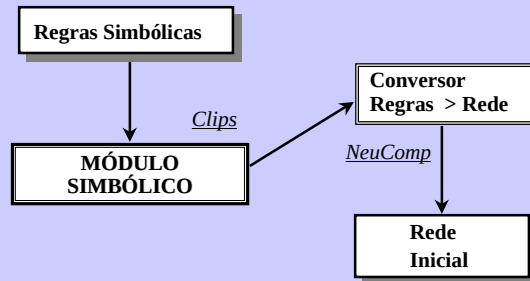
F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema INSS



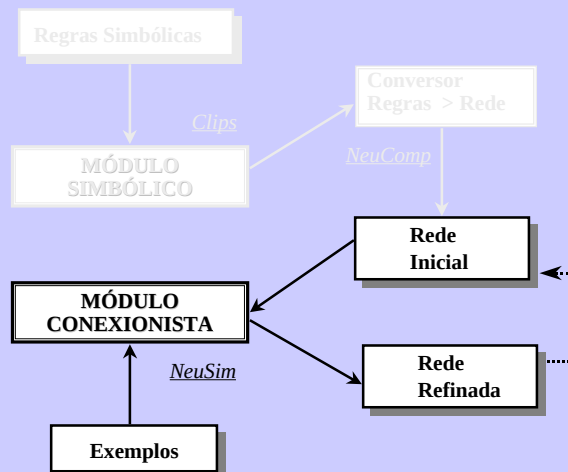
F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema INSS

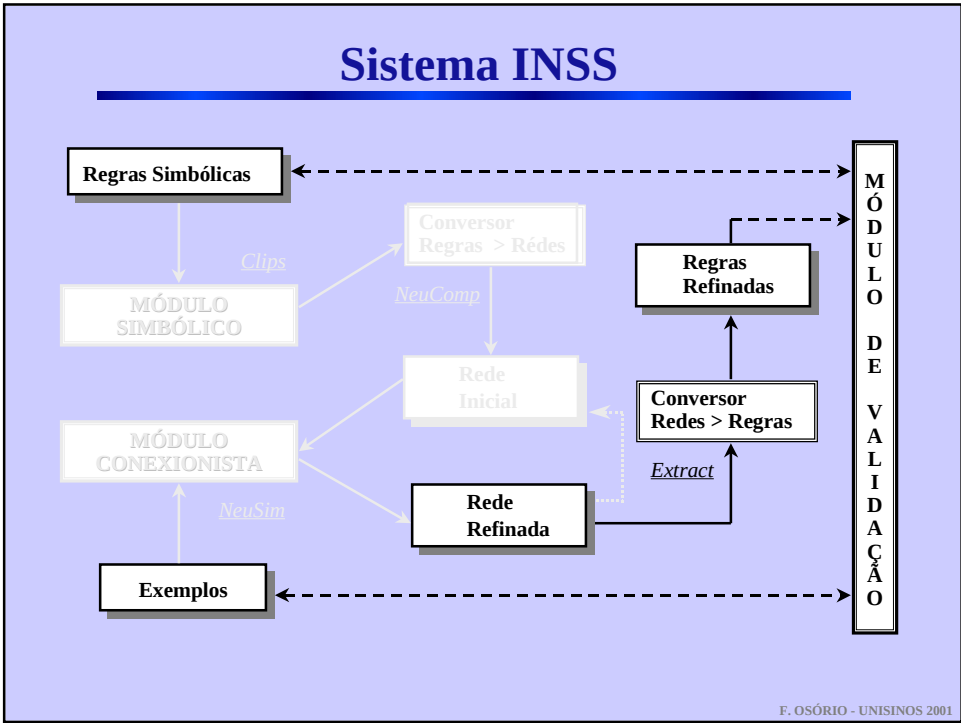
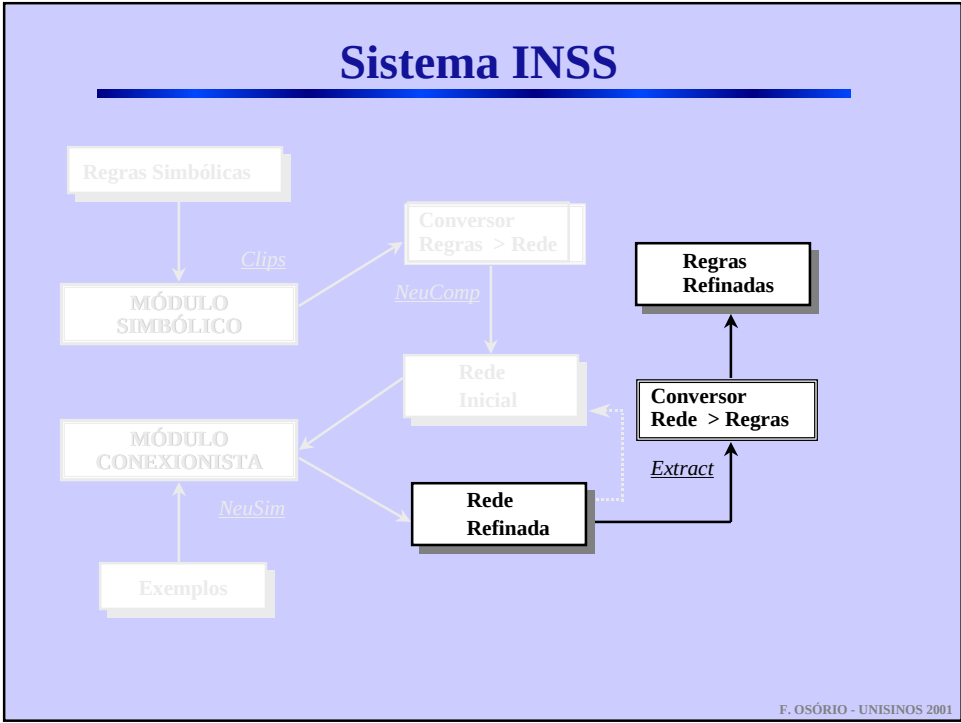


F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema INSS



F. OSÓRIO - UNISINOS 2001



[illegible]

INSS : Compilação de Regras

```
$Features:  
A:binary;  
B:binary.  
$End_Feat.  
  
$Rules:  
  A_OR_B  <- A;  
  A_OR_B  <- B;  
  A_AND_B <- A,B;  
  XOR <- A_OR_B, A_AND_B(false).  
$End_rules.  
  
$End.
```

%%
%% Exclusive Or - Lógica Booleana
%% Xor = (A Or B) And Not(A And B)
%%

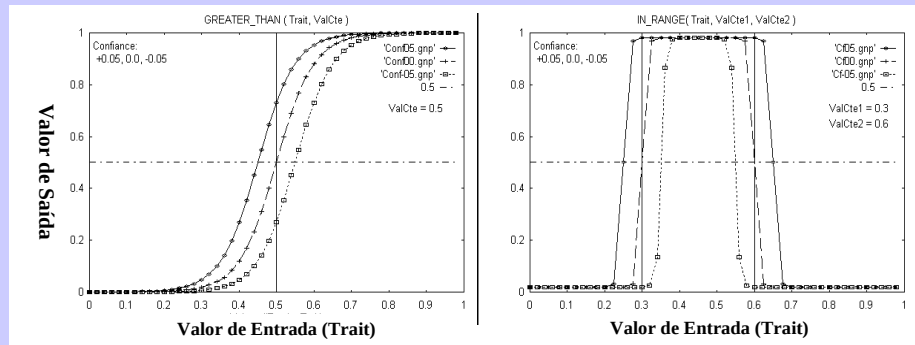
```
graph BT  
  A((A)) --> A_OR_B([A_OR_B])  
  A --> A_AND_B([A_AND_B])  
  B((B)) --> A_OR_B  
  B --> A_AND_B  
  A_OR_B --> XOR((XOR))  
  A_AND_B --> XOR
```

Wij / Bias

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

INSS: Compilação de Regras

Regras de ordem 0⁺



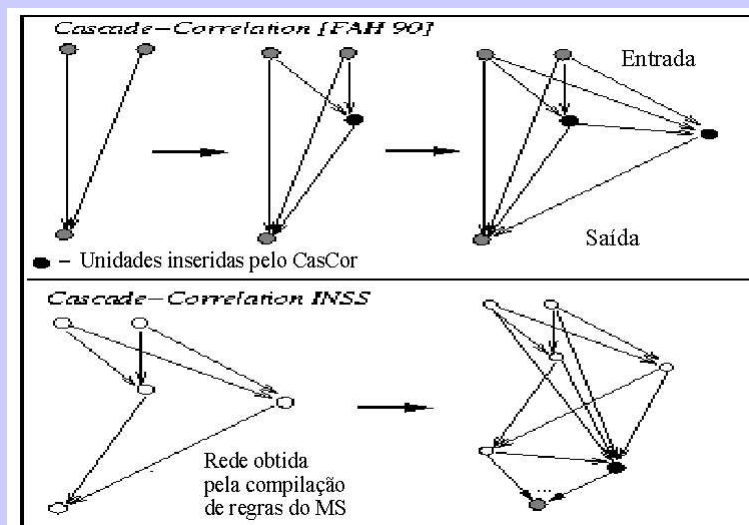
Greater_Than (Variável, Valor)
Greater_Than (Variável, Variável)
Less_Than (Variável, Valor)
Less_Than (Variável, Variável)

In_Range (Variável, Min, Max)
Equal (Variável, Valor)
Equal (Variável, Variável)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

INSS : Rede Neural Incremental

Algoritmo Cascade-Correlation (CasCor)



F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

INSS e Rule_Out : Extração de Regras

Algoritmo de extração de regras : SUBSET [Towell]

RULE_OUT:

- * Extrair os novos conhecimentos adquiridos ☒
- * Extrair as regras mais importantes ☒
 - Seleção das unidades (neurônios) para a extração ☒
 - Seleção das conexões para a extração ☒
- * Em estudo : regras de ordem 0⁺ (Fuzzy) ☐

Vantagens:

- * Extração incremental de conhecimentos
- * Validação dos conhecimentos adquiridos

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

INSS : Validação dos Conhecimentos

Conhecimentos Teóricos

R1 : If (A Or B) Then XOR=1
R2 : If Not (A And B) Then XOR=1
R3 : If (A And B) Then XOR=0
R4 : If Not (A) And Not (B) Then XOR=0

Conhecimentos Empíricos

Ex.	A	B	XOR
E1	0	0	0
E2	0	1	1
E3	1	0	1
E4	1	1	1 (!)

Validação

- Incoerência entre R3 (Saída=0) e E4 (Saída=1)
- Não existem regras que satisfaçam E4

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema INSS

Pontos fortes do Sistema INSS



- Algoritmo de aprendizado com um ótimo desempenho (Cascade-Correlation)
- Rede Neural do tipo incremental
- Permite o uso de conhecimentos (*regras e exemplos*) incompletos ou incoerentes
- Não modifica o significado das unidades inseridas na rede
- Processo incremental de extração de regras
- Extração de regras: análise parcial da rede (+ eficaz)
- Utiliza regras simbólicas de ordem 0 e 0⁺ (compilação)
- Trabalha com atributos quantitativos (variáveis contínuas) e qualitativos (variáveis discretas)

Aprendizado de Máquinas Construtivo

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Sistema INSS : Aplicações

- *Problemas Artificiais de Classificação* (Monk's Problems - S. Thrun)
- *Ajuda ao Diagnóstico Médico* - Comas Tóxicas (Projeto Esprit MIX)
- *Robótica Autônoma* (Robô móvel Khepera)
- *Problema da Balança* (Balance Scale Problem - T. Shultz)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

Considerações Finais

- Conhecimentos : regras / exemplos - incompletos / incoerentes
- Algoritmos de aprendizado eficientes
- Redes Neurais do tipo incremental / Redes Recorrentes
- Compilação e extração de regras de alto nível
- Atributos quantitativos e qualitativos
- Validação dos conhecimentos adquiridos
- Evolução dos conhecimentos de forma continuada
- Aumento do poder de representação de conhecimentos
- Integração de múltiplos módulos: CBR, Fuzzy, GA, ...

Sistema Híbrido Neuro-Simbólicos
Hybrid Machine Learning Tools

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001

TEMAS DE PESQUISA SOBRE SISTEMAS HÍBRIDOS

* LIVROS:

- Obra clássica: ;^)
OSÓRIO, F. S. INSS: Un Système Hybride Neuro-Symbolique pour l'Apprentissage Automatique Constructif. Thèse de Doctorat - INPG, IMAG. Grenoble. 1998.
- Nikolopoulos, Chris. Expert Systems - Introduction to 1st and 2nd Generation and Hybrid Knowledge Based Systems. Marcel Dekker, 1997.
- Kandel, A & Langholtz, G. Hybrid Architectures for Intelligent Systems. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1992.
- Sun, Ron & Alexandre, Frederic. Connectionist Symbolic Integration: From Unified to Hybrid Approaches. Lawrence-Erlbaum Associates, 1997.
- Ian Cloete, Jacek Zurada. Knowledge Based NeuroComputing. MIT press, 2000.

* PESQUISADORES:

- Ron Sun, V. Honavar, Medsker, Jude Shavlik, Geoffrey Towell, Dean Pomerleau, J. Fletcher
- Minski, LiMin Fu, Gallant, Hayes-Roth, Kasabov, Nauck, R. Andrews, Frasconi, Gori
- A. F. Rocha, Ricardo Machado
- Melanie Hilario, Christian Pellegrini, Yanick Lallement, Frédéric Alexandre
- F. Osório, B. Amy, D. Memmi, B. Orsier, M. Malek, A. Giacometti / Projeto Europeu MIX Laboratoire Leibniz - Equipe Réseaux - <http://www-leibniz.imag.fr/RESEAUX/>

* INTERNET:

- ENIA'99 <http://www.inf.unisinos.br/~osorio/enia99/>
- Lista de Bibliografias <http://www.inf.unisinos.br/~osorio/hybrid-refs.html>

F. OSÓRIO - UNISINOS 2001