

Tecnologia Adaptativa em Engenharia de Computação: Estado da Arte e Aplicações

Hemerson Pistori

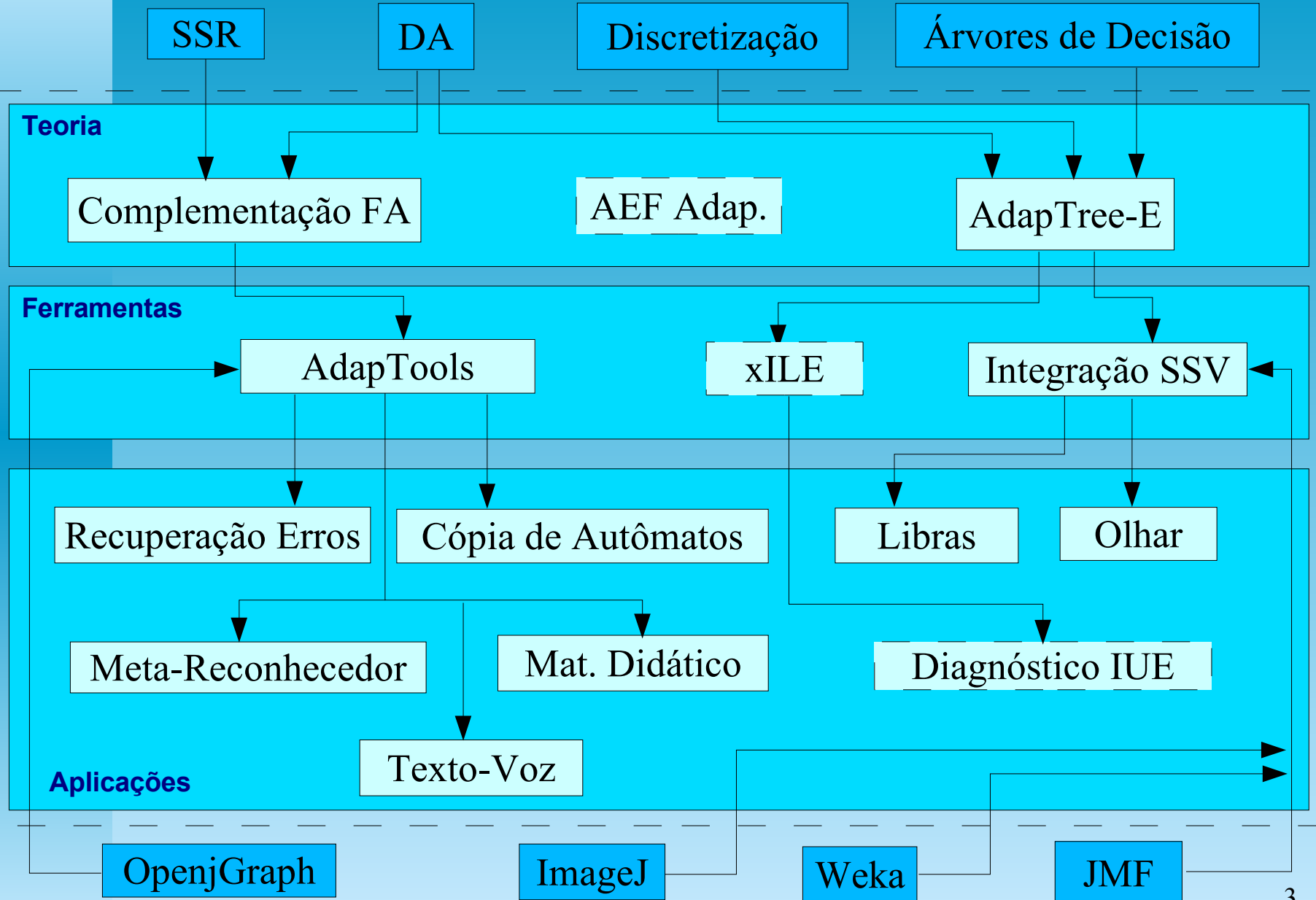
Orientador: Prof. Dr. João José Neto

**São Paulo
Dezembro, 2003
PCS – EPUSP - USP**

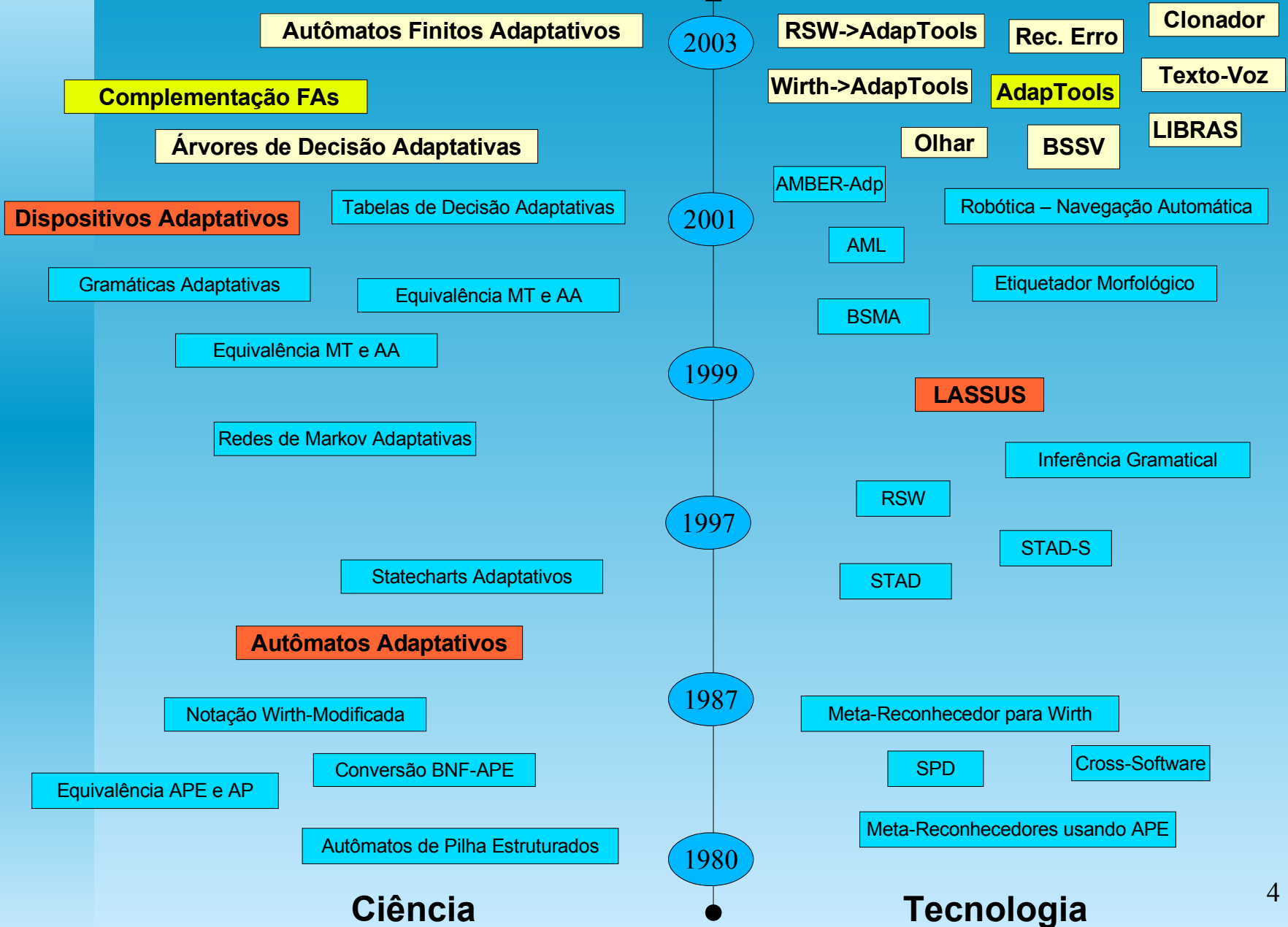
Organização da Apresentação

- Introdução: contexto, objetivos e contribuições
- Árvores de Decisão Adaptativas
 - Fundamentos, desenvolvimento, contribuições
- Funções Adaptativas
 - Fundamentos, desenvolvimento, contribuições
- Autômatos Finitos Adaptativos
- Resultados
- Propostas para Trabalhos Futuros

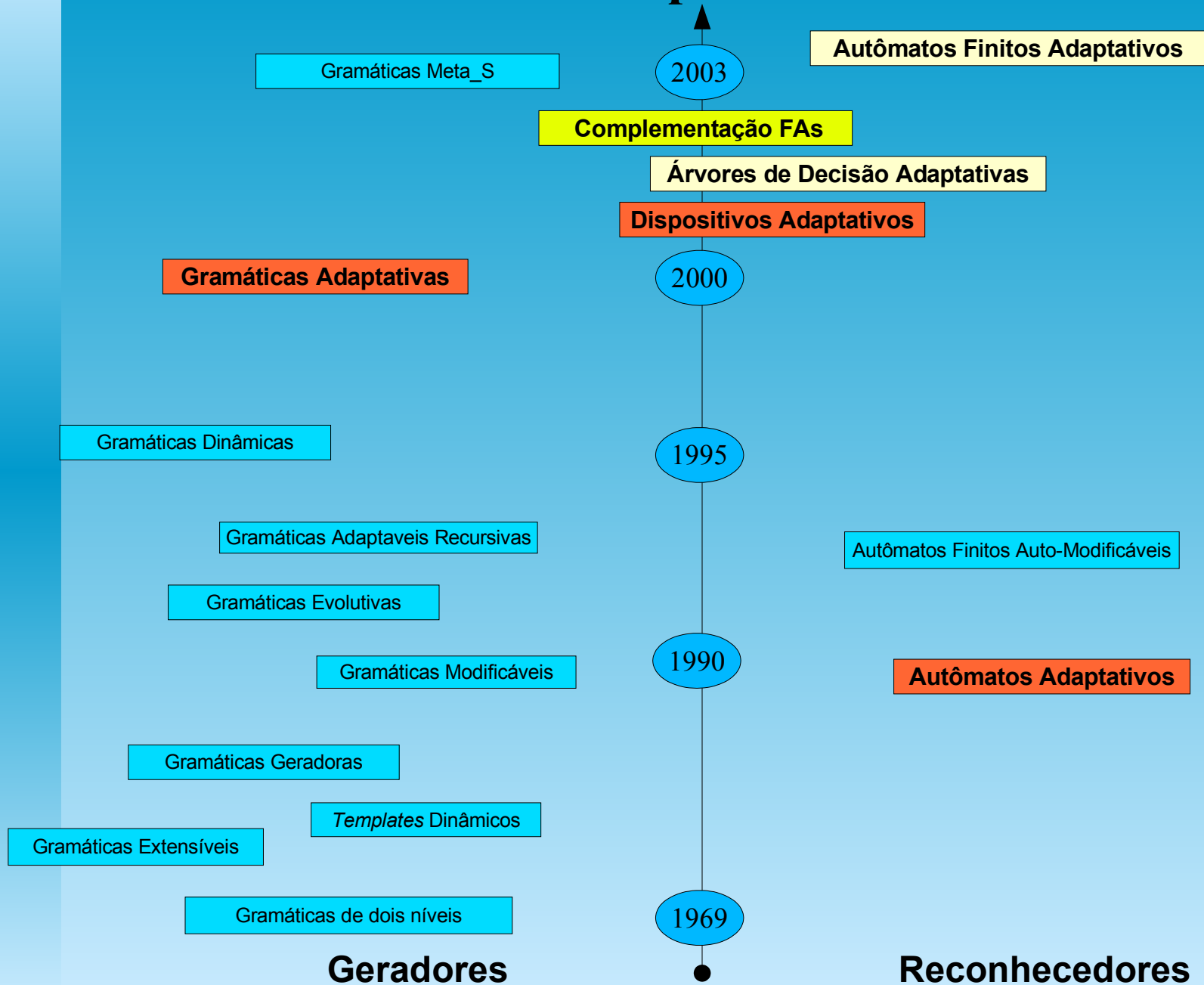
Contribuições



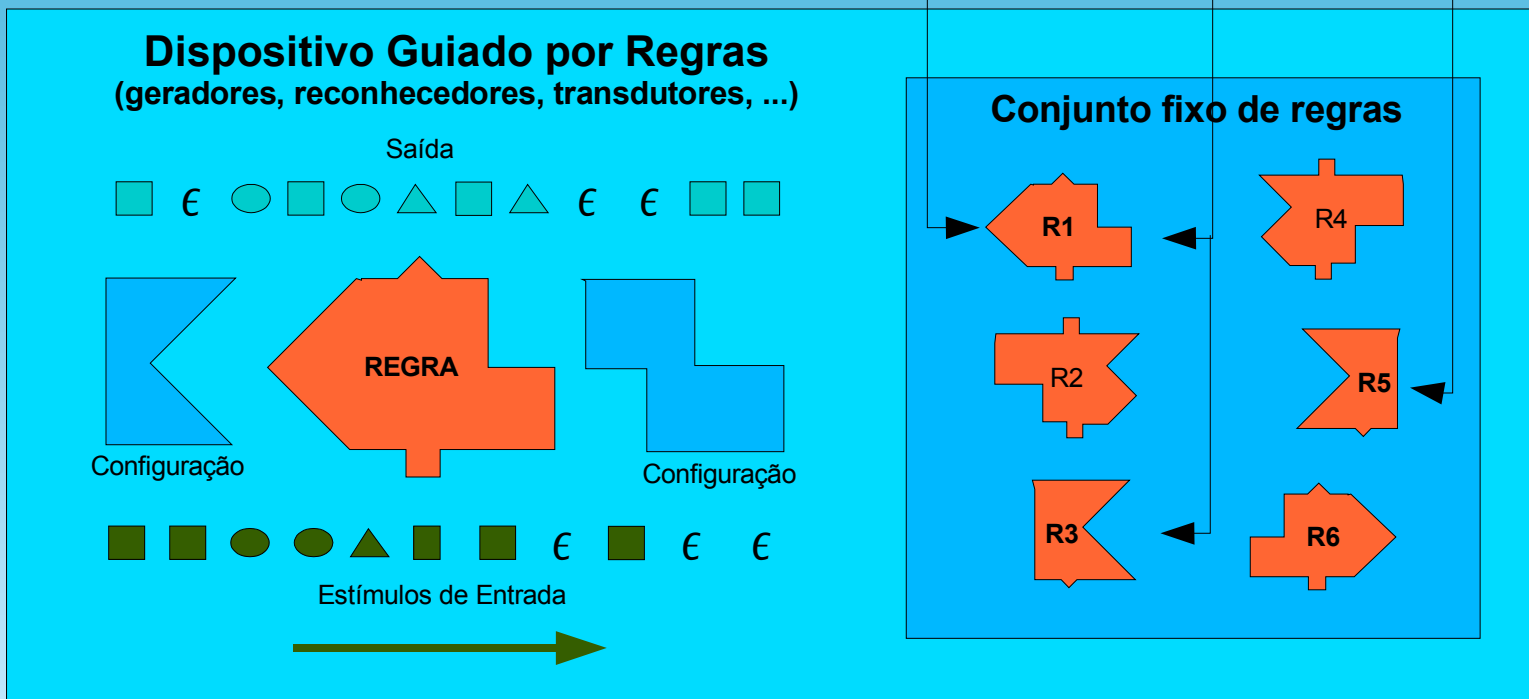
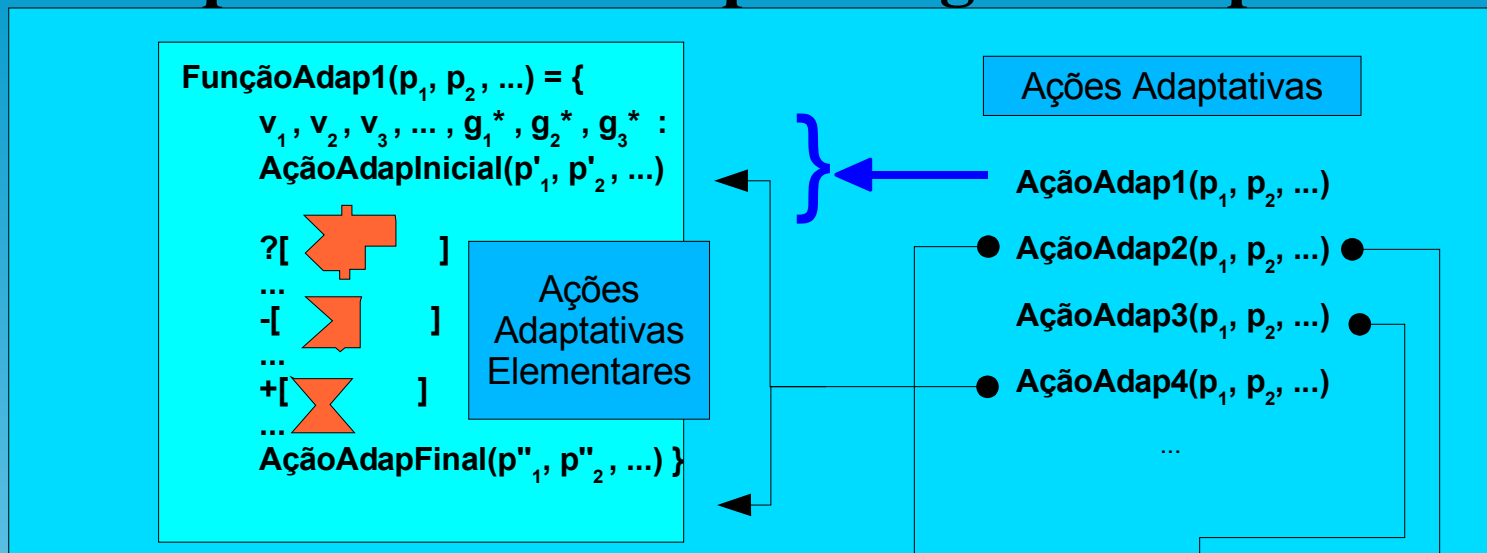
Linha de Tempo - Grupo LTA - USP



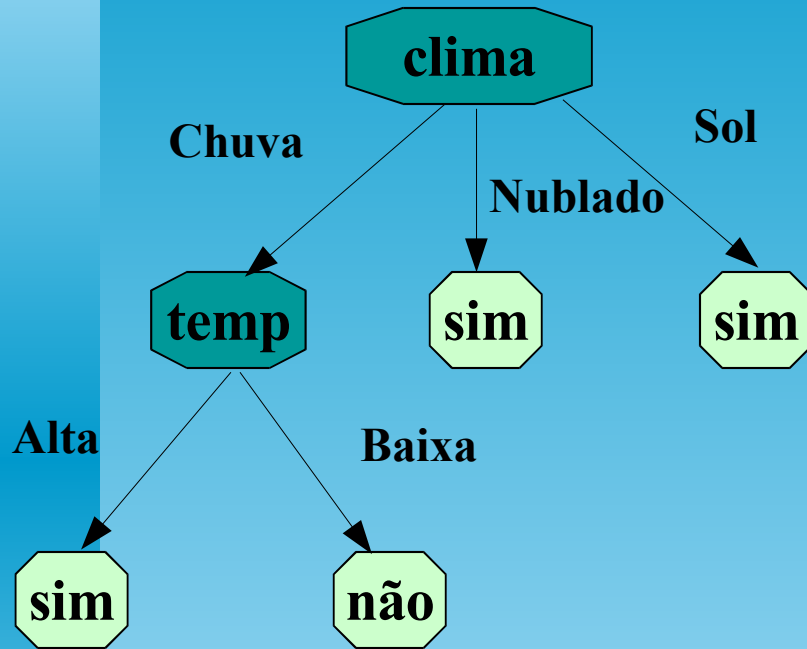
Linha de Tempo - Internacional



Dispositivo Guiado por Regras Adaptativo



Indução de Árvores de Decisão



Instâncias de Treinamento
(vetor de atributos ou exemplos)

clima	temp.	prod(c,t)
Sol	Alta	sim
Sol	Baixa	sim
Chuva	Baixa	não
Chuva	Alta	não
Nublado.	Alta	sim

classe

Instância de Teste: (Nublado , Baixa , ???)
Resposta: sim

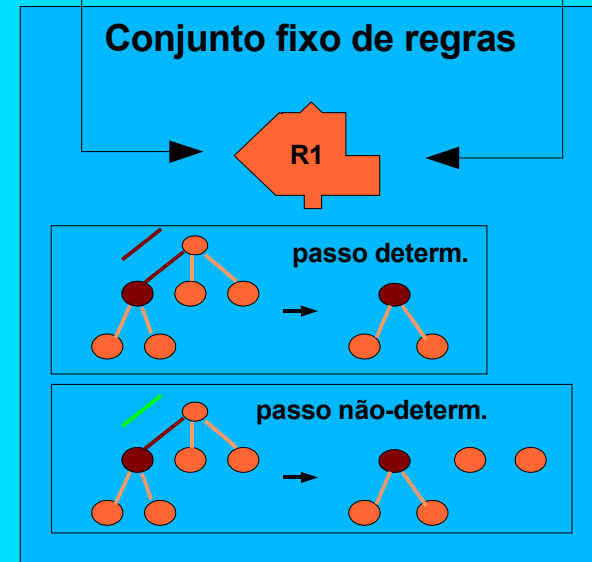
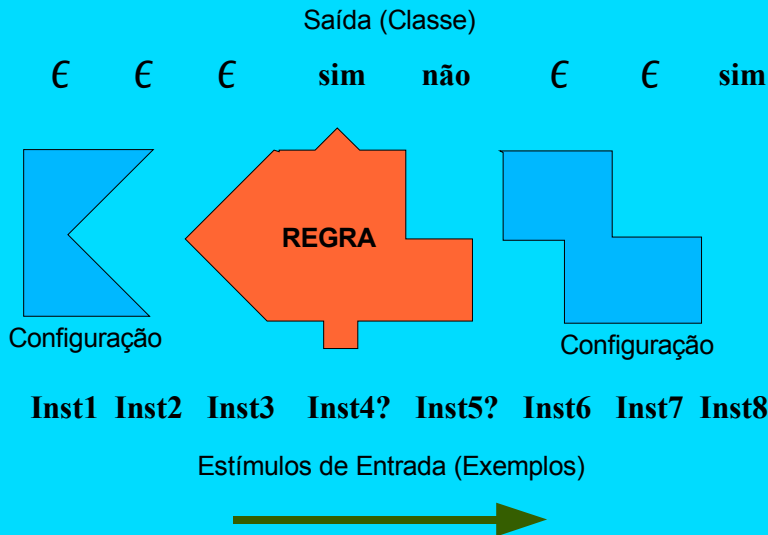
Generalização a partir de exemplos com valores discretos

Árvores de Decisão Adaptativas

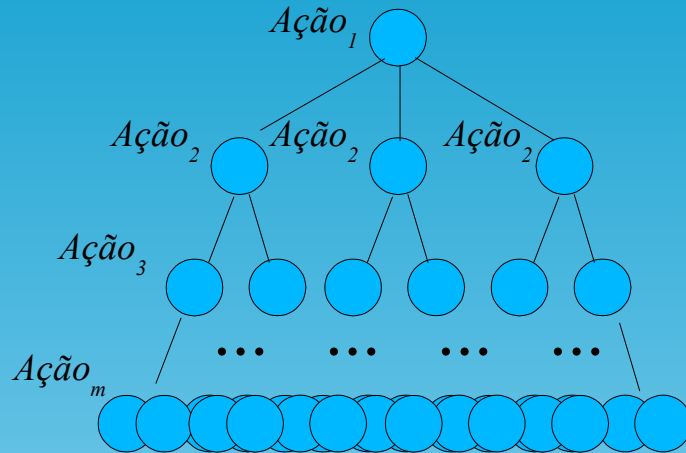
$FunçãoAdap1(p_1, p_2, \dots) = \{$
 $?[\text{árvore}]$
 \dots
 $-[\text{árvore}]$
 \dots
 $+ [\text{árvore}]$
 \dots
 $\}$

$AçãoAdap1(p_1, p_2, \dots)$
 $AçãoAdap2(p_1, p_2, \dots)$ ●
 $AçãoAdap3(p_1, p_2, \dots)$ ●
 $AçãoAdap4(p_1, p_2, \dots)$
 \dots

Árvore de Decisão Não-Determinística



AdapTree



AdapTree é apenas uma das possíveis árvores de decisão adaptativas !!!

Caracterização

- Árvore-DND adaptativa
- m funções adaptativas, onde m é o total de atributos do problema.
- 1 atributo por nível
- Último nível para classe
- Cada exemplo, 1 caminho raiz-folha
- Generalização pelo não-determinismo

Propriedades

- Total de nós independe do total de instâncias de treinamento
- Aprendizagem incremental

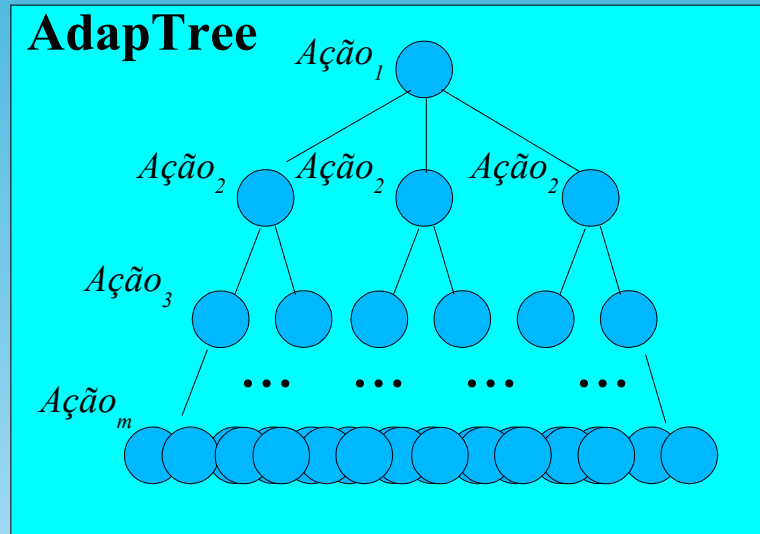
AdapTree-E (Estendido)

Valores Contínuos: **Discretização** (Fayyad e Irani)

+

Valores Ausentes no Treinamento: **Moda e Média**

+



+

Valores Inconsistentes: **Contadores** nas Folhas

AdapTree-E – Complexidade Pior Caso

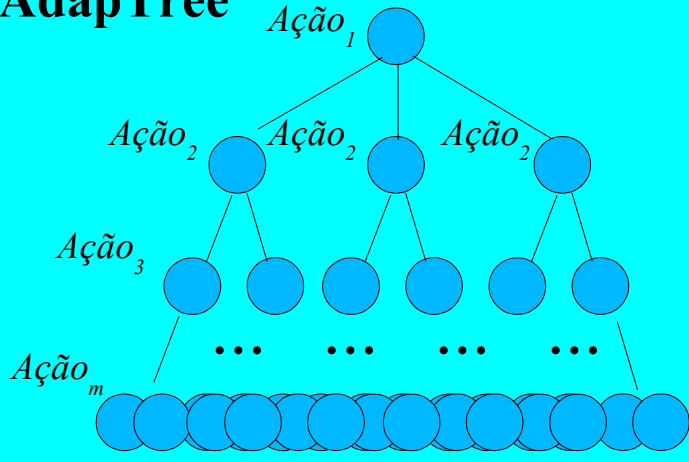
Discretização (Fayyad e Irani)

+

Moda e Média

+

AdapTree



+


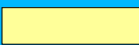

Contadores nas Folhas

n = total de exemplos de treinamento

Espaço	Tempo Trein.	Tempo Teste
$O(n)$	$O(n \log(n))$	$O(1)$
$O(n)$	$O(n)$	$O(1)$
$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
$O(1)$	$O(1)$	$O(1)$
$O(n)$	$O(n \log(n))$	$O(1)$

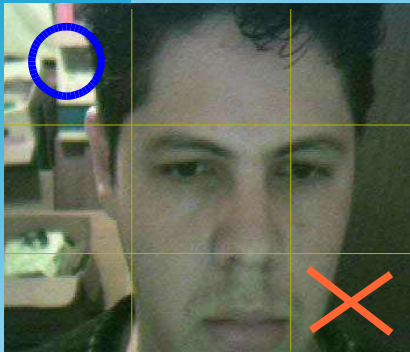
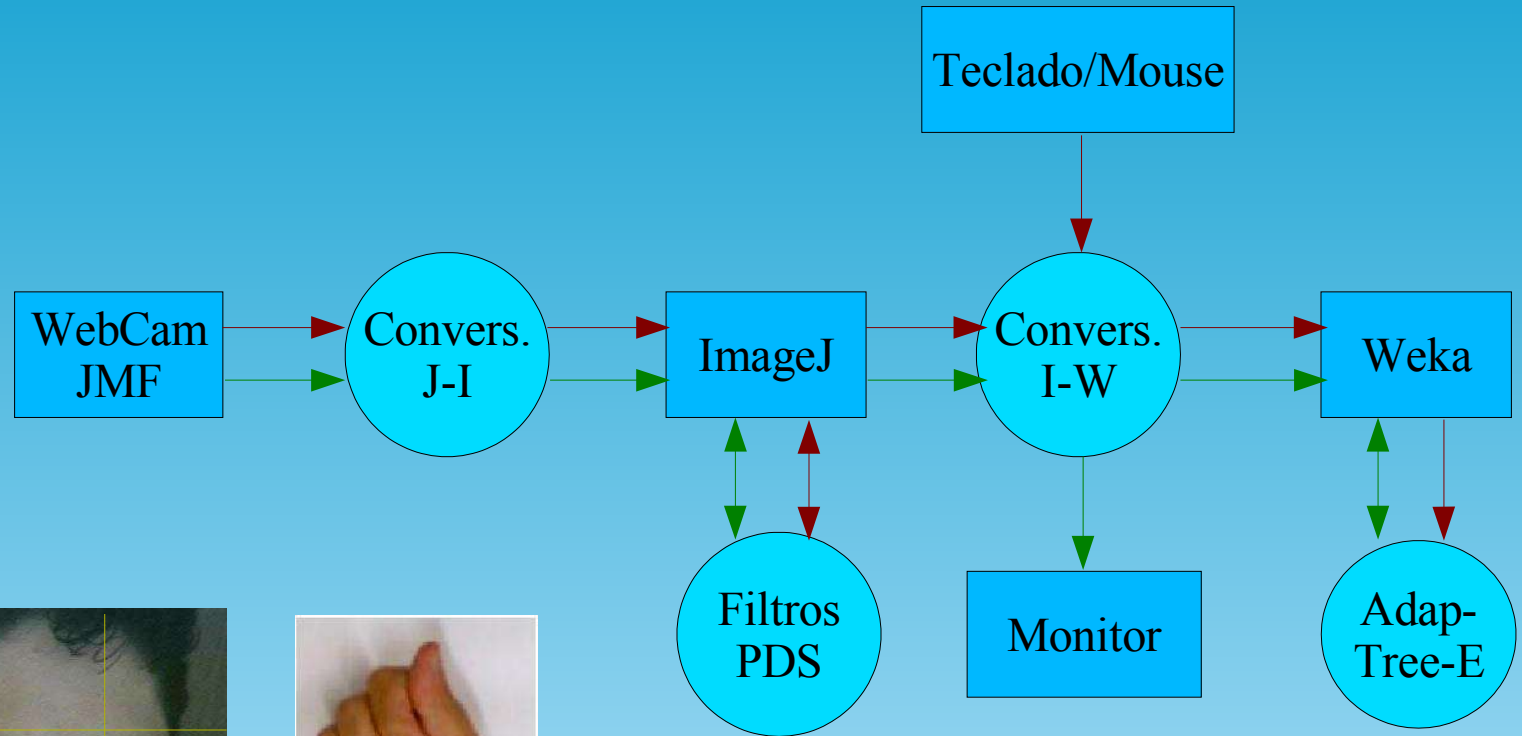
AdapTree-E – Taxa de Acerto

	AdapTree-E	NaiveBayes	5-NN	C4.5	Id3
Annel	94,99	86,53	97,44	98,44	99,67
Audio	69,35	65,58	53,12	74,3	77,91
Autos	75,43	56,57	55	70,86	80,02
Breast	71,71	74,06	73,42	75,18	57,67
Cleve	78,18	84,46	82,49	79,17	62,99
Diabetes	73,05	75,78	74,74	74,09	60,93
German	70,3	74,9	74,2	69,7	60,4
Glass	58,83	48,48	70,11	67,16	51,9
Hear	78,89	85,19	78,89	77,78	62,96
hepatitis	77,5	83,19	82,54	79,42	73
Horse	68,75	66,59	66,04	66,31	10,3
Hypothy	98,14	95,2	93,22	99,56	90,4
Ionosphere	88,02	82,36	85,18	90,9	83,7
Iris	92,67	96	95,33	95,33	92
Lymph	75,4	80,8	82,6	75,8	75
Mushroom	100	95,38	99,96	100	100
Sick	97,67	92,74	96,21	98,73	97,77
Vehicle	65,72	44,45	69,15	73,39	62,17
Vote	93,92	90,2	93,24	95,88	93,56
Voewer	74,78	62,11	76,65	76,44	78,99

 Superior
 Equivalente
 Inferior

Estatística t-Student - 95% (Confiança)
 10 Execuções – Validação cruzada
 estratificada de 10 dobras

BSSV: Biblioteca de apoio ao desenvolvimento de Sistemas com interface guiada por Sinais Visuais



Olhar



LIBRAS

Satisfação Seqüencial de Restrições (SSR) e Unificação

Sexo(João,Masculino)	Profissão(João,Médico)	Pai(João,Joaquim)
Sexo(Maria,Feminino)	Profissão(Maria,Médico)	Pai(Maria,Osório)
Sexo(Janete,Masculino)	Profissão(Pedro,Professor)	Pai(Janete,Osório)
Sexo(Carlos,Masculino)	Profissão(Joaquim,Astrônomo)	Pai(Carlos,Osório)
Sexo(Joaquim,Masculino)	Profissão(Isaiás,Professor)	Pai(Joaquim,Osório)
Sexo(Osório,Masculino)	Profissão(Paulo,Professor)	Pai(Osório,Jeremias)
Sexo(Nilza,Feminino)	Profissão(Osório,Programador)	Pai(Nilza,João)
Sexo(Raquel,Feminino)	Profissão(Jeremias,Astrônomo)	Pai(Raquel,Joaquim)
Sexo(Penélope,Feminino)	Profissão(Jorge,Professor)	Pai(Penélope,Isaiás)

Sexo(x,Feminino) \wedge Pai(x,y) \wedge Profissão(y,Astrônomo)

Premissas (fatos): Apenas literais positivos sem variáveis ou funções.

Teoremas (perguntas): Conjunção de literais positivos.

Prova:

Para cada substituição que unifica o literal 1 do teorema **faça**

Para cada substituição que unifica o literal 2 **faça**

...

Para cada substituição que unifica o literal k **faça**

Imprima substituições

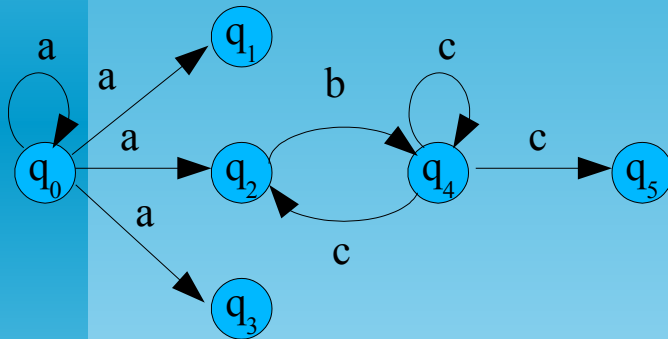
$O(n^k)$

Problema da ordem dos literais em bases grandes

n = total de premissas (no pior caso) ←

Formalização Funções Adaptativas

- Execução de ações elementares de consulta = prova de teorema em SSR.
- Variáveis e geradores multiplamente instanciados
- Variáveis são instanciadas apenas em ações elementares de consulta
- Eliminação das ações adaptativas iniciais e finais
- Declaração implícita de variáveis, geradores e parâmetros (?, * e %)



$?[(?x,?y,?x)] \quad ?[(?q_0,a,?z)]$

$+[(?x,b,?x)] \quad -[(q_0,a,?z)]$

$regra(q_0,a,q_0)$	$regra(q_2,b,q_4)$
$regra(q_0,a,q_1)$	$regra(q_4,c,q_2)$
$regra(q_0,a,q_2)$	$regra(q_4,c,q_4)$
$regra(q_0,a,q_3)$	$regra(q_4,c,q_5)$

$regra(?x,?y,?x) \wedge \begin{matrix} regra \\ (?q_0,a,?z) \end{matrix}$

- Ordem das ações elementares de consulta não afeta resultado - apenas desempenho
- Ações elementares de consulta são executadas antes das ações de remoção e inserção
- Complexidade no pior caso: $O(n^k)$ [n=total de regras, k= total de ações de consulta]

AdapTools

AdapTools 1.2 [E:\pistori\adaptools\contrib\not_tested\lambda.pri]

Project Machine Input Output Options Help

code [vm\adaptive.spa] Stack Speed Input

Time	Head	Orig	Inpu	Dest	Push	Outp	Adap	Ret
	?A1	?x	eps	1	fin	non	non	
	-A1	?x	eps	1				
	+A1	?x	b	*				
	+A1	*new	eps	1				
	S	0	a	0				
1	#S	0	eps	1				
1	S	0	b	9				
2	#S	9000	eps	1				
2	S	9000	b	9				
3	#S	9001	eps	1				
3	S	9001	b	9				
4	#S	9002	eps	1				
4	S	9002	b	9				
5	#							
5	S							
6	#							
6	S							
6	S							

aaaaaabb bbbcccccc

S [Time: 0]

S [Time: 1]

S [Time: 2]

Click to Step in

Projetos desenvolvidos através do AdapTools

code [genericErrorRecovery.spa]

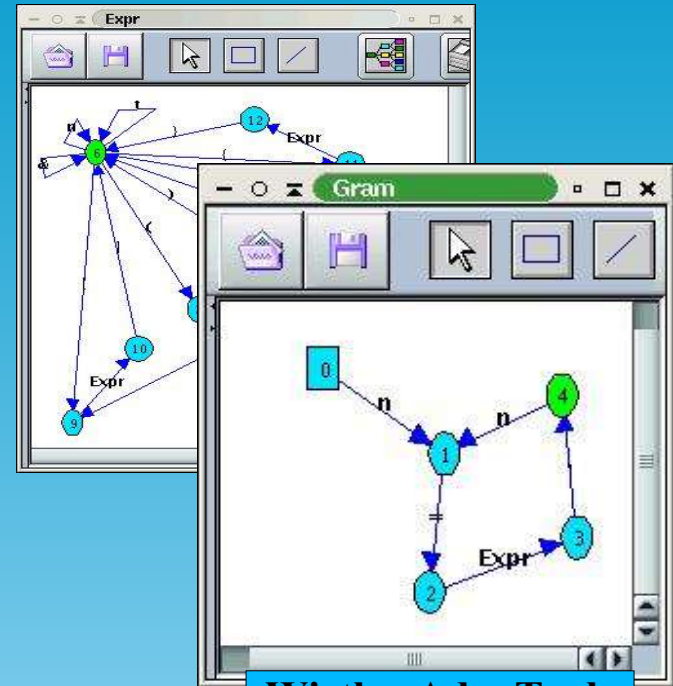
Time	Head	Orig	Inpu	Dest	Push	Outp	Adap
?E1	?sta	?first	?p	?f1	?f2	?f3	
?E1	?p	?sec...	?q	?s1	?s2	?s3	
+E1	*rem	eps	?q	nop	<R>	ERR	
+E1	*rem	eps	?q	nop	<R>	ERR	
+E1	*n1	a	*n2	nop	[A]	ERR	
+E1	*n1	b	*n2	nop	[B]	ERR	
+E1	*n1	c	*n2	nop	[C]	ERR	
+E1	*n2	?first	*ins	?f1	?f2	ERR	
+E1	*ins	eps	?p	nop	<I>	ERR	
+E1	*n2	?sec...	*sub	?s1	?s2	ERR	
+E1	*sub	eps	?q	nop	<S>	ERR	
?E2	?z1	?z2	?z3	?z4	?z5	ERR	
-E2	?z1	?z2	?z3	?z4	?z5	ERR	
S	0	eps	1	nop	nop	.E1	
S	1	a	2	nop	nop	.E1	
S	2	b	3	nop	nop	.E1	
S	3	c	1	fin	nop	.E1	

**Recup.
Erros**

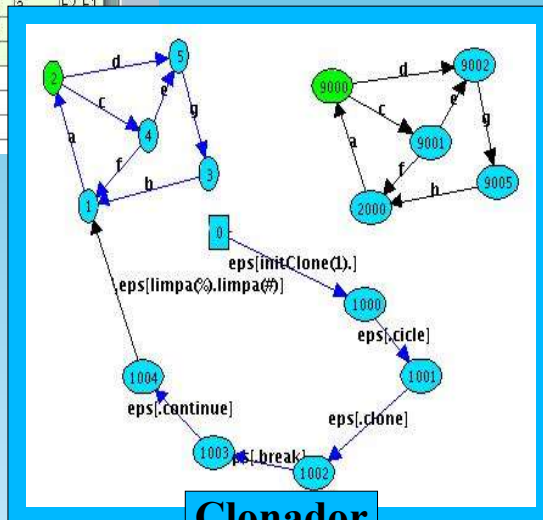
code [talker.spa]

Time	Head	Orig	Inpu	Dest	Push	Outp	Adap
Paus	0	spc	0	nop	pausa	nop	
Voga	0	a	0	nop	a	nop	
Voga	0	e	0	nop	e	nop	
Voga	0	é	0	nop	eh	nop	
Voga	0	i	0	nop	i	nop	
Voga	0	o	0	nop	o	nop	
Voga	0	u	0	nop	u	nop	
B	0	b	1	nop	nop	nop	
B	1	a	0	nop	ba	nop	
B	1	e	0	nop	be	nop	
B	1	é	0	nop	beh	nop	
B	1	i	0	nop	bi	nop	
B	1	o	0	nop	bo	nop	
B	1	ô	0	nop	bo	nop	
B	1	ó	0	nop	boh	nop	
B	1	u	0	nop	bu	nop	
C	0	c	2	nop	nop	nop	
C	2	a	0	nop	ca	nop	
C	2	o	0	nop	co	nop	
C	2	ô	0	nop	co	nop	
C	2	ó	0	nop	coh	nop	
C	2	u	0	nop	cu	nop	
Fin	0	eps	nnn	fin	nnn	nnn	

Texto->Voz



Wirth->AdapTools



Clonador

code [anbnncn.spa]

Time	Head	Orig	Inpu	Dest	Push	Outp	Adap
?A1	?x	eps	?y	?z	nop	nop	
-A1	?x	eps	?y	?z	nop	nop	
+A1	?x	b	*n1	nop	nop	nop	
+A1	*n1	eps	*n2	nop	nop	nop	
+A1	*n2	c	?y	?z	nop	nop	
S	0	a	0	nop	nop	.A1	
S	0	eps	1	fin	nop	nop	

Autômatos Clássicos

Autômatos Finitos Adaptativos

$Q \subseteq Q_\infty$	Estados
Σ	Alfabeto
$q_0 \in Q$	Estado inicial
$F \subseteq Q$	Estados finais
$\delta \subseteq Q_\infty \times (\Sigma \cup \epsilon) \times Q_\infty$	Relação de Transição

Q_∞	Estados possíveis
$\Gamma \subseteq \wedge, +, -, \vee, \times, \dots$	Ações adaptativas elementares
$\pi: \delta \rightarrow 2^\Gamma$	Ações adaptativas

- Camada subjacente: autômatos de estados finitos
- Finalidade didática
- Teoria dos conjuntos
- Ações adaptativas elementares de inserção e remoção

Resultados

- Complementação e simplificação de funções adaptativas
- Algoritmo para execução de funções adaptativas.
- Técnica para análise de complexidade de autômatos adaptativos.
- Novo algoritmo de indução de árvores de decisão baseado em um novo dispositivo adaptativo.
- Ambiente para desenvolvimento de autômatos adaptativos.
- Biblioteca para desenvolvimento de sistemas guiados por sinais visuais.
- Metodologia para aplicação da tecnologia adaptativa em diferentes domínios.
- vTTT (Olhar), LIBRAS, Clonador, Tradutor texto-voz, Meta-reconhecedor Wirth->Adaptools, Recuperação de erros.
- Autômatos finitos adaptativos (proposta de formalização)
- Visualizador de árvores de decisão.

Publicações

Periódicos

- PISTORI, H., NETO, J. J. Decision Tree Induction using Adaptive FSA. CLEI Electronic Journal. ISSN 0717- 5000. (to appear)
- PISTORI, H., NETO, J. J. Utilização de Tecnologia Adaptativa na Detecção da Direção do Olhar. Spc Magazine. Lima, Peru: , v.2, n.2, 2003.

Anais de Eventos

- PISTORI, H., NETO, J. J. A Free Software for the Development of Adaptive Automata In: IV International Forum on Free Software, 2003, Porto Alegre. Proceedings of the IV Workshop on Free Software - WSL. , 2003.
- PISTORI, H., NETO, J. J. AdapTree - Proposta de um Algoritmo para Indução de Árvores de Decisão Baseado em Técnicas Adaptativas In: Conferência Latino Americana de Informática, 2002, Montevideo.
- PISTORI, H., NETO, J. J., COSTA, E. R. Utilização de Tecnologia Adaptativa na Detecção da Direção do Olhar [RESUMO] In: Conferencia Internacional de la Sociedad Peruana de la Computacion SPC'2003, 2003, Lima.
- PISTORI, H., NETO, J. J. AdapTools: Aspectos de Implementação e Utilização. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

Outras produções bibliográficas

- PISTORI, H., NETO, J. J. AdapTools: Aspectos de Implementação e Utilização. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

Submetidos (Decisão Pendente)

- PISTORI, H., NETO, J. J. Non-Deterministic Decision Trees: Theory and Applications. Journal of Machine Learning Research. MIT Press.
- PISTORI, H., NETO, J. J. Handshape Sign Recognition using Adaptive Technology. International Journal of Computers and Applications. ACTA Press.

Em desenvolvimento

- NETO, J. J., PISTORI, H. An Adaptive Approach for Error-Recovery in Structured Pushdown Automata.
- PISTORI, H., NETO, J. J., NETO, J. A. da S. Adaptive Finite State Automata.

Propostas para Trabalhos Futuros

- Projeto e implementação de uma **versão generalizada do AdapTools** em que outros dispositivos adaptativos, além do autômato adaptativo, possam ser desenvolvidos.
- Criação de um ambiente gráfico para desenvolvimento de sistemas guiados por **sinais visuais integrado ao AdapTools**.
- Aprimoramento dos protótipos do editor LIBRAS e do jogo guiado pela direção do olhar (criação de produtos)
- Análise de **complexidade de dispositivos adaptativos**: técnicas e estudos de caso.
- **Autômatos finitos adaptativos**: teoria e aplicações.
- **Autômatos adaptativos adaptativos**: teoria e aplicações.

Interesses Pessoais em Pesquisa

- Autômatos híbridos adaptativos e aprendizagem de máquina.
- Dispositivos Adaptativos e combinação de classificadores.
- Dispositivos adaptativos e computação evolutiva.

Em andamento

- Acordo de cooperação POLI-UCDB
- Implantação programa de mestrado em engenharia de computação - Campo Grande, MS.
- Linha de pesquisa em tecnologia adaptativa.

