2 Redes Semânticas

1.1 Introdução

Durante a segunda metade da década de 60, pesquisadores como M. Quillian e S. Shapiro começaram a discutir o modelo de representação de conhecimento que hoje é conhecido como *redes semânticas*. Embora existam muitos tipos de redes semânticas, seu esquema geral é na maioria das vezes o mesmo. Este esquema consiste basicamente de duas partes:

a) Uma estrutura de dados em forma de grafo onde nodos correspondem a conceitos e arcos a relações entre conceitos.

b) Um conjunto de procedimentos de inferência que operam sobre os dados.

Talvez o tipo de rede mais universalmente empregada seja a hierarquia de nodos conectada pela relação *é-um.* A relação *é-um* liga conceitos mais genéricos (como "animal") a conceitos mais específicos (como "cão"). O tipo de inferência mais popular certamente é a *herança de informações* dos nodos nos níveis mais altos para os nodos nos níveis mais baixos da rede através das ligações *é-um*. Este tipo de inferência constitui o cerne dos *sistemas orientados a objetos*.

Entretanto, como W. Woods, L. Schubert e outros advertem, este tipo de ligações de herança leva a problemas semânticos complexos, como o tratamento de exceções. Vários autores, tratam o problema das exceções, porém das suas abordagens também resultam alguns problemas semânticos.

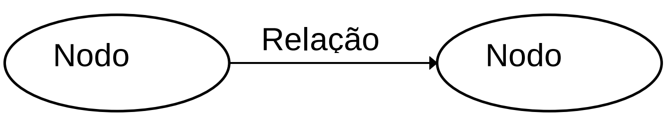
A principal motivação para o uso de redes semânticas talvez seja a sua capacidade de representar taxionomias. Por *taxionomia,* entende-se uma coleção de conceitos ligados por uma relação de generalidade, tal que os conceitos mais gerais que um dado conceito são acessíveis a partir dele.

Por *taxionomia estruturada* entende-se que as descrições de conceitos têm uma estrutura interna disponível para um sistema de computação tal que, por exemplo, a colocação de conceitos dentro da taxionomia pode ser determinada computacionalmente. Uma característica de tal taxionomia é que a informação pode ser armazenada em seu nível mais geral de aplicabilidade e ser indiretamente acessada por conceitos mais específicos que "herdam" aquela informação.

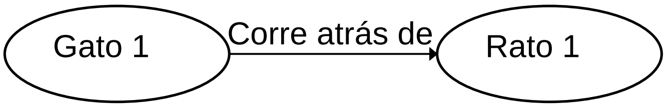
Pelo fato de existir esta herança de informação, taxionomias estruturadas muitas vezes são chamadas de *especificações de herança* (1).

1.2 Redes Semânticas Elementares

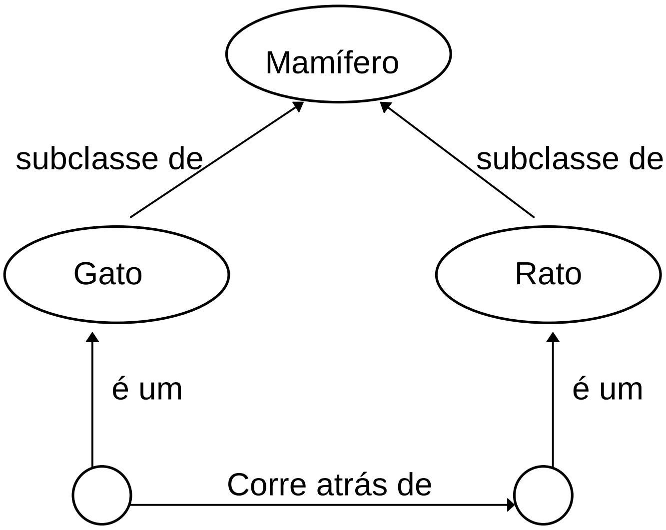
O conceito de rede semântica é atribuído a Quillian (2) embora a estrutura usada em SIR (Raphael 1968) seja muito semelhante. Em sua forma mais simples, a rede semântica é uma coleção de *nodos*, cada um representando um conceito. Cada nodo pode ter um nome. Nodos sem nome usualmente representam conceitos não representáveis com nomes simples. Um nodo pode ser conectado por um *arco direcionado,* que representa uma relação com algum outro nodo na rede. Esta relação pode, também, ter um *rótulo*. Por exemplo:



Estas redes são chamadas *semânticas* porque historicamente foram usadas para representar os significados de expressões da linguagem natural. No modelo elementar, usa-se nodos para representar substantivos, adjetivos, pronomes e nomes próprios. Os arcos são reservados basicamente para representar verbos transitivos e preposições. Por exempo, a frase simples “o gato corre atrás do rato”, pode ser representada pela seguinte rede semântica:

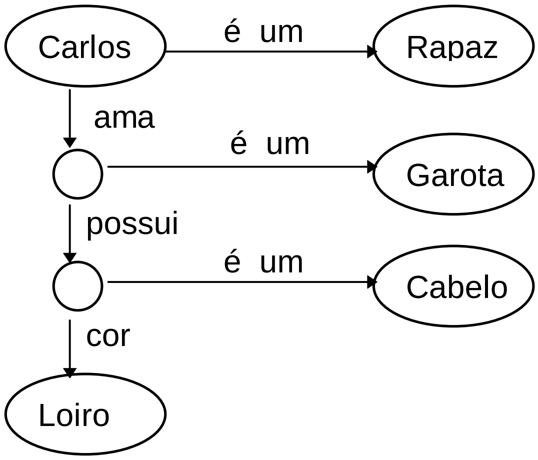


Evidentemente, mais conhecimento pode ser agregado a esta rede. Por exemplo, sabendop-se que gato1 e rato1 são ambos instâncias de classes genéricas que contém muitos outros indivíduos, pode-se generalizar também a relação entre eles, representando os indivíduos específicos com nodos anônimos e indicando a inclusão destes indivíduos em sua respectiva classe, através da relação *é-um*. Ao mesmo tempo, relações de inclusão entre classes são representadas por relações *subclasse-de*.



Note, na figura acima, que os nodos rotulados representam classes genéricas, enquanto que os nodos anônimos representam indivíduos específicos. Nem sempre é assim, pois, se conhecermos, por exemplo, o nome do gato, podemos rotular o nodo que o representa com este nome. Para saber se um nodo representa uma instância, é só observar se ele está na origem de algum arco do tipo “é-um”.

As redes elementares também podem representar frases mais complexas. Por exemplo, "Carlos ama uma garota de cabelos loiros":



A menor unidade de informação numa rede semântica é, portanto, a tripla:

<Nodo, Relação, Nodo>

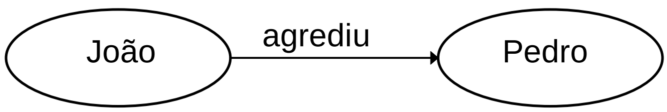
Mas a unidade básica é o nodo (conceito).

Há dois tipos de conceitos: os específicos, que normalemente representam indivíduos ou instâncias de classes, e os gerais chamados *tipos*. Freqüentemente conceitos gerais representam *classes*, quando seus membros compartilham algumas características estruturais que os diferenciam de outros indivíduos, como por exemplo, aves, automóveis, pedras, etc. Outras vezes, os conceitos gerais podem representar apenas tipos que não constituem classes, mas apenas propriedades dos objetos que não implicam necessariamente em compartilhamento de algum atributo estrutural. Exemplos de conceitos gerais que representam tipos mas não constituem classes são nodos que representam propriedades como cores, tamanho, habilidades, etc. Assim pode-se classificar os conceitos nas redes semânticas elementares da seguinte forma:

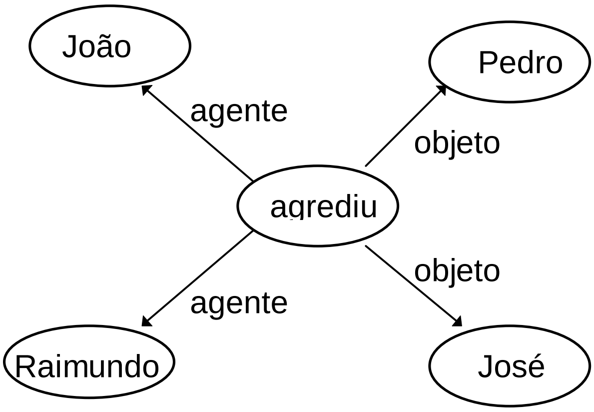
$$Conceitos\begin{cases} Espec\acute{\imath}ficos.\ \text{Ex.:João, Maria} \\ Gerais\begin{cases} Classes.\ \text{Ex.: Cabelo, Rapaz.} \\ N\tilde{a}o-Classes.\ \text{Ex.:Alto, Baixo.} \end{cases} \end{cases}$$

1.3 Redes Semânticas Generalizadas

Um dos problemas com as redes elementares é a maneira como elas representam fatos como "João agrediu Pedro":



Esta representação tem problemas devido à forma como o verbo está representado. Por exemplo se "João agrediu Pedro e Raimundo agrediu José", então:

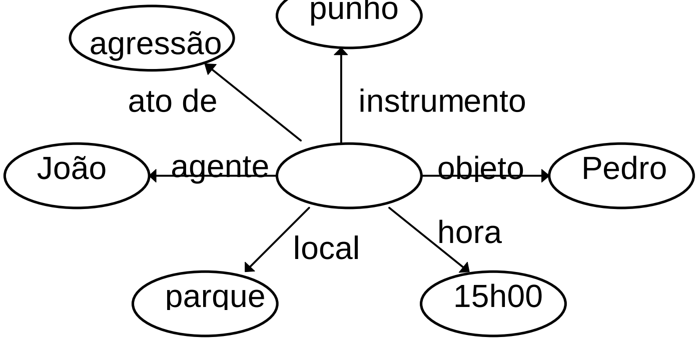


Por isto devemos distinguir atos particulares de agressão da "agressão em geral". As redes semânticas generalziadas se diferenciam das elementares por representarem os vervos através de nodos e não mais de arcos, ao mesmo tempo em que definem propriedades para os verbos como: agente, objeto, local, hora, etc. Mais ainda, pelo fato de serem modelados como nodos, os atos representados pelos verbos podem ser classificados como instâncias de atos genéricos, e pode-se, ainda, construir hierarquias de atos. A frase acima ficaria representada desta forma:

(1)

Aqui, os dois nodos anônimos estão representando instâncias específicas do ato geral de agressão. A relação *ato_de* entre ações tem significação semelhante à relação *é_um* entre objetos ou classes.

Para se saber onde a ação se deu, quando, etc, pode-se agregar mais informação ao nodo que representa o ato:



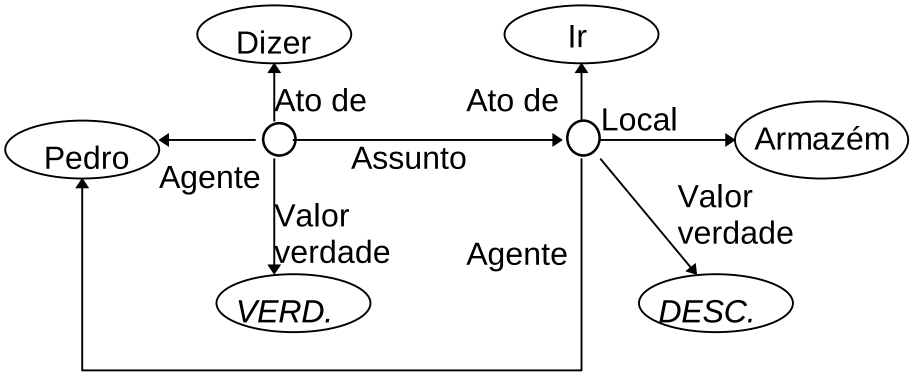
Uma rede semântica sugere uma estrutura semelhante a gramática de casos (3). Assim, enquanto predicados como *agride* eram relações entre nodos nas redes elementares, eles podem ser os próprios nodos nas redes generalizadas.

Nas redes generalizadas *agressão* é um nodo-predicado e não apenas uma relação. Esta mudança de arco para nodo terá efeitos importantes no uso das redes semânticas.

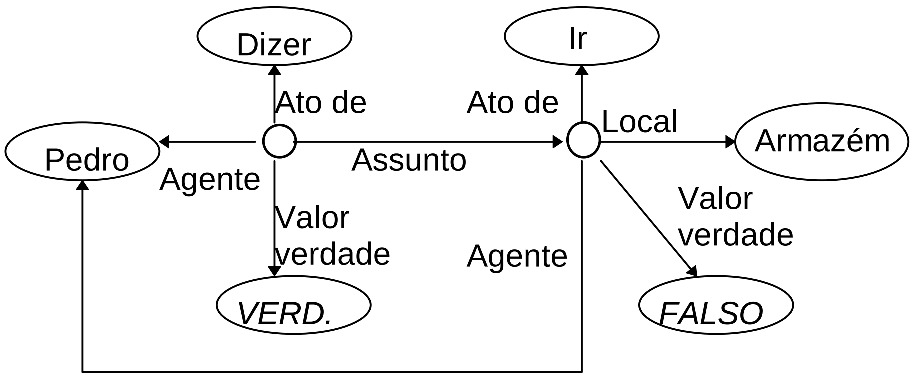
O resultado da introdução de estruturas predicativas é que o equivalente de um predicado n-ário de primeira ordem pode agora ser representado numa rede semântica. Antes, somente predicados binários eram representáveis.

1.4 Redes Semânticas com Valores Verdade

Pode ser necessário representar fatos dos quais não se conhece o valor verdade ou mesmo que se saiba que são falsos. Por exemplo, "Pedro disse que ele foi ao armazém" requer que "Pedro foi ao armazém" seja representado de alguma maneira, mesmo se for falso. Uma maneira de faze-lo é rotulando cada nodo-predicado com um valor *VERDADEIRO*, *FALSO* ou *DESCONHECIDO*. Assim:



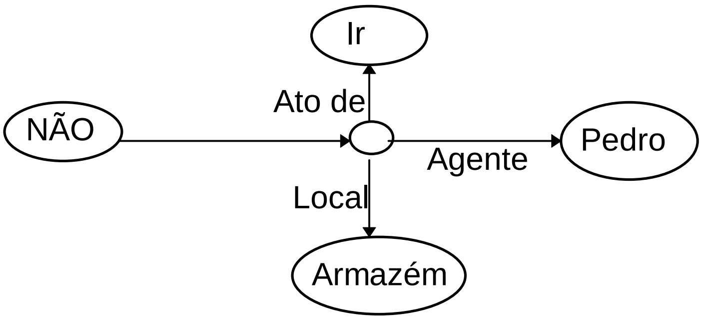
Porém a seguinte rede é ambígua:



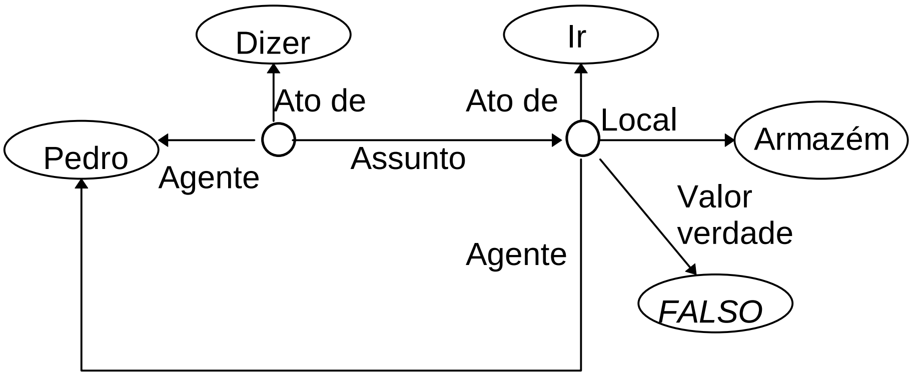
(2)

A rede acima pode representar as seguintes duas afirmações: "Pedro disse que ele foi ao armazém mas ele realmente não foi" e "Pedro disse que ele não foi ao armazém.

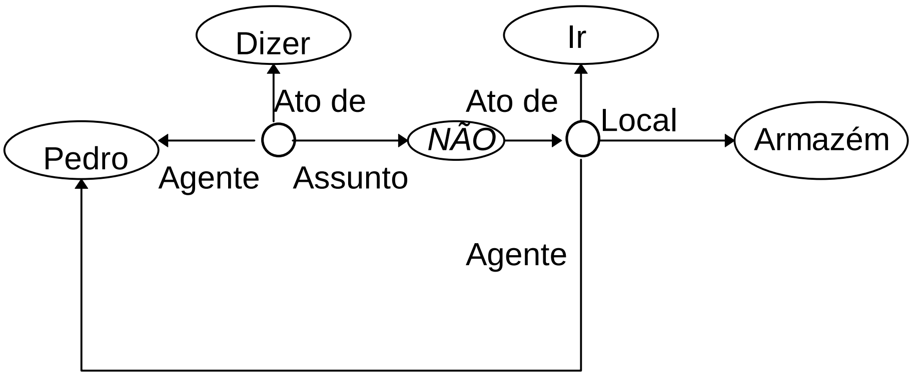
Schubert (em 1975) propôs um predicado *NÃO* para evitar esta ambigüidade. Assim, "Pedro não foi ao armazém" será representado como:



Ele adiciona a convenção de que um nodo é verdadeiro a não ser que o contrário seja explícito no diagrama. Assim, no último diagrama a negação é estabelecida mas o procedimento afirmativo não. Deste modo os dois significados de (2) podem ser representados por:

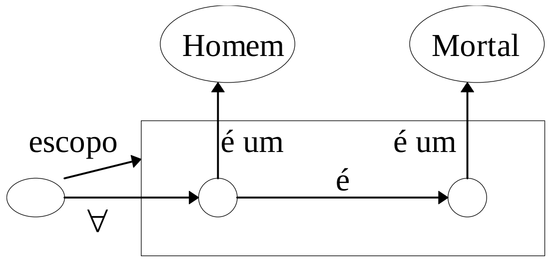


e:



1.5 Redes Semânticas Particionadas

Muitas vezes é necessário representar relações quantificadas em redes semânticas. Neste caso, a definição de redes generalizadas fornecida até aqui não é suficiente. É necessário adicionar a capacidade de *particionar* as redes em *espaços*, que vão representar o escopo das variáveis quantificadas. Por exemplo, para representar a sentença "todos os homens são mortais", representada em lógica por $(\forall x) homem(x) \rightarrow mortal(x)$, é preciso criar um nodo para a variável *x* e representar dentro de um espaço o escopo dentro do qual esta variável está quantificada.



Exercício: Represente as seguintes sentenças usando redes semânticas particionadas: "Todos amam todos"; "Todos tem um coração"; "Há um homem que ama todas as mulheres"; "Alguns homens tem relógios".

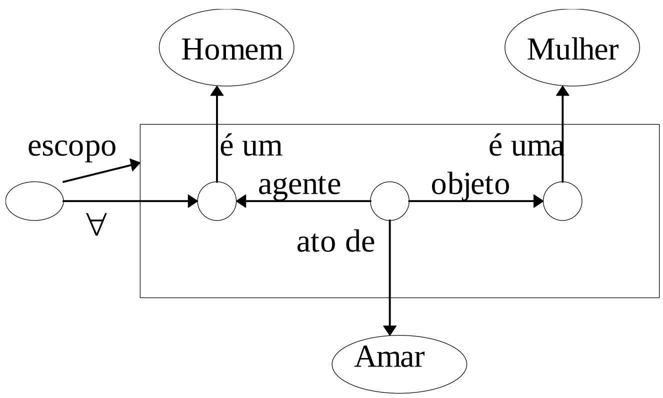
Se uma rede semântica deve ter todo o poder de quantificação de cálculo de predicados de primeira ordem, deve-se adotar regras estruturais mais completas. Schubert encontrou uma maneira de construir muitas estruturas disponíveis em cálculo de predicados usando redes semânticas. Primeiramente, ele põe a representação da rede na forma de Skolem (sem quantificadores existenciais e com os universais nas posições mais externas). Por exemplo, "todo homem ama uma mulher" tem duas interpretações em cálculo de predicados de primeira ordem:

a) $(\forall x)((\exists y)(homem(x) \rightarrow (mulher(y) \wedge ama(x,y))))$
b) $(\exists y)((\forall x)(mulher(y) \wedge (homem(x) \rightarrow ama(x,y))))$

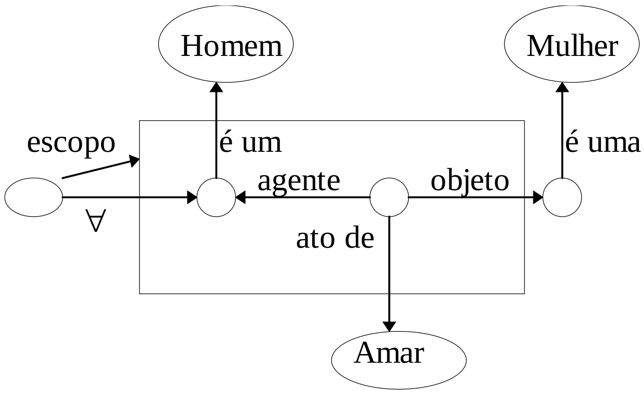
A forma de Skolem para estas expressões é:

a) $(\forall x)(homem(x) \rightarrow mulher(mulherDe(x)) \wedge ama(x, mulherDe(x)))$
b) $(\forall x)(mulher(a) \wedge (homem(x) \rightarrow ama(x,a)))$

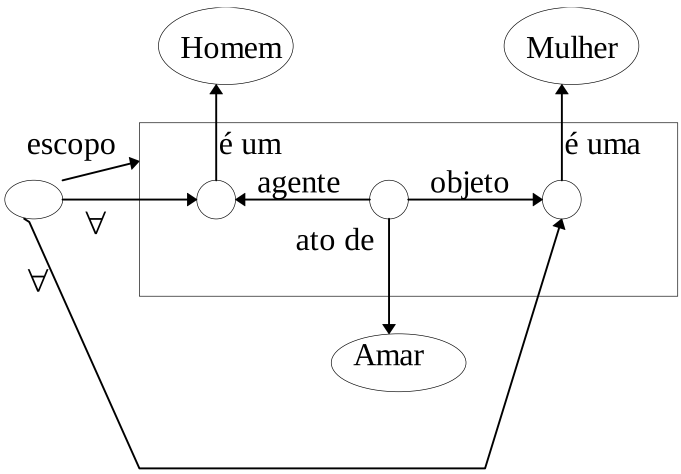
Em uma rede semântica estas expressões podem ser mostradas, por exemplo, para "Todo homem tem a sua mulher para amar", como:



Para a expressão "existe uma mulher que é amada por todos os homens" a rede equivalente é:



Observe que os nodos no interior do espaço não representam indivíduos em especial, mas variáveis dentro do escopo da quantificação. Já os nodos fora do espaço representam indivíduos específicos. Esta é a diferença entre as duas interpretações anteriores. A rede a seguir representa a sentença “todos os homens amam todas as mulheres”:



Pode-se mostrar que estas técnicas permitem que as redes semânticas representem todo o poder expressivo de cálculo de predicados de primeira ordem. Como cada relação em redes semânticas pode ser vista como um predicado binário, chegamos a conclusão de que redes semânticas e cálculo de predicados de primeira ordem tem poder de representação equivalentes.

Exercício: Represente usando redes semânticas generalziadas as seguintes sentenças:

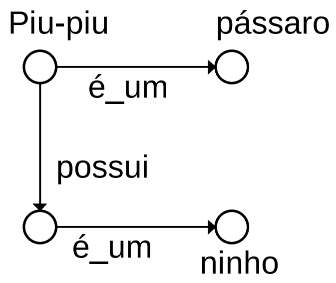
a) Todo cachorro já mordeu um carteiro
b) Todo cachorro já mordeu todo carteiro
c) Um cachorro já mordeu todos os carteiros de uma só vez
d) Um cachorro já deu uma mordida em cada carteiro

1.6 Inferência sobre Redes Semânticas

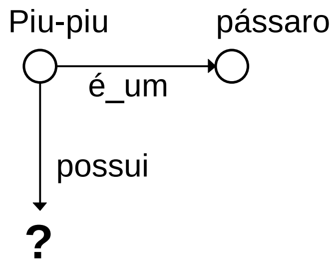
Há dois tipos de raciocínio sobre redes semânticas:

a) Herança de propriedades e
b) Dedução por unificação de redes.

Dedução por unificação de redes pode ser ilustrada pelo seguinte exemplo. Dada a seguinte rede:

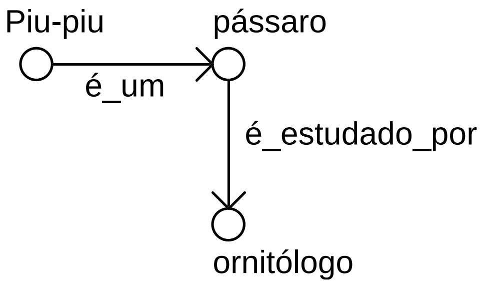


Para responder a uma pergunta como "O que é que Piu-Piu tem?" construímos o fragmento de rede:



A seguir, por unificação de redes, descobrimos que o nodo marcado com "?" pode ser substituído pelo nodo "N" que é um "Ninho". Portanto a resposta é "Piu-Piu tem um ninho N".

Carnota (4) levanta alguns problemas relacionados a redes semânticas. O autor diz que certas propriedades que se referem a uma classe não valem para os membros desta classe. Por exemplo:



A partir desta rede não se deveria poder deduzir que Piu-Piu é estudado por um ornitólogo.

A medida que se toma em consideração mais características dos conhecimento, é necessário reforçar a definição de redes semânticas. Uma forma mais robusta, baseada na idéia de representação de conhecimento através de grupos de registros e programação por eventos é conhecida como “frames” e será vista mais adiante.

1.7 Herança de Propriedades

A partir deste ponto serão adotadas as seguintes convenções notacionais para a descriçãqo de redes semânticas. Letras do início do alfabeto como *a, b, c, ...*, denotam instâncias de objetos. Letras do meio para o fim do alfabeto como *p, q, r, ...,* denotam classes de objetos. Letras no final do alfabeto como *u, v, w, x, y, z,* representam variáveis que podem denotar classes ou instâncias de objetos:

Uma *relação de classificação/generalziação* ou (*asserção*) pode ter as seguintes formas:

$x+\alpha\ y$ ou $x-\alpha\ y$

onde *y* é uma classe. Se *x* for uma instância, as expressões acima representarão as sentenças *y(x)* e *~y(x)* da lógica. Porém, se *x* for uma classe, não existe nada na lógica de primeira ordem que se aproxime do significado dessas expressões, uma vez que são afirmações genéricas mas não são universalmente quantificadas.

Letras gregas maiúsculas representarão *redes semânticas*, sendo que uma rede Γ consiste de um conjunto *I* de instâncias e um conjunto *K* de classes, juntamente com um conjunto de ligações positivas e negativas, ambas subconjuntos finitos de $(I \times K) \cup (K \times K)$. Ligações positivas e negativas na rede são identificadas com as asserções positivas ($+\alpha$) e negativas ($-\alpha$) definidas anteriormente.

Letras gregas minúsculas denotam *seqüências de ligações*.

Caminhos na rede são definidos indutivamente como segue: se $\sigma+\alpha\ p$ é um caminho, então $\sigma+\alpha\ p+\alpha\ q$ e $\sigma+\alpha\ p-\alpha\ q$ são caminhos. Como se pode depreender das definições, uma ligação negativa só pode ocorrer no final de um caminho e um objeto só pode ocorrer no início.

Caminhos *habilitam* asserções do mesmo modo como provas habilitam conclusões. Assim, por exemplo: $x+\alpha\ \sigma+\alpha\ y$ habilita $x+\alpha\ y$.

Caminhos conflitantes são caminhos que habilitam asserções conflitantes. Duas asserções são conflitantes se relacionam os mesmos objetos ou tipos através de relações opostas. Por exemplo: $\mathrm{x}+\alpha\ \mathrm{y}$ e $\mathrm{x}-\alpha\ \mathrm{y}$ são asserções conflitantes.

Uma rede pode ser vista como um conjunto de axiomas ou hipóteses. Uma asserção *A* é *suportada* por uma rede Γ se *A* for verdadeira sempre que todas as ligações em Γ forem verdadeiras.

Um ponto que diferencia esta abordagem da lógica clássica é que os símbolos $-\alpha$ e $+\alpha$ não são conectivos, isto é, não se aplicam à expressões, mas a objetos, logo não é possível aninhar estes símbolos como é feito com os conectivos da lógica clássica.

A seguinte estratégia é utilizada para encontrar as conseqüências de um conjunto de hipóteses em uma rede: primeiramente, tenta-se caracterizar os caminhos que são permitidos pela rede. A noção de *permissão* é a idéia central da prova em redes e será o foco principal de atenção. Uma vez que os caminhos permitidos foram identificados, é fácil determinar quais são as afirmações que ela suporta. Uma rede suporta uma afirmação somente se ela permite um caminho que habilita esta afirmação.

O conjunto completo de afirmações que uma rede suporta é denominado de *teoria da rede* e o conjunto completo de caminhos que ela permite é sua *extensão*.

1.7.1 Forward Chaining

Há, pelo menos, duas opções para compor caminhos permitidos indutivamente: *bottom-up* e *top-down*. A abordagem *top-down* imagina o fluxo de propriedades vindo do alto, dos conceitos mais abstratos até os indivíduos, a não ser que seja interrompido em algum ponto. A composição de caminhos permitidos seguindo esta abordagem é chamada *backward chaining* e se dá da seguinte forma: o caminho permitido $p+\alpha\ q+\alpha\ \sigma$ é construído unindo-se a ligação direta $p+\alpha\ q$ ao caminho permitido $q+\alpha\ \sigma$.

O método *bottom-up* é mais semelhante à prova de teoremas em lógica. A composição de caminhos permitidos é chamada *forward chaining* e se dá da seguinte forma: o caminho permitido $\sigma+\alpha\ x+\alpha\ y$ é composto unindo-se o caminho permitido $\sigma+\alpha\ x$ à ligação direta $x+\alpha\ y$. *Forward chaining* é o método empregado neste texto.

1.7.2 Ceticismo Restrito

Na abordagem adotada, presume-se que argumentos conflitantes são mutuamente neutralizados. Isto é, se uma rede como a clássica *Diamante de Nixon*, (v. figura 1) permite construir os caminhos $Nixon+\alpha\ Republicano-\alpha\ Pacifista$ e $Nixon+\alpha\ Quaker+\alpha\ Pacifista$, então em uma abordagem crédula, poder-se-ia dizer que a rede permite qualquer um dos caminhos; já a abordagem cética estabelece que nenhum dos caminhos conflitantes é permitido pela rede.

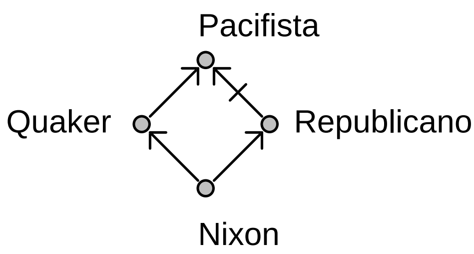


Figura 1: Diamante de Nixon

A abordagem cética adotada aqui é abrandada de duas maneiras. Em primeiro lugar, estabelece-se que apenas caminhos compostos podem ser contraditos. Em segundo lugar, um caminho só pode ser contradito por um outro caminho desde que este outro caminho não seja abolido. O conceito de abolição (*preemption*) será explicado mais adiante.

1.7.3 Conflitos Compostos e Diretos

Considera-se um conflito como indireto se ele é habilitado por caminhos permitidos pela rede. Um exemplo de conflito indireto ocorre na figura 1. Um conflito é direto se ele ocorre na rede, como no caso da figura 2.

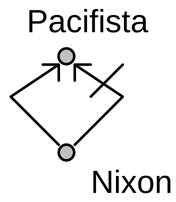


Figura 2: Conflito Direto

De acordo com a definição de contradição, somente caminhos compostos podem ser contraditos. Logo, a rede da figura 2 permite os caminhos contraditórios $\mathit{Nixon}+\alpha\ \mathit{Pacifista}$ e $\mathit{Nixon}-\alpha\ \mathit{Pacifista}$.

Olhando para a figura 1 como uma base de dados, percebe-se que ela é consistente, isto é, todas as afirmações na BD são consistentes. Não se deseja que o mecanismo de inferência possa chegar a conclusões inconsistentes a partir de uma base de dados consistente. Daí o princípio de contradição para evitar a formação de caminhos permitidos que habilitam asserções inconsistentes.

Por outro lado, quando se olha para a figura 2 como uma BD, verifica-se que ela já contém informações inconsistentes. Pela lógica clássica, um conjunto inconsistente de premissas permite deduzir qualquer teorema. Acredita-se que muitas das características da lógica de relevância já estejam incluídas na formalização do raciocínio sobre herança. Assim, espera-se que um sistema de raciocínio possa concluir $\mathit{Nixon}+\alpha\ \mathit{Pacifista}$ e $\mathit{Nixon}-\alpha\ \mathit{Pacifista}$ da rede da figura 2, mas ele não deve tirar conclusões irrelevantes a partir daí, como por exemplo: $\mathit{Nixon}+\alpha\ \mathit{Democrata}$.

1.7.4 Abolição de Caminhos

A abolição de caminhos representa um conceito básico dentro desta teoria. Como foi dito anteriormente, um caminho só pode contradizer outro se ele próprio não for abolido. Considere-se o exemplo clássico de Tweety (figura 3):

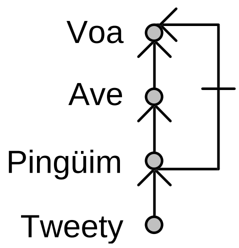


Figura 3: Tweety.

Esta rede permite dois caminhos contraditórios: $\mathit{Tweety}+\alpha\ \mathit{Pingüim}+\alpha\ \mathit{Ave}+\alpha\ \mathit{Voa}$ e $\mathit{Tweety}+\alpha\ \mathit{Pingüim}\text{-}\alpha\ \mathit{Voa}$. Apesar disso, é desejável que se possa concluir daí que Tweety não voa já que ele é um pingüim e que pingüins são um caso especial de aves que não voam.

Isto ilustra a principal idéia que está por trás do princípio de abolição: *Argumentos baseados em informações mais especificas sobrepujam argumentos baseados em informações menos especificas*.

Assim, um caminho na rede será abolido se a rede fornecer material para construir um argumento conflitante baseado em informações mais específicas. Aplicando a abordagem *forward chaining* no exemplo de Tweety, pode-se ver que a rede permite o caminho $Tweety + \alpha\ Ping\ddot{u}im + \alpha\ Ave$ e que o caminho $Ave + \alpha\ Voa$ pertence a rede. Entretanto o caminho $Tweety + \alpha\ Ping\ddot{u}im + \alpha\ Ave + \alpha\ Voa$ é abolido na rede, porque a rede contém a informação direta $Ping\ddot{u}im - \alpha\ Voa$. As conclusões sobre *Tweety* derivadas do nodo *Pingüins* são baseadas em informações mais específicas do que as informações derivadas do nodo *Ave*.

Em termos topológicos, pode-se dizer que as afirmações do nodo *Pingüim* são mais específicas para *Tweety* do que as afirmações do nodo *Ave* porque a rede permite um caminho de *Tweety* até *Ave* através de *Pingüim*: $Tweety + \alpha\ Ping\ddot{u}im + \alpha\ Ave$.

A idéia da abolição pode ser formalizada da seguinte maneira: um caminho da forma $x + \alpha\ \tau + \alpha\ \upsilon + \alpha\ y$ é abolido em uma rede Γ apenas no caso em que existe um nodo z, tal que $z - \alpha\ y \in \Gamma$ e $z = x$ ou Γ permite um caminho da forma $x + \alpha\ \tau_1 + \alpha\ z + \alpha\ \tau_2 + \alpha\ \upsilon$.

1.7.5 Definição de Herança

Será definida nos pontos seguintes a relação de permissão $>$, onde $\Gamma > \sigma$ significa que Γ permite o caminho σ.

Para decidir sobre abolição, é necessário dar uma medida de complexidade de caminhos em uma rede, para que se possa afirmar que $\Gamma > \sigma$ desde que se saiba que para cada σ' menos complexo que σ em Γ, $\Gamma > \sigma'$.

Um *caminho generalizado* é um caminho que pode ter várias ligações negativas e em vários lugares. Formalmente, pode-se dizer que cada asserção é um caminho generalizado e que se σ é um caminho generalizado, então $\sigma + \alpha\ y$ e $\sigma - \alpha\ y$ são caminhos generalizados. Usando este conceito auxiliar, pode-se definir o *grau* de um caminho σ em uma rede Γ, escrevendo $grau_{\Gamma}(\sigma)$, como o tamanho do maior caminho generalizado do nodo inicial de σ ao nodo final de σ.

A definição de permissão será apresentada em dois casos: para caminhos diretos, e para caminhos indiretos. No primeiro caso, tem-se o seguinte:

Caso 1: σ é uma ligação direta. Então $\Gamma > \sigma$ sss. $\sigma \in \Gamma$

No segundo caso, a definição é indutiva:

Caso 2: Seja σ um caminho composto e $grau_{\Gamma}(\sigma) = n$. Como hipótese indutiva, pode-se supor que $\Gamma > \sigma'$ sempre que $grau_{\Gamma}(\sigma') < n$. Há, então, dois subcasos a considerar, dependendo da forma de σ.

(1) σ é um caminho positivo, da forma $x + \alpha\ \sigma_1 + \alpha\ u + \alpha\ y$. Então $\Gamma > \sigma$ sss.

a) $\Gamma > x + \alpha\ \sigma_1 + \alpha\ u$,
b) $u + \alpha\ y \in \Gamma$,
c) $x - \alpha\ y \notin \Gamma$,
d) para todo v e τ, tal que $\Gamma > x + \alpha\ \tau + \alpha\ v$, com $v - \alpha\ y \in \Gamma$, existe z, τ_1 e τ_2, tal que $z + \alpha\ y \in \Gamma$, e $z = x$ ou $\Gamma > x + \alpha\ \tau_1 + \alpha\ z + \alpha\ \tau_2 + \alpha\ v$.

(2) σ é um caminho negativo, da forma $x + \alpha\ \sigma_1 + \alpha\ u - \alpha\ y$. Então $\Gamma > \sigma$ sss.

a) $\Gamma > x + \alpha\ \ \sigma_1 + \alpha\ \ u$,
b) $u - \alpha\ \ y \in \Gamma$,
c) $x + \alpha\ \ y \notin \Gamma$,
d) para todo v e τ, tal que $\Gamma > x + \alpha\ \ \tau + \alpha\ \ v$, com $v - \alpha\ \ y \in \Gamma$, existe z, τ_1 e τ_2, tal que $z - \alpha\ \ y \in \Gamma$, e $z = x$ ou $\Gamma > x + \alpha\ \ \tau_1 + \alpha\ \ z + \alpha\ \ \tau_2 + \alpha\ \ v$.

Esta definição representa a abordagem à herança não-monotônica definida informalmente nos pontos anteriores. O caso 1 diz que qualquer afirmação presente na rede pode ser inferida. O caso 2 trata de caminhos compostos positivos e negativos e seus dois subcasos são perfeitamente simétricos. As cláusulas (a) e (b) representam a construção de caminhos permitidos por *forward chaining*. A cláusula (c) define que um caminho composto é abolido por uma ligação direta. A cláusula (d) afirma que um caminho só é permitido se seus caminhos potencialmente conflitantes são abolidos pela rede.

As cláusulas (a) e (d) referem-se a outros caminhos permitidos pela rede. Mas não há problema, pois o grau destes caminhos é sempre menor que o grau de σ, e a hipótese de indução garante que estes caminhos são permitidos.

1.7.6 Discussão

Serão exploradas a seguir as seguintes características desta definição de herança: não-monotonicidade, coerência e estabilidade atômica. Será mostrado, também que a teoria cética apresentada aqui, não corresponde simplesmente à intersecção de todas as teorias crédulas possíveis, e que ela permite o desacoplamento (decoupling) de conclusões.

1.7.7 Não-Monotonicidade

A propriedade de não-monotonicidade é mostrada claramente por um exemplo simples. Considerando as redes das figuras 4 e 5, verifica-se que $\Gamma_4 \subseteq \Gamma_5$. Entretanto, Γ_4 permite um caminho $a + \alpha\ \ q + \alpha\ \ p$ que não é permitido por Γ_5. Logo, a introdução de novas informações em uma rede pode fazer com que conclusões previamente válidas deixem de valer.

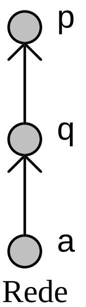


Figura 4: Rede Γ_4.

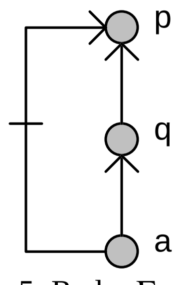


Figura 5: Rede Γ_5 .

1.7.8 Coerência

Quanto à coerência do sistema, a grande vantagem de trabalhar neste contexto de herança cética, ao invés de lógica clássica é que os conflitos são localizados.

Sabe-se que um sistema de dedução é coerente se e somente se ele jamais chega a uma conclusão inconsistente a partir de dados ou axiomas consistentes. A herança cética, assim como a lógica clássica são coerentes neste sentido. Porém, a diferença surge quando a base de dados apresenta informações inconsistentes. No caso da lógica clássica, isto leva à concluir qualquer coisa, como já foi falado anteriormente. No caso da herança cética, a presença de informações contraditórias permite que elas próprias sejam deduzidas, por estarem presentes na rede. Entretanto, isto não habilita a tomada de conclusões irrelevantes. Ou seja, uma conclusão contraditória só pode ser tomada se estiver presente na rede, ela jamais será criada pelo sistema de herança. O teorema seguinte demostra estas características.

Teorema 1. Se Γ suporta $x + \alpha\ y$ e $x - \alpha\ y$, então tanto $x + \alpha\ y \in \Gamma$ quanto $x - \alpha\ y \in \Gamma$.

A prova deste teorema é feita por redução ao absurdo, isto é, supondo que Γ suporta $x + \alpha\ y$ e $x - \alpha\ y$ sendo que Γ não contém ambos, chega-se a conclusão, através das definições de herança cética, de que isto é impossível.

1.7.9 Estabilidade Atômica

A propriedade de *estabilidade*, é a propriedade que um sistema de dedução tem de ser insensível a informações redundantes. Ou seja, a inclusão de informações redundantes em uma base de dados não deveria modificar as conclusões geradas pelo sistema. Há em geral uma variedade de diferentes definições de estabilidade que poderiam ser escolhidas, as diferenças entre elas podem ser muito sutis.

Para ilustrar, os autores apresentam um exemplo de sistema de raciocínio completamente instável: o sistema de Fahlman [FAH 79], que favorece o menor caminho na rede, em caso de conflito.

Considere-se as redes das figuras 6 e 7. Evidentemente, Γ_7 resulta de Γ_6 pela adição da ligação $a + \alpha\ r$, que é atômica e redundante, no sentido de que a abordagem do menor caminho já permitia deduzir $a + \alpha\ r$ da rede Γ . Entretanto, mesmo assim a adição desta ligação modifica a semântica da rede da figura 6. Enquanto Γ suporta $a - \alpha\ s$, Γ suporta $a + \alpha\ s$.

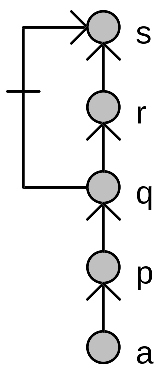


Figura 6: Γ_6

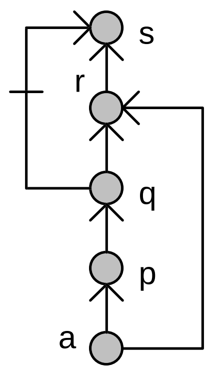


Figura 7 : Γ_7

Usando o conceito de herança cética, as redes terão exatamente o mesmo significado. Isso ilustra o conceito de estabilidade atômica da herança cética, o que é demonstrado no teorema 2.

Teorema 2. Para uma afirmação atômica A, se Γ suporta A, então para qualquer afirmação B, $\Gamma \cup \{ A \}$ suporta B se e somente se Γ suporta B.

O teorema 2 prova que uma rede não é afetada por afirmações atômicas que ela já suporta. Todavia o análogo do teorema falha para afirmações genéricas. Considere-se o exemplo das figuras 8 e 9. Percebe-se que Γ_9 é formada a partir de Γ_8 pela adição de uma ligação redundante. Entretanto, enquanto Γ_8 não permite o caminho que habilita a ligação $a + \alpha \;\; s$, Γ_9 permite este caminho.

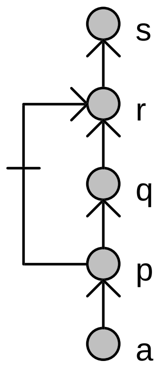


Figura 8: Γ_8

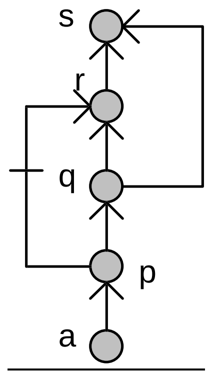


Figura 9: Γ_9

Exemplos como este são difíceis de tratar. Um critério de aceitabilidade de um sistema de inferência e herança é que este tenha pelo menos estabilidade atômica. A falha deste critério nos sistemas existentes é que motivou a teoria presente. Entretanto, para estabilidade genérica, o assunto é mais complicado.

O fato de se aceitar um sistema de inferência sobre herança sem estabilidade genérica dificulta a realização de uma análise paralela deste sistema com a teoria da dedução da lógica. As afirmações suportadas por caminhos permitidos pela rede seriam os duais dos teoremas provados a partir de um conjunto de axiomas da lógica. Assim, se não se tem estabilidade genérica seria como se as conseqüências lógicas de um conjunto de axiomas pudessem ser modificadas pela adição, não de uma afirmação arbitrária, mas de um teorema passível de ser provado dos próprios axiomas.

Embora isto pareça não fazer muito sentido do ponto de vista da dedução, talvez seja uma propriedade desejável no contexto de herança, uma vez que uma estrutura de herança apresenta propriedades grafo-teoréticas que são difíceis de entender no contexto de sistemas dedutivos.

1.7.10 Intersecção de Todas as Extensões Crédulas

Foi mencionado que a abordagem crédula tende a formar várias extensões consistentes distintas para redes que possuem caminhos conflitantes. O exemplo da figura 10 demonstra que a abordagem cética não corresponde simplesmente à intersecção das várias extensões crédulas.

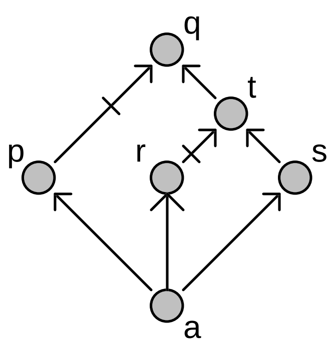


Figura 10: A Herança cética não corresponde à intersecção das extensões crédulas

A rede da figura 11 permite o caminho $a +\alpha\ p -\alpha\ q$, já que o caminho potencialmente conflitante $a +\alpha\ s +\alpha\ t +\alpha\ q$ é abolido por $a +\alpha\ r -\alpha\ t$. Todavia o caminho $a +\alpha\ p -\alpha\ q$ não está presente em todas as extensões crédulas, já que algumas delas contém o caminho $a +\alpha\ s +\alpha\ t +\alpha\ q$.

1.7.11 Desacoplamento

Em sistemas de herança baseados em *backward chaining*, o fato de um nodo na rede herdar alguma coisa depende do que os seus superiores imediatos herdaram.

A rede da figura 11 mostra que a abordagem aqui apresentada permite desacoplar um nodo das informações de seus superiores imediatos, no sentido de que um nodo pode possuir propriedades que não são possuídas por seus superiores imediatos. Aqui, se tem $\Gamma > a +\alpha\ p +\alpha\ q +\alpha\ s$ o que habilita $a +\alpha\ s$. Todavia, Γ não permite o caminho $p +\alpha\ q +\alpha\ s$, e assim, não suporta a afirmação $p +\alpha\ s$.

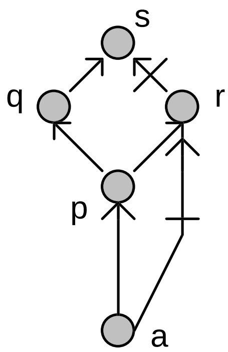


Figura 11: Exemplo de Desacoplamento

Isto pode parecer uma anomalia se a herança for pensada como um fluxo de propriedades de cima para baixo. Neste caso, não fica claro como *a* pode herdar as propriedades de *s*, se *p* não herda. De acordo com a abordagem top-down, o fato de *a* herdar uma certa propriedade significa que algum de seus superiores imediatos herda esta mesma propriedade. Assim, se *a* é um *s*, isto só pode se dar se *p* for um *s*, mas como se pode ver, a rede da figura 11 não permite o caminho $p +\alpha\ q +\alpha\ s$.