

## REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO ATRAVÉS DE SISTEMAS ESPECIALISTAS

AIRES J ROVER  
PROFESSOR DA UFSC  
INFOJUR.UFSC.BR

Um modelo de agente inteligente segue o esquema circular *percepção Erro! Indicador não definido. raciocínio Erro! Indicador não definido. ação Erro! Indicador não definido. percepção*<sup>1</sup>, o que demonstra ser a experiência e o aprendizado fundamentais na sua construção a partir do mundo real em que o próprio agente se inclui, se insere. O mundo real é feito de fatos e regras e está em constante mudança. O mundo é mais rico que a capacidade de representação e a inteligência é uma forma de seleção natural interna. Qualquer agente realiza uma série de operações tais como percepção, planejamento, filtragem, armazenamento e recuperação. Para tanto foi necessário desenvolver um modelo limitando os meios para se perceber, já que perceber o mundo como ele é exigiria uma capacidade incrível de mecanismos. Há um modelo através do qual o agente pode tentar hipóteses que lhe possibilite agir. *A estrutura implícita do estatuto é tornada explícita, o que sempre acarreta uma perda na amplitude do domínio, mas um ganho em compreensão, em objetividade.*

O desenvolvimento de mecanismos de representação do conhecimento, de uma estrutura de conhecimento é tão importante quanto encontrar mecanismos que resolvam determinado problema. Para utilizar o conhecimento obtido do especialista é necessário representar formalmente o conhecimento e uma boa representação do problema inicia com a escolha de um modelo entre muitos paradigmas de representação. A forma de representação do conhecimento mais apropriada a uma determinada situação depende do tipo de conhecimento que se quer representar, bem como do tipo de aplicação de interesse. Neste sentido, existem as mais diferentes metodologias de representação do conhecimento, acima reunidas entre os paradigmas lógico, procedimental e estruturado (ver página 64). A preocupação aqui é com o último, dentro do qual estão relacionados os Sistemas Baseados em Regras, as redes semânticas e os quadros.

---

<sup>1</sup> COELHO, Helder. Inteligência artificial: algumas questões metodológicas. 1995.

A escolha pelo aprofundamento do estudo destes modelos, simbólicos e não conexionistas, estruturais e não procedimentais ou lógicos, se deve à constatação de que estes formalismos permitem construir um SEL de boa qualidade, garantindo uma fácil manutenção, principalmente quando a tarefa do mesmo restringe-se ao que neste trabalho denomina-se enquadramento legal.

Da mesma forma optou-se por trabalhar formas de representação simbólicas, ou seja, que garantam a existência de uma correspondência um para um, entre os símbolos do mundo da representação e os conjuntos do mundo a ser representado e quando para cada relação simples no mundo a ser representada há uma no mundo da representação. Não era o caso de se optar por modelos conexionistas, definitivamente não apropriados para o desenvolvimento do sistema proposto.

Outra hipótese deste trabalho é que o paradigma estrutural, é adequado para a representação do conhecimento jurídico em um SE. O paradigma lógico, por outro lado, servirá apenas de referencial para discussão da representação do conhecimento legal, isso porque tem a vantagem de possuir um caráter formal que aquele não possui.

Por modelo estrutural procura-se definir um conjunto de características comuns a algumas metodologias de representação do conhecimento, entre elas o fato de poderem ser descritas em estruturas bem definidas, da mesma forma que COELHO o fez para as linguagens de programação<sup>2</sup>. Estas estruturas são formadas por objetos e as relações entre eles. Isto fica claro para os quadros como para as redes semânticas, mas é possível dizer que o mesmo ocorre com a regras de produção.

### **1. Sistemas Baseados em Regras**

São Sistemas Baseados em Regras com o formato *se A então B*, em cujos elementos podem ser utilizados conectivos lógicos, além da teoria das probabilidades e dos conjuntos difusos. Para que o sistema funcione é necessário um motor de inferência que manipula as regras, de forma declarativa e não determinística. É este conjunto que se chama Sistema Baseado em Regras.

É o modelo estrutural mais conhecido e mais utilizado<sup>3</sup> e que por muito tempo foi sinônimo de SE. Denominados sistemas de produção ou simplesmente regras de produção por Emil POST em 1943, são o método de representação do

---

<sup>2</sup> COELHO, Helder. How to solve it in Prolog. 1985.

<sup>3</sup> WATERMAN, Donald. A. A Guide to Expert System. 1986.

conhecimento na IA mais utilizado. Isto se deve principalmente a sua facilidade de compreensão e programação, pois as regras fornecem uma maneira formal de representar diretivas e julgamentos próxima da linguagem natural e que permite descrever fatos dependentes do ponto de vista do contexto.

As regras de produção têm similaridade com as regras dedutivas ou a regra condicional lógica em que, sendo as premissas verdadeiras então a conclusão também é verdadeira. Fica evidente as três partes que compõem uma regra de produção:

1. o nome da regra, o qual será identificado pelo mecanismo de inferências;
2. a parte SE, a parte esquerda da regra, que é chamada de premissa ou antecedente de uma regra, na qual estão as condições para a aplicabilidade da regra. Se estas condições forem satisfeitas ou forem verdadeiras será desencadeada a parte direita da regra. Correspondem a um conjunto de restrições, o qual pode ser satisfeito através de fatos da Base de Conhecimento.
3. a parte ENTÃO, conclusão da regra, que descreve a ação a ser realizada. É chamada de conseqüente ou ação de uma regra, que pode criar, inferir novos fatos, mudar o *status* de fatos existentes ou mesmo apagá-los. Esta pode vir a ser uma premissa para outra regra, sendo portanto uma conclusão intermediária; caso contrário, é uma conclusão final. O sistema pode agir sobre a memória de trabalho, sobre a própria memória de regras, sobre ações de entrada e saída ou ações de controle, sobre o motor de inferência ou sobre uma ação para chamar um processo de inferência. Tudo isso à custa de um interpretador.

Esta metodologia de representação exige um conhecimento minimamente estruturado em que o processo de dedução ou de busca entre várias possibilidades é importante. Também exige um conhecimento que pode ser transcrito de forma taxonômica ou em árvore de busca, um conhecimento que seja monótono (ver página 94) e formado por módulos. A esses módulos podem estar vinculadas regras de dois tipos: ou diretivas que na realidade são meta regras ou instruções que indiquem, diante de certos fatos, qual o conjunto de regras deve ser utilizado (*se x então usar o conjunto de regras y*), ou não diretivas que manipulam diretamente os fatos.

A todo sistema de produção está vinculado um mecanismo de inferência que basicamente analisa as premissas das regras que tenham sido selecionadas, comparando com os fatos existentes. Diante da análise dos fatos determinadas premissas são consideradas verdadeiras e a regra que a contém é disparada e a ação contida no seu conseqüente é executada. O fato contido naquela ação é acrescentado à base de fatos. Este processo ocorre até que não existam mais regras a serem

analisadas. Havendo problemas de conflito entre regras, o mecanismo de inferência deve estar preparado para optar por alguma regra mediante algum critério preestabelecido<sup>4</sup>.

### **Construção de sistemas de produção**

Existem etapas que devem ser seguidas para se construir as regras, como definir vocabulário, propriedades, hierarquia, estrutura e tipos de objetos. Para tanto algumas estratégias de caráter genérico devem ser seguidas:

1. para domínios diferentes, bases diferentes;
2. dividir problemas complexos em tarefas menores;
3. sempre definir nas regras variáveis lingüísticas ou termos qualitativos (alto, normal, baixo) ao invés dos limites numéricos, que contudo devem ser mantidos na Base de Conhecimento, permitindo, assim que as devidas manipulações pelo sistema sejam feitas sobre estas variáveis. Para fazer esta transposição para variáveis lingüísticas é possível utilizar diversas técnicas tais como a lógica difusa<sup>5</sup>. É o caso de regras que tratam conhecimento impreciso: podem possuir premissas com incertezas, mas concluem certeza. *SE pressão alta, ENTÃO certamente choverá*;
4. iniciar a montagem da base de regras com as mais gerais seguindo para as mais específicas;
5. documentar as regras definindo comentários para cada uma;
6. em raciocínios não monótonos deve-se impedir que regras já disparadas entrem na agenda novamente (refração).

### **Gerenciamento da base de regras e de conflitos**

A complexidade de um sistema de produção tende sempre a aumentar, seja porque o número de regras aumenta, seja porque as partes esquerda e direita tornam-se mais complexas, ou devido ao uso de variáveis. Por isso há a necessidade do gerenciamento da base de regras, realizado através do controle das regras e da resolução de conflitos.

O controle das regras trata do acréscimo ou retirada definitiva de regras da base e é realizado durante o processo de construção do sistema. Deve levar em conta algumas estratégias práticas<sup>6</sup>:

---

<sup>4</sup> Para mais leitura sobre o tratamento de conflitos ver DAVIS, Randall. Meta-rules: reasoning about control. 1980.

<sup>5</sup> ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. Information and Control, Vol. 8, 1965, p. 338-353.

<sup>6</sup> RABUSKE, Renato Antônio. Inteligência artificial. 1995, p. 193.

1. **Movimento** - evitar a repetição das regras dentro do processo de inferência;
2. **Sistematização** - evitar a repetição de partes das soluções. A busca em largura ou em profundidade garantem uma solução, caso ela exista.
3. **Estabilidade** - persistir na busca da solução, sem abandonar ramos da árvore de decisões (ver página 66) por mudanças de pequeno valor. Evita-se assim saltos desnecessários.
4. **Eficiência** - produzir uma resposta em tempo aceitável, o que significa nem sempre se obter a melhor solução ou aquela que seja resultado de todas as alternativas possíveis.

Já a **resolução de conflitos** entre regras consiste em evitar-se a produção de mais de uma conclusão possíveis mas incompatíveis. É realizada durante o processo de inferência e envolve a escolha de uma regra em um contexto em que existem várias regras candidatas para tal. Seguem critérios para resolver esses conflitos:

1. Fazer uma ordenação das regras. Pode-se organizá-las em módulos ou conjuntos que respondam a problemas específicos. A escolha das regras far-se-á de acordo com a seqüência organizada.
2. Aplicar às regras um valor de prioridade ou peso, de acordo com um grau de importância.
3. Adotar primeiro as regras mais específicas; depois as gerais.
4. Aplicar a regra que atenda aos elementos postos no ambiente de sistema (*LIFO - Last In First Out*).
5. Escolher uma regra arbitrária.
6. Adotar uma nova regra que fuja do ciclo vicioso de aplicação das mesmas regras.
7. O sistema define um conjunto de regras mais promissor e aplica-as.

Para melhor definir as dependências entre as regras é possível mostrar graficamente a rede formada. Esta é chamada de rede de inferência ou diagrama de controle ou de dependência.

| Sistemas especialistas | Conchas <sup>7</sup> |
|------------------------|----------------------|
| MYCIN                  | EMYCIN               |
| PROSPECTOR             | AGE                  |
| DENDRAL                | OPS5                 |
| PUFF                   | ADVISE               |
| INTERNIST              | HEARSAY-III          |
| XCON                   | AL/X                 |
| SACON                  | EXPERT-EASE          |
|                        | KS 300               |
|                        | KES                  |
|                        | PERSONAL             |
|                        | CONSULTANT           |

**Tabela Erro! Argumento de opção desconhecido. - SE e conchas que utilizam regras de produção<sup>8</sup>**

### Vantagens e desvantagens

As vantagens<sup>9</sup>:

1. mais próximo ao raciocínio humano ou mais similar ao processo cognitivo humano;
2. separação nítida entre motor de inferência (controle) e o domínio de conhecimento;
3. modularidade das regras, ou seja, pequenos universos representados isoladamente constituindo uma peça de conhecimento independente, mantendo uma relativa independência em relação às outras regras. Nenhuma regra tem conhecimento das outras regras. É a característica predominante deste tipo de representação;
4. Facilidade de edição: facilidade de controle, expansão e modificação da Base de Conhecimento. Em consequência da modularidade, novas regras podem ser acrescentadas e antigas podem ser modificadas com relativa independência;
5. Transparência do sistema e simplicidade das regras: garante maior legibilidade da base de conhecimentos.
6. fácil tratamento de imprecisões (incerteza) através de recursos como a probabilidade;

<sup>7</sup> Mesmo sendo o termo em inglês *shell* muito difundido, será adotada a sua tradução.

<sup>8</sup> COELHO, Helder. Inteligência artificial: algumas questões metodológicas. 1995.

<sup>9</sup> BENCH-CAPON, Trevor J M. Legal knowledge representation: what can be done with rules?. 1994.

7. podem representar informação pouco estruturada e/ou incompletamente especificada;
8. facilidade de justificação, explanação da escolha de determinada regra durante o processo de inferência;
9. permite verificar consistência com maior facilidade;
10. fácil formalização de heurísticas;
11. permite incorporar variáveis tornando a base mais geral.

**As desvantagens:**

1. necessita combinação exata dos termos que compõem as regras com os termos armazenados na Base de Conhecimento. No plano do usuário este problema é superado através de uma interface de linguagem natural traduzida posteriormente pela máquina.
2. as regras de produção não são apropriadas para todo tipo de representação da estrutura de conhecimento;
3. grande conjunto de regras torna ineficiente (lento) o mecanismo de inferência. O problema proposto é tão geral ou complexo, que é necessário um grande número de regras para descrever o conhecimento e heurísticas do especialista. O número máximo de regras que podem ser representados em um SE, depende da limitação da concha ou da linguagem de programação escolhida;
4. limitação das técnicas de resolução de problemas; difícil verificação e validação de grandes conjuntos. Se o SE contém um grande número de regras altamente específicas, sobrecarrega a execução e aumenta a complexidade do sistema. Sempre que possível, as regras específicas devem ser colocadas para dentro de uma regra mais geral e simples. Isto tornará o SE mais compacto, eficiente e com maior facilidade de manipulação, e
5. difícil manutenção de grandes bases;
6. inexistência de uma metodologia de desenvolvimento;
7. insuficiência semântica;
8. incapacidade para descrever conhecimento temporal e de controle;
9. dificuldade em trabalhar com similaridades e analogias, mudança de contexto e integração de fragmentos de informação;

Enfim, o problema básico com os Sistemas Baseados em Regras está no modo simplista de resolver o problema, o que os torna, se usados isoladamente, sistemas projetados para apoio ao usuário que permanece responsável pela decisão. A integração com outras formas de representação, em especial os quadros, aumenta o seu potencial, ao ponto de ultrapassarem aquele limite. No protótipo construído

foram testadas as duas possibilidades. Quando a integração foi implementada demonstrou-se ser especialmente fácil a construção e manutenção do sistema, mesmo havendo sido aumentada a sua complexidade estrutural.

## 2. Sistemas orientados a Objetos

Sistemas orientados a objetos surgem com o intuito de encontrar uma nova forma de fazer simulações. NYGAARD e DAHL<sup>10</sup> desenvolveram a linguagem *Simula* que descreve sistemas em termos de entidades e relações entre elas, organizadas em classes e subclasses. Se por um lado a nova fórmula era auspiciosa havia o problema do tempo elevado de execução dos programas. Com a evolução do *hardware* e o aumento da performance dessas linguagens a orientação a objetos é considerada hoje uma das melhores formas para projetar uma grande variedade de aplicações, entre elas os SE.

Um objeto é simplesmente um pacote de dados ao qual está relacionado um conjunto de ações que manipulam o estado desses dados. Nos Sistemas Baseados em Objetos o conhecimento é descrito com objetos (componentes) e relações (propriedades) sobre as entidades a serem modeladas (conceitos, hierarquias de estruturas, descrições de classes e elementos e instâncias individuais ou componentes de objetos)<sup>11</sup>. Uma base de conhecimentos é uma coleção de objetos e de relações. Todas as interações com os objetos são feitas através das mensagens. Estas são enviadas a eles que decidem como respondê-las através de procedimentos próprios chamados métodos.

A orientação a objetos é uma metodologia adequada para situações prototípicas e raciocínio por omissão (capacidade não monótona) e por analogia, situações estas que envolvem o uso de informação contextual. Utiliza princípios de organização dos objetos como a generalização, a agregação e a classificação, que permitem o acesso à informação de forma mais rápida.

Em termos da construção de Sistemas Baseados em Objetos das fases que seguem duas são aquelas que lhe são específicas, quais sejam, a 3 e 5<sup>12</sup>:

1. Definir o problema;
2. analisar o domínio;
3. definir classes, subclasses e instâncias, regras, comunicações entre objetos (métodos e mensagens) e interface;

---

<sup>10</sup> DAHL, O J. SIMULA- an algol-based simulation language. s/d.

<sup>11</sup> BOOCH, Grady. Object oriented design with applications. s/d.

<sup>12</sup> BOOCH, Grady. Object oriented design with applications. s/d.



4. avaliar o sistema;
5. Expandir o sistema, aprofundando o conhecimento (ampliando o número de características) e estendendo o conhecimento (ampliando o número de objetos)

Tendo-se o objetivo de apresentar o modelo orientado a objetos procura-se antes apresentar uma arquitetura de representação, isto é, uma linguagem com uma teoria semântica e nada mais e não propor uma arquitetura computacional, tarefa que dá ênfase na modelagem computacional sem se preocupar com o domínio a ser representado. Computacionalmente, os quadros são dispositivos que servem para organizar o acesso de memória e as inferências. Em termos representacionais a preocupação recai na construção dos objetos e seus atributos de um domínio específico.

#### **Modelo de objetos vs. modelo lógico**

O desenvolvimento de um sistema computacional que parte de uma metodologia de projeto e estruturação em princípio deve usar conceitos de modelagem orientada a objetos, isto é, orientada a dados estruturados e operações sobre dados. Este modelo exige mais tempo de análise, mas menos tempo de modelagem do domínio. Esta análise identifica estratégias que facilitam a compreensão do próprio conhecimento que está sendo estruturado, o que facilita a modelagem e portanto, aumenta a velocidade da construção do sistema e de sua manutenção.

A orientação a objetos não é tão formal quanto o modelo lógico e tem um ponto de vista mais intuitivo em termos de programação. Enquanto o formalismo lógico e os modelos numéricos trabalham com cadeias de caracteres (predicados) ou números e são bastante úteis para representar fatos simples, o modelo estrutural e em especial a orientação a objetos, de redes com notação gráfica, tem como base objetos e possuem a capacidade de representar realidades relativamente complexas.

| modelo lógico  | rede de objetos (semântica)   |
|--|---|
| voa (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> ave (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b><br>~anormalb(X)<br>ave (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> avestruz (X)<br>~voa (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> avestruz (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b><br>~anormalb (X)<br>penas (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> ave (X)<br>anda (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> avestruz (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b><br>~anormalo(X)<br>cabelo (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> mamífero (X)<br>anda (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> mamífero (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b><br>~anormalm (X)<br>mamífero (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> tigre (X)<br>mamífero (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> baleia (X)<br>nada (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b> mamífero (X) <b>Erro! Indicador não definido.</b><br>~anormalw (X)<br>ave (tweety)<br>avestruz (fred)<br>tigre (hobbes)<br>baleia (moby) | subclasse (avestruz, ave)<br>subclasse (tigre, mamífero)<br>subclasse (baleia, mamífero)<br>certo (ave, coberto, penas)<br>certo (mamífero, coberto, pêlos)<br>omissão (ave, locomoção, voa)<br>omissão (avestruz, locomoção, anda)<br>omissão (mamífero, locomoção, anda)<br>omissão (baleia, locomoção, nada)<br>instância (tweety, ave)<br>instância (fred, avestruz)<br>instância (hobbes, tigre)<br>instância (moby, baleia) |

**Tabela Erro! Argumento de opção desconhecido. - Exemplo formalizado em lógica e em uma rede semântica**

Qualquer rede ou quadro pode ser definido com frases de uma lógica ou mesmo não são mais que lógica elaborada<sup>13</sup>. A questão que surge: o que é melhor, uma cadeia de caracteres ou uma notação gráfica? Há situações em que a compreensão é maior em uma notação, ocorrendo o inverso em outras situações. Contudo, não existe qualquer necessidade em fazer opções, como durante muito tempo se pensou, pois pode-se passar de uma notação à outra, e vice-versa<sup>14</sup>. Escolhe-se a notação que estiver mais à mão, podendo recorrer-se à outra notação por razões de ser mais fácil servir a intuição. Veja-se o caso do projeto CYC<sup>15</sup> que fornece interface para as duas formas de representação.

Contudo, o modelo de objetos parece ser mais eficaz em termos computacionais que o modelo lógico<sup>16</sup>. O homem normalmente não usa a lógica no sentido de um raciocínio dedutivo, expresso nas regras de produção, mas retira da memória uma situação similar feita de imagens e construções anteriores, um modelo mental<sup>17</sup>. Na computação o que mais se parece a esse modelo é o paradigma de objetos.

Ao contrário daquele, o cálculo de predicados permite axiomatizar o comportamento de qualquer sistema computacional, mas a evolução do aprendizado é difícil devido a sua notação e estilo. Uma lógica é um instrumento poderoso para a representação e o raciocínio, mas consiste apenas na sintaxe, na semântica e na teoria da prova. Não oferece qualquer ajuda em como expressar substâncias, objetos, nomes múltiplos, quantidades, objetos coletivos<sup>18</sup>. Nesta tarefa a ontologia, a representação em objetos com seus conceitos gerais, suas identificações ou representações múltiplas (saber entender e conhecer significações diferentes), faz melhor.

Exemplo disto é o princípio de identidade em que há dificuldade de nomear um indivíduo em situações de nomes ou códigos de identificação múltiplos. Em lógica de primeira ordem, o problema da identificação múltipla é ignorado. Cada entidade no domínio é suposta ter apenas um nome lógico, o qual é único dentro do

---

<sup>13</sup> HAYES, Patrick J. The logic of frames. 1979.

<sup>14</sup> COELHO, Helder. Inteligência artificial: algumas questões metodológicas. 1995.

<sup>15</sup> LENAT, Douglas B. Building Large Knowledge- Based Systems; Representation and Reasoning in the Cyc Project. 1990.

<sup>16</sup> WOODS, Willian A. Important issues in knowledge representation. s/d.

<sup>17</sup> JOHNSON-LAIRD, P N. The computer and the mind: an instruction to cognitive science. 1989.

<sup>18</sup> VISSER, Pepijn. On Mismatches between ontologies: a first investigation into knowledge fusion. 1996.

alcance da lógica. Na ontologia aqueles nomes identificam de forma inequívoca um indivíduo, distinguindo entre identificadores externos e internos. Para uma entidade conhecida internamente como x1716 pode-se vincular vários identificadores externos como: último nome (x1716) = *rover*, identidade (x1716) = 2314562233, masis (x1716) = 1562.

Além disso, o modelo lógico começa a explodir na medida em que aumentam as regras. Possui boa expressividade, mas pouca eficácia computacional (tratabilidade). Um bom mecanismo de recuperação, além de ter um processo de unificação padrão, deve possuir uma teoria de agrupamentos e uma rede de similaridade, o que este modelo possui. Pensar nas coisas (aves, tigres, e baleias) não como predicados, mas como objetos permite outro tipo de agrupamento. A descrição por objetos é extensa, mas é mais clara e mais simples de ser ampliada com mais classes (objeto em um nível mais alto), subclasses, e instâncias (objetos individuais). Esses conceitos acima possuem características funcionais semânticas, definidas a partir de uma seqüência hierárquica de elementos ou objetos.

Na orientação a objetos há um conjunto de conceitos (uma abstração que envolve vários predicados relacionados) ligados por uma relação de generalização (taxonomia) e cada conceito tem uma estrutura interna. A capacidade de generalização da taxonomia pode criar um operador que trabalhe com objetos bem diferentes e recordar ou identificar que alguns dos elementos percebidos são instâncias de uma situação já conhecida (instância de um conceito). É claro que tais combinações precisam dar-se de maneira formalmente permitida, isto é, através de regras sintáticas permitidas pela similaridade da taxonomia.

A representação orientada a objetos possibilita criar um tratamento uniforme dos aspectos dinâmico e estático do problema definindo os processos e as entidades como tipos de objetos e relações entre eles. Isto faz com que esses modelos de representação sejam facilmente utilizados para resolver problemas. Para tanto, possuem um conjunto de regras de inferência que, ao contrário dos modelos lógicos, não dispõem de rigor formal mas levam em conta a necessidade de eficiência computacional.

Por isto, a orientação a objetos é uma abordagem de representação que dificilmente constrói um modelo semântico do mundo, como é próprio das lógicas. É construído apenas um modelo a partir dos componentes da situação, no qual todos os objetos e todas as relações estão explicitamente definidas, sem haver redundância de informação. Não há uma semântica clara. Frequentemente, o utilizador é deixado à vontade para induzir a semântica de linguagem a partir do comportamento do

programa (realização). Por isso, muitos pensam nas redes no nível da realização, em vez de optarem pelo nível lógico ou ainda pelo nível do conhecimento. De qualquer maneira, é sempre possível definir a semântica em Lógica de 1ª ordem. Para reificar as relações lógicas basta transformar os predicados em objetos. Esta via parece ser superior à lógica na medida em que se aproxima do raciocínio analógico.

### Triplas objeto-atributo-valor

As triplas objeto-atributo-valor são úteis tanto para representar o conhecimento na base de fatos como na base de regras, especialmente nos antecedentes das regras. Podem ser representadas por proposições complexas. Apresenta a **vantagem** da simplicidade de representação e da eficácia e similaridade à linguagem natural.

É um formalismo usado principalmente quando se trabalha com regras de produção. Os objetos são considerados fatos elementares, constituídos por atributos que por sua vez representam suas características ou qualidades. Da mesma forma, a cada atributo estará vinculado um conjunto de valores. Ao menos que exista uma evidência do contrário, é assumido que todos os membros de uma classe herdarão todas as propriedades dos objetos da classe superior.

| Objeto    | atributo         | valor |
|-----------|------------------|-------|
| Carro     | número de rodas  | 4     |
| Meu_carro | número de portas | 2     |

**Tabela Erro! Argumento de opção desconhecido. - Exemplo de uma tripla objeto, atributo e valor**

No nível ontológico é possível fazer escolhas quanto às diferentes formas de conceituar as relações entre entidades no mundo, ou seja, indicando ou representando a relação, os termos ou nomes dos atributos em si  $[(Carro\_vermelho(x))$  ou  $[Carro(x) e Vermelho(x)]$  e indicando o tipo ou parâmetro do valor do atributo  $[(Comprimento\_rodovia(x, em\_km)]$  ou  $[Comprimento\_rodovia(x, em\_milha)]$ <sup>19</sup>. A boa escolha desses termos definirá a eficiência e longevidade do sistema.

### Formas de organizar e hierarquizar objetos

Observe-se que no exemplo da tTabela **Erro! Argumento de opção desconhecido.** há o objeto *meu\_carro* que é na verdade uma instanciação do objeto *carro*, isto é, representa um indivíduo ou instância de carro. Este processo de organização dos objetos faz parte da preocupação de se definir esquemas, uma estrutura hierarquizada de informações que parte de concepções genéricas para mais específicas. Qualquer forma de organização ou classificação é um esquema de

<sup>19</sup> Utiliza-se nos exemplos predicados por sua facilidade de compreensão e descrição.

abstração que denota as características essenciais de um objeto para distinguí-lo de outros<sup>20</sup>. Da mesma forma que nas relações no nível dos objetos (atributos e valores) é importante definir claramente as escolhas, aqui ocorre o mesmo quanto aos objetos em si mesmos. Existem três esquemas de organização dos objetos<sup>21</sup>:

1. **categorização ou generalização ou classificação por especialização**, em que as subclasses são objetos *é tipo de* ou *é instância de* em relação à classe; não se realiza através da relação de herança de atributos mas através da relação entre objetos; geladeiras e congeladores são subclasse de equipamentos de refrigeração;
2. **por agregação ou particularização**, em que há níveis de abstração do tipo *é parte de* ou *é componente de* (propriedades) em relação à classe; termostatos e compressores são parte de congeladores;
3. **por associação**, em que certas idéias promovem a lembrança de outras idéias relacionadas, em que uma classe tem atributos que associam características comuns a outras classes diferentes; a associação proporciona meios de navegar pelas informações e de recordá-las; comer alpiste e voar está associado a pássaro. Montanhas e pistas está associado a esqui.

#### **Características básicas da orientação a objetos**

As características típicas da orientação a objetos passa pela apresentação dos diversos esquemas de abstração que descrevem um objeto para distinguí-lo de outros. Como o modelo trabalha com classes/objetos fica evidente que a idéia de hierarquia é importante, na medida em que esta é uma forma de ordenação das abstrações<sup>22</sup>.

##### **4.2.4.1 Herança**

Um objeto pode pertencer a uma ou mais categorias e pode herdar propriedades ao longo desses caminhos. A capacidade de herança nada mais é do que a transmissão de propriedades comuns entre os objetos, sejam essas propriedades atributos, valores, métodos. Neste caso são chamados de gerais pois foram herdados anteriormente de uma classe); não é o caso dos locais que são específicos do objeto e ocorrem quando surge a partir do objeto corrente ou quando há uma manipulação de exceção, ou seja, quando há a mudança do valor/atributo/método herdado.

---

<sup>20</sup> BOOCH, Grady. Object oriented design with applications. s/d.

<sup>21</sup> DURKIN, John. Expert systems - design and development. 1994.

<sup>22</sup> Para aprofundar o estudo destes conceitos que seguem ver BOOCH, Grady. Object oriented design with applications. s/d.

Existe a herança simples, quando apenas um objeto herda propriedades, ao contrário da herança múltipla, quando um objeto pode pertencer a mais de uma categoria e pode herdar as propriedades ao longo de várias camadas. Em linguagens de programação orientadas a objetos a herança múltipla é comum, enquanto que nos quadros é normalmente implementada a herança simples.

#### **4.2.4.2 Métodos (message passing)**

Os objetos comunicam-se entre si e com o ambiente através das mensagens que são respondidas através de procedimentos internos chamados métodos. As mensagens contém o nome do objeto cujo método desejado está relacionado e o nome do método que se quer executar. São um dos principais componentes de mudança que se expressam através de funções ou regras que funcionam localmente no nível de objetos. São também conhecidos como serviços.

Os métodos têm a capacidade exclusiva de manipular os dados privativos dos objetos e podem ainda enviar mensagens para outros objetos para realizar operações. Neste caso têm condições de manipular variáveis que tornam o procedimento mais direto e mais geral.

Geralmente eles contém restrições como a delimitação dos valores possíveis ( $x$  não ocorre enquanto  $y$  não acontecer) e é expressa em uma linguagem de especificação ontológica. Esta linguagem é usada para definir qual informação pode ser especificada nos atributos da estrutura. Para tanto, há diferentes linguagens tendo em vista diferentes tipos de expressões necessárias para preencher aquela estrutura. Por exemplo, há expressões não temporais sobre o domínio, há as referências temporais, há as que se referem a atos e outras que se constituem na metalinguagem, em nível temporal ou não.

#### **4.2.4.3 Polimorfismo**

O polimorfismo é um método de implementação segundo a qual as mensagens enviadas para os objetos possuem a capacidade de obter respostas específicas de acordo com cada objeto que responde, utilizando métodos herdados com mesmo nome e função. Isto permite tratar objetos de diferentes classes de maneira uniforme.

Por exemplo, a classe movimento de conta corrente que exige cálculos diferentes para atualizar o saldo. Para isso há um método chamado saldo que nesta classe não executa nada. Abaixo desta classe há a subclasse financiamento que possui por herança o método saldo, que agora terá um cálculo específico. O mesmo

se aplica a outros tipos de movimentação como depósitos em poupança e aplicações financeiras. Ao pedido do saldo da conta corrente será chamado cada um dos métodos das classes inferiores para realizar o cálculo.

#### 4.2.4.4 Encapsulamento

O encapsulamento é outro método de implementação pela qual se escondem características de uma classe, mostrando apenas o indispensável que geralmente é bem simples. As ações executadas por métodos sobre os objetos só podem se realizar sobre aqueles aos quais pertencem. Toda manipulação de um objeto pode vir somente dele mesmo e não é visível fora dele. Por este motivo, é preciso saber apenas como enviar a mensagem apropriada ao objeto para realizar determinadas ações conhecidas e associadas aos objetos. Estes é que devem saber como responder ao pedido. É uma forma de modularidade que separa os componentes em unidades relativamente isoladas e restringe as modificações.

Por exemplo, a classe dos carros composta pelas classes motor, rodas, suspensão, carroceria, etc. Trata-se de uma classe com excesso de informações para as concessionárias que precisam conhecer pouco mais que o ano, modelo, cor e acessórios. Através do encapsulamento o desenvolvedor cria a classe dos carros de concessionária, disponibilizando nela somente as informações necessárias.

#### Redes semânticas

Foram originariamente projetadas como um meio de representar os significados de palavras inglesas<sup>23</sup>. A representação em redes inspirou-se no modelo psicológico da memória humana associativa. O termo rede semântica é usado para descrever uma estrutura de rede formada por nós (elementos primitivos) conectados por arcos. Os nós podem representar objetos, conceitos ou eventos e os arcos definem as relações hierárquicas existentes entre os nós (*É um, Tem um, Tipo de, maior que*) ou definem novas entidades (altura, cor). O objetivo de uma rede é a definição de um conceito a partir do que está relacionado (envolvente semântica).

Os nós dos níveis hierárquicos mais baixos (*tokens*) denotam indivíduos ou instâncias, e são conectados por arcos *É\_UM*. Os nós de níveis hierárquicos mais altos (*types*) representam classes ou categorias de indivíduos. São abstrações definidas sobre *tokens* que captam generalizações úteis daqueles.

Sendo uma simples coleção de nós e arcos, é uma estrutura semântica menos complexa que os quadros, empregada com um conjunto de regras de

---

<sup>23</sup> QUILLIAN, M Ross. Words concepts. 1967.



inferência especialmente projetadas para tratar de modo correto os tipos específicos de arcos presentes na rede (procedimentos de manipulação). É um método particularmente útil para representar o conteúdo de frases declarativas que descrevem diversos aspectos de um evento, na forma de predicados de dois argumentos.

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Marco é um homem            | éUm(Marco, Homem);   |
| a cadeira tem cor castanho  | cor(cadeira, castanho).  |
| João deu o livro para Maria | Agente(X,João), éUm(X,dar), éUm(X,livro), beneficiário(X,Maria). |

**Tabela Erro! Argumento de opção desconhecido. - Frases formalizadas em uma rede semântica**

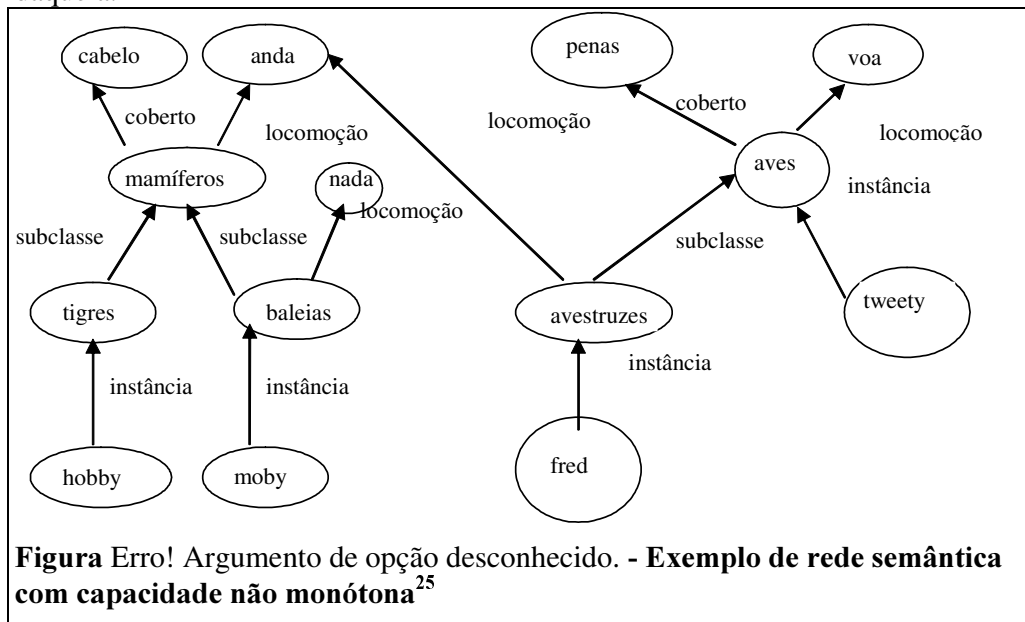
A potência da representação em uma rede semântica<sup>24</sup> aumenta a medida em que a complexidade do formalismo aumenta. Isto significa que para não se ter problemas de reconhecimento de caminho e de informações conflitantes por parte do Motor de Inferência, deve-se aumentar o número de relações semânticas ou arcos. Para dar maior potencialidade às redes semânticas, podem ser utilizadas as triplas *objeto-atributo-valor*.

Dessa forma, as redes semânticas, como os quadros, são estruturas de finalidade geral, nas quais conjuntos particulares de conhecimento específicos de domínio podem ser encaixados. Os detalhes da operação variam com os tipos específicos de conhecimento que o sistema será chamado a realizar.

Adicionar **capacidade não monótona** ao sistema complica as coisas, pois as omissões sobre certos objetos podem entrar em conflito. Na rede semântica apresentada é fácil concluir que as aves voam e *Tweety* também e que *Fred* é um avestruz e portanto *Fred* anda. Mas, como *Fred* é avestruz e ave, existem 2 extensões possíveis. Em uma ele é um avestruz normal e anda, e na outra é uma ave normal e voa. É claro que a extensão correta é a primeira. É preciso afirmar que para cada objeto O e atributo A só pode haver um valor V possível. É necessário declarar explicitamente as condições sob as quais um objeto é diferente do outro adicionando o axioma *diferente (anda, voa)*. Neste caso, a informação sobre subclasses (avestruz) deve ser preferida à informação sobre classes (aves). Isto quer dizer que algumas modificações para considerar os valores de omissão nos atributos da classe devem

<sup>24</sup> BONET, A. Artificial Intelligence - Promise and Performance. 1985.

ser feitas na medida em que os valores relativos à subclasse tem preferência sobre os daquela.



As **vantagens** das redes semânticas dizem respeito às associações poderem ser feitas de modo explícito e sucinto (grande variedade de relações representadas), isto é os fatos relevantes acerca de um objeto ou conceito podem ser deduzidos dos nós a que eles estão ligados diretamente, sem uma procura através de uma extensa base de dados, à existência de metodologias de desenvolvimento e a representação natural. Além disso é:

1. compacta (nem sempre determinante)
2. intuitiva
3. fácil de trabalhar: compreender e modificar
4. raciocínio mais eficiente do que na lógica de 1ª ordem (aceleração do processo de raciocínio)

As **desvantagens** são:

1. a interpretação (semântica) das redes depende somente do programa que as manipula, isto é as inferências geradas pela manipulação da rede não são seguramente válidas, no sentido em que o são nos esquemas baseados na representação lógica;

<sup>25</sup> COELHO, Helder. Inteligência artificial: algumas questões metodológicas. 1995.

2. a definição das relações pode ser ambígua e não padronizada, dificultando assim a compreensão do objetivo da rede, bem como a sua consistência e há falta de métodos de resolução bem definidos;
3. em alguns casos, dependendo do problema analisado, pode ocorrer explosão combinatória na busca dos nós;
4. podem dar margem a diferentes interpretações, causando diferentes inferências;
5. não é possível fazer muitas distinções (possíveis na lógica matemática).

Dessa forma, a virtude das redes semânticas, ser uma simples coleção de nós e arcos<sup>26</sup>, cujas informações estão armazenadas neles de forma direta, torna-se um fator de fragilidade do formalismo quando objetos bem mais complexos fizerem parte do domínio de conhecimento a ser implementado. Tendo-se essa informação, nem procurou-se implementar qualquer teste de rede semântica no Direito. Partiu-se logo para uma estrutura semelhante, porém mais poderosa, os quadros.

### **Quadros (*frames*)**

A representação por quadros é uma das variantes do paradigma estrutural simbólico e é um modelo particular de orientação a objetos. São estruturas de dados que inclui informação declarativa e procedimental em relações internas predefinidas. Os conhecimentos relacionados são arquitetados em estruturas discretas que têm propriedades individuais.

É organizado de forma semelhante a uma rede semântica agrupando toda a informação sobre qualquer objeto particular em um só lugar. Por outro lado, os quadros são ainda mais orientados semanticamente que as redes semânticas. Estas consistem numa simples coleção de nós e arcos, cujas informações estão armazenadas neles de forma direta, enquanto que aqueles são objetos bem mais complexos e projetados para representar os recursos comuns das coisas, podendo conter descrições de valores por omissão. Nos quadros, as informações estão disseminadas em diversos dispositivos como os atributos<sup>27</sup> e seus valores, os métodos a eles vinculados e todas as configurações possíveis desses dispositivos. Por isso esse tipo de representação é bem mais pesado que o modelo das redes semânticas.

---

<sup>26</sup> SOWA, John F. Principles of semantic networks. 1991.

<sup>27</sup> Nesta representação o termo mais divulgado para atributos é o termo em inglês *slot*, mas por opção procurar-se-á utilizar os termos em português propriedades, escaninhos e atributos.

O conjunto de quadros é uma estrutura de preenchimento apresentada por MINSKY<sup>28</sup> em 1975. Parte da evidência de que as pessoas não analisam situações novas a partir do zero e depois constroem novas estruturas de conhecimento para descrever essas situações. Procura-se fazer então uma coleção de estruturas representando o conhecimento anterior e permitindo que sejam preenchidos os detalhes do evento atual. Uma nova situação (uma quebra da ordem, do padrão estabelecido) não é muito diferente das situações conhecidas. A novidade exigirá uma mudança no quadro, ou seja, um aprendizado, sempre a partir do resultado de experiência e conhecimento anteriores. É uma estratégia de organização e estruturação da base de conhecimento em que situações estereotipadas são representadas, e não uma estratégia de solução de problemas, como é o caso da *orientação para eventos*.

Segundo MINSKY<sup>29</sup> o quadro é uma das estruturas mais flexíveis para representação do conhecimento. O quadro refere-se a uma maneira especial de representar conceitos e situações. É uma rede de nós e relações (interligações) organizada de forma hierárquica, em que os nós do topo (de níveis mais altos) são fixos e representam coisas que são sempre verdadeiras sobre a situação suposta (conceitos gerais) e os nós inferiores (de níveis mais baixos) representam instâncias ou objetos mais específicos destes conceitos e por isso, têm muitos nós terminais. Esta é uma rede de similaridade (coisas semelhantes, mas não iguais) em que cada nível inferior é uma especialização do superior, que serviria de foco. Estes focos sozinhos são raramente úteis porque são muito gerais.

A representação por quadros constituem-se em pequenas bases de dados que colecionam bocados relacionados de informação de modo estruturado. Anexadas estão vários tipos de informação sobre como usar o quadro. Deve-se ter grande conhecimento sobre o cenário a ser representado na medida em que são representadas explicitamente todas as questões envolvidas. Além disso, todas as questões devem estar associadas ao quadro. Um quadro é uma coleção de questões relativas a uma situação hipotética.

Um quadro é um conceito mais restrito de objeto. É composto por uma coleção de escaninhos preenchidos por valores, podendo este preenchimento estar submetido a condições definidas em métodos, que por sua vez, apenas referem-se a determinados escaninhos (escalável). O preenchimento dos valores pode ser definido

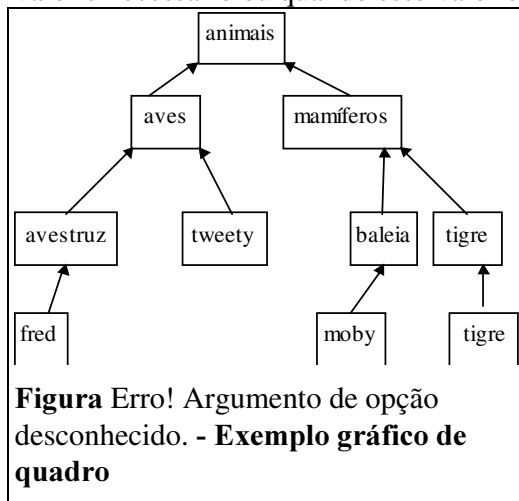
---

<sup>28</sup> MINSKY, Marvin L. A framework for representing knowledge. 1975.

<sup>29</sup> MINSKY, Marvin L. A framework for representing knowledge. 1975.

como padrão ao descrever casos típicos (fatos que não mudam). Aqui os valores são herdados aos demais quadros e não devem sofrer alterações. Os valores também podem ser obtidos por inferência do sistema ou através do preenchimento pelo usuário, situação em que os quadros são suficientemente genéricos para que conjuntos particulares ou detalhes de um evento (fatos que mudam) sejam representados.

Cada atributo ou escaninho possui uma série de características que são chamadas de *facets*<sup>30</sup> ou conhecimento estendido que podem ser preenchidos de acordo com as características do escaninho e permitem um maior controle sobre os valores dos atributos. É possível limitar os valores disponíveis para um conjunto de possibilidades (*valores disponíveis*), restringir o tipo de dados (*string, numérico, booleano*), definir um comentário (*prompt*), definir que ações tomar quando um valor é necessário ou quando esse valor é modificado, entre outros.



Um quadro fornece uma representação estruturada de um objeto ou de uma classe de objetos e facilita a descrição dos seus tipos através da inclusão de protótipos, de padrões considerados verdadeiros (confirmados pelo sistema) e herdados aos demais quadros. Além disso possui a capacidade de inclusão de expectativas e outros tipos de suposição, como valores por omissão, ou seja, possui **capacidade não monótona**. É o caso das atribuições por

defeito ou por falta (*default*) que também expressam valores padrões, mas que são omissões. Esse preenchimento padrão representa estereótipos de ação utilizado para criar uma descrição dos objetos por defeito que pode ser substituída a medida que os valores reais são obtidos. Contudo, nesta situação não existe qualquer indicação na descrição do quadro sobre se os escaninhos correspondem a verdades ou omissões. Importa é que a informação sobre subclasses (avestruz) deve ser preferida à informação sobre classes (aves), como ocorre nas redes semânticas. Haverá modificações dos valores de omissão nos atributos da classe que não serão herdados à subclasse. O escaninho locomoção preenchido com o valor voa na classe aves será

<sup>30</sup> DURKIN, John. Expert systems - design and development. 1994.

preenchido com o valor *anda* na subclasse *avestruz*. Este tem preferência sobre aquele.

| Objeto    | classe do objeto    | Escaninhos e valores                 |
|-----------|---------------------|--------------------------------------|
| animais   |                     | coberto:<br>locomoção:               |
| aves      | subclasse : animais | coberto: penas<br>locomoção:<br>voa  |
| mamíferos | subclasse : animais | coberto: pelos<br>locomoção:<br>anda |
| avestruz  | subclasse : ave     | coberto: *<br>locomoção:<br>anda     |
| tigre     | subclasse: mamífero | coberto: *<br>locomoção: *           |
| baleia    | subclasse: mamífero | coberto: ?<br>locomoção:<br>nada     |
| tweety    | instância: ave      | coberto: *<br>locomoção: *           |
| fred      | instância: avestruz | coberto: *<br>locomoção: *           |
| hobbes    | instância: tigre    | coberto: *<br>locomoção: *           |
| moby      | instância: baleia   | coberto: *<br>locomoção: *           |

**Tabela** Erro! Argumento de opção desconhecido. - Escaninhos e valores do exemplo acima

classe dos mamíferos pode conter várias sub-classes que compartilham características comuns, e além disto podem ter características próprias. Neste nível foram preenchidos os escaninhos com valores representativos de cada classe (nadar, andar e voar, e pelos e penas). Finalmente, cada subclasse pode possuir instâncias, que estão no nível de indivíduos, sendo a máxima particularização possível que pode ser feita. São os casos de *moby*, *hobbes*, *fred* e *tweety*, marcados no gráfico com linhas pontilhadas.

Como pode ser observado na **Erro! Argumento de opção desconhecido.** e na **Erro! Argumento de opção desconhecido.**, os quadros são organizados em forma hierárquica, na qual as classes e instâncias inferiores herdam as propriedades das classes superiores (aqui sinalizadas com o sinal de asterisco (\*)).

Assim, pode-se ter, para a super-classe *animais*, um conjunto de escaninhos representando algumas características do reino animal, as quais valeriam para todas as subclasses. O exemplo são os atributos da locomoção e da cobertura, que nesse nível não foram preenchidos com valores.

Por sua vez, a

O quadro tem um compromisso ontológico e uma teoria do raciocínio inteligente baseado na cognição humana e na organização do conhecimento na memória<sup>31</sup>. Seu principal compromisso ontológico é ver o mundo em termos de descrições de estereótipos, isto é, de conceitos que descrevem o mundo em termos do que é tipicamente verdade. Isto é particularmente apropriado em situações em que categorias raramente têm especificações precisas em termos de condições necessárias e suficientes, e nas quais exceções abundam e mudanças são freqüentes.

A teoria de raciocínio embutida nos quadros é uma forma de reconhecimento em que há o casamento de estereótipos tendo em vista fatos ou instâncias individuais. A organização de conhecimento está baseada na convicção de que a informação na memória humana é rica e explicitamente interconectada, em lugar de estruturada como um conjunto de fatos independentes ou implicitamente conectados. Assim, nos quadros, as inferências são produzidas pelo casamento de estereótipos e pelas instanciações.

A representação por quadros, diferentemente da programação lógica, provê uma computação eficiente já que substitui a dedução pelo casamento de estruturas e descreve os conceitos do mundo indicando as suas propriedades típicas e não fazendo declarações sobre o que é verdade ou falso.

### **Vantagens e desvantagens**

São várias as **vantagens** da representação por quadros, principalmente:

1. a representação em termos de objetos é mais próxima dos modelos do mundo real respondendo bem ao isomorfismo dos domínios de conhecimento;
2. isto permite a facilidade de entendimento, modificação e manutenção quando se obtém nova informação; além disso sendo um modelo simples e expressivo de relação entre diversas partes de um sistema permite a reutilização e extensividade desses seus componentes;
3. há ótima representação do conhecimento procedimental e permite representar a propagação da informação pelo sistema;
4. coligem toda a informação disponível sobre um objeto particular ou sobre uma classe de objetos em um só lugar, o que responde bem à busca de modularidade na representação dos domínios de conhecimento.

---

<sup>31</sup> MINSKY, Marvin L. K-lines: a theory of memory. 1980.

Por isto tudo, os quadros são particularmente úteis para representar o conhecimento relacionado a eventos ou conceitos padronizados. Em termos computacionais é indicado quando o estado de objetos influencia no de outros, ou seja, quando a comunicação (relações) entre os objetos é fundamental na estrutura de conhecimento<sup>32</sup>.

As **desvantagens**: Existe falta de definição consistente entre níveis e de metodologias de desenvolvimento, e também a sua característica unidimensional limita o número das relações descritas. Também não representa bem heurísticas e dificulta o processo de depuração do sistema (*debugging*).

A orientação a objetos só agora tem adquirido status de linguagem de inteligência artificial. Isto porque nos anos 80 a maioria dos SE era baseada em regras e em quadros; já nos anos 90 boa parte era formada por conchas híbridas e baseada em objetos.

---

<sup>32</sup> COELHO, Helder. Inteligência artificial em 25 lições. 1995.



|               |                                     |   |
|---------------|-------------------------------------|---|
| 40's          |                                     | primeira idéias   |
| 1896          | Charles Peirce                      | propôs uma notação gráfica, denominada por grafos existenciais, que ele previu como <i>a lógica do futuro</i> , e deu início, de fato, a um debate, sem fim à vista, entre os defensores da Lógica e os defensores das Redes (anti-formalistas) |
| 60's          | Dahl e Nygaard                      | ALGOL<br>SIMULA 67- superset do ALGOL   |
| 1961          | Ross Quillian                       | propôs as Redes Semânticas, atualizando as idéias de Pierce   |
| 1970          | Woods                               | língua natural  |
| 1975          | Minsky                              | percepção   |
| 1977          | Schank e Abelson                    | Scripts, planejamento, metas e compreensão  |
| 1979          | Fahlan Shapiro                      | Formalização do raciocínio NMR {herança}<br>SnePS   |
| 1983          | Brachman                            | KRYPTON   |
| 1984          | Gordon                              | Modula 2  |
| 1985          | Brachman e Schmolze                 | KL-ONE<br>STEFIK, Mark; ZDYBEL  |
| 1986          | Stefik, Zdybel                      | Extensões do LIPS: Scoops, Flavor, LOOPS  |
| 1987          | Horty                               | algoritmos especiais  |
| 1989          | Patel-Schneider                     | Complexidade, elegância e prudência   |
| 1990          | Steele<br>MacGregor<br>Guha e Lenat | Common Lisp<br>LOOM<br>CYC  |
| 1991          | Kautz e Selman                      | Complexidade, elegância e prudência   |
| 1992          | Geffner e Pearl                     | Problema da herança como instância do problema da extensão múltipla.  |
| 1994          | Moss                                | PROLOG++  |
| Mais recentes |                                     | C++<br>Pascal Object  |

**Tabela** Erro! Argumento de opção desconhecido. - **Orientação a objetos - evolução**

### 3. Sistemas híbridos de representação

Conclui-se com a idéia geral de que a construção de um SEL quase sempre exige a adoção de formas diferentes de representação de

conhecimento, tendo em vista as deficiências que estas, isoladamente, possuem. Sistemas híbridos, considerados em geral e dentro da literatura de IA, são produtos da combinação tanto de técnicas como de formalismos de representação diferentes. Aqui trata-se do segundo caso, tendo em vista que a técnica pressuposta na discussão são os SE.

Regras de produção e quadros são dois esquemas contrastantes e complementares por representar tipos diferentes de conhecimento. As regras são apropriadas para representar implicações lógicas nas quais é possível associar ações com condições. Os quadros são apropriados para definir termos e descrever objetos e as relações entre eles.

Combinar estes dois métodos vai além da simples complementação de um pelo outro na medida em que, sinergicamente, as vantagens de ambas as técnicas estarão reunidas e as desvantagens eliminadas. Este sistema híbrido aumenta o poder do sistema de produção tornando o casamento simbólico de padrões em semântico, organizando as regras em classes de regra tendo em vista a funcionalidade delas, e deduzindo as várias relações entre regras, que facilita a representação do conhecimento de controle.

Quando o objetivo é combinar representações é preciso focar a atenção tanto nas formas (como as teorias poderiam trabalhar juntas e os tipos de raciocínio e sua combinação), bem como nos mecanismos, regras, procedimentos e objetos computacionais os quais dão realidade ao sistema. Normalmente, a maior parcela da responsabilidade de construir um sistema de IA cabe aos engenheiros de conhecimento. Este fato tem levado a que a preocupação maior recaia sobre a segunda parte, mais computacional, o que tem produzido sistemas com pouco conhecimento do domínio e muito restritos<sup>33</sup>. Por isso a necessidade do trabalho conjunto entre especialista e engenheiros do conhecimento bem como a consciência de que é importante dar valor às teorias que procuram explicar o domínio de conhecimento. Felizmente, o Direito é um poucos domínios em que existe uma tradição de descrição e documentação de seu objeto.

---

<sup>33</sup> GREINKE, Andrew. Legal expert systems: a humanistic critique of mechanical. 1992.