

Mário Ernesto de Souza e Silva

**DE AGENTES RACIONAIS A AGENTES SEMIÓTICOS:
UM ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DA SEMIÓTICA NA CONCEPÇÃO
DE SISTEMAS INTELIGENTES**

*Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação
em Informática do Centro de Ciências e Tecnologia
da Universidade Federal da Paraíba, como
requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre
em Informática.*

Área de Concentração: Ciência da Computação

Sub-Área: Inteligência Artificial

Edilson Ferneda

Orientador

Campina Grande, Maio de 1998



Ficha Catalográfica

Souza e Silva, Mário Ernesto

S586A

De Agentes Racionais a Agentes Semióticos: Um Estudo sobre a Aplicação da Semiótica na Concepção de Sistemas Inteligentes

90p. Il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Coordenação de Pós-Graduação em Informática, Campina Grande, PB, 1998.

Orientador: Edilson Fereda

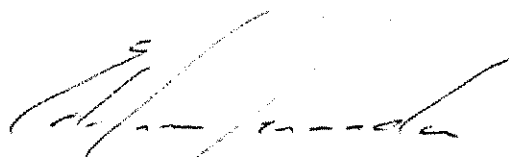
1. Inteligência Artificial. 2. Agentes Semióticos. 3. Modelagem Semiótica. I Título.

CDU - 007.52

**DE AGENTES RACIONAIS A AGENTES SEMIÓTICOS: UM
ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DA SEMIÓTICA NA
CONCEPÇÃO DE SISTEMAS INTELIGENTES**

MÁRIO ERNESTO DE SOUZA E SILVA

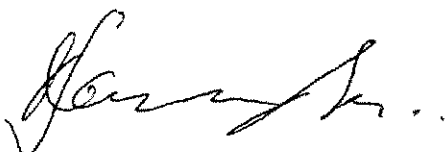
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 18.05.1998



PROF. EDILSON FARNEDA, Dr.
Presidente



PROF. EVANDRO DE BARROS COSTA, D.Sc
Examinador



PROF. RICARDO RIBEIRO GUDWIN, Dr.
Examinador



PROF. ANTÔNIO GOMES DA SILVA, M.Sc
Examinador

CAMPINA GRANDE - PB

Em memória de minha mãe

Maria Luiza

Agradecimentos

Desejo aqui expressar toda minha gratidão àqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos Professores Ricardo Ribeiro Gudwin (DEE – UNICAMP), Evandro de Barros Costa (DMAP – UFAL) e Antonio Gomes (CH – UFPB) por terem aceitado julgar este trabalho na qualidade de membros da banca e pelas valiosas sugestões e comentários.

Ao meu orientador, Professor Edilson Ferneda, pelo seu apoio e entusiasmo ao inusitado da proposta, considerada ousada pelo Professor Manoel Agamemnon Lopes, a quem também agradeço pela confiança e pela antecipação das dificuldades inerentes à natureza do tema escolhido.

Aos meus amigos “cearenses” Alexandre Antonio Bruno da Silva, José Bezerra da Silva Filho e José Riverson A. C. Rios, aos meus cunhados Paulo Roberto de Carvalho Nunes e Eduardo Galas e ao meu irmão Antônio Elvano de Souza e Silva que, muito antes de chegar à Paraíba, me incentivaram e possibilitaram essa minha “aventura”.

A todos aqueles que não hesitaram em me enviar material sobre Semiótica e Sistemas Inteligentes, entre eles Alex Meystel, André Leclerc, Bernd van Linder, Lauro Frederico Barbosa da Silveira, Patrícia Flanagan e Teresa Calvet de Magalhães.

Um agradecimento especial a Richard Mackenzie e a Geert-Jan Kruijff pelos valiosíssimos ensinamentos sobre Semiótica como instrumento de modelagem do real.

Aos meus amigos do NeuroLab, Alexandre, Algeir, Cristiany, Esdras, Everaldo, Giovanni, Juraci e Ricardo pelas boas discussões e em particular ao Professor José Homero Feitosa Cavalcanti pela paciente atenção às minhas divagações sobre Semiótica no Controle Inteligente.

A todos os meus colegas de mestrado, em particular Adeilton, Evandro, Haroldo, Ianna, Ismênia e Roberta.

Aos funcionários do DSC e da COPIN, em particular Aninha, Arnaldo, Manuela, Vera e Zeneide.

Não me é possível com palavras expressar meu sentimento de gratidão à minha esposa e filhos, para os quais um dia pedi pela minha vida. A eles dedico todas as minhas conquistas.

*Do mar à percepção
da percepção ao conceito
do conceito à idéia
– Oh! que bela tarefa –
da idéia ao mar.
E de novo recomeçar.*

Antonio Machado
(citado em [MARINA, 1995 - p. 43])

Resumo

Agentes Racionais são sistemas inteligentes capazes de construir seu próprio conhecimento através da interação com outros agentes e de explicar suas decisões. Neste trabalho, estuda-se a evolução da concepção de um agente racional para um sistema geral de aprendizagem por experiência baseada na teoria Semiótica de Charles Sanders Peirce. Para isso, mostra-se a concepção de um sistema inteligente baseado na Teoria Semi-Empírica - o agente racional SAID; desenvolve-se uma apresentação da Semiótica visando explorar a estruturação da experiência baseada em signos; mostra-se um Modelo Semiótico de Referência na concepção de sistemas inteligentes; e finalmente, desenvolve-se uma análise conceitual da concepção do SAID, numa perspectiva da Semiótica e dos resultados alcançados em trabalhos anteriores sobre a concepção de sistemas inteligentes nela baseados.

Abstract

Rational agents are intelligent systems capable of building their own knowledge through the interaction with other agents. These systems are also capable of explaining their own decisions. In the present dissertation we study the evolution of such a system from the conception of a rational agent to a general experience learning system based on the Semiotics theory of Charles Sanders Peirce. For this purpose, firstly is shown the conception of the rational agent SAID, based on the Semi-Empirical Theory. By starting from SAID we develop a presentation of Semiotic in order to explore the structuring of experience based on signs. Secondly, a Semiotic Model of Reference for the conception of intelligent systems is shown. Finally, we develop a conceptual analysis of SAID under the Semiotics perspective, as well as an analysis of previous researches on intelligent systems based on the semiotic realm.

Sumário

Prólogo	1
1. Introdução	2
1.1 O agente racional SAID.....	2
1.2 Motivação e objetivos da dissertação.....	5
1.3 Estrutura da dissertação.....	8
2. Um sistema inteligente baseado na Teoria Semi-Empírica	10
2.1 A concepção atual do agente racional SAID.....	10
2.2 Visão popperiana da experiência.....	11
2.2.1 <i>Lógica das Conjecturas e Refutações</i>	11
2.2.2 <i>As três categorias popperiana</i>	12
2.2.3 <i>Lógica das Provas e Refutações</i>	13
2.3 O Agente Racional SAID.....	14
2.4 Elementos de um sistema de apoio à descoberta.....	16
2.4.1 <i>Teoria Semi-Empírica (TSE)</i>	16
2.4.2 <i>Protocolo para aprendizagem</i>	19
2.4.3 <i>Estrutura do aprendiz</i>	22
2.4.4 <i>Esquema mental</i>	25
2.4.5 <i>Sistema de crenças</i>	27
2.4.6 <i>Mecanismos para geração e evolução do conhecimento</i>	28
2.5 Mecanismos de aprendizagem.....	30
2.5.1 <i>Abdução</i>	30
2.5.2 <i>Indução</i>	31
3. A Semiótica Peirceana: aspectos filosóficos e formais	34
3.1 A metodologia semiótica.....	34
3.2 Aspectos filosóficos.....	36
3.2.1 <i>O que é semiótica?</i>	36
3.2.2 <i>Qual o papel da experiência?</i>	38
3.2.3 <i>Qual o papel do signo?</i>	39
3.2.4 <i>Disciplinas da Semiótica</i>	39
3.2.5 <i>As três categorias da experiência</i>	40
3.2.6 <i>O fenômeno da Semiose</i>	41

3.2.7 <i>As relações e os modos sígnicos</i>	42
3.2.8 <i>As classes básicas de signos</i>	44
3.3 Aspectos formais.....	47
3.3.1 <i>Uma arquitetura para a agregação de conceitos</i>	47
3.3.2 <i>Modelo Semiótico</i>	49
3.3.3 <i>Teoria Quase-Axiomática (TQA)</i>	52
4. Sistemas inteligentes: uma perspectiva semiótica	54
4.1 As abordagens de sistemas inteligentes estudadas	54
4.2 Sobre as abordagens deliberativa e reativa	55
4.3 A semiótica na concepção de sistemas inteligentes	57
4.4 Um modelo semiótico de referência	58
4.5 Semiótica multiresolucional	61
4.5.1 <i>Ciclo semiótico de conhecimento</i>	61
4.5.2 <i>Unidade de Inteligência</i>	64
4.5.3 <i>Diagrama Six-Box equipado com GFACS</i>	65
4.6 Semiose Multiresolucional	67
5. Considerações Finais	70
5.1 Uma visão geral da dissertação.....	70
5.1.1 <i>A semiótica peirceana revisitada</i>	71
5.1.2 <i>A semiótica multiresolucional revisitada</i>	74
5.2 A perspectiva semiótica do agente racional SAID	74
5.2.1 <i>Outras concepções de agentes semióticos</i>	77
5.2.2 <i>Um esboço do agente racional SAID</i>	79
5.3 Trabalhos Futuros	80
Referência Bibliográfica	82

Lista de figuras

Figura 1.1:	Agente Racional SAID.....	5
Figura 1.2:	Agente Semiótico SAID.....	8
Figura 2.1:	Esquema geral de solução de problemas nos três mundos de Popper.....	13
Figura 2.2:	Modelo simplificado da lógica das provas e refutações.....	14
Figura 2.3:	Agente Racional SAID.....	15
Figura 2.4:	Taxonomia dos termos usados nas TSE's.....	17
Figura 2.5:	Protocolo de aprendizagem MOSCA.....	21
Figura 2.6:	O reticulado de crenças adotado.....	28
Figura 3.1:	Modelo de Raciocínio Causal de Aristóteles.....	36
Figura 3.2:	Os componentes do signo e suas inter-relações.....	42
Figura 3.3:	Relações entre as principais tricotomias peirceanas.....	43
Figura 3.4:	Dez classes de signos básicas.....	45
Figura 3.5:	Ajuste das dez classes básicas de signos.....	46
Figura 3.6:	Classes básicas de signos caracterizadas pela abdução.....	46
Figura 3.7:	Classes básicas de signos caracterizadas pela indução.....	46
Figura 3.8:	Classes básicas de signos caracterizadas pela dedução.....	46
Figura 3.9:	Formação de conceitos usando AQREA.....	48
Figura 3.10:	Uma arquitetura para a formação de conceitos.....	48
Figura 3.11:	Resultado da geração autônoma de um sistema formal.....	51
Figura 3.12:	Características sumarizadas dos modelos formais e semióticos.....	52
Figura 4.1:	Arquitetura modelo de referência RCS para sistemas inteligentes.....	60
Figura 4.2:	Os elementos da inteligência e relacionamento entre eles.....	61
Figura 4.3:	Diagrama <i>Six-Box</i>	62
Figura 4.4:	Computando um sistema multiresolucional usando GFACS.....	64
Figura 4.5:	Um diagrama <i>Six-Box</i> equipado com GFACS.....	65
Figura 4.6:	Ciclos de funcionamento do modelo <i>Six-Box</i>	66
Figura 4.7:	Diagrama funcional da semiose.....	67
Figura 5.1:	Signos triádicos.....	73
Figura 5.2:	Níveis de significação no agente racional SAID.....	75
Figura 5.3:	Instâncias do modelo semiótico.....	78
Figura 5.4:	Um esboço do agente semiótico SAID.....	79
Figura 5.5:	Características sumarizadas do agente racional e semiótico SAID.....	80

Prólogo

A *Semiótica* estuda o fenômeno básico da cognição [GUDWIN 1996]. Ela estuda o fenômeno da representação e da comunicação de conhecimento [MEYSEL 1995]. Está interessada na construção da experiência via *signo*, que é compreendido como uma hipótese inferida do mundo da experiência para dar significado a aspectos daquele mundo [CUNNINGHAM 1994]. Está preocupada principalmente em explicar como a conduta autocrítica é possível em um contexto generalizado da lógica como um sistema de signos [KEELER 1995].

Define-se *Signo* como uma unidade de significação, isto é, aquilo que conecta experiência, comunicação, e reflexão [BRANDT 1995]; e *Semiótica* como a ciência que estuda o fenômeno da ação dos signos na geração de outros signos, que são seus interpretantes. A este fenômeno dá-se o nome *Semiose* [SANTAELLA 1995].

A *Semiose*, ou ação dos signos, segundo alguns pensadores consiste numa eterna busca por significações [MEYSEL 1995]. Esta característica a coloca numa estreita relação com a natureza dos sistemas inteligentes pois estes são caracterizados pelo uso da linguagem simbólica e uma busca compulsiva por significações [DEACON 1997].

Entende-se que, devido ao quase desconhecimento da *Semiótica* por pesquisadores em IA e à sua crescente importância para a modelagem de sistemas de controle inteligente [ALBUS 1997; MEYSEL 1997; POSPELOV 1995], esta dissertação pretende se mostrar oportuna pelo desenvolvimento de algumas reflexões sobre a sua aplicação na concepção de sistemas inteligentes.

Mostra-se principalmente que a *Semiótica* peirceana tem a oferecer para a Inteligência Artificial um modelo de inteligência baseado na construção da experiência como uma rede infinita de signos triádicos [ZADROZNY 1997].

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo, apresenta-se a motivação e o objetivo desta dissertação: a perspectiva semiótica do agente racional SAID, que é um sistema inteligente que tem a capacidade de construir seu próprio conhecimento através da interação com um agente humano e dar explicações para as suas decisões. A Semiótica é tomada aqui como uma metodologia de interpretação, organização da experiência e transformação dessa experiência em conhecimento útil ao raciocínio lógico para sistemas inteligentes, aqui denominados agentes semióticos. Além das primeiras reflexões sobre a capacidade de resolução, por um agente semiótico, de problemas que certamente embaraçariam um agente racional, apresenta-se também uma descrição sucinta dos capítulos restantes.

1.1 O Agente Racional SAID

Observa-se na Ciência da Computação uma Tecnologia de Agentes onde os problemas estudados na concepção de sistemas computacionais são organizados sob a ótica de três perspectivas diferentes [WOODRIDGE 1994]:

- (i) a Teoria dos Agentes, que se preocupa com a especificação formal de agentes,
- (ii) a Arquitetura de Agentes e
- (iii) as Linguagens Orientadas a Agentes, estas últimas preocupadas no desenvolvimento de agentes segundo as concepções formais surgidas nas teorias de agentes.

Essa abordagem computacional evidencia uma nova tendência na concepção de sistemas inteligentes na Inteligência Artificial (IA), denominada Agente Inteligente, que pode ser constatada nas declarações seguintes:

"um dos problemas da IA é descrever e construir um agente inteligente, que perceba o seu ambiente por sensores, tome uma decisão e realize uma ação." [FUKUDA 1997].

A abordagem Agentes Inteligentes, segundo [RUSSELL 1995], expressa uma integração das diversas técnicas de IA, que tratam aspectos isolados da inteligência, na concepção de sistemas inteligentes. Ainda, segundo Russel & Norving, e acompanhando a mesma linha de raciocínio observada em T. Fukuda, um Agente é:

"qualquer coisa que pode ser vista como percebendo seu ambiente através de sensores e agindo sobre o ambiente através de *atuadores*" [RUSSELL 1995].

Segundo o autor desta dissertação,

"agentes inteligentes são sistemas com a capacidade de auto-representação e auto-organização para perceber e agir em um ambiente complexo."

Nem todas as concepções de agentes inteligentes existentes na IA correspondem a essa definição, mas algumas estão muito próximas, como por exemplo os agentes cognitivos [SUN 1996] e os agentes sensíveis [BARBER 1996]. Dentre as concepções de agentes inteligentes encontra-se a de Agentes Racionais. Antes de qualquer definição mais elucidativa, entende-se que Agentes Racionais são:

"sistemas que dispõem de métodos para produzir e controlar seus próprios conhecimentos na interação com um especialista do domínio" [SALLANTIN 1989].

Na concepção do Agente Racional SAID¹ [BARBOUX 1990; SALLANTIN 1991a, 1991b; FERNEDA 1992a, 1992b; PY 1992; MEPHU-NGUIFO 1993a, 1993b, 1993c], Sallantin deu ênfase à concepção de um agente inteligente capaz de desenvolver raciocínios de alto nível, empírico e analógico, a partir de repetições dos três mecanismos básicos de inferência: a abdução, a indução e a dedução. No entanto, o aspecto que recebeu mais atenção na concepção desse agente, foi a modelagem do componente de controle do processo de aprendizagem, baseado nos princípios da Lógica das Provas e Refutações proposta por Imre Lakatos em sua Lógica da Descoberta na Matemática [LAKATOS 1976]. Sua pretensão era, assim como Lakatos, utilizar os princípios de validação do conhecimento científico formulados na Lógica das Conjecturas e Refutações, concebida por K. Popper como uma lógica da descoberta na Ciência [POPPER 1975a, 1993]. Daí a sua denominação para agente racional como um sistema popperiano.

A partir de algumas considerações sobre o modelo concebido por Sallantin e sua equipe, o autor desta dissertação acredita que, embora já bastante significativo para o desenvolvimento de agentes inteligentes, essa concepção poderá evoluir em direção a um ambiente geral de aprendizagem por experiência, se for explorada a teoria da construção da experiência

¹ SAID = Somente Abduzir, Induzir e Deduzir.

mediada pelo signo, delineada na Semiótica [SOUZA E SILVA 1997].

A Semiótica, segundo Peirce, é uma teoria geral dos signos usados por uma inteligência científica capaz de aprender pela experiência [PEIRCE 1995]. Pode-se observar que alguns dos fundamentos encontrados na Semiótica foram utilizados na formulação do agente racional (SAID), tais como a noção pragmática de conhecimento, o ciclo semiótico de conhecimento, a representação do conhecimento multiresolucional em um sistema ordenado de linguagens e a avaliação do aprendizado pelo comportamento do sistema. Deste modo, conjecturou-se, a possibilidade de apresentar um primeiro esboço de um agente inteligente a partir dos fundamentos da Semiótica, já utilizados na concepção do agente racional. Espera-se que um agente baseado na Semiótica tenha a capacidade de aprender pela sua própria experiência [SOUZA E SILVA 1997]. Nesta dissertação, entende-se por autonomia para um agente como formulado a seguir:

“um agente inteligente é mais autônomo na medida em que seu comportamento é decorrência da sua própria experiência.” [RUSSEL 1995]

A filosofia do conhecimento que está por trás do projeto de construção do agente racional é a de separação entre linguagem e conhecimento; expressões de uma linguagem são interpretadas para a obtenção de modelos de conceitos conhecidos por um especialista do domínio [VILLAREAL 1989]. Nesse projeto de agente racional, a construção do conhecimento está organizada em três níveis hierárquicos:

- (i) um sistema de representação de conhecimento (as Teorias Semi-Empíricas);
- (ii) uma metodologia de integração de diversos mecanismos de aprendizagem para a aquisição de conhecimento; e
- (iii) um ambiente multi-agente para prover o controle da evolução do conhecimento (o protocolo de comunicação MOSCA: Mestre + Oráculo + Sonda + Cliente + Aprendiz [REITZ 1992]).

Na concepção do agente racional, está pressuposto também que o conhecimento é um produto da interação de três componentes:

- (i) a *linguagem*, cujas sentenças expressam os exemplos dos conceitos a aprender e a partir das quais os fatos são as regularidades observadas,
- (ii) os *objetos*, que expressam as restrições sobre os fatos e
- (iii) as *conjecturas*, que expressam as restrições sobre os objetos.

A partir dos fatos, o agente racional constrói hipóteses a respeito de objetos e conjecturas a

respeito das relações entre objetos que, quando aceitas por um especialista do domínio, são denominadas *lemas* e *provas*, respectivamente. O conjunto de lemas e provas é o conhecimento obtido por um agente racional por repetições de abduções, induções, deduções e argumentações. O controle da evolução do conhecimento de um agente racional se dá por processos de crítica baseados na Lógica das Provas e Refutações, cuja disciplina é provida pelo protocolo MOSCA. Cada etapa do processo de construção do conhecimento pelo agente racional (*Aprendiz*), é avaliada por um dos outros agentes do protocolo: o *Oráculo* avalia a qualidade de uma indução, o *Mestre* avalia a qualidade de uma abdução, a *Sonda* avalia a qualidade de uma dedução e o *Cliente* avalia a qualidade de uma argumentação. Considerando-se o exposto acima, entende-se doravante nesta dissertação por agente racional como declarado a seguir:

"Agente racional é um sistema que, para um conjunto de exemplos e de objeções, constrói as provas empíricas e analógicas para uma conjectura e determina seu grau de validade" [SALLANTIN 1990].

A Figura 1.1 apresenta o agente racional SAID como sistema popperiano, com a capacidade de construir seu próprio conhecimento, por repetições de abdução, dedução e indução, ao utilizar os princípios de análise de uma prova para uma conjectura previamente formulada, como postulado na Lógica das Provas e Refutações.

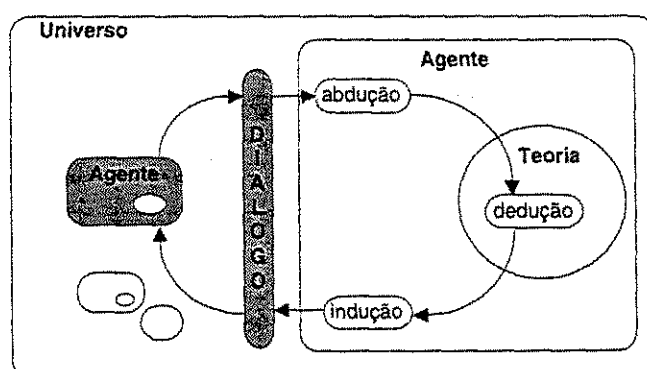


Figura 1.1: Agente Racional SAID

1.2 Motivação e objetivos da dissertação

Propõe-se neste trabalho estudar as principais características de um Agente Inteligente baseado na teoria semiótica de Peirce. O interesse neste tema é decorrente da observação da existência de um estreito relacionamento entre a idéia de Inteligência Científica² delineada na Semiótica e a idéia de Agente Racional delineada na Teoria Semi-Empírica. A Semiótica, se-

² Segundo Peirce [PEIRCE 1995], uma inteligência científica é uma inteligência capaz de aprender através da experiência.

gundo Keeler [KEELER 1995], foi desenvolvida para permitir o crescimento contínuo do conhecimento usando mecanismos de controle crítico do conhecimento e da aprendizagem por experiência. Na Semiótica, esses mecanismos de controle crítico do conhecimento são os mecanismos básicos de inferência abdução, dedução e indução, que, tomados em conjunto, têm recebido denominações como Ciclo Semiótico de Conhecimento [DEELY 1990] e Ciclo Epistemológico de Investigação [SERSON 1992]. Foi essa concepção de integração dos mecanismos de raciocínio como uma metodologia de obtenção de conhecimento e da sua importância no pensamento peirceano que determinou a motivação para se buscar na Semiótica uma melhor compreensão das potencialidades e limitações do agente racional.

Estabelecida a constatação do estreito relacionamento existente entre o agente racional e a Semiótica, vista como uma teoria da construção do conhecimento a partir da experiência, buscar-se-á a apresentação de um primeiro esboço de um agente semiótico com a capacidade de construir seu próprio conhecimento a partir da sua própria experiência.

O objetivo geral desta dissertação é investigar a hipótese de que é possível desenvolver uma evolução do agente racional ao nível de significação conceitual, para um sistema geral de aprendizagem simbólica, a partir da exploração do modelo de inteligência científica capaz de aprender pela experiência, subjacente à teoria semiótica. O objetivo específico é apresentar um primeiro esboço de um agente semiótico a partir dos princípios semióticos já utilizados na concepção do agente racional SAID. Para isso, estabelecemos as seguintes questões que nortearão esta dissertação:

- (i) Quais as principais características de um agente baseado na semiótica?
- (ii) Quantas dessas características são cobertas pelo agente racional?

Apresenta-se a seguir, um cenário imaginado para se explorar algumas idéias sobre a natureza de um agente baseado na Semiótica.

Semiose é o fenômeno da autogeração do signo [SANTAELLA 1995], isto é, o fenômeno da ação do signo de gerar novos interpretantes para o objeto que representa. A semiose é o fenômeno da extração de significados estudado na Semiótica. A característica mais importante da natureza do agente semiótico é a introdução da semiose como processo de obtenção de conhecimento baseado na sua experiência. Ao expandir o espaço puramente lógico-simbólico pela incorporação de signos-eventos ao espaço semiótico (signos-evento, ou seja, índices e ícones, que representam os fenômenos que ocorrem na natureza, e signos-mentais, ou seja, os símbolos, que representam os fenômenos no mundo mental [MERREL 1996]), o agente semiótico passa a dispor de uma linguagem mais rica, capaz de ser utilizada como instrumento

de observação e comunicação apropriado à natureza contínua da experiência como mediação na construção e propagação de conhecimento. O espaço semiótico, que não prescinde do espaço lógico-simbólico, traz novas perspectivas para a concepção de agentes inteligentes autônomos ao fornecer mais subsídios para a compreensão da natureza dos seus processos de percepção, de representação e de interpretação.

Dada a natureza arbitrária dos símbolos, percebe-se as dificuldades do agente racional para recuperar os significados de cada símbolo envolvido na representação do conceito a ser aprendido por meios puramente simbólicos. Mas, se o mesmo problema for transferido para um agente semiótico, logo se antevê as perspectivas de sucesso, pois suas estruturas de percepção, representação e interpretação, são construídas a partir dos mesmos processos de extração de significados identificados na Semiótica. O agente semiótico pode construir imagens do conceito a partir do seu espaço sensorial na forma de signos (ícones, índices e símbolos), o que lhe proporciona um maior poder de autocontrole das suas experiências (por processos de auto-representação, auto-organização e auto-interpretação). Esse poder de construir sistemas de signos como generalizações da experiência, é similar à capacidade de conhecer os objetos do conceito a ser aprendido por sua própria experiência. Portanto um agente semiótico dispõe de maiores chances de explorar sua capacidade de perceber, representar e interpretar o mundo à sua volta e com mais autonomia que um agente racional!

Uma outra característica a ser considerada sobre a natureza de um agente semiótico é a sua capacidade de resolver problemas que embaraçariam um agente racional. Um agente racional habita um espaço lógico puramente simbólico, sem a menor chance de observar diretamente os objetos existentes à sua volta. Um agente semiótico, ao contrário, habita um espaço semiótico, composto por todos os signos (ícones, índices e símbolos), podendo fazer uso não somente do seu aparato racional, cognitivo, mas também do seu aparato perceptivo, sensorial. Um agente semiótico pode interagir com os objetos existentes à sua volta e assim identificar-se como um ser autônomo. Pode reconhecer-se na sua própria experiência. Se um agente racional tem a capacidade de construir seu próprio conhecimento em diálogo com um especialista do domínio através de sentenças de uma linguagem, certamente não podemos afirmar que seu conhecimento é construído a partir da sua própria experiência! É por isso que ficaria completamente embaraçado ao defrontar-se consigo mesmo "frente a um espelho"; não reconheceria a si próprio, pois seria incapaz de reconstruir sua própria experiência por processos de auto-representação, auto-organização e auto-interpretação.

A Figura 1.2 apresenta a natureza de um agente semiótico baseando-se no ciclo semiótico de conhecimento (a semiose!) como sendo o processo de transformação de signos.

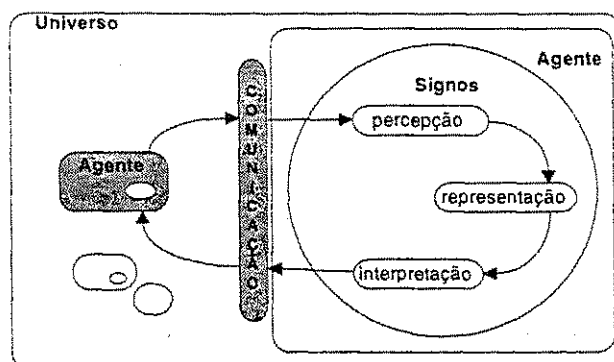


Figura 1.2: Agente Semiótico SAID

Na organização do agente semiótico mostrada na figura 1.2, a percepção, a representação e a interpretação são processos cíclicos realizados pelos mecanismos básicos de inferência abdução, dedução e indução, respectivamente, e correspondem aos processos de geração, seleção e testes de hipóteses para extração de significados (signos-eventos e signos-mentais) das regularidades observadas no mundo. Esta organização é baseada no ciclo semiótico de conhecimento e dá origem a um sistema multiresolucional de conhecimento e a um sistema hierárquico de controle do funcionamento do sistema inteligente composto por um ou mais agentes semióticos.

1.3 Estrutura da dissertação

No capítulo 2, apresenta-se a organização do agente racional, um sistema inteligente que tem a capacidade de construir o seu próprio conhecimento na interação com um especialista do domínio e dar explicações sobre as suas decisões. Neste capítulo mostra-se detalhes sobre Teoria Semi-Empírica (TSE), Esquema Mental, Sistema de Crenças, Estrutura do Aprendiz, e Mecanismos de Aprendizagem, que são conceitos envolvidos na concepção do agente racional SAID.

No capítulo 3, apresenta-se um visão geral da semiótica peirceana como uma teoria da experiência. Mostra-se que os signos são hipóteses extraídos do mundo da experiência para dar significados a aspectos daquele mundo [CUNNINGHAM 1994]. Nosso objetivo, neste capítulo, é apontar as principais características da semiótica, tanto na sua concepção holística de um mundo dinâmico feito de relacionamentos em permanente mudanças, quanto no seu estreito relacionamento com outros domínios, como a teoria darwiniana da evolução e a lógica quântica das partículas, por exemplo. Além disso, apresentamos a geração das classes sígnicas a partir das três categorias peirceanas e como os mecanismos de raciocínio abdução, dedução e indução se estruturam numa metodologia de construção de conhecimento fundamentada na experiência.

No capítulo 4, apresenta-se as abordagens deliberativas e reativas de concepção de sistemas inteligentes, evidenciando os pressupostos e as críticas que recebem essas abordagens na literatura científica. Apresenta-se também a Semiótica como uma alternativa para a solução dos problemas identificados nestas abordagens, já que a mesma oferece um modelo de inteligência capaz de integrar as abordagens deliberativa e reativa dentro da perspectiva da semiose multiresolucional.

No capítulo 5, apresenta-se uma análise das perspectivas semióticas do agente racional, tomando como referência as características observadas na concepção de sistemas inteligentes baseados da Semiótica. Estes sistemas são construídos a partir de entidades denominadas aqui *agentes semióticos*. As principais características observadas nestes sistemas é sua capacidade de estruturar a sua própria experiência, na interação com o seu ambiente de domínio, usando princípios de Semiótica de representação e comunicação. Estas propriedades dão origem a um sistema multiresolucional de conhecimento que explica os comportamentos do sistema, tanto reativos quanto deliberativos, por meio da semiose e da relação entre linguagem e meta-linguagem. Neste capítulo, estabelece-se relações entre o agente semiótico SAID e outros agentes semióticos (por exemplo, GFACS ou TQA). Finalmente, apresenta-se um esboço do agente semiótico SAID a partir do desenho do agente racional SAID e sugere-se uma lista de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Um sistema inteligente baseado na Teoria Semi-Empírica

Neste capítulo apresenta-se a organização do agente racional SAID, um sistema inteligente concebido para ter a capacidade de construir seu próprio conhecimento através da interação com um agente humano e dar explicações sobre suas decisões. Um agente racional pode ser visto como um sistema de aquisição de conhecimento que integra

- (i) a Teoria Semi-Empírica (TSE) [SALLANTIN 1991a, 1991b], que é um sistema de representação de conhecimento que provê os meios necessários à construção de raciocínios diante de conhecimentos incompletos e passíveis de erros,
- (ii) diversos métodos de aprendizagem, que provêm os meios necessários para a geração de conhecimento, e
- (iii) o protocolo de aprendizagem MOSCA [REITZ 1992], que provê os elementos necessários para o controle por diálogo entre os diversos agentes envolvidos na geração e evolução de conhecimento.

No todo, esta abordagem dá origem a um ambiente de aquisição de conhecimento cujos mecanismos de aprendizagem geram conhecimento facilmente criticável.

2.1 A concepção atual do agente racional SAID

A concepção atual do agente racional SAID é resultado de uma evolução dos primeiros trabalhos sobre os agentes racionais realizados por Sallantin. Inicialmente, a ênfase era dada aos métodos indutivos de aprendizagem em lógica modal, associados aos sistemas de manutenção de verdade [BARBOUX 1990]. Aliás, sistemas de manutenção de verdade são tomados por diversos pesquisadores como sistemas abduativos [KRUIJFF 1995], o que justificaria a utilização da classificação do conhecimento realizado por Peirce [ADDIS 1988] na concepção do agente

racional.

Somente depois do trabalho realizado por Villareal-Fernandez [VILLAREAL 1989] começou a se delinear o projeto de construção do agente racional SAID. No nosso entendimento, essa noção foi muito mais influenciada pelo trabalho de formalização das Teorias Semi-Empíricas realizado por Barboux [BARBOUX 1990]. Aliás, é nesse trabalho que, pela primeira vez, foi delineada a concepção do agente racional. Nessa concepção não foi contemplada ainda um ambiente que disciplinasse a interação do agente racional com um especialista do domínio que fosse capaz de explorar todas as suas peculiaridades.

Somente no trabalho Reitz [REITZ 1992] foi apresentada uma solução para o problema de controle da revisão do conhecimento do agente racional: o ambiente MOSCA. Este ambiente é um protocolo de aprendizagem, associado a papéis desempenhados por agentes externos, humanos ou máquinas, com o objetivo de proceder o controle da evolução do conhecimento do agente racional.

2.2 A visão popperiana da experiência

O problema da aquisição do conhecimento foi identificado pelo filósofo D. Hume como sendo o problema da indução, isto é, o problema de generalização do conhecimento a partir da experiência. Não existe validação lógica para o conhecimento obtido por indução a partir de alguns fatos observados. Este problema é visto de forma diferente por Popper em sua *Lógica da Descoberta Científica* [POPPER 1993], onde afirma que uma teoria científica é obtida não por indução a partir de um conjunto de fatos observados, mas sim pela invenção de hipóteses, conjecturas e até mesmo por “adivinhações”. Segundo ele, uma teoria científica descreve coisas existentes em um mundo real e que, para a Ciência, não importa como esta é obtida mas sim como se verifica o seu grau de verossimilhança, isto é, de correspondência com o real. Para que uma teoria seja considerada científica, ela deve satisfazer o princípio da refutabilidade: ela deve arriscar-se a fazer previsões passíveis de falsificação. Uma teoria é falsificável quando existe um conjunto potencial de falsificadores que possa ser submetido a testes no mundo real. Uma teoria é mais falsificável que outra na medida que esse conjunto de falsificadores é maior ou menor. Uma teoria científica deve ser definida de forma que possa prever algo sobre o mundo real.

2.2.1 A Lógica das Conjecturas e Refutações

Com essas idéias sobre a demarcação da Ciência, Popper revolucionou a Lógica da Ciência ao mostrar que não seria necessário se ter como princípio científico a lógica da indução; a Ciên-

cia teria como fundamento uma Lógica das Conjecturas e Refutações. Popper [POPPER 1975a] afirma que a Ciência progride através da lógica situacional de resolução de problemas. O que ele chama *lógica situacional de problemas*, ou *análise situacional*, está relacionado a uma explicação conjectural ou experimental de alguma ação humana que recorra à situação em que o agente se encontra. Neste sentido, o conhecimento científico se desenvolve numa cadeia de problemas e soluções de problemas, como mostrado a seguir:

$$P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$$

onde: P_1 é uma situação problema; TT é uma teoria que tenta resolvê-la; EE é a eliminação de erros pela crítica à teoria; e P_2 é nova situação problema que emerge da solução.

Esse esquema geral de solução de problemas reflete uma abordagem evolucionista da ciência, onde as TT competem para ser uma solução para a situação problema em questão, e as conjecturas e refutações podem ser identificadas com os mecanismos dessa abordagem de variação e seleção. O mecanismo de variação é, na construção de uma teoria científica, representado pela fase de geração de hipóteses e o mecanismo de seleção é representado pela fase de testes da teoria em situações que ocorrem no mundo real.

2.2.2 As três categorias popperianas

Associado a esse esquema geral de solução de problemas utilizando o método das conjecturas e refutações, está a tese popperiana dos três mundos (as três categorias popperianas). Na sua tese do três mundos, o primeiro é o mundo material, ou o mundo dos estados materiais; o segundo é o mundo mental, ou o mundo dos estados mentais; e o terceiro é o mundo ideal, ou das idéias no sentido objetivo. Este último é o mundo dos objetos possíveis; o mundo das teorias em si mesmas e de suas relações lógicas, dos argumentos em si mesmos e das situações de problemas em si mesmas. Por trás desta tese está a idéia de que a mente estabelece um elo indireto entre o primeiro e terceiro mundo e que a atividade de compreender é essencialmente a mesma de solucionar problemas.

A figura 2.1 mostra as relações existentes entre o esquema geral de solução de problemas e os três mundos de Popper.

Na tentativa de compreender uma teoria científica ou melhorar a sua compreensão, Popper sugeriu uma resposta em termos de problemas e situações de problemas, que segundo ele:

'... pode ser usado como uma teoria explicativa de ação humana, desde que se possa interpretar uma ação humana como uma tentativa de resolver um problema através de uma reconstrução conjectural do problema ...' [POPPER 1975a]

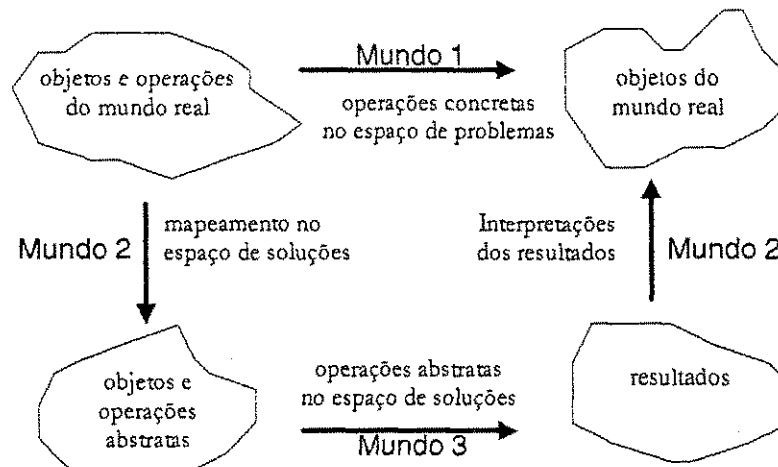


Figura 2.1: Esquema geral de solução de problemas nos três mundos de Popper

2.2.3 A Lógica das Provas e Refutações

Da mesma forma que Popper revolucionou o conhecimento na Ciência com o seu princípio da refutabilidade como demarcação do conhecimento científico, I. Lakatos revolucionou o conhecimento na Matemática. Ele formulou sua Lógica da Descoberta Matemática [LAKATOS 1976] baseada também no princípio da refutabilidade. Segundo ele, seu objetivo ao formular a sua Lógica das Provas e Refutações baseia-se na constatação de que:

"... a matemática não formal, semi-empírica, não progride mediante monótono aumento do número de teoremas indubitavelmente estabelecidos, mas mediante incessante aperfeiçoamento de opiniões por especulação e crítica, pela lógica das provas e refutações." [LAKATOS 1976]

A Lógica das Provas e Refutações parte do princípio de que o conhecimento na Matemática informal é hipotético, conjectural, e desenvolvido por meio de especulações e críticas. O seu objetivo é estudar a construção de uma prova e determinar o seu domínio de validade pela análise de exemplos e contra-exemplos dessa prova. Uma prova é um conjunto de lemas determinados a partir da análise de uma conjectura e suas sub-conjecturas. A análise de uma prova é realizada pela apresentação de exemplos e contra-exemplos. É desta forma, que lemas são modificados e lemas são descobertos, em função das críticas ou refutações a que as provas são submetidas.

Na figura 2.2 é mostrado um modelo simplificado de Lakatos para a heurística da descoberta matemática. A Lógica das Provas e Refutações pode ser sucintamente descrita pelos seguintes passos:

(*passo 1*) obter uma conjectura;

(*passo 2*) elaborar uma prova (experiência mental sobre os exemplos da conjectura) e enunciar

ar os lemas que constitui a prova analítica inicial;

(*passo 3*) exibir os contra-exemplos para a conjectura (aspecto global) e/ou aos lemas suspeitos (aspecto local); e

(*passo 4*) construir a prova analítica para retificação de lemas ou para adicionar lemas, que devem ser também introduzidos como condição à conjectura.

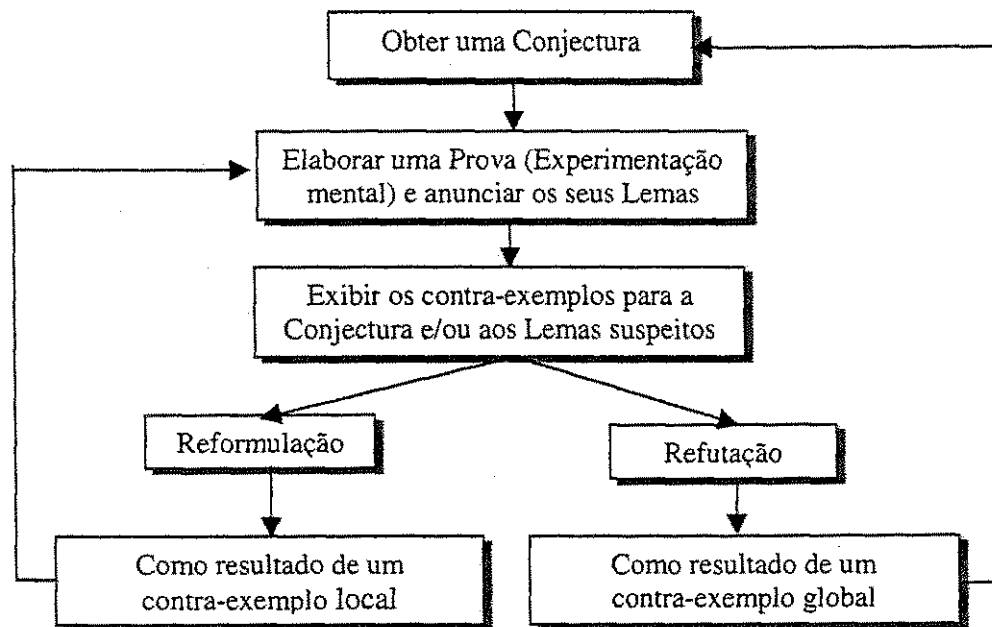


Figura 2.2: Modelo simplificado da lógica das provas e refutações

Pode-se notar que o método das provas e refutações exige uma abordagem interativa. Este método se interessa tanto pela elaboração de uma prova da conjectura como pela crítica dessa prova.

2.3 O Agente Racional SAID

Diversos trabalhos [SALLANTIN 1985; KONOLIGE 1985; NILSON 1986; BRATMAN 1986; MÜLLER 1987 - citados em FERNEDA 1992b] mostram a possibilidade de se construir sistemas

- (i) aptos a interpretar estruturas simbólicas,
- (ii) conscientes de suas limitações,
- (iii) que agem em acordo lógico com suas crenças, e
- (iv) aptos a adaptarem suas ações a mudanças em seu conhecimento.

Estes sistemas, portanto, são capazes de melhorar suas representações do mundo externo e de

melhor interagirem com este mundo. Esta capacidade de construir e evoluir suas representações do mundo pode ser adicionada à atitude de aprender de um agente inteligente.

Um agente racional é definido como sendo um sistema capaz de produzir e controlar seu próprio conhecimento em um certo domínio, de tal modo que o sistema estará apto a realizar com proficiência algumas classes de tarefas complexas (tais como decidir, classificar, diagnosticar, prever, simular, restringir, conceber e planejar) convencionalmente consideradas como requerendo inteligência para que sejam realizadas. Além do mais, um agente racional pode ser um humano ou uma máquina.

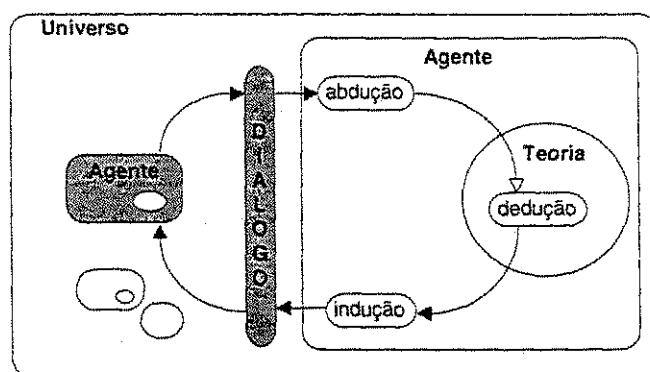


Figura 2.3: Agente Racional SAID

Na figura 2.3 a arquitetura de um agente racional reflete a sua condição de sistema de apoio à descoberta científica ao evidenciar a utilização dos mecanismos de inferência (abdução, indução e dedução) como sendo a metodologia empregada na construção de seu conhecimento. Visto que esta arquitetura desenvolvida para dar conta do princípio da refutabilidade como critério de validação do seu conhecimento, é então denominada um sistema popperiano [SALLANTIN 1997].

Um sistema de apoio à descoberta científica é, antes de mais nada, um sistema de aquisição e geração de conhecimento. Ele verifica princípios, tais como a fase de obtenção de dados, a abstração a partir de dados dentro de um modelo conceitual e a particularização deste último. Reencontra-se também a distinção entre conhecimentos profundos, aqueles que se justificam teoricamente e que se comunicam nos escritos científicos, e os conhecimentos situacionais, aqueles geralmente chamados especialistas ou empíricos, que intervêm na implementação dos conhecimentos especialistas e para os quais é desejada a evolução [WIELINGA 1990]. Um tal sistema tem por função assistir a produção de conhecimentos tirando partido ao mesmo tempo do conhecimento teórico sobre o domínio e de um conjunto de dados incompletos, imprecisos e errôneos. Em aquisição de conhecimento, o processo da descoberta tem por objetivo associar essas duas formas de conhecimento pois ele trata das formulações dos conhecimentos capazes de progressão e de revisão. A descoberta é vista aqui como:

"... aquilo que não é ainda, em um instante determinado, apreendido pela modelagem em curso" [FERNEDA 1992a].

2.4 Elementos de um sistema de apoio à descoberta científica

2.4.1 Teorias Semi-Empíricas (TSE)

Uma TSE, no sentido lakatosiano, não é nem completamente axiomática, visto que não demanda qualquer conhecimento inicial, nem completamente empírica, uma vez que não se apoia simplesmente sobre análise de dados mas evolui gradativamente através de uma análise iterativa do fluxo contínuo dos dados de entrada. Isto, segundo Sallantin [SALLANTIN 1991b], explica a denominação Semi-Empírica.

Dado o exposto acima, o modelo de lógica da descoberta científica adotado pela TSE tem o objetivo de estudar a prova de uma conjectura visando determinar o que intervém no exame da validade de uma prova analisando o seu poder de predição, e o que intervém no exame da relevância de uma prova analisando o seu poder de explicação. TSE é uma forma de representação do conhecimento que expressa uma conjectura através de relacionamentos e restrições sobre relacionamentos entre sentenças de uma linguagem. [SALLANTIN 1991a]

É conveniente que o agente racional responsável pela descoberta de conhecimento em um certo domínio formule somente conhecimentos que possam ser criticados por um outro agente, o especialista do domínio. Portanto, a fim de conceber um agente racional, é necessário que primeiro se chegue a um acordo sobre as heurísticas que definirão as formas do conhecimento. Estas formas permitirão a construção de um sistema apto a elaborar uma TSE, uma vez que as formas determinam como as sentenças da linguagem serão interpretadas.

É também conveniente que o agente racional seja capaz de se comportar de modo aceito como racional. Para isso, é necessário que este agente adote uma forma de se comunicar com os outros agentes envolvidos, de tal modo que ele possa oferecer argumentos e aceitar críticas a respeito de sua compreensão do problema proposto, identificando novos fatos, formulando e examinando novas conjecturas, controlando a construção e a evolução de seu conhecimento.

A Figura 2.4 descreve uma taxonomia dos termos utilizados para expressar o conhecimento na TSE. Esta taxonomia é baseada no trabalho de Addis [ADDIS 1988], que revisou o trabalho de Peirce sobre modelagem do conhecimento e foi complementada por Sallantin [SALLANTIN 1991a] com os termos utilizados na Lógica das Provas e Refutações.

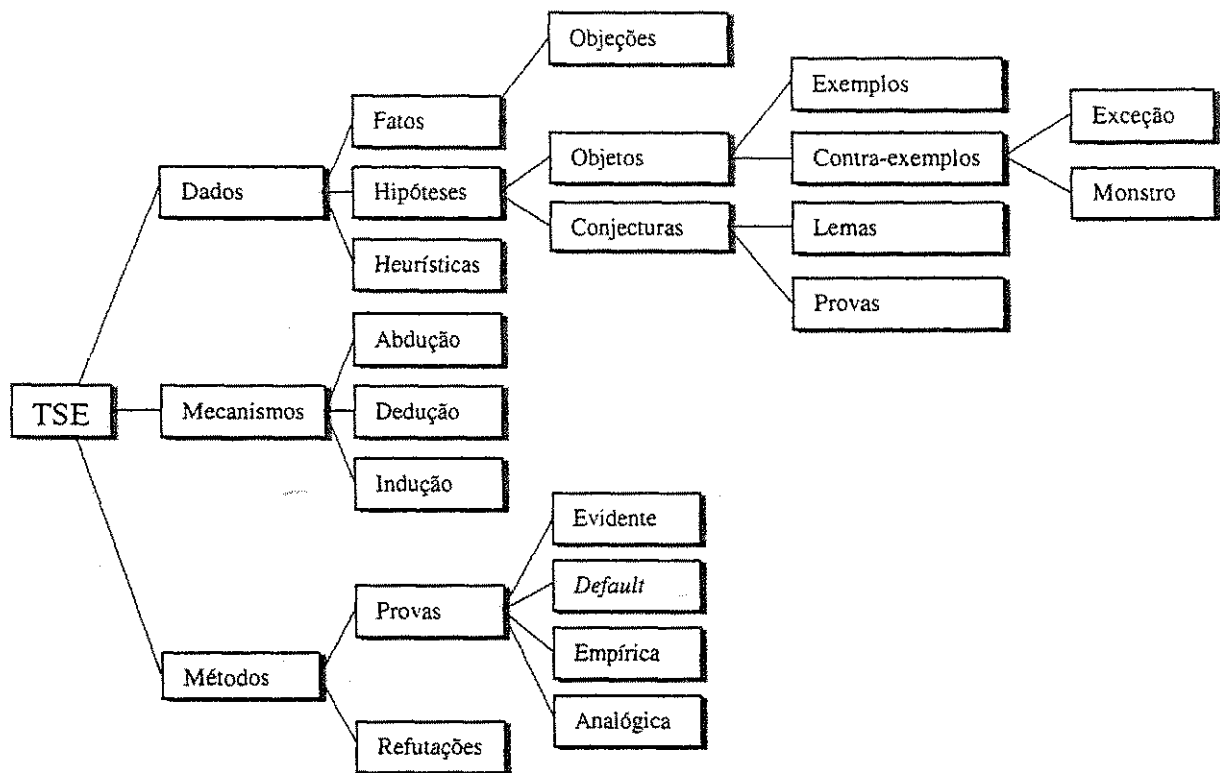


Figure 2.4: Taxonomia dos termos usados nas TSE's

Na TSE os conhecimentos são classificados como:

- (i) *Dados*, que representam o conhecimento de um agente racional. Esse conhecimento é representado por expressões a serem geradas e evoluídas. O conhecimento é capturado em uma das três formas seguintes: *Fatos* (sentenças que expressam regularidades; para as quais um grau de validade pode ser atribuído), *Hipóteses* (sentenças para as quais um grau de relevância pode ser atribuído), e *Heurísticas* (que definem as formas que os fatos e hipóteses podem assumir).
- (ii) *Mecanismos* para a geração de conhecimento (por *abdução*, descobrindo novas regularidades), para a organização desse conhecimento (por *indução*, sugerindo novas hipóteses e novas heurísticas) e para a propagação de restrições sobre eles (por *dedução*, determinando as conseqüências lógicas do conhecimento).
- (iii) *Métodos* relacionados às interações com um agente externo que desempenha o papel de criticar ou de propor uma sentença a ser provada. Estes métodos examinam a adequação de conhecimentos tais como ser um lema, ser uma objeção, ser uma prova e ser uma conjectura.

A seguir são apresentadas definições sucintas para os outros termos usados na taxonomia da TSE. Definições mais pormenorizadas podem ser encontradas em [SALLANTIN

1991a]. A formalização de alguns desses conceitos é apresentada na seção 2.4.4 a seguir.

- (i) *Objetos* são enunciados de uma restrição particular que satisfaz um conjunto de fatos;
- (ii) *Conjecturas* são enunciados de uma restrição particular que satisfaz um conjunto de objetos;
- (iii) *Lemas* são enunciados conjuntivos que expressam fatos concomitantes; ou disjuntivos que expressam fatos excludentes;
- (iv) *Prova* é uma decomposição de conjecturas em um conjunto de lemas; *Refutações* são enunciados de contra-exemplos;
- (v) *Exemplos* são objetos que satisfazem a conjectura e os lemas da prova;
- (vi) *Contra-exemplos* são objetos que não satisfazem a conjectura ou a prova;
- (vii) *Objeções* são enunciados de diferenças entre exemplos que satisfazem a conjectura e objetos já criticados para essa conjectura;
- (viii) *Exceções* são objeções aceitas para uma conjectura mas não para a sua prova;
- (ix) *Monstros* são objeções aceitas para uma prova mas não para a sua conjectura;
- (x) *Provas evidentes* são provas que usam argumentos construídos com dados iniciais;
- (xi) *Provas por default* são provas dadas como argumentos alternativos na ausência de uma prova evidente ou construída pelo aprendiz;
- (xii) *Provas empíricas* são provas que utilizam lemas obtidos por raciocínio empírico; e
- (xiii) *Provas analógicas* são provas que utilizam lemas obtidos por raciocínio analógico.

Um conhecimento na TSE é julgado por uma medida de *validade* e de *pertinência* de suas deduções. A validade se avalia em função do número de resultados justos e a pertinência em função do número de resultados provados, aceitos pelo pesquisador. As variações da validade e da pertinência, em função da complexidade da teoria, são chamadas *interesse* e *simplicidade*. Examinando-se o comportamento dos fatos e das hipóteses em relação à busca de uma melhoria da validade e da pertinência, o conjunto dos fatos deve se estabilizar e o conjunto de hipóteses deve se reduzir cada vez mais rapidamente sob o efeito crítico da busca de pertinência.

Diversos trabalhos instanciam os conceitos da TSE mostrados acima: em [PY 1992] aplica-se TSE na concepção de um agente racional que raciocina por analogia sobre problemas da Química Orgânica; em [VILLAREAL 1989; PINGAND 1991; GRACY 1993; MEPHU 1993] os conceitos da TSE são aplicados em problemas do Genoma; e [FERNEDA 1992] apresenta a

concepção de um agente racional em Geometria Euclidiana Plana.

2.4.2 Um protocolo para a aprendizagem

Teorias formais de aprendizagem [BOUCHERON 1992] definem um ambiente de aprendizagem mínimo composto de um *aprendiz* que se comunica com um *oráculo*. Do ponto de vista de solução de problemas, o protocolo que rege o diálogo entre estes dois atores pode ser resumido da seguinte forma: o oráculo envia ao aprendiz problemas resolvidos (pares $\langle \text{problema}, \text{solução} \rangle$), sendo que os problemas são tidos como já resolvidos e suas soluções conhecidas pelo oráculo; em posse desses pares, o aprendiz armazena a informação recebida (formando uma *amostra*); o aprendiz procura no *espaço de hipóteses* uma hipótese que mantenha com a amostra uma certa *relação de adequação* (um *critério de aprendizagem*). O espaço de hipóteses de um aprendiz representa o conjunto de todos os conhecimentos que ele pode adquirir; em um certo instante, seu conhecimento é definido por um ponto nesse espaço: a *hipótese aprendida*. Portanto, os dados de um problema de aprendizagem se resumem em:

- (i) uma amostra de problemas resolvidos,
- (ii) um espaço de hipóteses,
- (iii) um critério de aprendizagem (adequação hipótese-amostra) e
- (iv) uma estratégia de percurso do espaço de hipóteses.

Dois tipos de ruídos na amostra irão se somar à complexidade inerente do processo de busca de uma hipótese:

- (i) o par $\langle \text{problema}, \text{solução} \rangle$ pode estar descrito incorretamente e
- (ii) a linguagem adotada para descrever estes pares pode não ser suficiente para discriminar enunciados de problemas distintos e conseqüentemente com soluções diferentes.

Aplicações reais dificilmente estarão livres da existência de ruídos e de seus efeitos negativos.

Na prática, este ambiente mínimo funciona da seguinte forma: enquanto a máquina assume o papel de aprendiz, um especialista humano atua como oráculo. Este último é responsável também pela escolha da estruturação e representação do conhecimento, determinando assim o tipo de aprendiz mais adequado ao problema tratado. Ora, determinar o tipo de aprendiz é determinar o espaço de hipóteses no qual o aprendiz irá operar. Assim, o especialista humano é quem toma as decisões cruciais:

- (i) escolhendo o tipo de aprendiz (e, portanto, a forma que as hipóteses, as amostras, e os problemas a serem resolvidos irão tomar), ele decide o plano teórico subjacente para a aprendizagem; e

(ii) ele seleciona os exemplos a serem oferecidos ao aprendiz.

No papel de oráculo, o especialista tem disponível uma primeira maneira de pressionar o aprendiz, impondo a ele um conhecimento. Após receber um primeiro conjunto de exemplos e contra-exemplos e construir uma hipótese aprendida, o aprendiz sai de seu modo de aprendizagem e passa a um modo de exploração do conhecimento gerado, pronto a resolver problemas propostos pelo especialista. Surgem três dificuldades:

- (i) somente o exame das soluções produzidas pelo aprendiz não é suficiente para uma avaliação da hipótese aprendida;
- (ii) como está numa situação de descoberta, o especialista não sabe caracterizar com certeza uma hipótese adequada e
- (iii) geralmente, uma hipótese aprendida é demasiadamente complexa ou de difícil interpretação.

Por essas razões, a importância de um mecanismo de argumentação de alto nível é reconhecida por vários pesquisadores [FISHER 1991]. O especialista examinará a adequação de uma hipótese julgando as argumentações apresentadas pelo aprendiz para soluções apresentadas por ele para os problemas propostos. Atuando como um examinador, o especialista tem disponível uma segunda maneira de pressionar o aprendiz ao revisar a hipótese aprendida.

Nesta apresentação informal do protocolo MOSCA [REITZ 1992], destaca-se essencialmente cinco papéis distintos:

- (i) o *aprendiz*, que constrói uma hipótese aprendida a partir da amostra de exemplos e contra-exemplos disponibilizada previamente;
- (ii) o *oráculo*, que produz soluções irrefutáveis de problemas, na forma de pares <problema,solução>;
- (iii) o *cliente*, que submete problemas ao aprendiz e espera soluções;
- (iv) a *sonda*, que produz soluções refutáveis na forma de pares <problema,solução>, obrigando o aprendiz a produzir argumentações; e
- (v) o *mestre*, que analisa as argumentações do aprendiz e as critica.

O ambiente de aprendizagem está resumido na Figure 2.5.

O aprendiz requisita pares <problema,solução> ao oráculo. Os pares são então armazenados pelo aprendiz e compõem a amostra a ser usada para a aprendizagem. Esta amostra pode eventualmente ser modificada, visto que pode estar sujeita a erros ou simplesmente se mostrar não apropriada para um certo contexto. Toda alteração na amostra faz com que o aprendiz reavalie a hipótese aprendida. Esta hipótese é extraída de um espaço de hipóteses e

satisfaz um critério de aprendizagem. É claro que qualquer hipótese aprendida reconhecerá os componentes da amostra como exemplos e contra-exemplos da mesma forma como apresentados pelo oráculo.

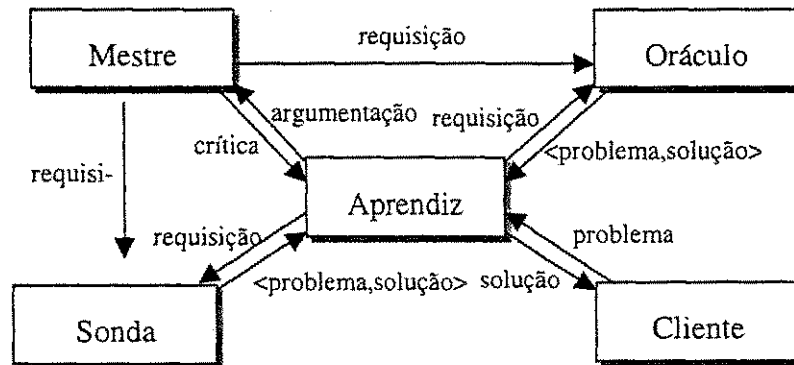


Figure 2.5: Protocolo de aprendizagem MOSCA

O aprendiz pode requisitar ao oráculo um ou mais problemas resolvidos. Esta requisição pode ser feita de duas maneiras:

- (i) quando a escolha do problema é deixado a critério do oráculo (aleatoriamente ou segundo um plano de ensino predeterminado), a requisição é feita simplesmente pelo envio de um sinal;
- (ii) quando o aprendiz deseja aprender a resolver um certo problema, ele envia ao oráculo uma requisição de objetos do problema que lhe interessa (isto, é claro, deve ser feito de forma controlada, senão o aprendiz se contenta apenas em questionar o oráculo, sem nada aprender).

Da mesma forma, o aprendiz recebe problemas resolvidos da sonda. No entanto, estas soluções podem ser intencionalmente errôneas. Para cada problema resolvido apresentado pela sonda, o aprendiz compara-a com a sua própria e apresenta ao mestre uma argumentação justificando sua solução. Estas argumentações podem ser de dois tipos: *explicações* (caso as duas soluções coincidam) ou *objeções* (caso contrário).

Para cada argumentação apresentada, o aprendiz recebe uma crítica do mestre. Sempre que possível, cada crítica negativa faz com que o aprendiz apresente uma argumentação alternativa. Quando nenhuma argumentação alternativa é possível ao aprendiz, ele dispõe das seguintes alternativas:

- (i) excluir este problema não argumentável (classificando-o como *monstro* ou como *contra-exemplo*, podendo no segundo caso ser este incluído como tal na amostra para uma possível reaprendizagem),

- (ii) aceitá-lo, mesmo assim, como objeto do conceito sendo aprendido (classificando-o como *exceção*),
- (iii) reformular sua hipótese aprendida através de uma nova execução do processo de aprendizagem, incluindo o problema não argumentável como um novo elemento da amostra (classificando-o como *exemplo*), ou ainda
- (iv) simplesmente enfraquecendo a confiança na hipótese aprendida (neste caso, presume-se um limite mínimo para esta confiança que, se ultrapassada, deve acarretar uma reaprendizagem onde as críticas acumuladas devem influenciar a construção de uma nova hipótese aprendida).

O mestre, enviando um sinal ou uma requisição de um problema específico, controla a produção de problemas resolvidos da sonda.

O cliente submete um problema ao aprendiz e espera dele uma solução.

2.4.3 A estrutura do Aprendiz

No protocolo MOSCA, a forma dos problemas que o aprendiz pode resolver se restringe à identificação de conceitos. O aprendiz, baseado na aprendizagem a partir de exemplos e contra-exemplos, formula uma conjectura para ser validada, revisada, ou utilizada. Problemas se definem através de um objeto e do conceito que este objeto representa. Soluções consistem na formulação de uma crença na relação de pertinência de um objeto a um conceito. Teoricamente, essa conjectura é extraída de um espaço de conjecturas. Na prática, porém, ela precisa ser construída. Conjecturas são formadas a partir de combinações lógicas de componentes elementares (*regularidades*). O aprendiz dispõe de mecanismos para a construção de uma conjectura.

2.4.3.1 Princípios para a construção de uma conjectura

O objetivo do aprendiz é construir uma conjectura sobre um conceito. Assume-se que o aprendiz não recebe nenhuma outra informação senão uma amostra composta de exemplos e contra-exemplos deste conceito, oferecidas pelo oráculo, e constrói, observando regularidades na amostra, regras (i.e., conjecturas) na forma:

Se o objeto satisfaz a regularidade R , então sentença S tem crença C

2.4.3.2 Princípios para a aplicação de uma conjectura

A aplicação do conjunto de regras aprendidas se dá de uma forma simples: quando a sonda ou o oráculo apresenta um problema resolvido ao aprendiz, este determina uma crença da perti-

nência de um objeto ao conceito em dois passos:

- (*passo 1*) aplicação do conjunto de regras que formam a conjectura, resultando em conjunto de crenças, uma para cada regra aplicada; e
- (*passo 2*) agregação dos valores de crença em uma única crença, que será associada ao problema apresentado (um par *<objeto, conceito>*).

Essa agregação pode ser realizada de várias formas. As mais usadas são:

- (i) a abordagem da lógica clássica: se o conjunto de valores de crença é {*verdadeiro, falso*}, então a agregação pode ser feita tanto por conjunção (se alguma regra gera o valor *falso*, a agregação também o será) como por disjunção (se alguma regra gera o valor *verdadeiro*, a agregação também o será).
- (ii) a abordagem da *lógica majoritária*: dois limites permitem regular a natureza mais conjuntiva ou mais disjuntiva da agregação das regras aprendidas. O primeiro limite define o número mínimo de regras que devem ser verdadeiras para que a agregação também seja verdadeira. O segundo limite define o número mínimo de regras que devem ser falsas para que a agregação também seja falsa. Como estes limites não são necessariamente complementares, há casos em que o resultado não é nem *falso* nem *verdadeiro*: é *silêncio*. Esta segunda abordagem engloba, evidentemente, o primeiro.

2.4.3.3 Princípios de construção de uma argumentação

Após serem mostrados os princípios de construção de uma conjectura, presentes em todos os trabalhos em aprendizagem automática, serão expostos mecanismos que permitem uma revisão do conhecimento aprendido. No protocolo proposto, essa revisão é empreendida em dois casos:

- (i) ou um novo exemplo/contra-exemplo é proposto pelo oráculo, o qual vem enriquecer a amostra do aprendiz, o que questiona as regularidades observadas (aparição de novas regularidades, desaparecimento de antigas), e portanto da conjectura aprendida.
- (ii) ou a argumentação produzida pelo aprendiz é criticada, o que, indiretamente, questiona essa mesma conjectura.

O primeiro caso de revisão consiste em estudar a natureza incremental dos mecanismos de detecção de regularidades na amostra.

Antes de verificar-se os efeitos de uma crítica de uma argumentação sobre o conhecimento aprendido, vai-se examinar como tal argumentação pode ser construída. Distingue-se duas formas de argumentação: a explicação e a objeção.

O aprendiz explica quando a crença que ele calcula para um objeto está em conformidade com a crença dada pela sonda, ou mais simplesmente quando ele busca uma justificativa para a crença transmitida a um cliente que lhe submeteu um objeto. No âmbito da TSE, uma explicação é formada por um conjunto minimal de regras que bastam à obtenção do resultado. Esse conjunto não é necessariamente único, e serão vistas, na próxima seção, técnicas que permitem a resolução de conflitos. Por exemplo, se a crença final proposta é verdadeira, sabendo-se que dez regras sobre quinze são verdadeiras, quando somente oito teriam sido suficientes, o aprendiz deve escolher oito dessas regras sobre as dez verdadeiras. As regras retidas são então propostas como uma explicação da crença obtida.

Da mesma forma, o aprendiz gera uma objeção quando uma crença que ele calcula é diferente da proposta pela sonda. No âmbito da TSE, uma objeção [BARBOUX 1990] é formada pelo conjunto das regras que bastam para explicar o fracasso na objeção da crença proposta pela sonda. Como, para as explicações, esse conjunto não é necessariamente único (alguns métodos de decisão serão apresentados na próxima seção).

2.4.3.4 Princípios de exploração de uma crítica

Quando o aprendiz propõe sua argumentação ao mestre, este responde através de uma crítica. A princípio, imagina-se que essa crítica é binária: aprovação ou desaprovação; diz-se que o aprendiz é criticado quando ele recebe uma crítica negativa. Se o aprendiz pode propor uma argumentação, no caso em que ele dispõe de vários conjuntos de regras candidatas à construção de uma argumentação, isso é feito. No melhor dos casos, ele encontrará uma argumentação que não será criticada. Senão ele deve mudar seu modo de argumentação, o que, no caso das TSE, consiste em reformular a conjectura excluindo o objeto do seu domínio de definição; ou seja, a resposta sugerida pelo aprendiz neste caso será o silêncio. Isso significa que o aprendiz, antes de utilizar uma conjectura, deve verificar se o objeto considerado não faz parte das exceções aceitas para o mesmo.

Quando o aprendiz é criticado sobre uma argumentação, é possível a ele classificar as regras aprendidas das seguintes formas:

- (i) certas regras não foram ainda implicadas na argumentação;
- (ii) outras foram utilizadas para se construir argumentações, as quais foram criticadas ou não.

Chama-se lema uma regra que já foi utilizada em argumentações que não foram ainda criticadas. Esses lemas são argumentos importantes, pois o mestre sempre reconheceu seu papel explicativo. Na realidade, eles são muito mais que isso: eles formam termos de uma linguagem que foi admitida pelas duas partes, o aprendiz e o mestre, e serve de suporte ao

diálogo entre ambos.

Essa divisão das regras em lemas e não-lemas sugere que uma estratégia para determinar o melhor conjunto de regras para a construção de uma argumentação pode seguir dois esquemas opostos:

- (i) se o aprendiz está pronto a assumir riscos, então ele escolherá preferencialmente uma argumentação composta de um número máximo de lemas. Uma crítica negativa por parte do mestre, corresponde a um questionamento da linguagem do aprendiz.
- (ii) senão, o aprendiz não se arrisca, e escolhe preferencialmente regras que não são lemas. Aqui, ele busca antes de mais nada preservar sua linguagem de comunicação, conservando o que ele já construiu.

Essa estratégia de exploração das críticas pode tomar as mais diversas formas: é possível imaginar que a cada regra pode associar-se um contador de más críticas e quanto mais o contador cresce, mais a qualidade dessa regra é contestada. Esse contador pode ser utilizado para selecionar um conjunto de regras que será utilizado para a construção de uma argumentação.

A gestão da argumentação gera um certo número de problemas que são mostrados a seguir:

- (i) a revisão de uma hipótese aprendida deve questionar as informações sobre as críticas recebidas contidas na função de argumentação;
- (ii) a exaustão das argumentações possíveis, quando o aprendiz é sempre criticado, deve conduzir à revisão de sua conjectura, mesmo quando ela está em perfeita adequação com os dados da amostra;
- (iii) uma argumentação criticada questiona mais um modo de argumentação do que os argumentos que a compõem.

2.4.4 O esquema mental

TSE é uma teoria que contém seu próprio mecanismo de evolução. Este mecanismo é baseado na idéia de que uma linguagem é um conjunto ordenado de sentenças e que um sistema de crenças é um conjunto ordenado de valores de verdade. Quanto a isso, Newell [NEWELL 1982] mostrou que conhecimento pode ser entendido tão independentemente quanto possível de qualquer linguagem de representação. Em outras palavras, pode-se abstrair conhecimento de sua representação. Para se chegar a uma abstração, um agente racional deve ser capaz de associar objetos a sentenças e a outros objetos.

A linguagem formada pelo conjunto de sentenças é usada tanto para capturar como para comunicar conhecimento (sem essa comunicação através de uma linguagem, seria muito difícil para um agente realizar as interpretações das sentenças, pois não poderia receber formulações de críticas por outros agentes!).

Visando a definição de objetos como interpretações de um conjunto de sentenças e de conjecturas como interpretações dos conjuntos de objetos, apresenta-se a noção de esquema mental [AUBERT 1990; SALLANTIN 1991b].

Cada agente racional é composto de uma TSE (representando o conhecimento) e um esquema mental (que permite a evolução do conhecimento pela aprendizagem e pela revisão do que foi aprendido).

Um esquema mental é uma tripla (L, C, Δ) , onde:

- L é um conjunto de sentenças ordenado pela relação de ordem parcial \leq_L ,
- C é um conjunto de valores de crenças ordenado pela relação de ordem parcial \leq_C , formando um reticulado, tendo portanto um máximo (**1**) e um mínimo (?).
- $\Delta : L \times L \rightarrow C$ é uma função de crença, definida como: se s_1 e s_2 são duas sentenças e $c = \Delta(s_1, s_2)$, então a sentença s_1 explica (com uma crença c) a sentença s_2 no esquema mental.

Assume-se $\Delta(s_1, s_2)$ como sendo o próprio esquema mental, ou seja, como uma função de interpretação que relaciona L e C como mostrado a seguir.

Uma *interpretação* sobre L é uma função $I : L \rightarrow C$, tal que $\forall s_1, s_2 \in L, s_1 \leq_L s_2 \Rightarrow I(s_1) \leq_C I(s_2)$.

Um *objeto mental* é uma interpretação O sobre L tal que $\exists s_1 \in L, \forall s_2 \in L, O(s_2) = \Delta(s_1, s_2)$ e $O(s_1) = \mathbf{1}$, ou seja, uma interpretação particular onde uma sentença s_1 explica (com crença **1**) todas as outras sentenças de L com crença igual a **1**.

O conjunto de objetos mentais é obtido a partir de um esquema mental.

Observações:

A sentença s denomina o objeto mental O . O_s é o objeto O cujo nome é a sentença s .

Um mesmo objeto mental pode ser denotado por várias sentenças. Assim, $O_{s_1} = O_{s_2}$ significa que $\forall x \in L, O_{s_1}(x) = O_{s_2}(x)$.

O conjunto de todos os objetos mentais do esquema mental é denominado Ω .

$X = \{x \in L \mid \Delta(x,x) = 1 \wedge \forall s_1, s_2 \in L, s_1 \leq_L s_2 \Rightarrow \Delta(x,s_1) \leq_C \Delta(x,s_2)\}$ é o conjunto de todas as sentenças de L que denotam um objeto mental.

Uma vez que cada objeto em Ω pode ser denominado por uma sentença em L e L é parcialmente ordenada, então o conjunto Ω é parcialmente ordenado. Portanto, um esquema mental utilizando Ω como linguagem pode ser construído. Neste esquema mental, $\Gamma(O_1, O_2)$ corresponde à função de interpretação de um *conceito mental*, como definido a seguir.

Um *conceito mental* é uma interpretação K sobre Ω tal que $\exists O_1 \in \Omega, \forall O_2 \in \Omega, K(O_1) = \Gamma(O_1, O_2)$. Ou seja, $\Gamma(O_1, O_2) = \Gamma(O_x, O_\alpha) = \Delta(x, \alpha)$, onde α denota o objeto O_2 e x denota o objeto O_1 : $\exists \alpha \in L, \forall O_x \in \Omega, K(O_x) = K(O_x) = O_x(\alpha) = \Delta(x, \alpha)$.

Observações:

A sentença α denota o conceito mental K . K_α é um conceito K sse $K(O) = 1$.

Um mesmo conceito mental pode ser associado a várias sentenças. Consequentemente, $K_\alpha = K_\beta$ significa que $\forall x \in L, K_\alpha(x) = K_\beta(x)$.

$\{x \in L \mid \Delta(x,x) = 1 \wedge \forall s_1, s_2 \in L, s_1 \leq_L s_2 \Rightarrow \Delta(s_1,x) \leq_C \Delta(s_2,x)\}$ é o conjunto de todas as sentenças de L que denotam um conceito mental.

Um objeto mental O é um *exemplo* de um conceito mental K sse $K(O) = 1$.

Um objeto mental O é uma *objeção* para o conceito mental K sse $K(O) \neq 1$.

Um *lema* é um objeto O_e , onde e também denota o conceito mental K_e .

Um *fato mental* é uma sentença f tal que $\exists O \in \Omega, O(f) \neq ?$.

2.4.5 Um sistema de crenças

Adota-se aqui um sistema de crenças baseado na Lógica Multivalorada de M. Ginsberg [GINSBERG 1988, 1990]. Uma *crença* é um elemento do conjunto C , parcialmente ordenado por dois tipos de relação: \leq_k e \leq_r . A respeito da relação \leq_k , C é um reticulado com **silêncio** como seu mínimo e \perp como seu máximo. A respeito da relação \leq_r , C é um reticulado cujo máximo é **verdadeiro** e cujo mínimo é **falso**.

A relação \leq_k é normalmente interpretada por *é menos conhecida que* e \leq_r por *é menos verdadeiro que*. A crença \perp , representando uma contradição, é tal que **verdadeiro** $\leq_k \perp$ e **falso** $\leq_r \perp$.

O conjunto de todas as crenças é $C = C_M \cup C_O \cup C_S \cup C_C \cup C_A$, onde $C_M = \{obje-$

tado, não-objeto, silêncio}, $C_O = \{\text{verdadeiro-O}, \text{falso-O}\}$, $C_S = \{\text{verdadeiro-S}, \text{falso-S}\}$, $C_C = \{\}$ e $C_A = \{\text{aceito}, \text{contestado}, \text{silêncio}, \perp (\text{contradição})\}$. Na Figura 2.7 é apresentado o reticulado de crenças, isto é, a ordem entre os valores de crença. A figura pode ser interpretada da seguintes maneira:

(i) como a ordem entre as crenças de conhecimento:

$$\text{silêncio} \leq_k \text{verdadeiro-S} \leq_k \text{aceito} \leq_k \text{não-objeto} \leq_k \text{verdadeiro-O} \leq_k \perp$$

e

$$\text{silêncio} \leq_k \text{falso-S} \leq_k \text{contestado} \leq_k \text{objeto} \leq_k \text{falso-O} \leq_k \perp$$

(ii) como a ordem entre as crenças de verdade:

$$\text{falso-O} \leq_l \text{objeto} \leq_l \text{contestado} \leq_l \text{falso-S} \leq_l \text{silêncio}$$

e

$$\text{verdadeiro-S} \leq_l \text{aceito} \leq_l \text{não-objeto} \leq_l \text{verdadeiro-O}$$

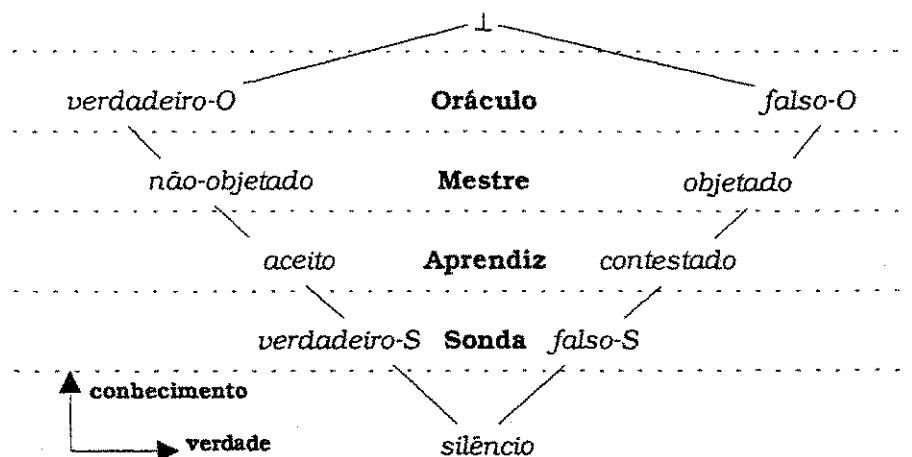


Figure 2.6: O reticulado de crenças adotado

2.4.6 Os mecanismos para a geração e evolução do conhecimento

Os mecanismos da TSE são responsáveis pela geração e evolução do conhecimento (i.e., dos esquemas mentais). Na lógica clássica, existem três mecanismos responsáveis pela construção e evolução de uma teoria: *abdução*, *indução* e *dedução* [SALLANTIN 1991a, 1991b].

Abdução associa uma crença a uma proposição sempre que esta proposição não é deduzida da teoria mas mantém esta teoria coerente, e vale como uma consequência desta proposição. A abdução utiliza a *Lógica Majoritária*.

Em um raciocínio baseado na lógica clássica, o valor-verdade de uma sentença conjuntiva só é verdadeiro quando todos os valores-verdade associados a cada um de seus átomos

elementares também são verdadeiros. Num raciocínio empírico, uma sentença conjuntiva pode ser aceita como verdadeira quando uma certa quantidade de seus átomos elementares componentes forem avaliados como verdadeiros. Ou seja, dado um conjunto de sentenças $S = \{s_1, \dots, s_n\}$, $\text{MAJ}_\Phi S$ (lei majoritária com limite de aceitação Φ) indica que a conjunção formada pelo conjunto de sentenças S é avaliada como verdadeira quando $|S_+|/|S| \geq \Phi$. A isto denomina-se Lógica Majoritária.

Indução gera uma nova regra relacionando proposições.

Dedução utiliza regras (geradas por indução) para inferir uma nova crença sobre uma proposição sempre que crenças sobre suas condições já estão estabelecidas.

Trabalhos anteriores [BARBOUX 1990; LIQUIÈRE 1990a, 1990b, 1990c, 1992; MEPHUNGUIFO 1993a, 1993b, 1993c] se restringiram à linguagem da lógica proposicional. Em [FERREIRA 1992b], adotou-se a lógica de predicados de primeira ordem, uma vez que se deseja construir conjecturas sobre objetos complexos. Regras geradas por indução terão a forma $\rightarrow \{s_1, \dots, s_n\}$, significando a existência de uma dependência entre o conjunto de proposições s_1, \dots, s_n . Esta dependência é definida através de um conjunto de unificações entre as variáveis presentes na proposição.

A semântica da lei de agregação é dada por:

$$\Delta(x, \text{MAJ}_\Phi \{e_1, \dots, e_n\}) \leq_C C, \text{ onde } \left| \{e_i \mid \Delta(x, e_i) \leq_C C\} \right| \geq \Phi$$

$$e$$

$$\Delta(x, e_2) \geq_C \min_C(\Delta(x, e_1), \Delta(x, \rightarrow \{e_1, e_2\}))$$

Pode-se ver como os três mecanismos atuam:

$$\begin{aligned} (\text{Abdução}) & \Delta(\alpha, \text{MAJ}_\Phi \{r_1, \dots, r_n\}) \\ (\text{Indução}) & \Delta(\alpha, \rightarrow \{\text{MAJ}_\Phi \{r_1, \dots, r_n\}, K\}) \\ (\text{Dedução}) & \Delta(\alpha, K) \end{aligned}$$

Uma ordem parcial \leq_k sobre o conjunto de esquemas mentais é definido como:

$$\Delta \leq_k \Delta' \Leftrightarrow \forall x, y \in L, \Delta(x, y) \leq_k \Delta'(x, y)$$

T. S. Kuhn [KUHN 1976] viu um ciclo no processo de construção do conhecimento. Este ciclo é composto de três fases: evolução normal, crise, e revolução.

A fase de evolução normal corresponde à aplicação das técnicas de evolução de conhecimento da TSE. Nesta fase a evolução pode ser vista como uma seqüência $\Delta_i \leq_k \Delta_{i+1}$

$\leq_k \dots \leq_k \Delta_j$. Sejam Δ_{s_1} e Δ_{s_2} esquemas mentais. Diz-se que Δ_{s_1} evolui para Δ_{s_2} (ou seja, $\Delta_{s_1} \mapsto \Delta_{s_2}$) sse $\exists x \mid \Delta_{s_1} \leq_k \Delta_x \wedge \Delta_x \mapsto \Delta_{s_2}$.

A fase de crise gera uma intervenção do oráculo, oferecendo dados que forçam o aprendiz a questionar seu próprio conhecimento e reconhecer a necessidade de uma nova aprendizagem, usando os antigos dados acrescidos de outros novos.

A fase de revolução resulta em uma profunda reformulação das heurísticas e da linguagem de representação, levando em consideração as críticas realizadas pelo mestre durante a evolução normal.

Esta abordagem se justifica, por um lado, pela incompletude da linguagem de descrição, e, por outro lado, pelos aspectos evolutivos e hierárquicos do conhecimento.

Neste ciclo, a crise pode resultar das seguintes percepções:

- (i) uma inadequação da heurística utilizada na produção do conhecimento; ou
- (ii) a necessidade de se enriquecer a linguagem de representação introduzindo novos conceitos, cujos significados devem ser fornecidos ou descobertos.

2.5 Os mecanismos de aprendizagem

Esta seção apresenta os mecanismos que tornam possível a construção de conhecimento de um agente racional, de acordo com os princípios da TSE.

O primeiro passo, anterior ao processo de aprendizagem, é a definição dos termos da linguagem e quais os conceitos já existentes que terão papel ativo na aprendizagem. O cálculo da aprendizagem pode, assim, ser reduzido.

As seções seguintes descrevem os mecanismos encarregados pela geração de novos conhecimentos.

2.5.1 Abdução

Na TSE, a abdução visa o enriquecimento de um modelo pela proposições de novas regularidades (fatos). O método de abdução deve ser capaz de extrair (ou descobrir) regularidades presentes na amostra.

Nos trabalhos realizados pela equipe de Sallantin, a abdução é baseada no método IN-NE [LIQUIÈRE 1990], que pressupõe uma representação de conhecimento em grafos conceitu-

ais [SOWA 1984] e extrai subgrafos representando cada um uma similaridade freqüentemente encontrada em um primeiro conjunto de grafos conceituais chamado *Exemplos* e raramente encontrados em um outro conjunto de grafos chamado *Contra-Exemplos*. Abdução gerará dois conjuntos de subgrafos: o de *assimilação*, computado a partir de toda a amostra, e outro de *discriminação*, computado com a consideração da distinção entre exemplos e contra-exemplos. Uma versão melhorada deste método foi realizada em [LIQUIÈRE 1992]. O problema pode ser visto da seguinte forma:

Sejam Exemplos e Contra-Exemplos dois conjuntos de grafos conceituais. O objetivo é encontrar uma classe de equivalência de grafos conceituais tal que seus grafos sejam regularidades predominantemente válidas com respeito à amostra $\text{Exemplos} \cup \text{Contra-Exemplos}$.

A abdução gera um conjunto de sentenças de assimilação e um conjunto de sentenças de discriminação. Estes conjuntos são construídos utilizando-se certas heurísticas para a determinação da forma que as sentenças tomarão (por exemplo, a forma de um caminho no grafo, profundidade mínima e máxima, etc.).

2.5.2 Indução

A Indução age enriquecendo um modelo propondo novas hipóteses e novas heurísticas. A indução é realizada em três passos: (a) a escolha dos fatos relevantes; (b) a agregação destas regras, construindo assim regras mais gerais (as hipóteses); e (c) a agregação de hipóteses para formar uma conjectura.

2.5.2.1 Primeiro passo da indução: escolha dos fatos relevantes

Cabe ao mestre escolher entre os fatos gerados pela abdução aqueles por ele considerados relevantes para a construção do conceito a ser aprendido. Esta operação é um tipo de indução, visto o seu caráter generalizante. Uma regra é construída para cada subgrafo gerado nesta fase.

2.5.2.2 Segundo passo da indução: geração de hipóteses

Diversos sistemas de aprendizagem foram definidos para a aprendizagem de conceitos a partir de um conjunto de objetos [por exemplo, COHEN 1982; CARBONELL 1989]. O que os distingue é a forma de como representar e construir o conhecimento.

E. Mephu Nguifo [MEPHU-NGUIFO 1994] concebeu um sistema de aprendizagem (LE-

GAL³) que, a partir de um conjunto de objetos (exemplos e contra-exemplos) de um conceito, gera outro conjunto de objetos (a partir das regularidades encontradas no primeiro conjunto) usando um método de generalização. Para isso, utiliza a noção de reticulado de Galois [BORDAT 1986; WILLE 1982, 1991, 1992]. A maior vantagem de LEGAL é sua exaustividade, dando ao sistema o espaço máximo de regularidades para ser explorado.

LEGAL utiliza a lógica proposicional para descrever os objetos e as *regularidades*. Esta descrição é originalmente dada através de um conjunto finito de atributos binários caracterizando o conceito a ser aprendido, inicialmente representado por uma tripla $\langle O, A, I \rangle$, onde O é um conjunto de objetos, A é um conjunto de atributos e I é uma relação binária de O para A .

Um objeto é descrito como um conjunto finito de atributos. LEGAL constrói um semi-reticulado contendo regularidades válidas, descritas pelos atributos que caracterizam A . Uma propriedade fundamental de LEGAL é que todos os objetos são descritos pelo mesmo conjunto de atributos.

O segundo passo da indução, porém, não caracteriza objetos por seus atributos, mas sim por sentenças predominantemente válidas (fatos gerados pelo mecanismo de abdução): a amostra.

A escolha das heurísticas que definirão a navegação no espaço de hipóteses deve ter uma forma de avaliar a qualidade de cada hipótese. Por exemplo, duas medidas de qualidade podem ser consideradas:

- (i) *Simplicidade*. O número de fatos que compõem uma hipótese não deve ser grande, o que dificultaria o julgamento de sua relevância. Como LEGAL não dá suporte a este tipo de restrição, pode-se utilizar algumas heurísticas para impor um limite ao número de fatos que irão compor a hipótese. Assim, uma hipótese complexa gerada por LEGAL poderá derivar um conjunto de hipóteses, cada uma tendo agora sua relevância mais facilmente avaliável.
- (ii) *Cobertura*. Ainda para assegurar que somente hipóteses relevantes sejam geradas, o número de componentes de objetos que são cobertos por cada hipótese deve ser mínimo.

Este passo é aplicado tanto para os fatos de assimilação quanto para os fatos de discriminação, gerando assim dois conjuntos distintos de hipóteses. As hipóteses geradas devem obviamente serem elas próprias predominantemente válidas.

³ LEGAL = LEarning with GALois Lattice.

2.5.2.3 Terceiro passo da indução: geração de conjecturas

A partir dos conjuntos de hipóteses de assimilação e de discriminação, este passo gera conjecturas sobre o conceito a ser aprendido.

Pelos mesmos motivos já expostos no segundo passo da indução (geração de hipóteses), pode-se continuar a se obedecer aos critérios de simplicidade e cobertura. Aqui, porém, a cobertura deve ser máxima, visto que as conjecturas devem identificar o maior número possível de objetos da amostra (fazendo uso do maior número de fatos conhecidos sobre os objetos), e evitando ao máximo o silêncio do aprendiz sobre novos objetos a serem classificados.

Capítulo 3

A Semiótica Peirceana: aspectos filosóficos e formais

Neste capítulo, apresenta-se uma visão geral da semiótica peirceana como uma teoria da experiência. Mostra-se que os signos são hipóteses extraídas do mundo da experiência para dar significados a aspectos daquele mundo [CUNNINGHAM 1994]. Busca-se apontar as principais características da Semiótica tanto na sua concepção holística de um mundo dinâmico feito de relacionamentos em permanente mudança quanto no seu estreito relacionamento com outros domínios, tais como a teoria darwiniana da evolução e a lógica quântica das partículas. Além disso, apresentamos a geração das classes sígnicas a partir das três categorias peirceanas como produto da interação entre os mecanismos de raciocínio abdução, dedução e indução. Esses mecanismos se estruturam numa metodologia de construção de conhecimento fundamentada nos princípios semióticos.

3.1A metodologia semiótica

Ampliar o conhecimento sobre a realidade a nossa volta tem sido uma preocupação constante de toda a humanidade. A construção, organização e sistematização do conhecimento humano fundamentada na experiência, tem como referência o bem sucedido método da Ciência. O método científico é uma invenção do homem moderno na sua busca desse conhecimento. As raízes do conhecimento científico podem ser reportadas à Filosofia Natural de Aristóteles, ao Método de Descartes e a Filosofia Transcendental de Kant. Entretanto, seu nascimento é devido a pesquisadores como Galileu, Kepler e Newton. A sua consolidação nos revela nomes de diversos filósofos, tais como Mill, Boole, Peirce, Schröder, Popper, Lakatos e Khun, citados nesta dissertação.

Entendemos que não se pode deixar de considerar, na concepção de agentes capazes de aprender pela sua própria experiência, os resultados alcançados pelo método científico.

Dentre todos os nomes lembrados acima, segundo vários autores [SANTAELLA 1995; TURSMAN 1987], nenhum foi mais original na busca por um método de investigação na ciência que o americano Charles Sanders Peirce (1839-1914).

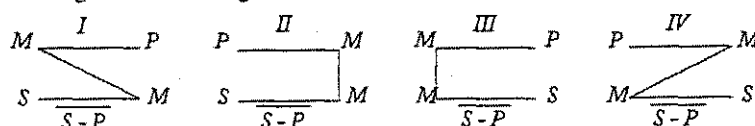
Karl Popper faz referência a Peirce como um dos maiores filósofos do nosso tempo [POPPER 1975b]. Mas, nem todos os filósofos pensam assim. Olavo de Carvalho, por exemplo, nos mostra um Aristóteles atual onde a sua concepção sobre o homem como um "animal racional" ganha maior sentido ao contemplar não só o aspecto racional mas também seus "instintos animais" [CARVALHO 1996a]. No entanto, Carvalho reserva algumas notas dirigidas ao falibilismo de Peirce¹ quanto aos dogmas de Descartes sobre a capacidade de nossa mente em intuir "verdades evidentes" ou de adotarmos como postura científica "a dúvida universal" [CARVALHO 1996b]. O que Carvalho considera como sua percepção, "única em dois mil e quinhentos anos de história", pode ser resumido na sua constatação de uma unidade verificada nas obras aristotélicas - A Analítica, A Dialética, A Retórica e A Poética - como um sistema unificado de produção do discurso. Entretanto, a despeito desses comentários, Peirce não só percebeu uma unidade no trabalho de Aristóteles como foi muito mais além: postulou a sua teoria semiótica como uma "teoria geral da inteligência científica capaz de aprender pela experiência" [PEIRCE 1995], fruto da análise das quatro figuras silogísticas aristotélicas². Esta análise mantém uma estreita relação com o *modelo de raciocínio causal* de Aristóteles [SANTAELLA 1995]. Peirce analisou as figuras silogísticas de Aristóteles primeiro como mecanismos de raciocínio e depois como métodos de investigação [FANN 1970; SANTAELLA 1995].

Peirce acreditava que as ações que movem o mundo são únicas e irreduzíveis. São elas, a ação *diádica* ou *mecânica* e a ação *signica* ou *inteligente*. No modelo de raciocínio causal de Aristóteles, essas ações são conhecidas como *causação dinâmica* ou *eficiente* e *causação final* ou *lógica*. [SANTAELLA 1995].

A Figura 3.1, uma interpretação de L. Yriarte et alli do modelo de raciocínio causal de Aristóteles, expressa que, em um meta-nível, as operações envolvidas na resolução de problemas passam por quatro fases. Essas operações podem ser vistas como construtores onde

¹ *Falibilismo* é uma corrente de pensamento segundo o qual qualquer conhecimento é passível de correção, ou seja, é falível.

² As figuras silogísticas categóricas têm as seguintes formas:



Um silogismo compõe-se de duas premissas e uma conclusão. Os conceitos que compõem um silogismo chamam-se termos do mesmo. *P* é o termo maior; o predicado da conclusão. *S* é o termo menor; o sujeito da conclusão. *M* é o termo médio, que serve para vincular *S* e *P* nas premissas e está ausente na conclusão. Maiores detalhes, ver [GUÉTMANOVA 1989].

cada três operações podem controlar a outra. Este processo, segundo os autores, pode levar a uma estabilização de um nível organizacional, quando a seqüência restrição ◦ dedução ◦ abdução ◦ indução é equivalente à identidade [YRIARTE 1995].

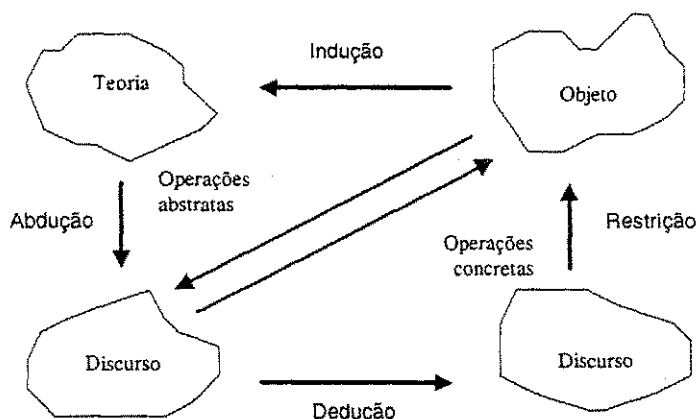


Figura 3.1: Modelo de Raciocínio Causal de Aristóteles, segundo [YRIARTE 1995]

Foi neste quadro conceitual que Peirce desenvolveu a Semiótica como sua versão da Lógica. A Semiótica foi assim desenvolvida para dar conta das idéias de Kant sobre as categorias da cognição³ [DELACAMPAGNE 1997]. Peirce criticou a demasiada importância atribuída à intuição por Kant na sua classificação dos juízos; não acreditava que as categorias da cognição fossem isomorfas às categorias da Lógica Clássica, como postulado por Kant, mas isomorfas à Lógica das Relações⁴. A partir do trabalho desenvolvido por Boole sobre a matematização da lógica e dos universos de discurso de DeMorgan, Peirce construiu sua própria Lógica das Relações, depois transformada em uma Álgebra das Relações por Schröder (*As Lições sobre a Álgebra da Lógica* – 1890, citado em [DELACAMPAGNE 1997; ENGEL 1989]). Paralelamente aos resultados obtidos na Lógica das Relações, Peirce desenvolveu a Semiótica como a Lógica das Relações Triádicas, mantendo sempre um estreito relacionamento entre os resultados obtidos nessas duas investigações [ENGEL 1989].

3.2 Aspectos filosóficos

3.2.1 O que é Semiótica?

Charles S. Peirce foi filósofo, cientista, químico e lógico brilhante. Porém, sempre desejou ser lembrado por seu trabalho no campo da Lógica. Na sua intensa busca por uma lógica da investigação na Ciência, postulou a insuficiência da Lógica Simbólica como instrumento obser-

³ As Categorias kantianas: Quantidade (universal, particular e singular), Qualidade (afirmativo, negativo e limitativo), Relação (categórico, hipotético e disjuntivo) e Modalidade (possível, assertórico e apodídico).

⁴ As Categorias peirceanas: Qualidade, Relação e Representação.

vacional e comunicacional. Peirce propôs sua Lógica da Investigação Científica como uma extensão da lógica; como um sistema de lógica concebido como Semiótica [ENGEL-TIERCELIN 1989; TURSMAN 1987].

Peirce identificou e estabeleceu os fundamentos da Semiótica como uma disciplina autônoma que estuda a *semiose*, ou o fenômeno da ação do signo [MEYSEL 1995]. A Semiose, segundo Mary Keeler, é:

"uma concepção originalmente grega sobre a nossa habilidade em generalizar os objetos da experiência por mensuração, categorização e, simbolização para estabelecer as relações que permitam o crescimento contínuo e a propagação de idéias" [KEELER 1995].

A Semiótica expressa uma visão da experiência como dependente do signo [DEELY 1990]. A idéia é a seguinte: se não podemos construir o conhecimento sem o auxílio da experiência, também não poderemos construir a experiência sem o auxílio do signo. A seguir são apresentadas algumas definições para o conceito de signo.

Segundo Peirce, Signo, ou representámen⁵, é:

"algo que, sob certo aspecto ou de algum modo, representa alguma coisa para alguém" ⁶ [PEIRCE 1993].

Nas palavras de Meystel signo é:

"a invariância do formalismo de representação de conhecimento e comunicação" [MEYSEL 1995].

Segundo Pospelov, de acordo com os conceitos introduzidos por Morris [MORRIS 1947, 1971], signo é:

"um objeto que apresenta três propriedades: uma sintática, uma semântica e uma pragmática" [POSPELOV 1995].

A Lógica da Semiótica, diferentemente da Lógica Clássica, como enfatizado por diversos autores [TURSMAN 1995; MERREL 1996; PRUEITT 1997a], é similar à Lógica Quântica, cuja característica é aqui sintetizada na seguinte descrição das propriedades de um átomo:

"... as propriedades do átomo são vistas como um conjunto de possibilidades ou poten-

⁵ *Representámen* é o primeiro correlato de uma relação triádica que, embora empregado às vezes como sinônimo para signo, difere deste último quando o seu interpretante não é mental [SANTAELLA 1995].

⁶ Esclarecemos aqui que, para Peirce, este *alguém* não é necessariamente uma inteligência humana, mas corresponde à função de interpretante como uma generalização para intérprete [SANTAELLA 1995].

cialidades que vem a ser atualizadas na ocasião em que observamos o átomo.” [TURSMAN 1995]:

Prueitt, ao comentar sobre a lógica da Semiótica como uma Visão Unitária da Lógica (LUV) inspirada na lógica composicional da Química, expressa assim a relação entre a lógica dos Signos e a lógica dos compostos Químicos:

“... a visão peirceana de uma lógica dos signos foi inspirada na analogia entre a composição física de íons químicos por ligação e a composição de constructos lógicos e cognitivos por uma lógica relacional. Em ambos os casos, existe uma componente de associação no todo que é maior que a soma das partes. O composto emergente tem propriedades que não estavam presentes nas partes. Surge, dessa forma, a auto-organização. E mais: esta auto-organização é uma imposição de novos significados atribuídos aos componentes, quando associados.” [PRUEITT 1997],

Esta é a visão peirceana da química do universo mental, ou *fanerochemy*, como uma metáfora da química do universo material. Na interpretação do autor desta dissertação, esta visão deve ser compreendida como uma resposta aos postulados cartesianos da verdade evidente e da dúvida universal como um método de conhecimento, no qual a intuição é dada como pressuposta [SANTAELLA 1993]; é a cosmovisão semiótica dos processos mentais, vistos como cadeias infinitas de signos em um espaço de relações sígnicas. Esta visão de um mundo essencialmente relacional é, na compreensão do autor desta dissertação, melhor traduzida na cosmovisão quântica, que segundo Zannah Zohar:

“... enfatiza o relacionamento dinâmico como base de tudo o que existe. Diz que nosso mundo surge através de um diálogo mutuamente criativo entre mente e corpo (interior e exterior, sujeito e objeto), entre o indivíduo e seu contexto material e pessoal, e entre a cultura humana e o mundo da natureza. Dá-nos uma visão do ser humano como livre e responsável, reagindo aos outros e ao ambiente, essencialmente relacionado e naturalmente comprometido, e, a cada instante, criativo.” [ZOHAR 1990]

3.2.2 Qual o papel da experiência?

Peirce postulou que a tarefa da Lógica era a identificação, estudo e classificação dos mecanismos de inferência [PEIRCE 1995]. Na sua concepção, a primeira tarefa de um lógico era desenvolver um sistema de categorias a ser aplicados a todos os fenômenos em estudo. Contrariamente às distinções que faz a lógica formal entre as categorias lingüísticas *termo*, *proposição* e *argumento*, considerou essas categorias sob o ponto de vista dos signos. Uma análise semiótica destas categorias como signos revelam que são formas degeneradas de argumentos ou de inferências. Por exemplo, um termo contém uma proposição implícita; uma proposição

por sua vez contém um argumento privado de sua asserção. [ENGEL 1985]. Considerar que todos os objetos lingüísticos como signos, foi consequência da sua crença no caráter hipotético do conhecimento científico, pois sempre afirmou que "as hipóteses deveriam ser tomadas como signos deduzidos da experiência para dar significado aos aspectos do mundo" [SHANK 1994]. O papel da experiência é, portanto, prover os elementos necessários à ação do signo. Podemos observar aqui a natureza do comportamento inteligente como um produto das suas experiências nos mundos das experiências ordinárias, das experiências empíricas e das experiências formais [BRANDT 1995].

3.2.3 *Qual o papel do signo?*

Essencialmente, o mundo da experiência é criado por signos. Assim, a estrutura da experiência é uma rede infinita de signos, produto da interação do agente semiótico com a realidade à sua volta e da ação do signo que está no cerne dessa interação. Entretanto, o signo em si mesmo não se manifesta como um objeto. Manifesta-se antes como um padrão de inter-relacionamentos no qual os objetos se apresentam uns pelos outros na estruturação da experiência [DEELY 1990].

John Deely [DEELY 1990] nos alerta também que a compreensão do papel do signo na estruturação da experiência é uma das portas de entrada da Semiótica, que só é ultrapassada quando superamos a confusão derivada do fato de que todo signo pressupõe uma representação, mas que nem toda representação é necessariamente um signo. A seguir é apresentada uma de suas citações nesse sentido:

"uma representação pode ser de si mesma, ou de algo que não ela mesma. No primeiro caso, são objetos, e, somente no segundo caso, são considerados como signos."

Observa-se aqui que o mundo da experiência, ao mesmo tempo que envolve e estrutura os objetos existentes, estrutura-se também, e que, nesse processo permanente de auto-organização, a única coisa que permanece invariante é o papel do signo em prover a existência de objetos de tipos diferentes na estrutura da experiência. Isto é, o papel do signo é transformar objetos da realidade em objetos da experiência.

3.2.4 *Disciplinas da Semiótica*

Segundo Meystel a Semiótica é a arte baseada em signos para lidar com o pensamento e a linguagem, tal como representar e resolver problemas do mundo real, e em um sentido amplo, pode ser compreendida como:

"um campo teórico que analisa e desenvolve ferramentas formais para a aquisição, re-

apresentação, organização, geração, incremento, comunicação e utilização de conhecimento.” [MEYSTEEL 1995]

Segundo Peirce, a Lógica é apenas um outro nome para Semiótica, a quase-necessária, ou formal, doutrina dos signos, que em seu sentido geral, pode ser compreendida como:

“a ciência que está preocupada com o estudo e a análise formal dos signos e, principalmente, dos Símbolos.” [PEIRCE 1995]

Em outras palavras, a Semiótica tem como preocupação ordinária estabelecer as condições necessárias ao estudo analítico dos signos, com o objetivo de determinar

“quais devem ser os caracteres de todos os signos utilizados por uma inteligência científica.” [PEIRCE 1995]

Para dar conta das suas preocupações a Semiótica peirceana reflete na sua própria estrutura a concepção triádica do signo, sendo composta por três sub-disciplinas [PEIRCE 1995]:

- (i) a *Gramática Especulativa* que é a doutrina das condições gerais dos símbolos e dos outros signos que têm o caráter significante;
- (ii) a *Lógica Crítica* que é a teoria das condições gerais da referência dos símbolos e dos outros signos aos seus objetos manifestos; ou seja, é a teoria das condições da verdade; e
- (iii) a *Retórica Especulativa* que é a doutrina das condições gerais de referência dos símbolos e dos outros signos aos interpretantes que pretendem determinar.

3.2.5 As três categorias da experiência

Categorias são os conceitos mais gerais de um domínio de conhecimento. Através das categorias, todos os outros conceitos desse domínio são obtidos. Na Semiótica peirceana existem somente três categorias básicas aplicáveis a todos os fenômenos que ocorrem na construção da experiência. Elas são únicas e irredutíveis, e, como rudimentos da realidade, são responsáveis por todos os processos de significação. Ou seja, essas categorias são responsáveis por tudo que possa haver de existente na experiência. [DEELY 1990]

As três categorias básicas da Semiótica peirceana são: a *Primeiridade*, a *Secundidade* e a *Terceiridade*. Essas categorias correspondem aos mundos do *imaginável*, do *real*, e do *representável*, respectivamente. A unicidade de cada uma dessas categorias é consequência da aplicação de três critérios de separabilidade de um idéia de outra [KRUIJFF 1995]:

- (i) O primeiro critério é o da *dissociação*, que pode ser aplicado quando duas idéias estão apenas ligadas e podem ser representadas separadamente sem a perda de seu caráter pró-

prio;

- (ii) O segundo critério é o da *prescisão*, aplicado quando uma idéia pode ou não prescindir de uma outra idéia; e
- (iii) O terceiro critério é o da *distinção*, aplicado a idéias que, embora supostamente dependentes de outras idéias, ainda assim continuam distinguíveis.

Essas categorias não podem, portanto, ser dissociadas uma das outras. A Primeiridade pode prescindir da Segundidade e da Terceiridade; a Segundidade não pode prescindir da Primeiridade mas pode prescindir da Terceiridade; a Terceiridade não pode prescindir nem da Primeiridade nem da Segundidade. Apesar das três categorias estarem intimamente relacionadas, ainda assim são distinguíveis.

Assim, dentre as diversas formulações encontradas, na literatura semiótica, das categorias peirceanas, pela sua expressividade e simplicidade, nos interessamos pelas seguintes [NÖTH 1995]:

- (i) Primeiridade é a categoria do sentimento sem reflexão, da mera possibilidade, da liberdade, do imediato, da qualidade ainda não distinguida e da independência;
- (ii) Secundidade é a categoria da comparação, da ação, do fato, da realidade e da experiência no tempo e no espaço; e
- (iii) Terceiridade é a categoria da mediação, do hábito, da memória, da continuidade, da síntese, da comunicação, da representação, da semiose e dos signos.

3.2.6 O fenômeno da Semiose

São muitas as formulações que encontramos na literatura semiótica sobre o fenômeno da ação do signo. No nosso entendimento porém, a seguinte definição é uma das mais expressivas:

“A Semiose é o fenômeno da ação do signo. A ação do signo, que é a ação de ser interpretado, apresenta com perfeição o movimento autogerativo, pois ser interpretado é gerar um outro signo que gerará outro, e assim infinitamente, num movimento similar ao das coisas vivas” [SANTAELLA 1995].

Uma das possíveis formulações sobre o fenômeno da ação do signo é a de Meystel:

“Atualmente, o que chamamos processo de aprendizagem, em Semiótica é chamado semiosis” [MEYSEL 1997].

Uma outra formulação do fenômeno da Semiose bastante elucidativa declara que:

“o fenômeno da semiose é um processo no qual as três categorias jogam um papel simultaneamente” [LUBBE 1996].

Esta última formulação do fenômeno da Semiose explica o ciclo semiótico de conhecimento como uma metodologia de investigação na obtenção de conhecimento como postulado na Semiótica peirceana..

3.2.7 As relações e os modos sígnicos

O fenômeno da semiose é descrito como a ação dos signos ou como um processo de auto-geração do signo [SANTAELLA 1996].

Neste processo existe uma estruturação lógica. Uma relação de determinação onde elementos da mesma natureza (signos) são identificados pelo papel que exercem nessa relação. Essa relação é triádica e seus elementos exercem alternativamente os papéis de objeto, signo, ou interpretante. Ou seja, essa relação é uma estruturação lógica onde o objeto se deixa refletir no signo, que por sua vez deixa o objeto refletir-se num outro signo, que é seu interpretante. Dentro dessa concepção de semiose, nos deparamos com a emergência de um processo contínuo de crescimento, denominado *semiose ilimitada*, onde o signo é definido como “uma unidade lógico-estrutural dos processos contínuos de crescimento” [SANTAELLA 1995].

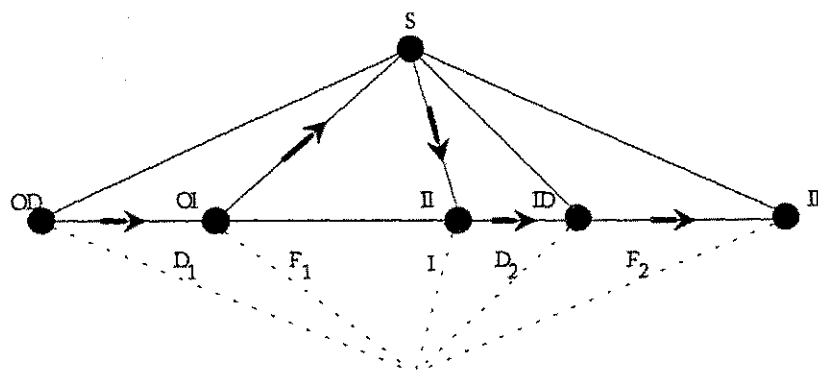


Figura 3.2: Os componentes do signo e suas inter-relações [LISZKA 1996]

Na figura 3.2, mostrada acima, podemos identificar os diversos elementos da semiose ilimitada. Pode-se observar que há uma regressão infinita tanto no lado do objeto dinâmico (OD) quanto no lado do interpretante final (IF). Estes dois extremos, porém, são inatingíveis, visto que existem apenas em termos ideais. Podemos observar também a existência de uma cadeia de signos que tem início no objeto imediato (OI) e no interpretante imediato (II) e se propaga numa série de interpretantes dinâmicos (ID). A semiose ilimitada nos coloca, assim, diante de dois modos de objetos (dinâmicos e imediatos) e três modos de interpretantes (imediato, dinâmico e final).

São inúmeras as relações sgnicas obtidas a partir do conceito de semiose como a ação dos signos. O processo de aplicar as categorias peirceanas às diversas relações sgnicas permitiu que Peirce identificasse e desenvolvesse diversas modalidades de signos [MAGALHÃES 1981; SANTAELLA 1992]. No entanto, dentre os diversas relações sgnicas, os modos de signos que mais atraíram a atenção de Peirce foram as relações envolvendo o signo consigo mesmo, o signo com o seu objeto, e o signo com o seu interpretante. A Figura 3.3 mostra esses modos e essas relações sgnicas.

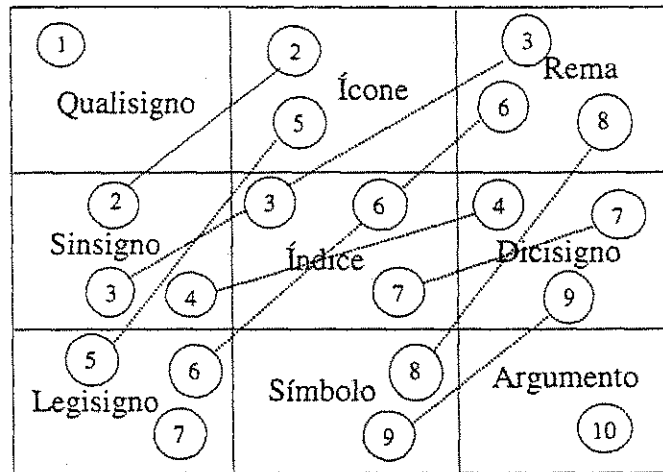


Figura 3.3: Relações entre as principais tricotomias peirceanas [MERREL 1996]

A seguir descreveremos o que se compreende por esses modos sgnicos como componentes das principais tríades peirceanas, como encontrado em [PEIRCE 1995]:

(i) O signo em relação a si mesmo:

- (1) *Qualisigno* é uma Qualidade, ou sentimento, que é um Signo;
- (2) *Sinsigno* é uma coisa, existente e real, que é um Signo; e
- (3) *Legisigno* é uma Lei, ou tipo geral, que é um Signo.

(ii) O signo em relação ao seu objeto:

- (1) *Ícone* é um Signo que se refere ao objeto que denota apenas em virtude de seus caracteres próprios, caracteres que ele igualmente possui, quer um tal objeto realmente exista ou não;
- (2) *Índice* é um Signo que se refere ao objeto que denota em virtude de ser afetado por esse objeto; e
- (3) *Símbolo* é um Signo que se refere ao objeto que denota em virtude de uma Lei, normalmente uma associação de idéias gerais que opera no sentido de fazer com que o símbolo seja interpretado como se referindo àquele objeto.

(iii) O signo em relação ao seu interpretante:

- (1) Rema é um Signo que, para seu Interpretante, é um Signo de Possibilidade qualitativa, ou seja, como representando esta ou aquela espécie de objeto possível;
- (2) Dicente é um Signo que, para seu Interpretante, é um Signo de existência real, ou seja, algo que se refere a um existente real; e
- (3) Argumento é um Signo que, para seu interpretante, é um Signo de Lei, ou seja, representa seu objeto em seu caráter de Signo.

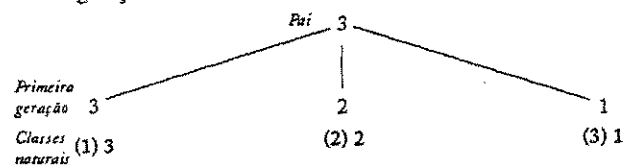
3.2.8 As classes básicas de signos

São dez as classes básicas de signos obtidas a partir da aplicação das categorias peirceanas às três tríades apresentadas no parágrafo anterior⁷. Desta forma, podemos agora, apresentar como na Figura 3.4, e em conformidade com as tricotomias peirceanas, uma interpretação dessas classes segundo os conceitos da semiótica (e não da *faneroscopy*).

Se considerarmos $R_i \in R$, onde R é o conjunto dos signos que são representâmens, $O_j \in O$, onde O é o conjunto dos signos que são objetos, $I_k \in I$, onde I é o conjunto dos signos que são interpretantes, e $\langle R_i O_j I_k \rangle$ como uma relação triádica envolvendo um signo, um objeto e um interpretante então as dez classes de signos básicas podem ser obtidas pela seguinte expressão matemática:

$$\text{Classes de Signos Básicas} = \{ \langle R_i O_j I_k \rangle \mid I_i \leq O_j \leq R_k, \text{ onde } 1 \leq i, j, k \leq 3 \}$$

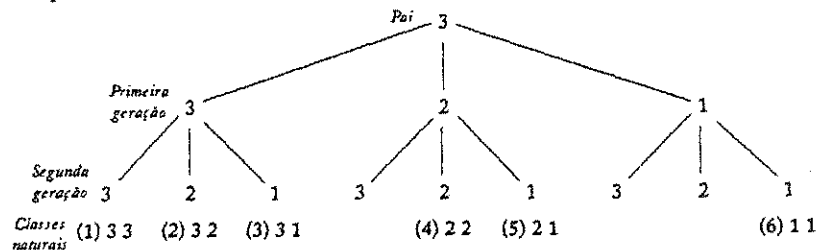
⁷ No nosso entendimento, a obtenção dessas classes são melhor compreendidas quando observamos o conceito de geração de signos operar na construção dessas classes, numa alusão à teoria da evolução, segundo as restrições impostas pela *faneroscopy* (o estudo da fanerochemy) através das ligações simples, dupla e tripla [TURSMAAN 1987]: Um único pai 3 dá origem à primeira geração.



Uma vez que não existem ancestrais para esta geração, não temos uma idéia do que existe à direita da seqüência obtida, por isso o resultado da primeira geração são as três classes naturais seguintes:

$$(1) 3 \quad (2) 2 \quad (3) 1$$

Após a primeira geração esse pai 3 continua e *então* uma Segunda geração é produzida, na qual serão consideradas somente aquelas classes que realmente obedecerem as restrições de ligações, as quais dão origem a seis classes naturais.



Esse pai 3, após a Segunda Geração, continua e então dá origem a mais três classes que, por obedecer as restrições de ligações, acomoda-se em dez classes naturais:

$$(1) 333 \quad (2) 332 \quad (3) 331 \quad (4) 322 \quad (5) 321 \quad (6) 311 \quad (7) 222 \quad (8) 221 \quad (9) 211 \quad (10) 111$$

Essas são as dez classes básicas obtidas a partir das três tricotomias peirceanas, por restrições impostas pelas categorias básicas.

(1)	Qualisigno icônico remático	≡	Tom icônico aberto
(2)	Sinsigno icônico remático	≡	Token icônico aberto
(3)	Sinsigno indicial remático	≡	Token indicial aberto
(4)	Sinsigno indicial dicente	≡	Token indicial singular
(5)	Legisigno icônico remático	≡	Tipo icônico aberto
(6)	Legisigno indicial remático	≡	Tipo indicial aberto
(7)	Legisigno indicial dicente	≡	Tipo indicial singular
(8)	Legisigno simbólico remático	≡	Tipo simbólico aberto
(9)	Legisigno simbólico dicente	≡	Tipo simbólico singular
(10)	Legisigno simbólico argumentativo	≡	Tipo simbólico formal

Figura 3.5: Ajuste das dez classes básicas de signos, onde <Qualisigno,Sinsigno,Legisigno> é substituído por <Tom,Token,Tipo> e <Rema,Dicente,Argumento> por <Aberto,Singular,Formal>.

$R_1O_1I_1$	(1)	Tom Icônico Aberto	<i>Intuição, presságio. Possibilidade de semelhança possível</i>
$R_2O_1I_1$	(2)	Token Icônico Aberto	<i>Sintoma. Semelhança possível.</i>
$R_2O_2I_1$	(3)	Tipo Icônico Aberto	<i>Metáfora, Analogia. Usar semelhanças para criar/descobrir regras possíveis.</i>
$R_3O_1I_1$	(5)	Token Indicial Aberto	<i>Vestígio, indício. Evidência possível.</i>
$R_3O_2I_1$	(6)	Tipo Indicial Aberto	<i>Diagnose, Cenário. Usar evidências para formar regras possíveis.</i>
$R_3O_3I_1$	(8)	Tipo Simbólico Aberto	<i>Explanação. Regra formal possível, explanação geral possível.</i>

Figura 3.6: Classes básicas de signos caracterizadas pela abdução

$R_2O_2I_2$	(4)	Token indicial singular	<i>Usar evidências de não probabilidade de ocorrência de hipótese, por nunca ou raramente haver ocorrido eventos dessa natureza. (Indução bruta)</i>
$R_3O_2I_2$	(7)	Tipo indicial singular	<i>Usar evidências de proporcionalidade de ocorrência de eventos, em outra classe, como regra de estimativa de hipótese. (Indução quantitativa)</i>
$R_3O_3I_2$	(9)	Tipo Simbólico singular	<i>Usar evidências de confirmação ou verificação de ocorrência de eventos, como regra formal de confirmação de hipótese. (Indução qualitativa)</i>

Figura 3.7: Classes básicas de signos caracterizadas pela indução

$R_3O_3I_3$	(10)	Tipo Simbólico Formal	<i>Explorar conseqüências lógicas a partir das premissas. (Dedução corolarial e diagramática)</i>
-------------	------	-----------------------	---

Figura 3.8: Classes básicas de signo caracterizadas pela dedução

3.3 Aspectos formais

3.3.1 Uma arquitetura para a formação de conceitos

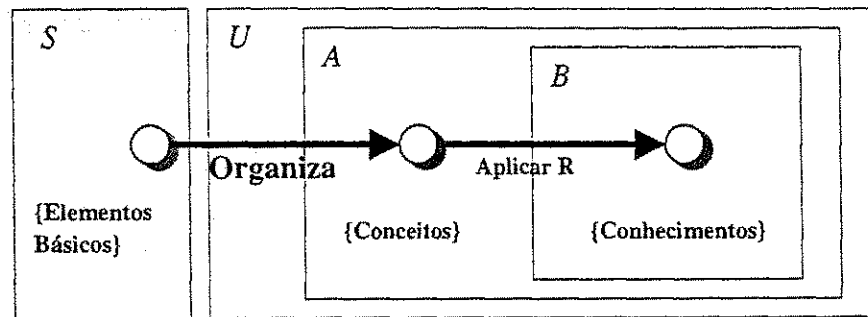
A natureza essencial de toda e qualquer linguagem está no seu caráter de composicionalidade e estruturalidade. A Semiótica, segundo Santaella, "é a ciência que tem por objeto de investigação todas as linguagens possíveis" [SANTAELLA 1983]. Subjacente à Semiótica de Peirce, está a idéia de uma lógica composicional de constructos lógicos como um sistema de relacionamentos e restrições sobre esses relacionamentos. Esta idéia é a base da Teoria Quase-Axiomática (TQA) desenvolvida por V. K. Finn [FINN 1991], usando os métodos lógicos de J. S. Mill. A TQA é, por sua vez, utilizada no Controle Situacional e Modelo Semiótico de D. Pospelov [POSPELOV 1986]. Estes métodos de raciocínio utilizam conjuntos de regras dedutivas e abduativas, formalmente suportadas pela TQA, na construção de um modelo situacional para um tipo de evento que ocorre regularmente. A Análise Situacional é baseada em conhecimento específico, derivado de exemplos positivos e negativos e do relacionamento entre causas de uma situação e suas propriedades. É a TQA que requer a construção de um tipo especial de base de conhecimento. Esta base será construída utilizando-se os métodos lógicos de Mill para a decomposição dos exemplos em positivos e negativos. A análise do Relacionamento Estrutural da Atividade (REA), realizada situacionalmente, é então conduzida sobre a classe de tipos desenvolvida a partir desta decomposição.

Segundo P. Prueitt [PRUEITT 1997], a teoria dos grafos existenciais de Peirce provê um método diferente de agregação de conceitos que será explorado de alguma forma. Neste caso, a definição relacional de conceitos pode ser desenvolvida onde uma correspondência a subconjuntos do conjunto de átomos básicos armazenados é uma base de índices (S). A partir do conjunto de todas as agregações combinatórias possíveis de unidades básicas, um espaço virtual (U) é produzido. Através da Análise Qualitativa do Relacionamento Estrutural da Atividade de alguns subconjuntos desses átomos agregados em U , produz-se um conjunto de conceitos (A). Se existe uma base de conhecimento (B) independente, então pode-se fazer um mapeamento de conceitos e grafos contendo múltiplos conceitos relacionados a uma base de índices (S). Na figura 3.9, isto é representado como uma especificação significativa de unidades sintagmáticas $\langle a, r, b \rangle$ onde a e b são palavras-chave, e r é um relacionamento.

A formação de conceitos usando Análise Qualitativa do Relacionamento Estrutural da Atividade (AQREA) é representada na figura 3.9.

Ainda segundo Prueitt, conceitos podem ser definidos como localizações não contextualizadas dentro de um grafo, onde as ligações relacionais são membros de um pequeno nú-

mero de tipos relacionais. O resultado desta estratégia é a obtenção de uma linguagem situacional, composta de sintagmas e cadeias sintagmáticas. A questão prática é que essas definições relacionais de conceitos têm um índice compacto capaz de retornar a referência direta para o espaço de tipos relacionais e então retornar para os dados de origem. E, naturalmente, evidencia a existência de uma teoria madura da linguagem que identifique tipos naturais e organize esses tipos em um sistema de representação relacional.



- S = Conjunto de elementos básicos (*índice*({palavras-chave, estatísticas}))
- U = Universo de todas as agregações combinatórias possíveis do conjunto de elementos básicos
- A = Conjunto de conceitos = $\{\{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \{b_1, b_2, \dots, b_m\}, \dots\}$
- R = Conjunto de relacionamentos
- B = Conjunto de conhecimentos = $\{(a_{i1}, r_1, a_{j1})_1, \dots, (a_{ik}, r_k, a_{jk})_k, \{(a^1, r^1, b^1), \dots, (a^r, r^r, b^r)\}$

Figura 3.9: Formação de conceitos usando AQREA

A arquitetura para a agregação de conceitos como mostrada na figura 3.9, pode ser interpretada como uma projeção de um espaço de situações possíveis sobre um espaço de análise situacional. Nela também, é requerido modelar uma teoria da inferência que encontra suas raízes históricas no trabalho de Peirce e Mill. Na figura 3.10, as letras D, A e I correspondem a dedução, abdução e indução respectivamente.

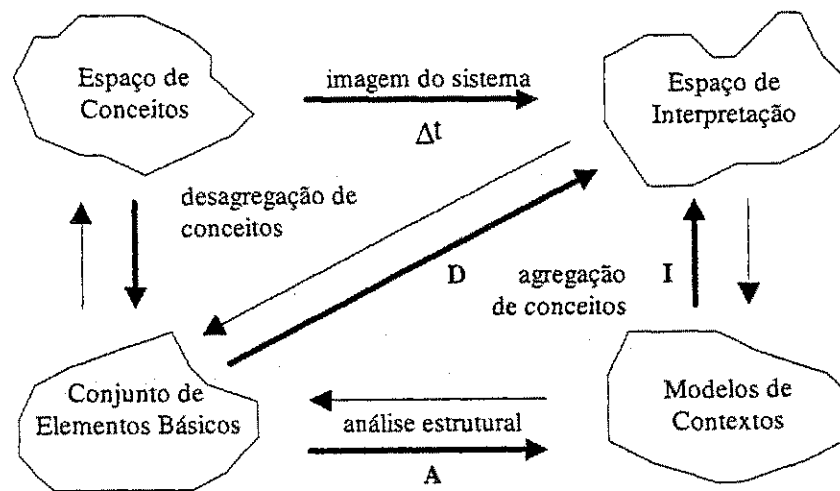


Figura 3.10: Uma arquitetura para a formação de conceitos

Esta arquitetura completa requer modelos onde a imagem do sistema provê uma restrição para todos os outros processos que ocorrem em paralelo. Para um sistema perceptual, a imagem do sistema é determinada pela capacidade de auto-reflexão. Para sistemas icônicos, a imagem do sistema pode ser suprida como uma perturbação durante o processo de agregação e desagregação.

Relacionamentos entre tipos naturais podem ser identificados como ligações entre nodos em um formalismo [PRUEITT 1997]. (por exemplo: Esquema Mental [SALLANTIN 1991], Modelo Semiótico [POSPELOV 1986])

Na figura 3.10, o ciclo semiótico de conhecimento é usado na agregação de conceitos a partir de um conjunto de elementos básicos de um sistema de signos, onde representações icônicas, indiciais e simbólicas são usadas no processo de desagregação, análise do relacionamento estrutural da atividade, e agregação de componentes estruturais, de tal forma que estes componentes possam ser interpretados situacionalmente.

Segundo Prueitt, é possível modelar a evolução de uma situação bem compreendida. No entanto, em situações dinâmicas, ou em situações estáticas em contextos desconhecidos, somente é possível representar a evolução de uma situação se uma Cibernética de segunda ordem⁸ está disponível. Esta é requerida para capturar a seqüência dos ciclos de percepção de uma ação regular como parte de uma classe definida de situações [PRUEITT 1997].

3.3.2 Modelo Semiótico

No Controle Situacional (CS) de Pospelov [POSPELOV 1986], a utilização da Semiótica é caracterizada pela existência de um módulo de interpretação de um conjunto aberto de regras de controle em sistemas baseados em modelos simbólicos. Estes sistemas de controle, denominados semióticos, são formalizados a partir da idéia de sistemas formais, como se mostra a seguir. Neles está implícito a construção de uma base de conhecimento reconstrutível baseada em signos que são, segundo Pospelov, objetos caracterizados por uma sintaxe (sua expressão), uma semântica (seu significado) e uma pragmática (sua utilização).

Ainda segundo Pospelov, os objetos complexos que têm características a seguir, não podem ser controlados por métodos de controle convencionais:

- (i) *Unicidade* - o objeto de controle tem uma estrutura e função única que nenhum modelo padrão de controle pode ser aplicado;

⁸ *Cibernética de segunda ordem* são conjuntos de transformadas para modificação de regras relativas a uma classe de situações [PRUEITT 1997].

- (ii) *Ausência de um propósito de existência formalizável* - nem sempre é possível formular um objetivo exato de existência de um objeto de controle. Por exemplo, quando se observa a existência de uma grande cidade, é praticamente impossível formular precisamente seus propósitos.
- (iii) *Dinâmica* - os objetos de controle mudam com o tempo. O sistema de controle deve ser adaptativo às mudanças do objeto de controle.
- (iv) *Incompletude da descrição* - é impossível prover informações completas sobre um objeto de controle.
- (v) *Presença de espontaneidade* - objetos de controle incluem pessoas como parte do sistema. Pessoas atuam no sistema com suas próprias metas pessoais, que nem sempre estão em acordo com o objeto de controle ou do tomador de decisão.

CS é focalizado sobre o controle de sistemas onde é difícil descrever a estrutura específica e o funcionamento do objeto; onde o comportamento de pessoas tem um impacto imprevisível sobre o sistema; e onde o sistema evolui através do tempo, com crescimento da complexidade. Em geral, CS quantifica para compreender uma situação, classificar uma situação, e transformar uma situação através de ações atômicas.

Um modelo semiótico é definido como um sistema baseado em conhecimento reconstituível. A seguir apresenta-se a formalização de Pospelov para um modelo semiótico a partir da idéia de modelo formal.

Por um modelo formal, deve-se compreender uma coleção de quatro conjuntos: conjunto de elementos básicos T , conjunto de regras sintáticas P , conjunto de axiomas A e conjunto de regras semânticas R ., conforme a Figura 3.11.

Portanto o sistema formal (F) é dado como

$$F = \langle T, R, A, P \rangle$$

Um sistema formal tem as seguintes propriedades:

- (i) São geradores autônomos de fórmulas dedutíveis. Quando axiomas e regras de inferências são dadas, estes sistemas autonomamente geram o conjuntos de coleções dedutíveis;
- (ii) O conjunto de fórmulas dedutíveis não muda, exceto quanto à sua ordem;
- (iii) Durante o processo de geração, o conjunto de axiomas e de regras de inferência não mudam;
- (iv) As regras sintáticas influenciam na seleção de um axioma, uma vez que os axiomas são

fórmulas bem estruturadas; e

- (v) A interpretação de um sistema formal não é modificável; as regras R providas são fixadas.

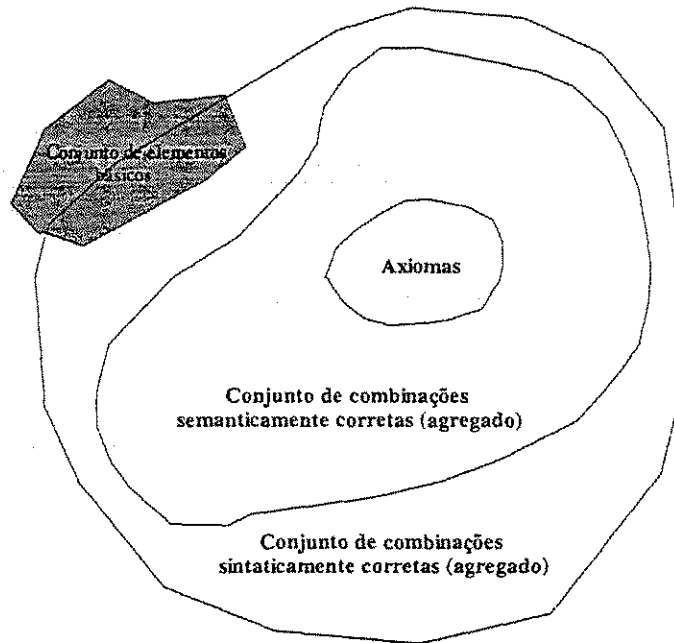


Figura 3.11: Resultado da geração autônoma de um sistema formal [POSPELOV 1985]

Esta lista de propriedades define a capacidade deste tipo de modelo. Para sistemas de controle mais complexos, nem todas estas propriedades são satisfatórias. Por exemplo, durante o processo de funcionamento, o tipo de regras de inferência pode mudar. É natural que as outras partes de um sistema formal possam também mudar, de tal modo que se possa conceber outros tipos de modelos, por exemplo, os Modelos Semióticos.

Um Modelo Semiótico (MS) S é definido como:

$$S = \langle F, \chi(T), \chi(R), \chi(A), \chi(P) \rangle$$

onde:

- $\chi(T)$ é um conjunto de ações que modifica T , isto é, uma mudança de concepção;
- $\chi(R)$ é um conjunto de ações que modifica R , isto é, provoca mudanças de regras de generalização e de transição para novos conjuntos de signos;
- $\chi(A)$ é um conjunto de ações que modificam A , isto é, uma modificação da base de conhecimento;
- $\chi(P)$ é um conjunto de ações que modificam P , isto é, transições para novas regras.

Um MS pode ser interpretado como o conjunto universal de todos os sistemas formais para alguma área de problema (AP). $\chi(T)$ reflete o processo de visão conceitual sobre AP, $\chi(P)$ a aprendizagem própria, $\chi(A)$ o ajuste dinâmico de modelos, e $\chi(R)$ a adaptação de AP.

$\chi()$ é um operador capaz de introduzir mudanças ao conjunto associado. É importante notar que as regras $\chi()$ não são definidas a priori; elas dependem das situações que aparecem no processo de modelagem. Caso contrário, o MS não difere de um sistema formal.

MS implica em três estágios de resolução de problemas na mesma AP. No primeiro deles, nasce um problema de processar representação conceitual. No segundo, está a própria solução do problema. E no terceiro, é interpretado o resultado no contexto de AP. Sistemas formais (modelos e métodos matemáticos, por exemplo) implicam somente o segundo estágio, i.e. a própria solução do problema. Pode-se dizer que MS é um conjunto de procedimentos baseado sobre interpretações de todas as essências de AP. Os sistemas formais, ao contrário, não usam estas interpretações, uma vez que lidam com declarações formais de problemas.

Modelo Formal	Modelo Semiótico
Fechado	Aberto
Existe um procedimento efetivo de distinção para $T, R(T)$, e $P(A)$	Não existe um predicado de distinção numa forma evidente
Existe somente a dinâmica interna	Existe uma dinâmica externa definida por suas relações externas

Figura 3.12: Características sumarizadas dos modelos formais e semióticos.

3.3.3 Teoria Quase-Axiomática (TQA)

Projetar um MS para um sistema aberto, segundo Zabezhailo [ZABEZHAÏLO 1997], em muitos casos significa prover habilidades para processar dados de tipos diferentes descrevendo um problema aberto (descrito de forma parcial, não fechada, etc.) de um domínio de conhecimento. Em outras palavras, significa que o sistema deve garantir as seguintes características:

- (i) habilidade (para o sistema controlador e para o modelo em construção) em aprender por experiência (e.g., a partir de exemplos positivos e negativos de decisões anteriores).
- (ii) habilidade em processar dados de diferentes tipos (e.g., simbólicos e numéricos, estruturados e desestruturados, textual e gráficos, etc.).

Para projetar estas características requeridas para um MS, Pospelov [POSPELOV 1997] utilizou a formalização da TQA. Uma TQA pode ser caracterizada pela estrutura

$$\Gamma = \langle \Sigma, \Sigma', R \rangle$$

onde:

- Σ é um conjunto de axiomas (descrevendo o estado corrente do objeto sob investigação e o sistema controlado. Falando grosseiramente, é um conjunto de (*restrições de*) *dependências empíricas*, ou leis de invariância, descrevendo uma situação sob análise);
- Σ' é um conjunto de declarações empíricas (i.é., fatos elementares) caracterizando conhecimento empírico (e.g., exemplos de decisões tomadas previamente, etc.);
- R é um conjunto de regras de raciocínio consistindo de duas partes

$$R = R_r \cup R_p$$

onde:

- R_r é um conjunto de regras de inferência seguras (e.g., regras de inferência dedutiva);
- R_p é um conjunto de regras de raciocínio plausível (e.g., variantes de regras de raciocínio por analogia, regras de raciocínio de "senso comum", regras de raciocínio abduativo, etc.).

Segundo Zabezhailo, o desafio atual é prover um MS de um sistema aberto, das seguintes características:

- (i) estar apto a aprender (usando regras de raciocínio a partir de R) novas dependências empíricas a partir de "exemplos" (i.e., a partir de elementos de Σ') e
- (ii) estar apto a usar estas novas dependências (i.e., extensão de Σ a partir de Σ' por R) na "compreensão" e "processamento" de novas situações (i.e., controlar atividades em novas situações) para o sistema aberto em análise.

Estes requerimentos para um MS são formalizados por meio da QAT e do método-JSM (John Stuart Mill) de aprendizagem de máquinas. Esta tecnologia, segundo Zabezhailo, é introduzida na concepção de sistemas inteligentes para implementar uma síntese de procedimentos cognitivos. Ainda segundo Zabezhailo, esta tecnologia é baseada em um formalismo matemático sofisticado e original de aprendizagem indutiva. Este formalismo matemático provê uma cooperação das seguintes técnicas de raciocínio:

- (i) formalização construtiva de raciocínio abduativo (no sentido de Peirce);
- (ii) formalização construtiva de raciocínio indutivo (no sentido de Mill);
- (iii) dedução automática; e
- (iv) raciocínio formalizado por analogia.

Capítulo 4

Sistemas inteligentes: uma perspectiva semiótica

Neste capítulo, apresenta-se as abordagens deliberativas e reativas de concepção de sistemas inteligentes, evidenciando os pressupostos e as críticas que recebem essas abordagens na literatura científica. Apresenta-se também a abordagem semiótica como uma alternativa para a solução dos problemas identificados nestas abordagens, já que a mesma pretende oferecer um modelo de inteligência capaz de integrar as abordagens deliberativa e reativa. A Semiótica será mostrada numa abordagem multiresolucional, abordagem essa decorrente de uma arquitetura / modelo semiótico de referência.

4.1 As abordagens de sistemas inteligentes estudadas

As abordagens de sistemas inteligentes estudadas nesta dissertação podem ser identificadas com aquelas baseadas na compreensão dos mecanismos de aquisição, de aprendizagem e de interpretação de sistemas de representação de conhecimento segundo a metodologia científica [SALLANTIN 1990a, 1990b; FINN 1990, 1997; POSPELOV 1985, 1995; MEYSEL 1995, 1997]. Os trabalhos aqui citados, exploram de alguma forma a metodologia de descoberta na ciência proposta na Semiótica de Peirce e na Lógica Situacional de Popper. Objetiva-se assim, a compreensão de sistemas inteligentes com a capacidade de aprender pela sua própria experiência. Esta capacidade é responsável também por uma maior autonomia de comportamento desses agentes inteligentes. Nela está implícita na utilização da extração de significados, pela geração e seleção de hipóteses conjecturais subjacente à metodologia semiótica.

A concepção de sistemas de representação de conhecimento, segundo A. Newell [NEWELL 1982], exige modelos organizados por níveis de significação, onde cada nível dispõe de uma simbolização do conhecimento com autonomia conceitual e organizacional próprias. Num destes modelos, por exemplo, os níveis propostos são: *lingüístico*, *conceitual*, *ontoló-*

gico, epistemológico, lógico e operatório [GUARINO 1994]. Neste modelo, o nível *conceitual* define o vocabulário de uma linguagem, o nível *ontológico* traduz essas definições em um sistema de asserções, o nível *epistemológico* traduz esse sistema de asserções em expressões lógicas e o nível *lógico* traduz essas expressões lógicas em expressões computáveis. Segundo Sallantin, a ontologia é uma especificação de uma conceituação. Este nível permite passar de uma interpretação subjetiva para uma interpretação arbitrária levando portanto a uma interação objetiva que intervém na produção de sentido [SALLANTIN 1997].

Na IA, a concepção de agentes inteligentes segundo o modelo de representação em níveis de significação pode ser desenvolvido segundo as abordagens denominadas *deliberativa* e *reativa*. A existência dessas abordagens é uma consequência de visões conflitantes na concepção de agentes inteligentes. Dado o nosso interesse pela semiótica de concepção de agentes inteligentes com a capacidade de integrar comportamentos tanto deliberativo quanto reativo, a seguir apresenta-se as principais características de cada uma dessas abordagens [MAES 1991; BROOKS 1991; WROBEL 1996]. Em seguida, apresenta-se a semiótica como uma alternativa de modelagem de sistemas inteligentes [MEYSTEEL 1994, 1995a, 1995b, 1996, 1997].

4.2 Sobre as abordagens deliberativa e reativa

Na abordagem deliberativa, a ênfase é colocada sobre o conhecimento explícito, a escolha racional e a resolução de problemas, assim como sobre seu programa de reprodução da inteligência humana segundo a hipótese dos Sistemas de Símbolos Físicos (*Physical Symbol Systems* [NEWELL 1975]). A tese implícita desta abordagem é que a inteligência opera sobre um sistema de símbolos; o sistema de percepção é um conjunto de símbolos sobre os quais opera o sistema de inteligência central, ou máquina de inferência, onde o significado não tem importância, mas sim a coerência que emerge do sistema quando um observador conhece os fundamentos dos símbolos (tokens). Em um certo sentido, os símbolos representam entidades no mundo, tais como objetos individuais, propriedades, conceitos, desejos ou emoções. Todavia, estes objetos são, essencialmente, entidades nomeadas e tipadas, caracterizando relacionamentos (types). Dessa forma, o sistema de inteligência central lida com símbolos que devem ser alimentados pela percepção. Assim, pode-se conhecer objetivamente, por descrição simbólica, o mundo à nossa volta. Esse pressuposto tem pressionado a busca por sistemas mais complexos, levando a problemas teóricos ainda insatisfatoriamente equacionados, tais como o *Problema dos Frames* (o problema de representar o que permanece sem alteração como resultado de uma ação ou evento). Este problema em particular é gerado pela necessidade de conhecimento explícito, e pela complexidade da utilização das lógicas modais na construção de sistemas de crenças, frutos da visão parcial de um mundo dinâmico e de nature-

za caótica. [MAES 1991; BROOKS 1991]

Por outro lado, a abordagem reativa busca uma resposta aos resultados insatisfatórios obtidos na construção de agentes autônomos pela abordagem deliberativa. Ela é uma “reação” ao modo de se conceber sistemas inteligentes nas últimas três décadas de investigações na IA. Essa abordagem propõe a concepção de agentes autônomos com ênfase no acoplamento da percepção com a ação. A idéia agora é que uma funcionalidade é uma propriedade que emerge da interação intensiva entre as partes de um sistema entre si e da interação do sistema com o seu ambiente, dinâmico por natureza. Nessa abordagem, considera-se que apenas a descrição simbólica do comportamento não explica todas as funcionalidades observadas em um agente autônomo, visto que essas funcionalidades são inteiramente dependentes do ambiente. Enfatiza-se também que o ambiente não deve ser considerado somente quanto ao seu aspecto dinâmico, mas sim que todas as suas características devem ser exploradas para assegurar o funcionamento do sistema. Em outras palavras, o melhor modelo do ambiente para um agente autônomo é o seu próprio ambiente. Nessa abordagem, não existe um modelo global interno nem uma atividade de planejamento global com uma estrutura hierárquica orientada a objetivos. O comportamento do agente não é, portanto, gerado por decomposição funcional do comportamento esperado, mas sim a partir de uma descrição de suas entradas (por exemplo, uma tabela de situações-ações). Essa abordagem tem como pressuposto básico a hipótese dos Fundamentos Físicos, em resposta ao *Problema dos Fundamentos Físicos* (The symbol grounding problem¹⁰ [WROBEL 1994]), não contemplado na abordagem deliberativa [MAES 1991; BROOKS 1991].

Resumindo, a abordagem deliberativa usa uma representação do ambiente externo de modo explícito, diferentemente da abordagem reativa, que usa uma representação do ambiente externo de modo implícito. A abordagem deliberativa, por adotar a hipótese dos símbolos físicos, não consegue porém desvencilhar-se de problemas cuja solução tem levado a sistemas demasiadamente complexos. A abordagem reativa, ao colocar que a emergência da inteligência é determinada somente pela interação do sistema com um ambiente dinâmico, deixa escapar importantes instrumentos de controle do comportamento esperado para o sistema, principalmente o potencial da utilização de um modelo interno para a geração e teste de planos globais de ação.

¹⁰ Segundo J. Albus, *symbol grounding* se refere ao problema de se estabelecer e manter correspondência entre símbolos numa estrutura de dados e coisas no mundo [ALBUS 1997].

4.3 A Semiótica na concepção de sistemas inteligentes

A Semiótica, como uma nova abordagem na concepção de sistemas inteligentes, é uma atividade de pesquisa em curso no domínio do Controle Inteligente. Esta tendência na concepção de sistemas inteligentes se pode constatar pelo número de *workshops*, congressos e outros eventos contemplando o tema Semiótica e Sistemas Inteligentes, nos últimos dois anos, patrocinados por instituições de pesquisa tais como o *National Institute of Standards and Technology* - NIST (ISAS'96, ISAS'97), o *Institute of Electrical and Electronic Engineers* - IEEE (ISIC'95, ISAS'97), o *National Science Foundation* - NSF (ISAS'97), o *Army Research Office* - ARO (ISAS'97), nos Estados Unidos, e a *European Community of Artificial intelligence* - ECAI (ECAI'95, ECAI' 96). A seguir, destaca-se algumas citações neste sentido.

A. Meystel, mostra que as relações estabelecidas entre a Semiótica e as outras disciplinas da Ciências são as de Meta-linguagem e dialetos da Semiótica:

“Diz-se que a Matemática é a linguagem da Ciência. Sim, mas ela usa a Semiótica como sua ferramenta, a Meta-linguagem. A Semiótica abastece com sua Meta-linguagem todas as disciplinas da Ciência que são, portanto, dialetos da Semiótica. A Semiótica é a Matemática que aspira por *symbol grounding*. A Semiótica é a matemática que não delega *symbol-grounding* para os engenheiros. A Semiótica é a matemática que lembra que todas as teorias axiomáticas são justamente alternativas de simulação do mundo ou para simulação do mundo. Ela ensina a engenheiros como realizar *symbol grounding* depois que uma simulação está concluída.” [MEYSEL 1997]

Albus, mostra qual a importância da abordagem Semiótica na concepção de sistemas inteligentes:

“... a combinação de Controle em Tempo-Real e Semiótica nos habilitará a construir sistemas com mais inteligência para aplicações práticas. A Semiótica nos dará uma melhor compreensão de semântica, pragmática, causalidade, lógica, inferência, probabilidade, e plausibilidade. Por sua vez, a Teoria do Controle Inteligente em Tempo-Real nos dará uma melhor compreensão acerca da percepção e processamento de dados sensoriais no conhecimento sobre o mundo e como usar este conhecimento para planejar e controlar comportamentos. Combinados, estes dois campos distintos provêm compreensões sobre a melhor maneira de adquirir, representar, e usar conhecimento e como transformar conhecimento em ações que produzam contribuições reais para o benefício da sociedade.” [ALBUS 1997]

Pospelov, criador do Controle Situacional e Modelo Semiótico, mostra qual a pers-

pectiva da Semiótica na concepção de sistemas inteligentes:

“Sistemas de Controle que se apoiam na Modelagem Semiótica são basicamente abertos. Eles podem sempre crescer por adição de novas informações. Estas informações podem ser acumuladas pelo próprio sistema durante seu funcionamento ou alimentadas por especialistas. A qualidade do controle usando Modelos Semióticos é completamente determinada pela experiência total colocada nele por todos os especialistas que tomaram parte na formação do modelo de conhecimento do sistema e pela experiência individual obtida pelo sistema durante seu funcionamento. Isto mostra que o efeito obtido da operação de tal sistema é sempre superior, ou no mínimo equivalente à ação de controle realizada pelo especialista mais experiente.” [POSPELOV 1995]

Segundo Meystel [MEYSTEEL 1995], a abordagem semiótica permite explicar a maioria dos processos característicos dos sistemas inteligentes. Na abordagem da Semiótica Multiresolucional, o fenômeno da inteligência é mostrado como resultado do funcionamento conjunto de três operadores: agrupamento (*Grouping*), focalização de atenção (*Focusing Attention*) e pesquisa combinatorial (*Combinatorial Search*) - GFACS. Estes três operadores são tidos como uma unidade de inteligência. Na sua concepção, quando informações são processadas pelo GFACS, dão origem a um sistema multiresolucional de conhecimento e dele emergem ciclos "aninhados" de processamento de conhecimento.

4.4 Um modelo semiótico de referência

Albus propôs uma arquitetura modelo de referência para o estudo de sistemas inteligentes que apresenta um conjunto interrelacionado de princípios semióticos característicos da inteligência natural [ALBUS 1991,1995]. Segundo ele, para que uma arquitetura de inteligência possa ser considerada um modelo de referência, deve possuir as seguintes propriedades:

- (i) Deve ser aplicável tanto à inteligência natural quanto à inteligência artificial, sem contradições ou paradoxos. Além disso não deve apelar para tecnologia ainda não existentes. Ela deve estar coerente com os resultados contemporâneos nas áreas da neurobiologia, da psicologia, e da psicofísica. Deve ainda prover um ambiente conceitual para compreensão tanto da inteligência natural como da artificial. Deve finalmente sugerir uma metodologia de engenharia para projetar sistemas e processos em larga escala.
- (ii) Deve mostrar como integrar comportamentos deliberativos e reativos numa única arquitetura. Deve conter mecanismos deliberativos que possam raciocinar sobre o passado, gerar planos e estratégias para o futuro, visando alcançar as metas almejadas. Deve conter também mecanismos que gerem reações imediatas às condições percebidas.

- (iii) Deve ser capaz de representar conhecimento, icônica ou descritivamente, acerca do mundo tanto na memória de curto como na de longo prazo. Deve explicar com abundância de informações o que necessita ser processado, armazenado, e atualizado. Deve usar o conhecimento armazenado para prever o resultado de planos alternativos, gerar expectativas a respeito das entradas sensoriais, e responder a eventos inesperados.
- (iv) Deve ser capaz de processar sinais a partir dos sensores para obter conhecimento de relacionamentos e situações, e de armazenar tal conhecimento numa forma representacional que possibilite raciocínio lógico e tomadas de decisão

RCS (Real-time Control System), a arquitetura modelo de referência proposta por Arbib, consiste de um conjunto de nodos processados hierarquicamente em níveis e conectados por uma rede de comunicação. Dentro de cada nodo, os seguintes módulos de processamento são distinguidos: Processamento Sensorial (PS), ou Percepção, Modelo do Mundo (MM), Geração de Comportamento (GC), e Julgamento de Valor (JV), conforme a Figura 4.1.

No modelo RCS, o módulo modelo do mundo (MM) contém e mantém um banco de conhecimento constituído da melhor estimativa do sistema para o estado do mundo (M). Os nodos também são servidos por um sistema de comunicação.

Cada nodo define um agente atuando a um nível particular de resolução. Os agentes de mais baixo nível trabalham sob supervisão de uma agente de mais alto nível. Cada um dos agentes de mais baixo nível é considerado um subagente para o agente de mais alto nível. No nível da base, agentes incluem em sua arquitetura: Atuadores (A), que agem sobre o mundo; e Sensores (S), que monitoram o Mundo e provêm dados sensoriais para o módulo processamento sensorial (PS) do nível da base.

Em todos os níveis, agentes processam entradas de sensores, ou a partir de módulos PS e MM de mais baixo nível; eles estimam o estado do Mundo como percebido a partir do seu nível de resolução; eles aceitam comandos de realização de tarefas (incluindo metas) dos agentes de mais alto nível e fecham o ciclo de controle. A cada nível, o conhecimento é representado numa forma particular. Essa representação inclui procedimentos de resolução espacial e temporal que reúnem os requerimentos de processamento do nodo. Cada nível é caracterizado por um limite temporal, por um tipo de decomposição de tarefas, por um intervalo de integração temporal de dados sensoriais, e por um intervalo de integração espacial. A cada nível ainda, informações são extraídas do fluxo de dados sensoriais visando capturar um modelo acurado e atualizado do mundo.

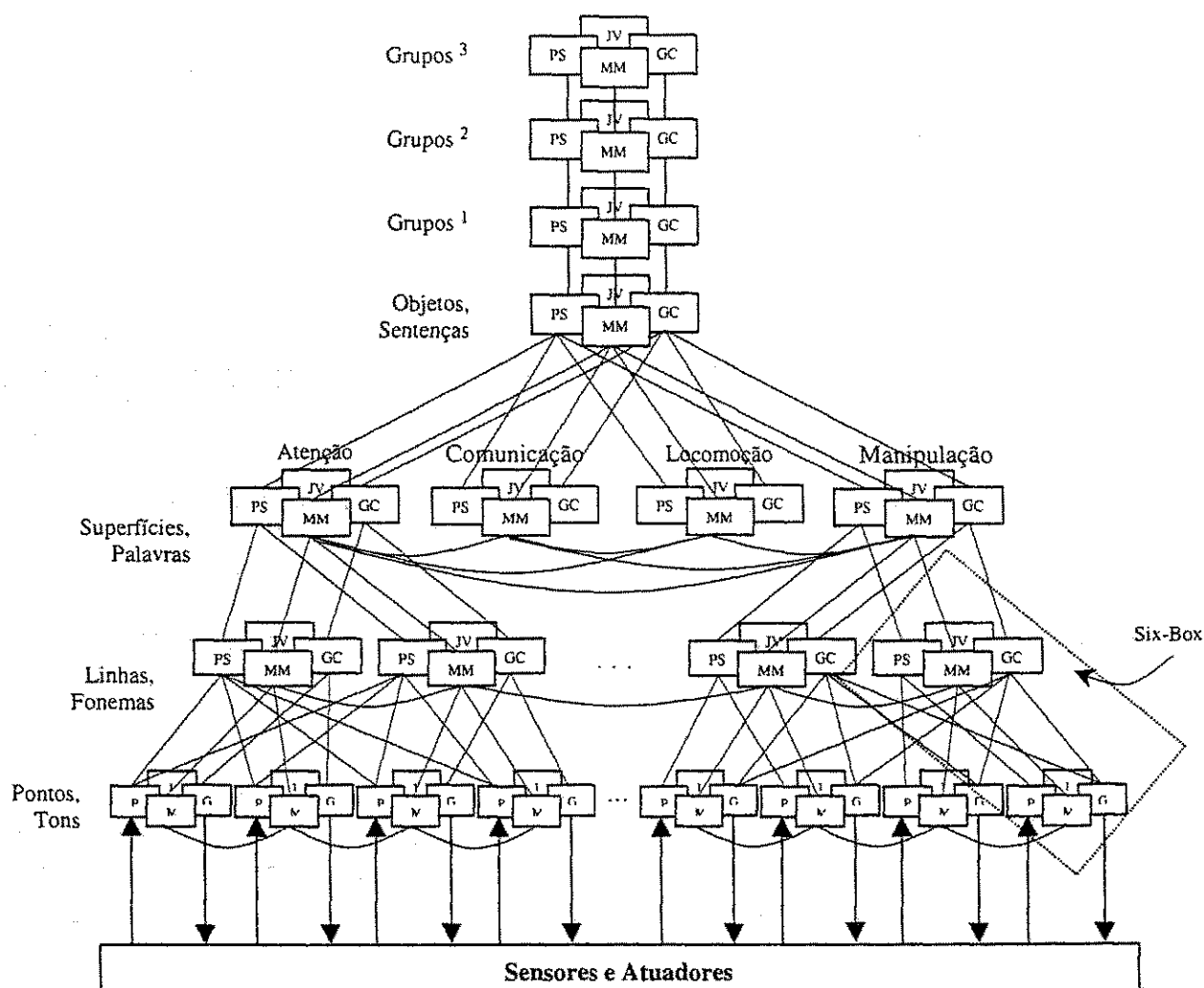


Figura 4.1: Arquitetura modelo de referência RCS para sistemas inteligentes

Em cada um dos níveis, dados sensoriais são processados, entidades são reconhecidas, representações do modelo do mundo são atualizadas, e tarefas são deliberativamente decompostas em subtarefas paralelas e sequenciais, para serem realizadas por conjuntos de agentes subordinados cooperantes. A cada nível, retroalimentação de sensores executam reativamente o ciclo completo de controle, permitindo a cada agente responder e reagir a eventos inesperados. A cada nível, tarefas são decompostas em sub-tarefas e sub-metas, e o comportamento é planejado e controlado. O resultado é um sistema que combina e distribui informação de controle reativa e deliberativa através de toda a arquitetura hierárquica, com as capacidades reativas e planejadas rigorosamente integradas em todos níveis de resolução espacial e temporal.

Na figura 4.2, um sistema de controle inteligente é apresentado segundo a arquitetura modelo de referência proposta por Albus. Neste sistema de controle inteligente, processos atuadores, sensores, de modelagem do mundo, de decomposição de tarefas, de julgamento de valores, e de seleção de metas, são integrados a fim de responder adequadamente a estímulos vindos do ambiente [ALBUS 1991,1997].

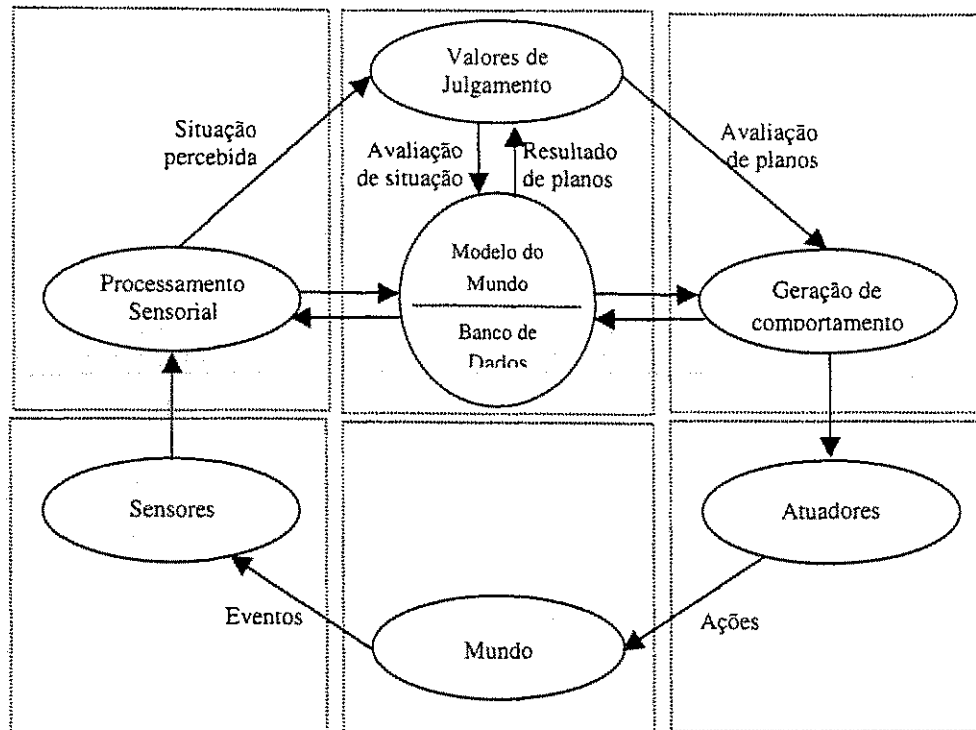


Figura 4.2: Os elementos da inteligência e relacionamento funcional entre eles

4.5 Semiótica multiresolucional

Segundo Albus, a arquitetura RCS pode ser compreendida, interpretada e aplicada dentro de qualquer ambiente semiótico particular que consista de um conjunto interrelacionado de símbolos, um conjunto de procedimentos definindo seus significados, e um conjunto de regras para organização de conhecimento, criação de novos conhecimentos e formação e comunicação de mensagens [ALBUS 1995]. Procedimentos de projeto e controle vêm a ser então uma aplicação natural dessa arquitetura modelo de referência.

4.5.1 Ciclo semiótico de conhecimento

Dando continuidade à proposta de um modelo semiótico de referência subjacente à arquitetura RCS de Albus, Meystel tem desenvolvido os fundamentos da Semiótica Multiresolucional. Esta nova concepção é baseada numa arquitetura composta de seis subsistemas funcionais (diagrama *six-box*): Percepção, Modelo do Mundo, Geração de Comportamento, Atuadores, Mundo e Sensores, conforme a Figura 4.3. A aceitação desta concepção corresponde à introdução da abordagem semiótica na construção de sistemas inteligentes, visto que esta concepção pressupõe o emprego do modelo GFACS, conforme será visto a seguir. Segundo Meystel, este modo de organizar o conhecimento permite que se descubra a estrutura de cada subsistema e se construa um modelo multiresolucional [MEYSTEEL 1995b]. A seguir, cada um dos módulos do diagrama *Six-Box* são apresentados.

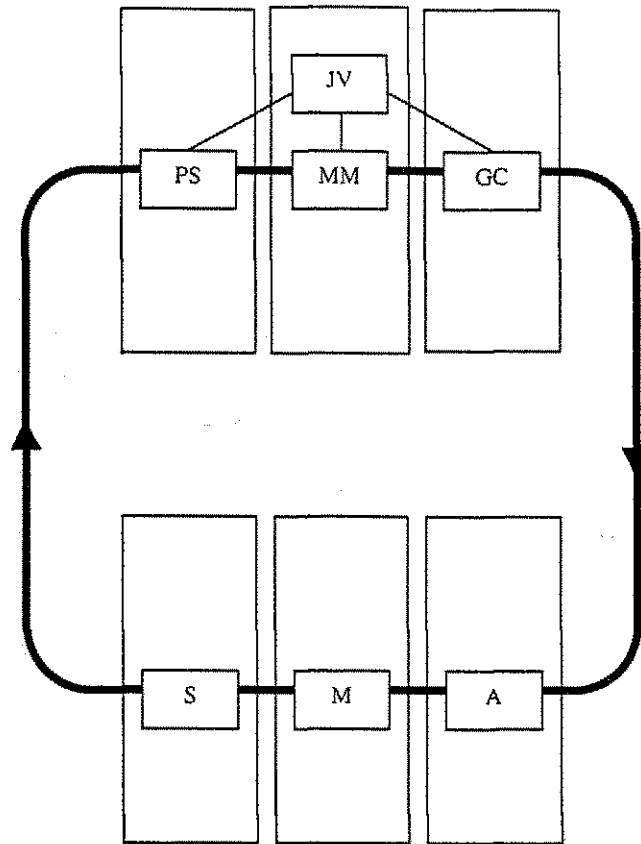


Figura 4.3: Diagrama *Six-Box*

4.5.1.1 Sensores

Os Sensores (S) são dispositivos ou técnicas que têm como objetivo receber informações e transformá-las numa forma codificada que suporte processamentos futuro.

4.5.1.2 Percepção

No processamento sensorial (PS), valores de objetos são estimados e comparados com expectativas geradas pelo Modelo do Mundo. Este módulo recebe informações codificadas por sensores interpretando-as e codificando-as como entidades encontradas no fluxo de informação deste decodificador. Reconhecimento e a interpretação subsequente dos objetos relevantes e não relevantes para o controle do sistema requer vocabulários que contêm componentes de interpretações anteriores. Este processo de interpretação demanda comunicação com o Modelo do Mundo, que contém os contextos que orientam o processo de interpretação. Associados aos processos de comunicação estão problemas relacionados a julgamento de valores (JV) e com a sugestão de subconjuntos de vocabulários a serem usados pelo processamento sensorial durante o processo de interpretação.

4.5.1.3 Modelo do Mundo

Modelo do Mundo (MM) contém todas as informações em diferentes escalas, espaciais e temporais, a respeito do mundo. Este módulo aloca os resultados da interpretação dos valores dos parâmetros realizada pelo módulo Percepção como parte da situação presente, e descobre mudanças que devem ser atendidas e provavelmente respondidas. A situação presente, assim como a indicação das mudanças observadas, são submetidos ao módulo Geração de Comportamento (GC). Modelo do Mundo (MM) está em constante comunicação com o módulo GC, visto que este módulo está sempre sendo informado sobre as metas a serem alcançadas. Essas informações vão auxiliar o sistema como um todo na focalização de atenção sobre um subconjunto particular de MM.

MM pode dispor de um subsistema de aprendizagem que armazena experiências na forma de cadeias de causa-efeito, generalizando, a partir delas, conjecturas sobre novas regras de ação na forma de hipóteses, e então coletar os resultados da aplicação destas hipóteses. MM extrai *conceitos* a partir das regras que têm recebido múltiplas confirmações, e as correlaciona numa rede relacional de conceitos correspondente. Para aprender, MM deve estar apto a distinguir experiências relevantes e experiências não relevantes. Por isso, MM deve dispor também de um subsistema de julgamento de valor (JV).

4.5.1.4 Geração de Comportamento

As metas são determinadas como resultado de interações entre MM, Geração de Comportamento (GC) e Julgamento de Valor (JV), ou submetidas externamente. Para a execução de uma meta, GC analisa o espaço de estados no qual a situação presente e a meta estão descritas e procura por alternativas espaço-temporais de desenvolvimento do processo necessário à meta especificada. A seleção da melhor alternativa requer um critério de estimação de valores de julgamento. A alternativa escolhida é considerada como sendo um plano de ação. Ele é decomposto e seus componentes vêm a ser tarefas para os outros módulos do sistema. Logo que a execução do plano inicia, GC analisa os desvios observados entre valores estimados e valores esperados e seleciona para computação os comandos de controle de compensação correspondentes. Simultaneamente, submete estas informações ao MM que introduz correções para modelos particulares quando necessário. Uma vez que a meta sugere a importância de cada alternativa, uma delas pode ser escolhida e submetida aos atuadores.

4.5.1.5 Atuadores

Atuadores (A) transformam cursos de ações desejáveis em ações reais. São os Atuadores que realizam as mudanças no mundo.

4.5.1.6 Mundo

Mundo (M) é a realidade na qual as coisas acontecem; onde Atuadores realizam mudanças e onde Sensores recebem informações a respeito das mudanças observadas.

Pode-se imaginar o diagrama *Six-Box* como um agente semiótico dentro de um ambiente específico. Este agente semiótico, decorrente desta concepção, dispõe de mecanismos de construção de uma linguagem para descrever as experiências anteriores a serem analisadas. Estes mecanismos geram uma lista aberta de vocabulário, funções de transição, e funções de saída, que crescem a todo instante. O modo como isto é feito é determinado pela arquitetura da inteligência, na qual está implícita a capacidade de aprendizagem por experiência, e a habilidade de construção de um modelo do mundo a partir de sua própria experiência, usando a unidade de inteligência GFACS.

4.5.2 Unidade de Inteligência

A figura 4.4 mostra uma visão da aplicação do módulo de inteligência GFACS em sistemas com três níveis de resolução (por exemplo, topo, médio e base).

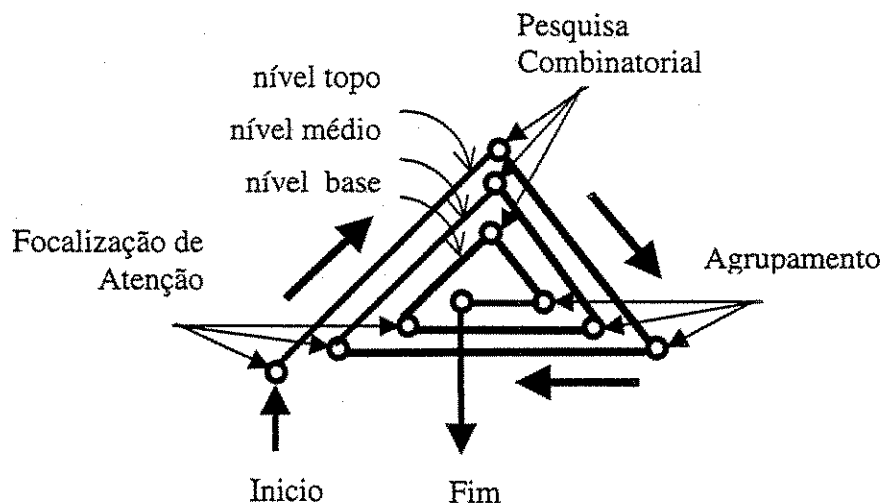


Figura 4.4: Computando um sistema multiresolucional usando GFACS

Como foi dito na seção anterior, o fenômeno da inteligência pode ser vista como aquilo que emerge do funcionamento conjunto das operações que compõem o modelo GFACS. Este conjunto de operações, visto como um pacote computacional, é denominado Módulo de Inteligência. O funcionamento deste módulo é afetado por valores que um sistema deve aprender a partir de sua experiência. A introdução destas técnicas é motivada pela substancial simplificação do sistema simbólico e sua conseqüente redução de complexidade computacional. Principalmente porque, a cada nível particular de resolução, todo conjunto de informações pode ser representado por um único símbolo.

Esta unidade de inteligência possibilita a oportunidade de construção de estruturas auto-organizáveis. Ela é mostrada na figura 4.4 para o caso particular de três repetições de um conjunto de procedimentos consistindo das operações focalização de atenção, agrupamento e pesquisa combinatorial realizadas consecutivamente. Cada ciclo termina com a obtenção de entidades generalizadas obtidas a partir do conjunto de entidades existentes no nível de resolução anterior ao início da aplicação deste conjunto de operações.

4.5.3 Diagrama Six-Box equipado com GFACS

Segundo Meystel, o teorema da incompletude de Gödel evoca a necessidade de um corpo de conhecimento externo para interpretar algumas das sentenças que não podem ser providas por uma linguagem particular. Na prática, a solução das limitações dos sistemas de representação de conhecimento é a introdução de um meta-nível que deve suprir as necessidades de justificativas não suportada neste nível de resolução. É óbvio que este meta-nível não pode explicar todas as sentenças possíveis no seu próprio nível de resolução. Como esta estratégia leva à recursão o crescimento da hierarquia de representação e raciocínio, o teorema de Gödel implica uma hierarquia multiresolucional de representação e raciocínio. Assim, por exemplo, se o meta-nível é um nível que lida com classes de objetos, o nível inicial lida com objetos, o meta-meta-nível lida classes de classes, ... Assim, numa hierarquia de níveis de resolução, cada nível é mais geral que o seu antecedente inferior, que tem maior grau de resolução. As generalidades e os ciclos encontrados a cada nível, são composições do nível inferior, de maior resolução, produzidos pela aplicação do GFACS. Um diagrama six-box equipado com GFACS é mostrado na figura 4.5.

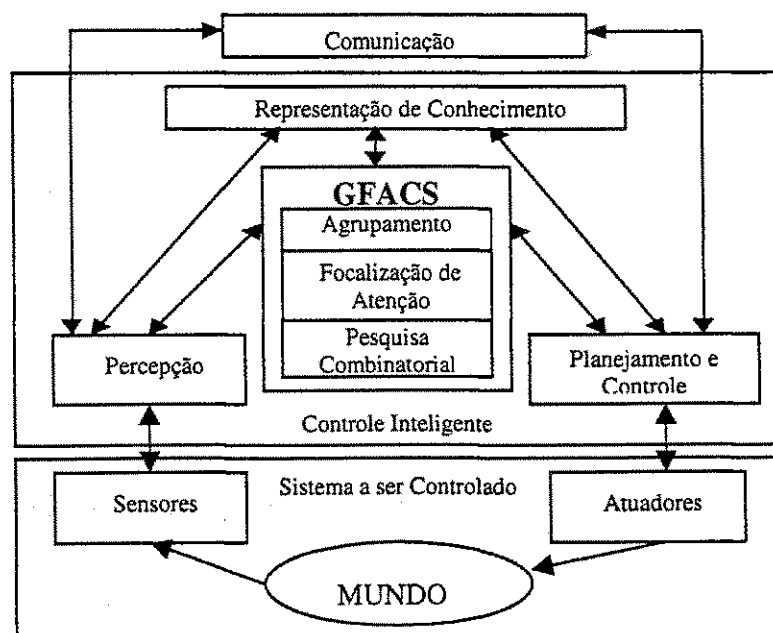


Figura 4.5: Um Diagrama Six-Box equipado com GFACS

Cada módulo do diagrama six-box tem a vantagem de usar o modelo GFACS para a generalização do conjunto de experiências, que cresce muito rapidamente. Além disso, quando relações de causa-efeito, obtidas a partir da experiência, são generalizadas, o sistema deve aprender regras de controle que aperfeiçoem seu comportamento. Portanto, o módulo Percepção deve construir, a cada instante, um novo conjunto generalizado de regras de comportamento frente a situações relacionadas ao problema em questão.

O módulo Representação de Conhecimento cria um meta-módulo de conceitos generalizados e conexões generalizadas, ou seja um conjunto de conceitos e de relações causa-efeito que serão compartilhadas por todos os módulos do sistema.

O módulo Planejamento e Controle constrói um meta-controlador ao produzir seu nível de mais baixa resolução. Assim, um novo nível de resolução para o diagrama six-box completo emerge da aplicação do módulo de inteligência GFACS no interior de cada dos seus módulos. Na figura 4.6, mostra-se como um Diagrama Six-Box é transformado numa hierarquia com três níveis de resolução.

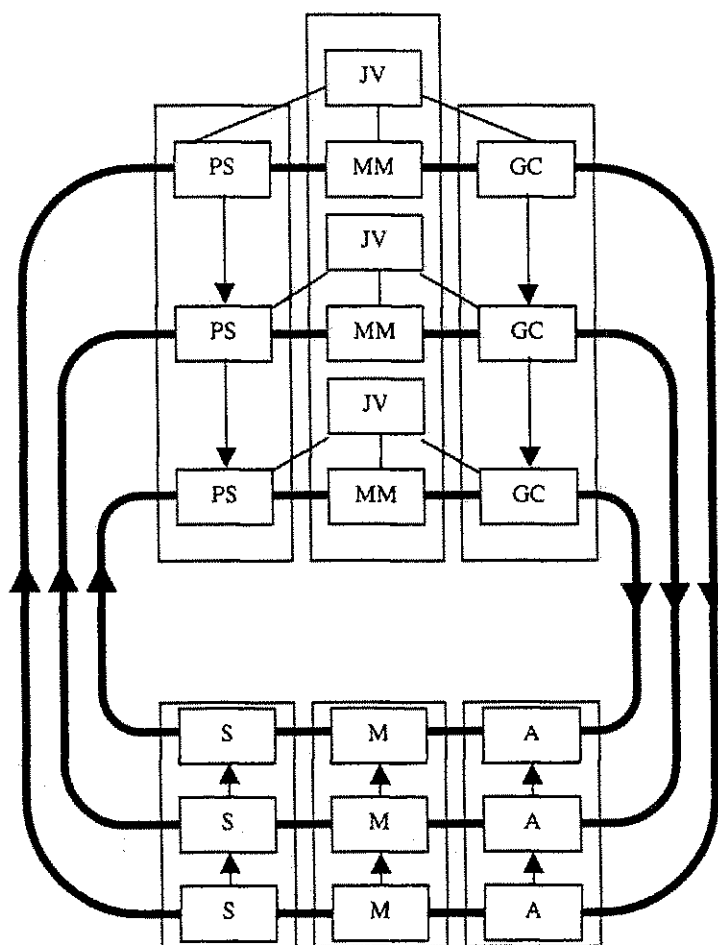


Figura 4.6: Ciclos de funcionamento do modelo Six-Box

Cada nível de resolução tem a mesma estrutura; todos os níveis estão envolvidos numa constante produção de meta-níveis para eles próprios. Assim, eventualmente uma estrutura multiresolucional de símbolos é formada. Como esta estrutura deve ter a forma de uma hierarquia multiresolucional, o grau de resolução dos níveis está crescendo de baixo para cima, onde cada nível abaixo representa entidades no mundo com um maior número de detalhes.

Cada unidade de conhecimento evoca um diagrama six-box e é portanto uma parte do ciclo da semiose. Organizado em um sistema unificado, este diagrama se tornará uma hierarquia de ciclos de controle. Conseqüentemente, um sistema de representação de conhecimento hierárquico também emergirá como resultado deste ciclo de controle multiresolucional.

4.6 Semiose Multiresolucional

Segundo Meystel [MEYSTEL 1996], existe uma forte conexão entre a estrutura do diagrama six-box e a decomposição da semiótica em três domínios: sintaxe, semântica e pragmática (seção 3.2.1). Esta correlação pode ser estabelecida a partir do diagrama funcional da semiose. Na figura 4.7, o triângulo da semiose (sintaxe, semântica e pragmática) é colocado em correspondência com o hexágono do diagrama six-box.

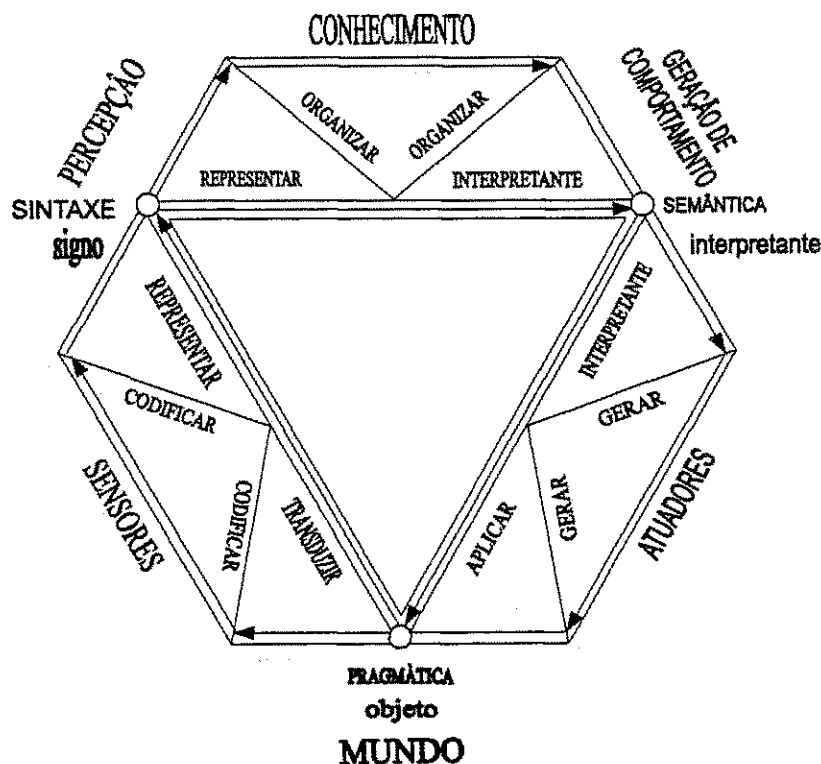


Figura 4.7: Diagrama funcional da semiose

A circulação de conhecimento dentro do hexágono é resultado da comunicação que a modifica de um nodo para o outro através dos estágios de *codificação, representação, organização, interpretação, geração, aplicação e transdução*, que são considerados diferentes formas de comunicação (mapeamento de uma linguagem em outra). O processo de representação tem início quando algo acontece no mundo e é codificado por sensores numa forma simbólica. O papel da Percepção é representar os resultados dos sensores em alguma forma organizada através de signos. Este processo de organização é chamado Sintaxe. Ela tem início neste ponto e continua em todos os estágios subseqüentes de formação de conhecimento cada vez mais generalizado. Esta estrutura inicial torna-se Conhecimento após novas generalizações, quando sua representação é finalizada e sua interpretação torna-se possível. A Interpretação habilita o processo de tomada de decisão, no qual a Semântica, aliada à Sintaxe, dão origem a um Interpretante.

O Interpretante se materializa no processo de Atuação, que é similar à geração de novos conhecimentos. Como resultado deste processo, novos conhecimentos são gerados, provocando mudanças físicas e/ou conceituais no Mundo. Em decorrência destes novos conhecimentos, novos objetos são percebidos e, assim, todo o processo se reinicia.

Na Semiose Multiresolucional, a percepção realiza o registro das experiências recentes numa forma simbólica. Através de agrupamento das experiências, classes de similaridades a respeito destas experiências são descobertas, induzindo hipóteses que explicam estas similaridades ou que, pelo menos, instigam novas experiências que tragam mais evidências para essa classe de similaridade.

As hipóteses entram no subsistema de Geração de Comportamento como um substituto para as regras de comportamento ainda não consolidadas. Essas hipóteses permitem ao sistema uma tomada de decisão para a realização de uma ação; após a realização da ação, são observadas as mudanças ocorridas no mundo; neste momento, os transdutores traduzem essas alterações do mundo numa forma passível de utilização pela percepção. Este processo de geração de significado a partir de um signo inicial é cíclico; o acúmulo de experiências leva a novas hipóteses, que podem refutar as hipóteses anteriores, ou confirmá-las, gerando assim o comportamento do sistema. É desta forma que o fundamento do signo (*symbol grounding*) é estabelecido numa conexão direta com o mundo.

Deste modo, cada componente de uma regra é uma generalização obtida através da experiência. Isto significa que, para obter um componente de uma regra, são necessários diversos componentes da experiência que devem estar fundamentados numa classe. Este processo requer a aplicação de um conjunto de procedimentos GFACS. Em virtude deste proces-

so de formação de generalizações, novos níveis de resolução são gerados. Portanto, a totalidade de todas as experiências, todas as teorias, e todas as regras constitui um sistema multiresolucional.

Capítulo 5

Considerações Finais

Neste capítulo, desenvolve-se uma análise da perspectiva semiótica do agente racional SAID, tomando como referência as características observadas na concepção de Sistemas Inteligentes baseados na Semiótica. Estes sistemas são construídos a partir de entidades aqui denominadas agentes semióticos (que superam os agentes racionais na capacidade de construir seu próprio conhecimento). As principais características observadas nestes sistemas é a capacidade de estruturar sua própria experiência, na interação com o seu ambiente de domínio, usando princípios de Semiótica de representação e comunicação de conhecimento. Estas propriedades dão origem a um sistema multiresolucional de conhecimento que explica os comportamentos do sistema, tanto reativos quanto deliberativos, por meio da semiose e da relação entre linguagem e meta-linguagem. Neste capítulo, estabelece-se relações entre o agente semiótico SAID e outros agentes semióticos (por exemplo, GFACS ou TQA). Finalmente, apresenta-se um esboço de um agente semiótico a partir do desenho do agente racional SAID e sugere-se uma lista de trabalhos futuros.

5.1 Uma visão geral da dissertação

O objetivo deste capítulo é desenvolver uma reflexão sobre o agente racional SAID sob uma perspectiva da Semiótica. Esta reflexão é fruto do interesse na realização de uma análise conceitual¹¹ da Teoria Semi-Empírica que evidencie os limites impostos por seus pressupostos teóricos. Essa análise parte da premissa que somente uma investigação de natureza teórica pode conduzir a uma melhor compreensão do potencial dessa teoria na concepção de um sistema inteligente capaz de construir o seu próprio conhecimento utilizando a Lógica das Provas e Refutações.

¹¹ Entende-se por *Análise Conceitual* um método de decomposição de um conceito em suas partes essenciais e o estudo das relações das partes entre si e entre as partes e o todo.

Buscou-se conhecer os elementos implicados na TSE: estudou-se não só o pensamento de Lakatos, mas também o pensamento de Peirce. Buscou-se identificar regiões de influência desses pensamentos na TSE. Refletiu-se sobre questões tais como: Quais os conceitos que vieram do pensamento de Popper? Quais os conceitos que vieram do pensamento de Lakatos? Quais os conceitos que vieram do pensamento de Peirce? Uma primeira convicção repousou sobre o forte relacionamento entre TSE e a Lógica das Provas e Refutações. Ao lidar com essas questões naturalmente outras vieram a tona: Qual a adequação do pensamento de Peirce com o pensamento de Popper? quais as implicações da noção de objeto como uma interpretação de relações entre sentenças? por que ciclos de abdução-indução-dedução e não ciclos de abdução-dedução-indução como preceitua o ciclo semiótico de conhecimento? Em busca de uma resposta para estas questões, recorreremos não só a sua face explorada da TSE, a Lógica da Descoberta Matemática em Lakatos e lógica da Descoberta Científica em Popper, mas também, à outra face da TSE não explorada, a Lógica da Descoberta Científica em Peirce (a Semiótica!).

O que se compreende quando se conhece a outra face da TSE, aquela restrita ao trabalho de Addis sobre a classificação do conhecimento atribuída a Peirce, é a importância da Semiótica para a Inteligência Artificial. Por uma razão muito simples compreende-se que Semiótica é o caminho natural para uma melhor compreensão do agente racional SAID: uma vez que subjacente à Semiótica encontra-se o modelo de um sistema inteligente com a capacidade de aprender pela experiência, por que não utilizá-lo na concepção de sistemas inteligentes na IA?

5.1.1 A semiótica peirceana revisitada

A Semiótica não é apenas uma teoria quase-formal do raciocínio e da percepção. É, principalmente, uma teoria do autocontrole em que o conceito de semiose pode ser traduzido no conceito de controle cibernético [ENGEL 1989]. É uma teoria que explica coerentemente um grande número de comportamentos encontrados nos sistemas inteligentes, tais como percepção, memória, lembrança, atenção, abstração, generalização, inferência, aprendizagem, pensamento, comunicação, e muitos outros. Para uma melhor compreensão da teoria semiótica da experiência vamos assinalar alguns pontos que consideramos importantes no seu desenvolvimento:

O primeiro desses pontos diz respeito ao estabelecimento das relações entre os mecanismos de inferência - dedução, indução e abdução - e os silogismos categóricos de Aristóteles. Segundo Peirce, a dedução era a inferência da conclusão a partir do termo maior e do termo menor de um silogismo; a indução como a inferência do termo maior a partir do termo

menor e da conclusão; e a abdução como a inferência do termo menor a partir do termo maior e da conclusão. A sua descoberta foi que na abdução o termo menor era de natureza conjectural. Concluiu que cada silogismo era governado por um princípio de inferência e que, como a quarta figura pode ser obtida a partir das três primeiras figuras, qualquer raciocínio pode ser obtido a partir da combinação destas três formas de inferência.

O segundo ponto refere-se à primeira fase da semiótica. Peirce era um profundo admirador da teoria de Kant sobre os limites da compreensão humana. Apesar da sua admiração pelo idealismo crítico de Kant, não aceitava o conceito de juízo sintético¹² a priori pois esta concepção exigia a aceitação de um objeto transcendental de difícil justificativa. Enquanto Peirce não se libertou das idéias de Kant sobre os juízos sintéticos e analíticos, encontrou bastante dificuldade para a sua compreensão da abdução e indução como mecanismos de obtenção de novos conhecimentos. Para ele, a dedução era um argumento analítico e a indução e a abdução eram argumentos sintéticos. Nessa fase, o critério de classificação dos argumentos era a força de ligação entre as premissas e a conclusão. A abdução era caracterizada pela relação de possibilidade; a indução pela relação de probabilidade; e a dedução pela relação de necessidade. Esta é nossa compreensão para a denominação SAID – a força de ligação como critério de classificação dos mecanismos de inferência. Nesta primeira fase, já percebemos a influência da concepção do seu sistema de lógica influenciado pela lógica das ligações dos compostos químicos, como visto no Capítulo 3. Um sistema de constructos lógicos é uma rede de ligações fortes ou fracas. Nesta fase, a sua máxima da pragmática ainda não refletia sua preocupação com o signo.

“Considerem-se quais efeitos – efeitos que possam concebivelmente ter conseqüências práticas – imaginamos possuam o objeto de nossa concepção. Neste caso, nossa concepção de tais efeitos constitui a totalidade de nossa concepção do objeto”.

Finalmente, o terceiro ponto refere-se à segunda fase da semiótica. Peirce havia conseguido uma melhor resposta para a classificação de todos os fenômenos que podem aparecer à mente – a sua teoria geral das categorias. Somente após a descoberta das três categorias formais – a primeiridade, a secundidade e a terceiridade – é que Peirce pode estabelecer precisamente as diferenças entre abdução, dedução e indução ao estabelecer suas relações como um método de investigação. Peirce compreendeu com essa descoberta que somente a abdução pode ser responsável pela introdução de conhecimentos novos no processo de investigação. A abdução é o método de formação e seleção de hipóteses; a dedução obtém conclusões testá-

¹² Juízo sintético é aquele que recorre a conhecimentos externos às suas premissas. Caso contrário, esse juízo é chamado analítico.

veis; e a indução testa essas conclusões. É nesta segunda fase que Peirce começa a construir o que é denominado por muitos semioticistas de “teoria madura da Semiótica” [FANN 1970]. A sua máxima da pragmática é reformulada e passa a refletir a sua preocupação com o signo.

“Todo o propósito intelectual de qualquer símbolo consiste na totalidade dos modos gerais de conduta racional que, na dependência de todas as possíveis e diversas circunstâncias e desejos, assegurariam a aceitação do símbolo”.

A partir dos pontos observados, podemos compreender melhor a teoria semiótica do raciocínio e da percepção como uma rede infinita de signos triádicos, conforme a figura 5.1.

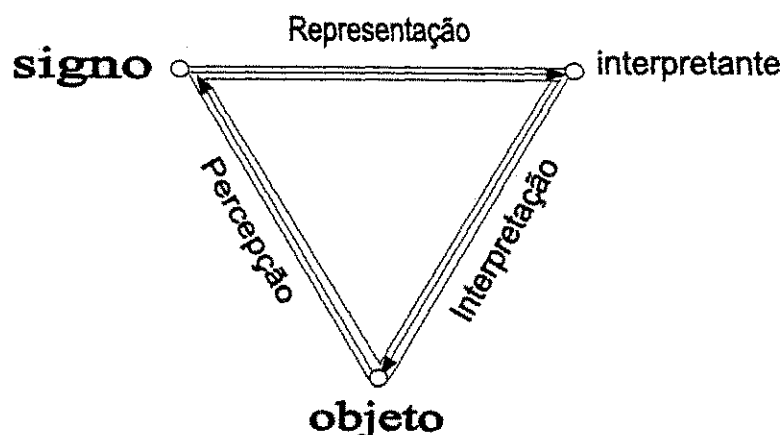


Figura 5.1: Signos triádicos

Peirce classificou todos os signos em ícones, índices e símbolos segundo seus modos de significação. Peirce acreditou que qualquer sistema complexo de signos poderia ser analisado, em termos de seus constituintes, pelas dez classes básicas de signos obtidas a partir da aplicação dos princípios que definem as suas três categorias. Esta rede de signos e suas conexões pode refletir as características de um objeto a partir de um padrão estabelecido pelas forças de suas ligações. Para construir um sistema de signos (que também é um signo) Peirce desenvolveu a sua concepção de semiose ilimitada. O processo da semiose reflete a aplicação das três categorias no processo de geração de interpretantes. Na semiose ilimitada, um objeto dinâmico é refletido dentro do signo como sendo o interpretante imediato (a primeiridade); a partir do objeto imediato inicia-se o processo de geração de interpretantes dinâmicos (a secundidade) e finalmente o interpretante final (terceiridade) seria aquele interpretante que revelaria o objeto na sua totalidade, denominado também objeto final. Mas, um interpretante final não é possível pois o objeto não pode ser revelado completamente. Assim o processo de conhecer é uma rede infinita de signos. Um signo pela sua natureza revela somente aspectos de um objeto.

5.1.2 A semiótica multiresolucional revisitada

Na semiose multiresolucional a perseguição de significados leva à descoberta de ciclos de resolução diferentes e quando um nível de resolução emerge como um resultado da aprendizagem em um sistema semiótico, um nível similar emerge no sistema cibernético correspondente. Um sistema cibernético multiresolucional pode ser caracterizado pela semiose multiresolucional que invoca uma variedade de fenômenos interessantes e importantes incluindo a auto-organização, auto-reflexão, e outros [MEYSTEEL 1997].

O modelo Six-Box mostrado no Capítulo 4 reflete a organização de um sistema inteligente baseado na Semiótica. Nele, cada vocabulário representa um nível de resolução e cada símbolo nomeia um processo neste nível. Neste modelo, um ciclo semiótico de percepção/ação emerge do funcionamento conjunto dos módulos: Sensores, Percepção, Modelo do Mundo, Geração de Comportamento, Mundo e Atuadores. Este modelo foi concebido segundo os princípios semióticos de representação e comunicação, a partir da aplicação do módulo de inteligência GFACS, onde:

- (i) o vocabulário do ambiente é mapeado no vocabulário da percepção;
- (ii) o vocabulário dos sensores é mapeado no vocabulário do modelo do ambiente;
- (iii) o vocabulário da percepção é mapeado no vocabulário da geração de comportamento;
- (iv) o vocabulário do modelo do mundo é mapeado no vocabulário dos Atuadores;
- (v) o vocabulário da geração de comportamento é mapeado no vocabulário do mundo; e
- (vi) o vocabulário dos Atuadores é mapeado no vocabulário dos sensores.

5.2 A perspectiva semiótica do agente racional SAID

Neste capítulo, busca-se uma compreensão do potencial semiótico do agente racional SAID, tomando como referência as características observadas na concepção de Sistemas Inteligentes segundo perspectiva da Semiótica. Estes sistemas são construídos a partir de entidades aqui denominadas Agentes Semióticos (que superam os agentes racionais na capacidade de construir seu próprio conhecimento). As principais características observadas nestes sistemas é a capacidade de estruturar sua própria experiência, na interação com o seu ambiente de domínio, usando princípios de Semiótica de representação e comunicação de conhecimento. Estas características dão origem a um sistema multiresolucional de conhecimento que explica os comportamentos do sistema, tanto reativos quanto deliberativos, por meio da semiose e da relação entre linguagem e meta-linguagem. Esta estratégia leva à construção de sistemas auto-controláveis por processos de auto-organização, auto-representação e auto-interpretação. O

autocontrole ou a autonomia do sistema como se pode depreender é uma decorrência da aplicação da Semiótica, como uma teoria dos signos usados por uma inteligência científica capaz de aprender pela experiência, na concepção de sistemas inteligentes.

O agente racional SAID como um sistema de apoio à descoberta científica pode ser apresentado em três níveis de significação: o nível conceitual, o nível formal e o nível computacional, como mostrado na figura 5.2.

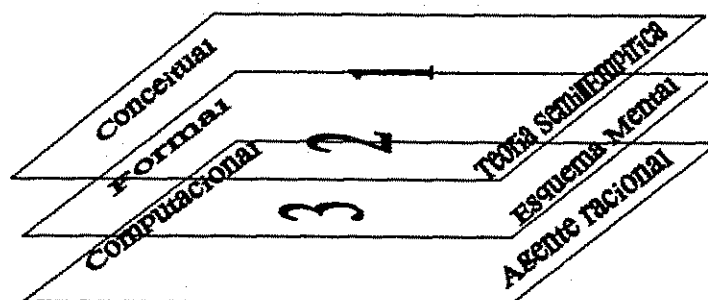


Figura 5.2: Níveis de significação no agente racional SAID

No nível conceitual, uma TSE é um conjunto de definições que permite fixar o significado dos termos de uma linguagem em um domínio particular. A TSE é necessária porque é impossível determinar todos os significados de um termo de uma linguagem sem recorrer a um domínio particular. Uma TSE pode ser vista tanto como um sistema de representação de conhecimento (na IA) ou como um sistema de raciocínio que lida com informações incompletas (na filosofia).

No primeiro caso, uma TSE é um sistema de definições que provê os meios para a interpretação de relações e restrições entre relações na identificação de objetos, partes de objetos e classes de objetos (fatos, hipóteses, conjecturas, lemas, provas, objetos, conceitos, exemplos, contra-exemplos, exceções, monstros) em um domínio particular. Uma TSE provê também as definições de processos que manipulam relações e restrições entre relações (abdução, indução, dedução, raciocínio empírico, raciocínio analógico, raciocínio evidente, raciocínio padrão) na construção e evolução de um sistema de representação de conhecimento.

No segundo caso, uma TSE é uma estrutura ligando fatos, lemas, provas e refutações como sendo as interpretações de um conjunto sentenças de uma linguagem. É possível notar que, também na Semiótica, um objeto é definido como os valores de uma função de interpretação [ZADROZNY 1996]. Na Semiótica, uma função de interpretação é um signo, ou função sígnica, correspondente a uma regularidade observada numa mídia, e os valores da função de interpretação correspondem ao interpretante. Como podemos notar, o conceito de interpretação na TSE corresponde ao mesmo conceito de interpretação na Semiótica.

Um outro fato a ser notado é que na TSE o conhecimento é estruturado em um sistema ordenado de linguagens. Essa ordenação dá-se pela relação de generalização e especialização. Assim, o conhecimento empírico de um especialista do domínio (fatos observados), representado por sentenças de uma linguagem simbólica, são mapeados numa linguagem formada por objetos identificados naquele domínio. Da mesma forma, uma linguagem formada por objetos (os lemas) é mapeada numa linguagem formada por conceitos (as provas) identificados naquele domínio. Podemos notar aqui que na TSE encontra-se os elementos para a organização da experiência do agente racional usando os princípios semióticos de representação e comunicação.

Como podemos observar, a estruturação do conhecimento num sistema de linguagens ordenadas, fundamentada nas relações entre linguagem e meta-linguagem, leva a um sistema multiresolucional de conhecimento. O que podemos observar desta característica na estruturação do conhecimento do agente racional é a necessidade de obtenção de um método de controle hierárquico orientado por princípios de representação e comunicação delineados na TSE.

No plano formal, um Esquema Mental representa o conhecimento, estruturado segundo os princípios da TSE, numa linguagem formal. Um Esquema Mental provê os meios para a construção dos mecanismos de construção e revisão de conhecimento utilizando-se de técnicas de aprendizagem de máquina. Um Esquema Mental é uma função para um valor num conjunto ordenado que dá a correlação entre duas sentenças. Nele se controla a proximidade entre dois enunciados e se estabelece as relações entre conjecturas e provas no contexto de raciocínios aproximados. Um Esquema Mental pode ser visto como uma rede neuronal, isto é, como um tipo de interpretação topológica de uma TSE. Um Esquema Mental, como mostrado no Capítulo 2, é formalizado como uma tripla (L, C, Δ) onde: L é um conjunto de sentenças de uma linguagem simbólica; C é um conjunto de crenças; e Δ é uma função de interpretação, e a função de interpretação

$$\Delta(a, b) = c$$

é interpretada como

a explica b com a crença c .

Considerando a estrutura do Esquema Mental, constatamos o quanto ela reflete o conceito de rede infinita de signos triádicos como um sistema de representação. Assim, essa mesma função de interpretação pode ser interpretada, segundo essa outra abordagem, como

a representa b para c ,

que é a definição de signo! (ver definição de signo dada por Peirce em 3.2.1)

Pode-se constatar que um Esquema Mental, assim como uma rede de signos triádicos, é construído por repetições do ciclo abdução-dedução-indução. É o reconhecimento dessas relações que nos leva a crer no potencial da Semiótica na evolução do Agente Racional SAID.

Nesta análise do agente racional SAID, confirmamos não só a existência de um estreito relacionamento entre a organização de conhecimento própria da TSE com a organização do conhecimento na semiótica, como uma rede infinita de signos, refletindo a influência do trabalho de Addis na sua concepção, como também identificamos um estreito relacionamento com outros projetos baseados na semiótica. A identificação destes relacionamentos são importantes porque evidenciam o acerto de Sallantin ao recorrer ao pensamento de Popper e ao pensamento de Peirce na concepção da TSE.

5.2.1 Outras concepções de agentes semióticos

Aprofundemo-nos um pouco mais sobre a adequação entre os pensamentos de Peirce com os de Popper. Tudo nos leva a crer que suas concepções de lógica da ciência são complementares. Assim como Popper, Peirce também negou o status da indução na lógica da ciência. Mas, diferentemente de Popper, defendeu que a lógica da descoberta científica era passível de tratamento lógico.

Na concepção de Popper, a lógica da ciência é a lógica das conjecturas e refutações. Essa concepção corresponde quase integralmente à lógica da abdução de Peirce, isto é, a lógica da formação e seleção de hipóteses [ANDERSON 1987]. O que dizer da concepção dos três mundos de Popper e das três categorias de Peirce? E o que dizer da lógica situacional de Popper sobre a evolução do conhecimento científico como uma rede de problemas e resolução de problemas recorrendo à situações-problema? Neste particular, para Peirce uma investigação corresponde ao processo de formação de hábitos comportamentais. Mais precisamente, para Peirce a evolução do conhecimento científico é uma rede de dúvidas e crenças, e a investigação é o processo de estabelecimento de uma crença. Só podemos reconhecer que há uma grande afinidade entre os pensamentos de Peirce e Popper.

Dessa adequação entre os pensamentos de Peirce e Popper constatada em outras concepções de agentes semióticos (denominação nossa), depreende-se o estreito relacionamento entre o ciclo semiótico de conhecimento e o ciclo de controle cibernético. Estes sistemas utilizam os princípios semióticos de representação e comunicação na concepção de sistemas inteligentes, onde o ciclo semiótico de conhecimento é tomado como uma unidade de inteligência. Isso nos permite considerar o modelo semiótico como um sistema de geração de hábitos de comportamentos por ciclos de percepção-ação e repetição do ciclo semiótico de conhecimento. Neste caso, os agentes semióticos concebidos como instâncias desse modelo, inclusive

o agente semiótico SAID, são caracterizados pela existência de sistema de representação de conhecimento multiresolucional (sistema ordenado de linguagens) como decorrência da utilização do ciclo semiótico de conhecimento na forma de um pacote computacional, como delimitado no GFACS, na TQA, e na TSE.

O esquema mostrado na Figura 5.3 tem por objetivo mostrar estas relações acima observadas entre a concepção do agente semiótico SAID e outros agentes semióticos.

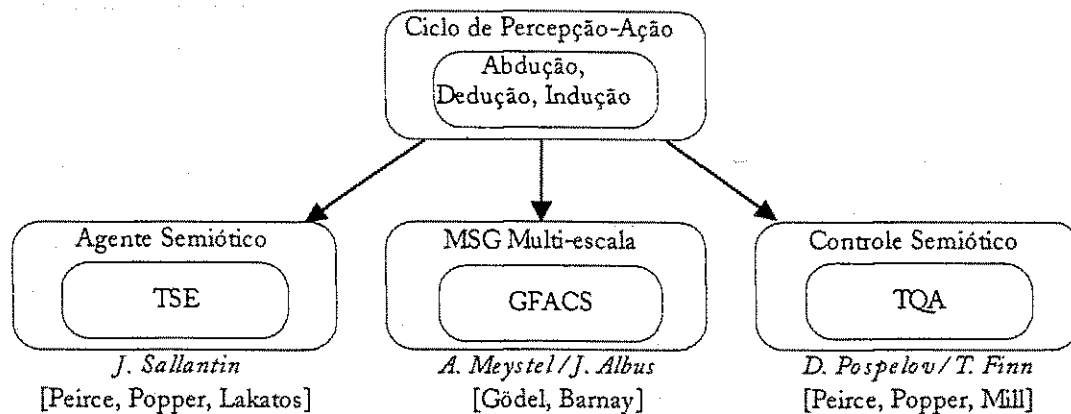


Figura 5.3: Instâncias do modelo semiótico

Dentre os trabalhos inspirados em um desses agentes semióticos, registramos o desenvolvido por Gudwin no Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP [GUDWIN 1996, 1997]. Este trabalho, além de inspirado no modelo semiótico de referência de Albus, buscou apoio na Semiótica de Charles Morris e na Álgebra dos Conjuntos para desenvolver uma classificação própria dos processos sígnicos e de abordagem denominada *Semiótica Computacional*.

Na Semiótica Computacional, uma reinterpretação da tripla <Signo, Objeto, Interpretante>, chamada por muitos de *triângulo semiótico*, é sugerida de forma a torná-la mais computacional. O direcionamento dado por Gudwin para a formalização dos processos sígnicos é o de uma “caixa de ferramentas” para o desenvolvimento de sistemas inteligentes através da construção de uma “rede de objetos”. Nesse trabalho, identificamos um estágio avançado de compreensão dos princípios semióticos na concepção de sistemas inteligentes segundo o modelo semiótico de referência proposto por Albus e segundo a Semiótica de Charles Morris. Observamos nesse trabalho os instrumentos formais que podem levar à concepção de um agente semiótico como um sistema multiresolucional de conhecimento, ou seja, um sistema ordenado de linguagens [SOUZA E SILVA, 1997].

5.2.2 Um esboço do agente semiótico SAID

Na sua essência, um agente semiótico é um sistema com a capacidade de tomar decisões racionais segundo o modelo do mundo construído a partir de sua própria experiência perceptual. Isto é, o seu comportamento não é decorrente somente da experiência do seu projetista mas também da sua própria experiência na interação com a realidade à sua volta.

Na Figura 5.4 apresenta-se uma proposta do esboço de um Agente Semiótico a partir do projeto do Agente Racional apresentado no Capítulo 2.

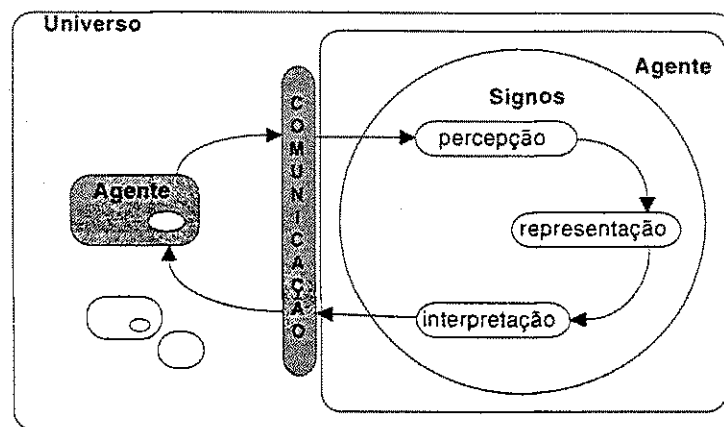


Figura 5.4: Um esboço de um agente semiótico

Nesta proposta de um esboço de um agente semiótico, observa-se a mudança dos termos *teoria* para *signo* e *diálogo* para *comunicação* para evidenciar a adoção dos princípios semióticos de representação e comunicação na concepção de um agente semiótico. Para o autor desta dissertação, a caracterização de um agente semiótico está na organização da experiência do sistema em um sistema de linguagens formais apropriadas para realização de inferências lógicas. Na sua concepção, está implícito que a linguagem da experiência sensorial (ícones e índices) é a interface entre a percepção e a realidade, e a linguagem experiência mental (símbolos) é a interface entre o conhecimento e a realidade. A teoria semiótica, neste caso, explica como o conhecimento é organizado em um sistema de signos triádicos a partir de dados percebidos pelo sistema.

Neste esboço de um agente semiótico, apontamos para a necessidade de

- (i) um módulo de percepção,
- (ii) um módulo de representação (modelo do ambiente e julgamento de valores) e
- (iii) um módulo de interpretação.

Estes módulos, na sua essência, representam instâncias dos módulos de abdução-dedução-indução e os critérios de controle do comportamento esperado do sistema segundo o ciclo se-

miótico de obtenção de conhecimento.

Em decorrência desta organização, tal como declarado por Zabezhalo sobre as propriedades de um modelo semiótico, um agente semiótico deve garantir as seguintes características [ZABEZHAILO 1997]:

- (i) habilidade (para o sistema controlador e para o modelo em construção) em aprender por experiência (e.g., a partir de exemplos positivos e negativos de decisões anteriores).
- (ii) habilidade em processar dados de diferentes tipos (e.g., simbólicos e numéricos, estruturados e desestruturados, textual e gráficos, etc.).

Para concluir estas considerações finais sobre um esboço de um agente semiótico SAID apresentamos na Figura 5.5 as características sumarizadas do agente racional e semiótico SAID.

Agente Semiótico	Agente Racional SAID	Agente Semiótico SAID
Módulo de Percepção	Aprendizagem por experiência indireta	Aprendizagem por experiência direta
Módulo de Representação	Conhecimento multiresolucional simbólico; rede de signos-mentais	Conhecimento multiresolucional semiótico; rede de signos-eventos e signos-mentais
Módulo de Interpretação	Controle simples por ciclos de argumentação-crítica	Controle hierárquico por ciclos de percepção-ação
Módulo de Julgamento de Valores	Heurísticas restritas a experiência externa	Heurísticas não restritas a experiência externa

Figura 5.5: Características sumarizadas do agente racional e semiótico SAID

5.3 Trabalhos Futuros

Este trabalho de dissertação desenvolve a argumentação de que o agente racional SAID suporta a concepção de um novo agente baseado nos fundamentos da semiótica. Consiste essencialmente no esforço de estabelecer as relações entre a concepção de uma inteligência com a capacidade de aprendizagem por exemplos esboçada na Teoria Semi-Empírica e uma inteligência com a capacidade de aprendizagem por experiência esboçada na Teoria Semiótica de Charles Sanders Peirce.

Dado ao caráter teórico geral pretendido nesta dissertação, restringiu-se o escopo da mesma a um primeiro esforço de análise conceitual do potencial semiótico da concepção do

agente racional SAID. Após a realização desta análise inicial, o prosseguimento natural deve ser estendê-la aos resultados alcançados por Sallantin e sua equipe nos níveis de significação formal e computacional em relação às outras concepções de sistemas inteligentes baseados na Semiótica, denominadas aqui *outros agentes semióticos*.

Após estas considerações sugerimos os seguintes trabalhos futuros:

- (i) estender esta análise do potencial semiótico do agente racional SAID aos níveis de significação formal e computacional, e conseqüentemente a um estudo mais acurado dos resultados obtidos por Pospelov, Meystel e Gudwin;
- (ii) desenvolver uma análise do projeto de construção de um protótipo do agente racional SAID, que está sendo realizado pelo grupo IA da UFPB, visando estabelecer uma base para o desenvolvimento de um protótipo do agente semiótico SAID em prosseguimento ao item anterior, e conseqüentemente a um estudo mais acurado dos resultados obtidos por Sallantin e sua equipe;
- (iii) considerando que as propriedades de auto-organização, auto-representação e auto-interpretação de um agente semiótico são apropriadas ao controle inteligente de sistemas dinâmicos complexos e abertos, sugerimos como trabalho futuro um estudo da aplicação da sua concepção no projeto de controle inteligente de um sistema dinâmico (controle do pêndulo simples) realizado pelo grupo de IA da UFPB (NeuroLab), visando explorar as características desse projeto como um sistema que integra redes neuronais, lógica fuzzy e algoritmo genético em um ambiente computacional que cobre o conceito de ciclo semiótico de conhecimento na concepção de sistemas inteligentes (neste caso, um Robô); e
- (iv) observando as exigências de raciocínios hipotético-conjectural inerentes à complexidade do ciberespaço criado pela rede mundial de computadores Internet e as características próprias de um agente semiótico de resolução de problemas dinâmicos complexos pela construção de raciocínios hipotético-conjectural, sugerimos como proposta de trabalho futuro a aplicação da sua concepção na modelagem de um Agente Internet com a capacidade de resolver problemas que exijam a compreensão e busca de informações distribuídas na Internet (neste caso, um "Softbot").

Referências bibliográficas

- [ADDIS 1988] Addis T. R. "Knowledge organisation for abduction", *Proceedings of Interdisciplinary Information Technology Conference*, Bradford University, Inglaterra, 1988.
- [ALBUS 1991] Albus J. S. "Outline for a Theory of Intelligence" *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 1, nº 3, pp. 473-509, 1991.
- [ALBUS 1995] Albus J. S., Meystel A. "A Reference Model Architecture for Design and Implementation of Semiotic Control in Large and Complex Systems" *Proceedings of the 1995 IEEE ISIC Workshop - Architectures for Semiotic Modeling and Analysis in Large Complex Systems*, pp. 33-45, Monterrey, EUA, 1995.
- [ALBUS 1997] Albus J. S. "Why Now Semiotics? From real-time control to signs and symbols" *Proceedings of the 1997 International Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Learning Perspective - ISAS'97*, A.M. Meystel (Ed.), pp. 3-8, NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1997.
- [ANDERSON 1987] Anderson D.R. *Creativity and the Philosophy of C.S. Peirce*, Martinus Nijhoff, 1987.
- [AUBERT 1990] Aubert J.-P., Barboux C., Quinqueton J., Sallantin J. "Langage d'un Topos et machine à raisonner", *Colloque en l'honneur de Jean-Claude Simon - Informatique: nouveaux concepts scientifiques*, pp. 238-255, AFCET, Paris, França, 1990.
- [AUSSENAC 1986] Aussenac-Gilles N., Krivine J.-P., Sallantin J. "L'acquisition des connaissances pour les systèmes à base de connaissance", *Revue d'intelligence artificielle* (Editorial), 6(1-2), 1992.
- [BARBER 1996] Barber K. S. "The architecture for sensible agents", *Proceedings of the 1996 International Multidisciplinary Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Semiotic Perspective - Vol. II: Applied Semiotic*, J. Albus, A.M. Meystel, R. Quitero (Workshop Organisers), pp. 49-54, NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1996.
- [BARBOUX 1990] Barboux C. "Contrôle par objections d'une théorie incomplète", *Tese de Doutorado*, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier II), Montpellier, França, 1990.
- [BAULAC 1986] Baulac Y. "Un micro-monde de géométrie, Cabri-Géomètre", *Tese*

- de Doutorado*, Université Pierre et Marie Curie (Grenoble I), Grenoble, França, 1990.
- [BORDAT 1986] Bordat J.-P. "Calcul pratique du treillis de Galois d'une correspondance", *Math. Sci. Hum.*, 24^{ème} année, n° 96, pp. 31-47, França, 1986.
- [BOUCHERON 1992] Boucheron S. *Théorie de l'apprentissage: de l'approche formelle aux enjeux cognitifs*, Editions Hermes, Paris, França, 1992.
- [BRANDT 1995] Brandt P. A. *Morphologies of meaning*, Aarhus University Press, Aarhus, Dinamarca, 1995.
- [BRATMAN 1986] Bratman M., Konolige K., Israel D. J., Pollack M. E. "Rational behaviour in resource-bounded agents", SRI, NSF Project Proposal, 1986.
- [BROOKS 1991] Brooks R. A. "Elephants don't play chess", In: *Designing Autonomous Agents - Theory and Practice from Biology to Engineering and Back*, pp. 3-15, P. Maes (Ed.), The MIT Press, 1991.
- [CARBONELL 1989] Carbonell J. G. *Artificial Intelligence*, Vol. 40, n° 1-3, Special Issues on Machine Learning, 1989.
- [CARVALHO 1986a] Carvalho O. *Aristóteles em Nova Perspectiva*, Topbooks, Rio de Janeiro, 1996.
- [CARVALHO 1986b] Carvalho O. *O Imbecil Coletivo: Atualidades Inculturais Brasileiras*, Faculdade da Cidade Editora / Academia Brasileira de Filosofia, Rio de Janeiro, 1996.
- [COHEN 1982] Cohen P. R., Feigenbaum E. A. *AI Handbook*, Vol 3, Cap, 4, pp. 323-511, Pitman Publishing, Londres, 1982.
- [CUNNINGHAM 1994] Cunningham D. J., Shank G. D. "Semiotics, an Introduction", 1994. <http://php.indiana.edu/~cunningh/shtcrs.html>.
- [DEACON 1997] Deacon T. W. *The symbolic Species: The Co-Evolution of Language and The Brain*, W. W. Norton & Company, 1997.
- [DEELY 1990] Deely J. *Semiótica básica*, Editora Ática, São Paulo, 1990.
- [DELACAMPAGNE 1997] Delacampagne C. *História da Filosofia do Século XX*, Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 1997.
- [ECO 1990] Eco U. *Os Limites da Interpretação*, Editora Perspectiva, Coleção Estudos, São Paulo, 1990.
- [ENGEL 1989] Engel-Tiercelin C. "Peirce ou la version sémantique-sémiotique de la logique formelle", *Cahiers du Groupe de Recherches Philosophie et Langage*, 10:39-71, 1989.
- [ENGEL 19??] Engel-Tiercelin C. "Peirce on machines, self-control and intetional-ity", *Machines and Mind*, Chapter 7 (99-131), MIT Press, 19??.
- [FANN 1970] Fann K. T. *Peirce's Theory of Abduction*, Martinus Nuhoff, The Hague, 1970.

- [FERNEDA 1992a] Ferneda E., Py M., Reitz Ph., Sallantin J. "L'Agent Rationnel SAID: une application en géométrie", *First European Colloquium on Cognitive Sciences*, Orsay, França, 1992.
- [FERNEDA 1992b] Ferneda E. "Conception d'un Agent Rationnel et examen de son raisonnement en géométrie", *Tese de Doutorado*, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier II), Montpellier, França, 1992.
- [FERNEDA 1994] Ferneda E., Peres da Silva C. A., Teixeira L. M., Silva H. M. "A system for aiding discovery in musical analysis", *Proceedings of the I Brazilian Symposium on Computer Music, XIV Congress of Brazilian Computer Society*, Caxambu, 1994.
- [FERNEDA 1995a] Ferneda E., Souza e Silva M. E., Silva H. de M. "A system for aiding discovery: elements for specification", *Advances in Artificial Intelligence. 12th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence* - pp. 264-273, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Vol. 991, Springer, Berlin (Germany), outubro 1995.
- [FERNEDA 1995b] Ferneda E., Souza e Silva M. E., Silva H. de M., Gonçalves C. A. V. "Elements for designing a system for aiding discovery", *Proceedings of the XV International Conference of the Chilean Computer Science Society*, pp. 210-221, Arica (Chile), novembro 1995.
- [FINN 1983] Finn V. K. *Encyclopaedic Dictionary in Philosophy*, pp. 601, Moscou, Russia, 1983.
- [FISHER 1991] Fisher G., Lemke A. C., Mastaglio T., Morch A. I. "The role of criticism in co-operative problem solving", *ACM Transaction on Information System*, 9(3):123-151, 1991.
- [FUKUDA 1997] Fukuda T. "Learning, Adaptation and Evolution for Intelligent System", *Proceedings of ISIE'97*, TU9-14, Guimarães, Portugal, 1997. (IEEE Catalog #: 97TH8280).
- [GINSBERG 1988] Ginsberg M. L. "Multivalued logics: a uniform approach to inference in artificial intelligence", *Computational Intelligence*, n° 4, pp. 265-316, 1988.
- [GINSBERG 1990] Ginsberg M. L. "Bilattices and modal operators", *Journal of Logic and Computation*, n° 1, 1990.
- [GRACY 1993] Gracy J. "Un environnement d'apprentissage appliqué à la modélisation des protéines", *Tese de Doutorado*, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier II), Montpellier, França, 1993.
- [GUÉTMANOVA 1989] Guétmanova A. *Lógica*, Edições Progresso, Moscou, Rússia, 1989.
- [GUDWIN 1996] Gudwin R. R. "Contribuições ao Estudo Matemático de Sistemas Inteligentes", *Tese de Doutorado*, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP, 1996.
- [GUDWIN 1997] Gudwin R. R., Gomide F. "An Approach to Computational Semio-

- tics, *Proceedings of the 1997 International Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Learning Perspective – ISAS'97*, A.M. Meystel (Ed.), pp. 467-470, NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1997.
- [KEELER 1995] Keeler M. "The Philosophical Context of Peirce's Existential Graphs", *Proceedings of 3rd International Conference on Conceptual Structures - ICCS'95*, pp. 150-164, Santa Cruz (EUA), agosto 1995.
- [KONOLIGE 1985] Konolige K. "Experimental robot psychology", SRI, Technical Notes 363, 1985.
- [KRUIJFF 1995] Kruijff G.-J. "The Unbearable Demise of Surprise: Reflections on Abduction in Artificial Intelligence and Peirce's Philosophy", *Dissertação de Mestrado*, University of Twente, Netherlands, 1995.
- [KUHN 1976] Kuhn T. S. "A estrutura das revoluções científicas", Coleção Debates, Vol. 115, Editora Perspectiva, 1976.
- [LAKATOS 1976] Lakatos I. *A lógica do Descobrimento Matemático: Provas e Refutações*, Zahar Editores, Rio de Janeiro, RJ, 1976.
- [LIQUIÈRE 1990a] Liquière M. "Apprentissage à partir d'objets structurés. Conception et réalisation", *Tese de Doutorado*, LIRMM, Université de Sciences et Techniques du Languedoc - Montpellier II, Montpellier, França, 1990.
- [LIQUIÈRE 1990b] Liquière M. "INNE (INduction in NETworks): A structural learning algorithm for noisy examples, in *Proceedings of the Fourth European Working Session on Learning (Montpellier - December 1989)*, pp. 111-123, MORIK K. (Editor), Pitman • Morgan Kaufmann Publishers Inc., Londres, Inglaterra, 1990.
- [LIQUIÈRE 1990c] Liquière M., Mephu Nguifo E. "LEGAL (LEarning with GALois Lattice). Un système d'apprentissage de concepts à partir d'exemples, *Actes des 5^{es} Journées Françaises de l'Apprentissage*, pp. 53-93, Lannion, França, 1990.
- [LIQUIÈRE 1992] Liquière M. "Recherche de structures dans des données bruitées", *Actes des 1^{ères} Journées Francophones d'Apprentissage et d'Explications des Connaissances*, pp. 115-129, Dourdan, França, 1992.
- [LISZKA 1996] Liszka J. J. *A General Introduction to the Semeiotic of Charles Sanders Peirce*, Indiana University Press, EUA, 1996.
- [LUBBE 1996] Lubbe J. C. A. "A Peircean Approach to Artificial Intelligence", *Proceedings of the 1996 International Multidisciplinary Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Semiotic Perspective – Vol. II: Applied Semiotic*, J. Albus, A.M. Meystel, R. Quitero (Workshop Organisers), pp. 7-13, NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1996.
- [MAES 1991] Maes P. "Designing Autonomous Agents", In: *Designing Autonomous Agents - Theory and Practice from Biology to Engineering and*

- Back, pp. 1-2 (Guest Editorial), P. Maes (Ed.), The MIT Press, 1991.
- [MAGALHÃES 1981] Magalhães T. C. de *Signe ou Symbole: Introduction à la Théorie Sémiotique de C. S. Peirce*, Presses Universitaires de Louvain-la-Neuve, Louvain-la-Neuve, Belgique, 1981.
- [MARINA 1995] Marina J. A. *Teoria da Inteligência Criadora*, Editorial Caminho, Lisboa, Portugal, 1995.
- [MEPHU 1993a] Mephu-Nguifo E. "Concevoir une abstraction à partir de ressemblances", *Thésis de Doctorat en Informatique*, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier II), Montpellier, França, 1993.
- [MEPHU 1993b] Mephu-Nguifo E. "Control similarities by objections - An experimentation onto the protein alignment problem", *Proceedings of the 1st International Conference on Expert Systems - ExperSys*, Paris, França, 1993.
- [MEPHU 1993c] Mephu-Nguifo E. "New methods for the alignment of weakly homologous protein sequences: The (n+1) method based on symbolic method", *Proceedings of the GBF Prediction and Experiment 3D Structure of Homologous Proteins*, Alemanha, 1993.
- [MEPHU 1994] Mephu-Nguifo E. "Galois Lattice: a framework for concept learning. Design, evaluation and refinement", *Proceedings of the Conference on Tools for Artificial Intelligence - TAI'94*, Louisiana (EUA), 1994.
- [MERREL 1996] Merrel F. *Signs Grow - Semiosis and Life Processes*, University of Toronto Press, Toronto, Canada, 1996.
- [MEYSTEEL 1995] Meystel A. M. *Semiotic Modelling and Situation Analysis: An Introduction*, AdRem Inc., Bala Cynwyd, EUA, 1995.
- [MEYSTEEL 1996] Meystel A. M. "Intelligent Systems: A Semiotic Perspective", *International Journal of Intelligent Control and Systems*, 1(1), pp. 31-57, 1996.
- [MEYSTEEL 1997] Meystel A. M. "Semiotics: The Toolbox of Intelligence", *Proceedings of the 1997 International Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Learning Perspective - ISAS'97*, A.M. Meystel (Ed.), pp. iii-vi (Prefácio do Editor), NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1997.
- [MORRIS 1947] Morris C. W. *Signs, Language and Behaviour*, Prentice Hall, New York, 1947. (Citado em [GUDWIN 1996])
- [MORRIS 1971] Morris C. W. "Foundation for a Theory of Signs", in *Writings on the General Theory of Signs*, The Hague : Mouton, 1971. (Citado em [GUDWIN 1996])
- [MÜLLER 1987] Müller J.-P. "Contribution à l'étude d'un agent rationnel : spécification en logique intensionnelle et implantation", *Tese de Doutorado*, Institut National Polytechnique de Grenoble, França, 1987.

- [NEWELL 1976] Newell A. and Simon, Herbert A., "Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search", *Communication of ACM*, 19(3), 1976.
- [NEWELL 1982] Newell A. "The knowledge level", *Artificial Intelligence*, n° 18, pp. 87-127, 1982.
- [NILSON 1986] Nilson N. "Intelligent communicating agents", Stanford University, Project Proposal, 1986.
- [NÖTH 1995] Nöth W. *Panorama da Semiótica: de Platão a Peirce*, Annablume, Coleção E 3, São Paulo, 1995.
- [PEIRCE 1934] Peirce C. S. "Scientific method", in *Collected Papers of Charles Saunders Pierce*, P. Weiss (Ed), Harvard University Press, 1934.
- [PEIRCE 1993] Peirce C. S. *Semiótica e Filosofia: Textos Escolhidos de Charles Sanders Peirce*, Editora Cultrix, São Paulo, 1993.
- [PEIRCE 1995] Peirce C. S. *Semiótica*, Editora Perspectiva, Coleção Estudos 46, São Paulo, 1995.
- [PINGAND 1990] Pingand Ph. "Étude d'un environnement permettant l'acquisition de connaissance par apprentissage", *Tese de Doutorado*, Université des Sciences et Techniques du Languedoc (Montpellier II), Montpellier, França, 1990.
- [POPPER 1975a] Popper K. (1975), *Conhecimento Objetivo*, EDUSP (São Paulo) / Editora Itatiaia Ltda, Belo Horizonte, 1975.
- [POPPER 1975b] Popper K. "De nuvens e Relógios", In: *Conhecimento Objetivo*, pp. 193-233, EDUSP (São Paulo) / Editora Itatiaia Ltda, Belo Horizonte, 1975.
- [POPPER 1993] Popper K. *A lógica da pesquisa científica*, Cultrix, São Paulo, 1993.
- [POSPELOV 1995] Pospelov D. A. "Semiotic Models in Control Systems", *Proceedings of the 1995 ISIC Workshop – 10th IEEE International Symposium on Intelligent Control – Architectures for Semiotic Modelling and Situation Analysis in Large Complex Systems*, J. Albus, A. M. Meystel, D. Pospelov, T. Reader (Workshop Organisers), pp. 295-300, AdRem Inc., Monterrey, EUA, 1995.
- [PRUEITT 1996] Prueitt P. "Is Computation Something New?", *Proceedings of the 1996 International Multidisciplinary Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Semiotic Perspective – Vol. II: Applied Semiotic*, J. Albus, A. M. Meystel, R. Quitero (Workshop Organisers), pp. 333-337, NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1996.
- [PRUEITT 1997] Prueitt P. "The Semiotics of Autonomous Investigations of Natural Systems", *Proceedings of the 1997 International Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Learning Perspective – ISAS'97*, A. M. Meystel (Ed.), pp. 407-412, NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1997.
- [PY 1992a] Py M. "Un agent rationnel pour raisonner par analogie", *Tese de*

- Doutorado*, LIRMM, Université de Sciences et Techniques du Languedoc - Montpellier II, Montpellier (França), novembro 1992.
- [PY 1992b] Py M., Reitz P., Quinqueton J., Sallantin J. "Abstraction as Search: A study of Empirical Reasoning", LIRMM, Université Montpellier II / CNRS, Montpellier, França, 1992.
- [REITZ 1992] Reitz Ph. "Contribution à l'étude des environnements d'apprentissage. Conceptualisation, Spécifications et Prototypage", *Tese de doutorado*, Université de Montpellier (France), fevereiro 1992.
- [RUSSELL 1995] Russell S., Norving P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall, Upper Saddle River, EUA, 1995.
- [SALLANTIN 1985] Sallantin J. "Logiques et comportements des systèmes rationnels – une esquisse d'épistémologie", In: *Intelligence des mécanismes, mécanismes de l'intelligence*, J.-L. le Moingne (Coord.), pp. 115-137, Fayard / Fondation Diderot, Paris, França, 1985.
- [SALLANTIN 1991a] Sallantin J., Quinqueton J., Barboux C., Aubert J.-P. "Théories semi-empiriques: éléments de formalisation", *Revue d'intelligence artificielle*, 5(1):69-92, Paris, França, 1991.
- [SALLANTIN 1991b] Sallantin J., Szczeciniarz J.-J., Barboux C., Lagrange M.-S., Renaud M. "Théories semi-empiriques: conceptualisation et illustrations", *Revue d'Intelligence Artificielle*, 5(1):9-67, Paris, França, 1991.
- [SALLANTIN 1993] Sallantin J., Haiech J. "L'aide à la découverte scientifique: évaluation sur l'investigation des séquences génériques", *Revue d'Intelligence Artificielle*, Hermès, Paris (France), 1993.
- [SALLANTIN 1995] Sallantin J., Haiech J., Rodier F. "Search for promoter sites of pro-caryotic DNA using learning techniques", *Biochimie*, 67(5):533-540, França, 1995.
- [SALLANTIN 1997] Sallantin, J. *Les Agents Intelligents: essai sur la rationalité des calculs*, Editions Hermes, France, 1997.
- [SANTAELLA 1983] Santaella L. (1983), *O que é Semiótica*, Editora Brasiliense, Coleção Primeiros Passos 103, São Paulo.
- [SANTAELLA 1992] Santaella L. *A Assinatura das Coisas: Peirce e a Literatura*, Imago, São Paulo, 1992.
- [SANTAELLA 1993] Santaella L. "Metodologia Semiótica", *Tese de Livre Docência*, Escola de Comunicação e Artes, USP, São Paulo, 1993.
- [SANTAELLA 1995] Santaella L. *Teoria Geral dos Signos: semiosis e auto-geração*, Ática, São Paulo, 1995.
- [SERSON 1992] Serson B. "A relevância de C. S. Peirce para as Ciências Cognitivas: os Conceitos de 'Representação' e 'Referência' e a Semiótica", *Manuscrito*, XV(2):95-114, Campinas, 1992.
- [SHANK 1994] Shank G., Cunningham D. J. "Modelling the Six Modes of Peircean Abduction for Educational Purposes", 1994. (arquivo internet: <http://www.hf.ntnu.no/anv/AVS696/Articles/Shank.html> ou ainda em

- <http://www.cs.indiana.edu/event/maics96/Proceedings/shank.html>).
- [SOUZA E SILVA 1997] Souza e Silva M. E., Ferneda E. "De agentes racionais a agentes semióticos", *Anais do I Encontro Nacional de Inteligência Artificial – ENIA '97*, SBC, Brasília, 1997.
- [SOWA 1984] Sowa J. F. *Conceptual Structures: Information processing in mind and machine*, Addison-Wesley Pub., 1984.
- [SUN 1996] Sun R., Peterson T., Merrill E. "An agent architecture with on-line learning of both procedural and declarative knowledge", *Proceedings of the 1996 International Multidisciplinary Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Semiotic Perspective – Vol. I: Theoretical Semiotics*, J. Albus, A.M. Meystel, R. Quitero (Workshop Organisers), pp. 49-52, NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1996.
- [TUSRMAN 1987] Tusrman R. *Peirce's Theory of Scientific Discovery*, Indiana University Press, Bloomington, 1987.
- [VILLAREAL 1989] Villareal-Fernandez M. J. "Construction par apprentissage de modèles d'objets complexes", *Tese de doutorado*, Université de Montpellier (France), abril 1989.
- [WIELINGA 1990] Wielinga B., Boose J., Gaines B., Scriber G., Someren M. van (Eds) "Current trends on knowledge acquisition", *Proceedings of the European Knowledge Acquisition Workshop*, 1990.
- [WILLE 1982] Wille R. "Restructuring Lattice Theory: Na approach based on hierarchies of concepts", *Proceedings of the Symposium Ordered Sets*, Rival I. (Editor), pp. 445-470, Boston (EUA), 1982.
- [WILLE 1991] Wille R. "Knowledge acquisition by methods of formal concept analysis", *Proceedings of the Symbolic-Numeric Data Analysis and Learning*, Diday E., Lechevallier Y. (Editores), pp. 347-355, Versailles (França), setembro 1982.
- [WILLE 1992] Wille R. "Concept lattices and conceptual knowledge systems", *Computers Mathematics Applications*, 23(6-9), pp. 493-515, 1992.
- [WOODRIDGE 1995] Woodridge M., Jennings R. N. "Intelligent Agents: Theory and Practice", *Knowledge Engineering Review*, 10(2), junho 1995. (Arquivo Internet disponível, entre outros, em: <http://www.doc.mmu.ac.uk/STAFF/M.Wooldridge/ker95/ker95-html.html>)
- [YRIARTE 1995] Yriarte L., Sallantin J., Deplanques P. "A critical approach on re-using ontologies", 1995. <http://www.lirmm.fr/~yriarte/#Rapports>.
- [ZABEZHAÏLO 1997] Zabezhaïlo M. I. "To the Scaleable Technology of Automated Document Understanding based on Quasi-Axiomatic Theories", *Proceedings of the 1997 International Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Learning Perspective – ISAS'97*, A. M. Meystel (Ed.), pp. 100-102, NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1997.
- [ZADROZNY 1996] Zadrozny W. "Computational triadic algebras of signs", *Proceedings*

of the 1996 International Multidisciplinary Conference in Intelligent Systems and Semiotics: A Semiotic Perspective – Vol. I: Theoretical Semiotics, J. Albus, A. M. Meystel, R. Quitero (Workshop Organisers), pp. 184-189, NIST/IEEE/NSF/ARO, NIST Special Publication 918, Gaithersburg, EUA, 1996.

[ZOHAR 1990]

Zohar D. *O Ser Quântico*, Editora Best Seller, São Paulo, 1990.