RESPOSTAS COOPERATIVAS EM UM AMBIENTE COM RACIOCINADOR AUTOMÁTICO+

MARIA DAS GRAÇAS VOLPE NUNES *

TARCÍSIO H. PEQUENO **

Dep. Informática PUC/RJ

RESUMO: O problema do planejamento de respostas cooperativas é aqui abordado com o objetivo de melhorar a qualidade da interação com ambientes utilizando Raciocinador Automático. O método empregado consiste na análise da forma lógica que expressa a pergunta para a determinação de que informações devem ser supridas junto com a resposta vinda do R.A., de forma a torná-la cooperativa. Para cada estrutura lógica de pergunta é indicada uma estratégia de como a resposta pode ser computada pelo R.A.

ABSTRACT: Aiming to improve the quality of the interaction with Automated Reasoning environments the problem of planning cooperative answers is treated. The method suggested comprises an analysis on the logical form that express the questions in order to find out what kind of information should be added to the answer. Strategies on how those information could be computed by the A.R. are indicated.

+ Parcialmente financiado pela CAPES e FINEP.

* Mestre pelo ICMSC-USP, Doutoranda da PUC-RJ. Áreas de Interesse: Raciocínio Automático, Geração de Textos, Interfaces Inteligentes. Em afastamento do Dep. Computação e Estatística do ICMSC-USP.

** Doutor em Informática pela PUC-RJ. Áreas de Interesse: Lógica e Computação, Raciocínio Automático, Lógicas não Monotônicas, Inteligência Artificial. Em licença da Universidade Federal do Ceará.

INTRODUÇÃO.

Abordamos aqui o problema do fornecimento de respostas cooperativas a perguntas dirigidas a uma Base de Conhecimento (B.C.) munida de um Raciocinador Automático (R.A.). Uma pergunta é encarada como uma requisição de informações e respondê-la cooperativamente significa não limitar-se a fornecer apenas o que foi diretamente requisitado, mas buscar suprir informações adicionais que a própria pergunta revela ser da intenção do interlocutor. Procuramos, então, levar em conta critérios de cooperatividade na comunicação. De um modo geral, procuramos satisfazer as máximas de Grice [Grice-75]: (1) ser tão informativo quanto necessário; (2) só transmitir o que acredita ser verdade; (3) ser relevante; (4) ser preciso, claro. No contexto de um sistema dedutivo lógico, os critérios (2) e (3) são naturalmente satisfeitos. Nosso principal objetivo, aqui, é satisfazer (1).

Nos limitamos aqui à consideração do problema com respeito a ambientes com as seguintes características: o conhecimento é representado em Lógica de Primeira Ordem e o raciocínio é efetuado por um provador de teoremas para essa lógica, com as facilidades usuais para extração de respostas [Green-69] [Luckham & Nilsson-71]. As perguntas também estarão expressas em fórmulas de primeira ordem. Em um ambiente com tais características, o fornecimento de respostas cooperativas envolve duas etapas: à análise da pergunta visando determinar que informações possam ser de interesse do interlocutor e o planejamento da utilização do R.A. para a obtenção dessas informações. Três tipos de perguntas são considerados: perguntas Sim/Não, perguntas Qu_ e perguntas alternativas. Para cada tipo, a análise baseia-se na estrutura da forma lógica que expressa a pergunta. A abordagem adotada é inteiramente independente do domínio, possuindo portanto generalidade.

As idéias aqui apresentadas foram incorporadas no projeto de um Planejador de Respostas Cooperativas de um sistema de consultas [Nunes-90]. O sistema prevê uma Interface em Linguagem Natural e a saída do planejador é um esquema retórico para um Realizador Linguístico. Nesse sistema, o raciocinador é um provador de teoremas utilizando Dedução Natural [Prawitz-65] e contendo certas facilidades visando torná-lo mais conveniente para desempenhar as funções requeridas pelo planejador de respostas.

O FOCO SEMÂNTICO.

Estaremos considerando três Classes de Perguntas:

(a) Perguntas Sim/Não. São perguntas que exigem respostas do tipo Sim/Não, ou seja, o questionador pergunta pela validade ou não de uma certa proposição. Por exemplo, à "João é marido de Maria?" corresponderia a resposta cooperativa "Não, João é cunhado de Maria. Pedro é o marido de Maria." As fórmulas lógicas que traduzem essa classe de perguntas são: fórmulas atômicas aterradas, negadas ou não ($p(x)$, $\sim p(x)$), conjunção de fórmulas ($p(x) \wedge q(y) \wedge \ldots$), implicações ($F_1 \rightarrow F_2$), fórmulas quantificadas universalmente ($\forall xF(x)$) e fórmulas quantificadas existencialmente ($\exists xF(x)$).

(b) Perguntas Qu_. São perguntas que pedem, explicitamente, um ou mais valores que satisfaçam determinados requisitos. Por exemplo, aquelas que usam, na L.N., pronomes interrogativos Quem, Quando, Qual, Onde, etc. As respostas correspondentes podem ser dividas em duas categorias: **respostas seletivas**, que fornecem o(s) valor(es) pedido(s); **respostas categóricas**, que fornecem uma classe de valores que satisfazem os requisitos. Por exemplo, à pergunta "Quem voa?" poderia corresponder as respostas "Piu-Piu voa" (seletiva) e "Os pássaros voam" (categórica). As fórmulas lógicas que traduzem perguntas dessa classe são fórmulas abertas $F(x)$.

(c) Perguntas Alternativas. Colocamos nesta classe perguntas que pedem uma seleção das alternativas apresentadas. Por exemplo, "Maria é casada ou solteira?" pode ser respondida como "Maria é solteira" ou "Nem um, nem outro, Maria é viúva". Já a pergunta "Os pássaros tem asas ou penas?" poderia ser respondida com "Os pássaros tem asas e penas". As disjunções lógicas traduzem perguntas desse tipo.

Perguntas do tipo Qu_ explicitam, através dos pronomes interrogativos, qual é a informação que está sendo requisitada. As perguntas Sim/Não, por outro lado, são mais obscuras. Nos casos onde perguntas Sim/Não originam respostas negativas, as respostas ditas cooperativas devem determinar precisamente qual(is) aspecto(s) do conteúdo proposicional deve ser preferencialmente corrigido. Para isso, é necessário saber qual componente da pergunta está sendo questionado, ou seja, das informações contidas na pergunta, qual é aquela sobre a qual o usuário está inseguro. A essa informação denominamos **foco semântico da pergunta**. O foco semântico da pergunta pode ser sinalizado pelos questionadores (via escolha sintática, léxica) ou pode ser derivado da estrutura do discurso em que a pergunta ocorre ou, ainda, da aplicação de regras dependentes de domínio [Nunes-88]. Contamos, aqui, com esta informação, qualquer que seja sua origem. Quanto ao comportamento do foco nas perguntas alternativas, enquanto que ele pode ser determinado para cada componente da disjunção, podemos determinar regras sintáticas que o indique. Por exemplo, se todos os componentes da disjunção compartilham do mesmo argumento e divergem quanto aos predicados, então o foco recai, certamente, sobre os predicados.

A importância do foco fica clara nos seguintes exemplos, onde o foco é sublinhado e as respostas são consideradas cooperativas:

Q_1.: <u>Caco</u> é um macaco ?

R_1.: Não. <u>Tato</u> é macaco. Caco é um <u>bicho-preguiça</u>.

Neste exemplo, o questionador sabe (ou pensa) que existe um macaco e pergunta se ele é o animal de nome Caco. Logo, a negação exige que se forneça o nome correto do macaco. Sintaticamente, o foco poderia ter sido marcado como "É Caco o macaco existente?", no entanto, pouco usual na linguagem escrita. A informação adicional esclarece a propriedade correta do valor negado, Caco. A resposta seria pouco cooperativa caso apenas a correção do foco fosse feita. Considere esse outro exemplo:

Q_2.: Tom é um rato?

R_2.: Não. Tom é um gato. Jerry é rato.

Aqui, o questionador sabe (ou pensa) que existe um animal de nome Tom e quer saber se ele é um rato. Logo, a negação exige que seja fornecido o tipo correto de Tom. Além disso, é fornecido um valor alternativo para o argumento negado, como no caso anterior.

Denotamos por **alt(p(x))** a correção feita à proposição p(x) e por **ad(p(x))** a informação adicional à correção de p(x).

ESTRATÉGIAS DE RESPOSTAS.

Introduziremos, a seguir, os requisitos necessários, sob os pontos de vista semântico e operacional, para as operações de "correção e adição" de uma proposição, através da análise de dois casos: quando o foco recai sobre o predicado (como em Q_2) e quando recai sobre um dos argumentos (como em Q_1). As perguntas mapeadas em fórmulas mais complexas acabam por necessitar, recursivamente, desses mesmos requisitos.

(a) Quando o foco da pergunta é o predicado da proposição (como "rato" em rato(Tom)), buscar um valor alternativo significa derivar da B.C. um outro predicado, alternativo a "rato", que contenha "Tom" como argumento. Há dois problemas aqui: **(1)** em termos de um R.A., essa busca significaria ter que submeter à prova, uma fórmula aberta, x(Tom), perguntando-se, assim, sobre a existência de um outro predicado para "Tom" e, se sucesso, tomar o valor resultante. Em se tratando da L.P.O., entretanto, este procedimento não é possível. **(2)** Não é qualquer predicado que tenha "Tom" como argumento que serve como alternativa para "rato". Por exemplo, a resposta "Não. Tom é mamífero" não seria cooperativa. É necessário que o predicado alternativo possua a mesma "categoria semântica" do predicado negado e seja semanticamente excludente a ele. Por exemplo, "ser marreco" é excludente a "ser rato": ou se é um, ou se é outro; nunca ambos. Já, "ser mamífero" não exclui o fato de "ser rato". Percebe-se, então, que a informação sobre o predicado alternativo depende do domínio em questão. Dessa maneira, para alcançarmos nossos objetivos, necessitamos de informações sobre a organização do domínio, as quais encomendamos ao Engenheiro de Conhecimento.

Dizemos, então, que cabe ao Engenheiro de Conhecimento preparar uma **Taxonomia dos Predicados do Domínio** tal que seja possível ao sistema extrair a seguinte informação: para cada predicado, p, do domínio, quais são todos os predicados alternativos a ele? Para tal, a seguinte definição é necessária:

Definição: Define-se a Relação de Exclusão Semântica - **exc** - sobre o conjunto de predicados do Domínio, P, da seguinte forma: Sejam p_1 e p_2 elementos de P. Então, p_1 **exc** p_2 se p_1 e p_2 pertencem à mesma Categoria Semântica e p_1 e p_2 são semanticamente excludentes. As Categorias Semânticas por sua vez, possuem características estritamente dependentes do domínio.

Como conseqüências da definição acima, temos: (1) o conjunto de predicados do domínio fica dividido em Classes Semânticas que compreendem os predicados relacionados via relação **exc**; (2) o conjunto de todas as Classes Semânticas abriga todos os predicados do domínio; (3) os predicados de uma mesma Classe possuem argumentos em igual número e ordem.

Para exemplificar, no Domínio dos Animais podemos ter:
Classe1 = {vertebrado, invertebrado}
Classe2 = {mamífero, peixe, ave, réptil, inseto, etc.}
Classe3 = {rato, gato, zebra, macaco, cobra, gavião, pato, etc.}
Classe4 = {tem_penas, tem_pelos, tem_escamas, etc.}
Classe5 = {tem_patas, tem_nadadeiras, tem_pés, etc.}
etc.

A necessidade de pertencerem a uma mesma Categoria Semântica impede que predicados como tem_penas e mamífero, por exemplo, apesar de excludentes, pertençam a uma mesma Classe. A exclusividade semântica garante, por sua vez, que os predicados das Classes 4 e 5, apesar de mesma Categoria, estejam em classes distintas. As Classes podem ser rotuladas para um mapeamento mais rápido a partir da L.N. Por exemplo, teríamos as classes Gênero, Espécie, Sub-Espécie, etc.

Enquanto que a informação sobre as Classes Semânticas oferece solução para o problema (2) acima, na medida em que ela auxilia a escolha de predicados alternativos, o problema (1) ainda persiste: o que deve ser submetido ao R.A. para que uma alternativa seja encontrada? Ou seja, como instanciar, alt(rato(Tom))?

Solucionamos esse problema submetendo ao R.A., ao invés de rato(Tom), o que chamamos a disjunção dá Classe Semântica que contém "rato":

$$\text{rato(Tom)} \vee \text{gato(Tom)} \vee \text{tigre(Tom)} \vee \ldots$$

ou seja, a disjunção de todos os predicados da Classe com o mesmo argumento original. Dessa maneira, como os componentes são exclusivos, uma prova direta da disjunção apontaria qual deles é verdadeiro e portanto, instanciaria alt(rato(Tom)). Supõe-se que a prova direta, que exibe a prova de um dos componenetes, seja privilegiada pelas heurísticas do R.A., ao contrário da prova por absurdo, por exemplo. No entanto, não descartamos, embora não discutidas aqui, as hipóteses de que: (1) a prova tenha sido "por absurdo", (2) a prova da disjunção tenha se dado sem que algum dos componentes tenha sido provado diretamente e (3) que nenhuma prova seja possível. O caso (1) acarretaria na tentativa de provar rato(Tom), individualmente; a (2) corresponderia uma resposta do tipo "Tom é um animal mas não posso determinar de qual tipo" e (3), por outro lado resultaria numa resposta do tipo "Não sei que tipo de animal é Tom"

O processo usual para deduzir se uma proposição é falsa é submetê-la ao R.A. e, caso ela não possa ser deduzida, sua negação é igualmente submetida e daí pode ser concluído se a negação é teorema ou se as informações da B.C. são insuficientes para deduzir uma coisa ou outra.* Só então a correção poderia ser planejada. Nossa proposta reduz o número de passos necessários em vários casos, fazendo com que, em uma única ativação do R.A. se obtenha as informações sobre a negação (caso a proposição provada seja distinta da original) e a correção do predicado. Além disso, todas as considerações são feitas externamente ao R.A., não comprometendo, assim, seu desempenho.

Obtido alt(p(x)) como descrito acima, o valor de ad(p(x)), quando o foco é o predicado, é obtido quando o seguinte pedido for atendido: "Me dê um valor, v, para o qual p(v) seja verdadeiro". A pergunta ao R.A. passa a ser, então, p(x). Quando a aridade de p for maior que um, submete-se a disjunção

$$p(x,a_2,..a_n) \vee p(a_1,x,..a_n) \vee p(a_1,..a_{n-1},x)$$

Isto é, procura-se um valor alternativo para um dos argumentos que satisfaça o predicado. A limitação de um único valor alternativo deve-se ao fato de que deseja-se manter um contexto próximo ao original. Por exemplo, para a pergunta "Maria deu o livro a Pedro?" a resposta "Não, Maria pediu um livro a Pedro. Foi Ana quem deu um livro a Pedro", onde apenas um argumento foi substituído, é mais cooperativa que "Não, Maria pediu um livro a Pedro. Ana deu um disco a José", onde todos os argumentos foram substituídos. A disjunção acima não deve conter muitos componentes se considerarmos que não é usual (nem eficiente) a representação de uma proposição via um predicado com muitos argumentos. Em geral, $n \leq 3$.

(b) Quando o foco recai sobre um dos argumentos (como "Caco" de macaco(Caco)), o resultado do procedimento descrito acima, alt(p(x)), passa a ser o valor adicional, ad(p(x)). A correção, por outro lado é bem mais simples: submete-se ao R.A. $p(a_1,..a_{i-1},x,a_{i+1},..a_n)$, na tentativa de instanciar um valor alternativo para a_i, negado.

Passamos a descrever os procedimentos para cada tipo de fórmula lógica. Denotamos Resposta = {a,b,...} indicando que o conteúdo informacional da resposta contém a,b,... As formas intermediária e final da resposta não são tratadas nesse trabalho.

(1) FÓRMULA ATÔMICA ATERRADA: $p(\bar{a})$

Seja C(p)= {q,r,s,...} a Classe Semântica que contém p.
(a) Submete-se ao R.A. a disjunção de todos os predicados de C(p) com argumento $\bar{a}$: $p(\bar{a}) \vee q(\bar{a}) \vee r(\bar{a}) \vee \ldots$ Seja p_i o componente provado.
(b) Se p_i = p então a resposta é afirmativa;
senão, 1. se foco = predicado p então
(i) $p_i(\bar{a})$ é $alt(p(\bar{a}))$;
(ii) submeter ao R.A., para obter $ad(p(\bar{a}))$
$p(X,a_2..a_n) \vee p(a_1,X..a_n) \vee ..p(a_1..a_{n-1},X)$
2. se foco = a_i então
(i) $p_i(\bar{a})$ é $ad(p(\bar{a}))$

* Trabalhando com um provador por Jogos Semânticos (vide [Rios & Pequeno-89], a negação já seria tentada simultaneamente.

(ii) submeter $p(a_1..a_{i-1},X,..a_n)$ e, com o valor instanciado de X, passa a ser $alt(p(\bar{a}))$

(c) Resposta Afirmativa = $\{p(\bar{a})\}$
Resposta Negativa = $\{alt(p(\bar{a}), p(\bar{a})\}$

(2) FÓRMULA ATÔMICA ATERRADA NEGADA: $\sim p(\bar{a})$

Exemplos:

1. Q.: Maria não é esposa de <u>Carlos</u> ?
   R_1: Não, Maria é esposa de <u>Marcos</u>. <u>Ana</u> é esposa de Carlos.
   R_2: Sim, Maria é esposa de Carlos.

2. Q.: Maria não é <u>esposa</u> de Carlos ?
   R.: Não, ela é <u>ex-esposa</u> dele. <u>Ana</u> é a esposa de Carlos.

Neste caso, ao invés de submeter $\sim p(\bar{a})$ ao R.A., submete-se novamente $p(\bar{a})$ em disjunção com os predicados da mesma Classe Semântica. Com isso, se a prova mostrar que um deles é verdade e se este for distinto de p, logo, pela exclusividade, é verdade que $\sim p(\bar{a})$ e, ainda, já se obtém o valor alternativo de p. Por outro lado, se o componente verdadeiro for p, a resposta "afirmativa" já está completa. Tem-se, portanto, um procedimento idêntico a (1).

(3). CONJUNÇÃO DE FÓRMULAS ATÔMICAS ATERRADAS.

A resposta Sim do R.A. a uma conjunção significa que todos os componentes da conjunção são verdadeiros. Já a resposta Não indica apenas que no mínimo um dos componentes não é verdadeiro. Para ser cooperativa, a resposta deve indicar quais componentes são verdadeiros e quais são falsos. Mais do que isso, devem ser corrigidas todas as proposições falsas. Nos procedimentos, a seguir, Verd indica o conjunto das proposições provadas verdadeiras e Falsos o conjunto das falsas.

(3a) ARGUMENTOS IGUAIS E PREDICADOS DISTINTOS: $p(\bar{a}) \wedge q(\bar{a}) \wedge ...$

O foco recai, naturalmente, nos predicados.
Exemplos :

1. Q.: Alberto é tigre e rasteja ?
   R_1: Sim, ele é tigre e rasteja.
   R_2: Não. Alberto não é tigre, nem rasteja. Ele é pingüim e anda.
   R_3: Não, ele rasteja mas não é tigre; é cobra.

2. Q.: Piu-Piu tem asas e nadadeiras ?
   R_1: Não, ele tem asas e por isso não tem nadadeiras.
   R_2: Não, ele não tem asas, nem nadadeiras. Ele tem patas.

Há dois casos possíveis:

(a) Se os predicados da conjunção pertencem a uma mesma Classe Semântica, C,
   (i) submeter a disjunção de C: $p(\bar{a}) \vee q(\bar{a}) \vee r(\bar{a}) \vee ...$
   (ii) Se p_i, o predicado provado na disjunção, pertence ao conjunto de predicados da conjunção original, então,
      . Falsos = Conj. Predicados da Conjunção (CPC)- $\{p_i\}$
      . Resposta = $\{p_i(\bar{a}), Falsos\}$

(iii) Se p_i não pertence ao conjunto de predicados da conjunção, então,

. Falsos = CPC

. Resposta = {Falsos, $p_i(\bar{a})$}

(b) Se os predicados da conjunção são de Classes Semânticas distintas, $C_1,..C_n$.

(i) submeter, individualmente, a disjunção dos predicados de cada Classe $C_1,C_2,...C_n$, todos com argumento $\bar{a}$.

(ii) Sejam p_1, $p_2,..p_n$ os predicados provados efetivamente em cada uma das disjunções de $C_1,...C_n$, respectivamente. Se $\{p_1,..p_n\}$ coincide com CPC, então,

Resposta Afirmativa = $\{p_1(\bar{a}), p_2(\bar{a}),...,p_n(\bar{a})\}$

(iii) Sejam Verd = $\{p_1,..p_n\} \cap$ CPC ;

Falsos = CPC - $\{p_1,..p_n\}$;

alt(Falsos) = $\{p_1,..p_n\}$ - CPC ;

Resposta = {Verd, Falsos, alt(Falsos)}

(3b) PREDICADOS E/OU ARGUMENTOS DISTINTOS: $p(\bar{a}) \wedge q(\bar{b}) \wedge r(\bar{c}) \wedge ...$

Exemplos:

1. Q.: Tom é gato e Jerry é rato ?

R_1: Sim, Tom é gato e Jerry é rato.

R_2: Não. Nem Tom é gato, nem Jerry é rato. Tom é macaco e Jerry é cobra.

R_3: Não. Tom é gato e Jerry não é rato. Jerry é cobra.

2. Q.: Tião e Chita são macacos ?

R_1: Sim, ambos são macacos.

R_2: Não. Tião é macaco e Chita não é. Ela é uma gata.

O procedimento, neste caso, é análogo à parte (b) de (3a) sendo que alguns cuidados são necessários. Por exemplo, se p e q são de mesma Classe Semântica, C, mas aparecem com argumentos distintos, $\bar{a}$ e $\bar{b}$, então é necessário submeter a disjunção de C com argumento $\bar{a}$ e também a disjunção de C com argumento $\bar{b}$.

(a) Divide-se os predicados do Conjunto de Predicados da Conjunção -CPC- de tal modo que se agrupe predicados de mesma Classe Semântica e argumentos idênticos, formando os grupos $G_1,..G_n$.

(b) Submete-se as disjunções dos predicados de cada grupo G_i com seus parceiros de Classe Semântica. Cada prova de disjunção resultará, possivelmente, na prova de um de seus componentes, p_i.

(c) Se o conjunto $\{p_1,..p_n\}$ coincide com CPC então,

Resposta Afirmativa = $\{p_1, p_2,...,p_n\}$

(d) Caso contrário, sejam

Verd = $\{p_1,..p_n\} \cap$ CPC ;

Falsos = CPC - $\{p_1,..p_n\}$;

alt(Falsos) = $\{alt(q_i)\}$, onde $q_i \in$ CPC. $alt(q_i)$ pode ser um dos valores pertencentes ao conjunto $\{p_1,..p_n\}$ - CPC, se foco de q_i recair sobre o predicado, caso contrário, deverá ser encontrado um valor alternativo para o argumento a_i, sob foco, submetendo-se $q(a_1,..X,..a_n)$ ao R.A.

Resposta = {Verd, Falsos, alt(Falsos)}

(4) DISJUNÇÃO DE FÓRMULAS ATÔMICAS ATERRADAS.

A disjunção, ao contrário da conjunção, não pede uma resposta do tipo Sim/Não: o uso do "ou" indica alternativas e, portanto, o usual é que a resposta seja a afirmação de um - e somente um - de seus componentes, ou a negação de todos eles. Assim, o usuário indica uma pressuposição quanto a exclusividade das informações envolvidas na disjunção. Parece, então, difícil que ocorra uma disjunção onde os componentes nada compartilham entre si. De qualquer modo, esse caso também é previsto aqui.

A resposta negativa do R.A. a uma disjunção significa que todos os componentes da disjuncão são falsos. Logo, todos devem ser corrigidos. Aqui também é importante saber da exclusividade mútua entre as informações negadas, no caso de predicados distintos e argumentos iguais. A resposta afirmativa do R.A, por outro lado, indica que no mínimo um dos componentes da disjunção é verdadeiro. O caso mais comum é quando os componentes são excludentes e, portanto, a confirmação de apenas um deles corrige, automaticamente, todos os demais não confirmados. Para saber quais componentes são verdadeiros e quais são falsos, submetemos ao R.A. as disjunções das Classes Semânticas dos componentes.

(4a) ARGUMENTOS IGUAIS E PREDICADOS DISTINTOS: $p(\bar{a}) \vee q(\bar{a}) \vee \ldots$

Exemplos :

1. Q.: Léo é tigre ou leão ?
   R_1: Léo é leão.
   R_2: Nem tigre, nem leão. Léo é macaco.

2. Q.: Tião tem patas ou pelos ?
   R_1: Tião tem patas e pelos.
   R_2: Nem um, nem outro. Tião tem asas e penas.

O foco, neste caso, recai sobre os predicados da disjunção. Novamente, distingue-se dois casos:

(a) Se os predicados da disjunção pertencem a uma mesma Classe Semântica, C, então,

(i) Submete-se ao R.A. a disjunção de todos os predicados de C, com argumento $\bar{a}$. Como conseqüência, essa disjunção deve conter todos os predicados do Conjunto de Predicados da Disjunção original, CPD. Seja p_i o componente da disjunção, efetivamente provado.

(ii) Se $p_i \in$ CPD então,
Resposta = $\{p_i(\bar{a})\}$

(iii) Se $p_i \notin$ CPD então,
Falsos = CPD e
Resposta = $\{$Falsos, $p_i(\bar{a})\}$

(b) Se os predicados da disjunção pertencem a diferentes Classes Semânticas, $C_1,\ldots C_n$,

(i) submeter, individualmente, a disjunção dos predicados de cada Classe $C_1, C_2, \ldots C_n$, todos com argumento $\bar{a}$.

(ii) Sejam p_1, $p_2, \ldots p_n$ os predicados provados efetivamente em cada uma das disjunções de $C_1,\ldots C_n$, respectivamente. Se $\{p_1,\ldots p_n\}$ coincide com o CPD, então,
Resposta Afirmativa = $\{p_1(\bar{a}),\ p_2(\bar{a}),\ldots p_n(\bar{a})\}$

(iii) Sejam Verd = $\{p_1,..p_n\} \cap$ CPD;
Falsos = CPD - $\{p_1,..p_n\}$;
alt(Falsos) = $\{p_1,..p_n\}$ - CPC;
Resposta = {Verd, Falsos, alt(Falsos)}

(4b) ARGUMENTOS E/OU PREDICADOS DISTINTOS: $p(\bar{a}) \vee q(\bar{b}) \vee r(\bar{c})$ ...

Exemplos :

1. Q.: Carlos ama Maria ou Joana ?
R_1: Carlos ama Maria.
R_2: Nem uma, nem outra. Carlos ama Teresa.

2. Q.: Chita é macaca ou Tom é gato ?
R_1: Chita é macaca e Tom é gato.
R_2: Tom é gato e Chita não é macaca; é galinha.

(a) Divide-se os predicados do CPD de tal modo que se agrupe predicados de mesma Classe Semântica e argumentos idênticos. Têm-se, então, os grupos $G_1,..G_n$.
(b) Submete-se as disjunções dos predicados de cada grupo G_i com seus parceiros de Classe Semântica. Cada prova de disjunção resultará, possivelmente, na prova de um de seus componentes, p_i.
(c) Se o conjunto $\{p_1,..p_n\}$ coincide com CPD então,
Resposta Afirmativa = $\{p_1, p_2,....p_n\}$
(d) Caso contrário, sejam
Verd = $\{p_1,..p_n\} \cap$ CPC;
Falsos = CPD - $\{p_1,..p_n\}$;
alt(Falsos) = $\{alt(q_i)\}$, onde $q_i \in$ CPD. alt(q_i) pode ser um dos valores pertencentes ao conjunto $\{p_1,..p_n\}$ - CPD, se foco de q_i recair sobre o predicado, caso contrário, deverá ser encontrado um valor alternativo para o argumento a_i, sob foco, submetendo-se $q(a_1,..X,..a_n)$ ao R.A.
Resposta = {Verd, Falsos, alt(Falsos)}

(5) IMPLICAÇÃO: $F_1 \dashrightarrow F_2$ onde F_1 e F_2 são fórmulas quaisquer.

Exemplos :

1. Q.: Se Maria vai a escola então ela sabe ler ?
R_1: Sim, se ela vai a escola, ela sabe ler.
R_2: Não, ainda que ela vá a escola, ela não sabe ler.

São perguntas do tipo Sim/Não onde o valor-verdade de F_1 e F_2 não interessa : o que se questiona é a relação de conseqüência de F_2 em relação a F_1. Desse modo, não é necessário recorrer à geração recursiva dos componentes.

(a) Submete a fórmula ao R.A. e se resultar sucesso,
Resposta Afirmativa = $\{F_1 \dashrightarrow F_2\}$
(b) Se, ao contrário, a negação da fórmula resultar sucesso,
Resposta Negativa = $\{\sim F_2, F_1\}$

(6) FÓRMULAS QUANTIFICADAS UNIVERSALMENTE: $\forall x F(x)$

Fórmulas universalmente quantificadas representam, em geral, conhecimento generalizado do domínio. Esse conhecimento tem uma forma padronizada : uma certa propriedade , ou um conjunto delas, é introduzida para uma classe definida de indivíduos ou objetos. Isso é representado por fórmulas do tipo $\forall x\ (F_1(x) \rightarrow F_2(x))$, onde $F_1(x)$, qualquer, determina a classe de indivíduos ou objetos e $F_2(x)$, qualquer, a qualifica.

No contexto de perguntas, F_2 contém uma pergunta referente a "todos indivíduos/objetos F_1's". Assim, a sub-fórmula F_2 deve ser analisada sendo que cada componente atômico seu, F_i, deve ser estendido para $\forall x(F_1(x) \rightarrow F_i(x))$. Por exemplo, a pergunta "Os pássaros voam ou nadam?", representada por $\forall x(\text{pássaro}(x) \rightarrow (\text{voa}(x) \vee \text{nada}(x)))$ é desmembrada em $\forall x(\text{pássaro}(x) \rightarrow \text{voa}(x)) \vee \forall x(\text{pássaro}(x) \rightarrow \text{nada}(x))$

Assumindo que um Módulo de Interpretação de L.N. realiza a decomposição acima, analisa-se, então, apenas o caso onde $F_2(x)$ é atômica e $F_1(x)$ é qualquer. Todos os demais casos enquadram-se na análise dos tipos específicos de F_2.

Exemplos :

1. Q.: Todos pássaros voam ?
   R_1: Sim, todos pássaros voam.
   R_2: Não. Pinguim, por exemplo, é pássaro e não voa.
   R_3: Não. Existe pelo menos um pássaro que não voa.

2 Q.: Os pássaros nadam ?
   R.: Não. Nenhum pássaro nada. Eles voam.

A negação de uma fórmula quantificada universalmente indica que existe um valor para x para o qual a propriedade expressa por F_2 não vale. Para ser cooperativo, como em R_2 do exemplo 1, deve-se submeter ao R.A. a fórmula $\exists x\ (F_1(x) \wedge \sim F_2(x))$ a fim de obter um valor para x. Ainda assim, é possivel que este valor não possa ser exibido. É o caso de ter sido usada, novamente, uma prova por absurdo. Nessa circunstância, a resposta R_3 é fornecida.

Mais cooperativo do que fornecer um contra-exemplo na negativa é poder dizer que nenhum elemento do conjunto especificado possui tal propriedade, quando isso for verdade. Mais ainda, deve ser fornecida uma alternativa para o predicado negado, F_2. É o caso da resposta fornecida para o exemplo 2. Para obtê-la, é necessário submeter ao R.A. $\forall x\ (F_1(x) \rightarrow \sim F_2(x))$ e, se sucesso, submeter a conjunção estendida dos predicados alternativos a F_2: $\forall x(F_1(x) \rightarrow F_{21}(x)) \vee \forall x(F_1(x) \rightarrow F_{22}(x)) \vee \ldots$onde F_{2i} é predicado alternativo a F_2.

(a) Submete $\forall x\ (F_1(x) \rightarrow F_2(x))$ ao R.A.
   (i) Se consulta for sucesso, Resposta = $\{\forall x(F_1(x) \rightarrow F_2(x))\}$
(b) Senão, submete $\sim\forall x(F_1(x) \rightarrow F_2(x))$
   (i) Se consulta for sucesso (equivale a $\exists x\ (F_1(x) \wedge \sim F_2(x))$)
      1) Submete $\forall x\ (F_1(x) \rightarrow \sim F_2(x))$ ao R.A.
         Se consulta for sucesso, para cada F_i, alternativo a F_2, submeter a disjunção $\vee(\forall x(F_1(x) \rightarrow F_i(x)))$
            Resposta = $\{\forall x(F_1(x) \rightarrow \sim F_2(x)), \forall x(F_1(x) \rightarrow F_i(x))\}$
               Se a disjunção não resultar sucesso,
               Resposta = $\{\forall x\ (F_1(x) \rightarrow \sim F_2(x))\}$
         Caso contrário,

Submete $\exists x\ (F_1(x)\ \wedge\ \sim F_2(x))$ para achar um contra-exemplo. A consulta vai resultar sucesso.
Resposta = $\{\sim F_2(v),\ F_1(v)\}$

(7) FÓRMULAS QUANTIFICADAS EXISTENCIALMENTE: $\exists x F(x)$

Fórmulas quantificadas existencialmente são perguntas do tipo Sim/Não: "Existe um valor que satisfaça F?". Para ser minimamente cooperativo, deve-se fornecer também um valor-exemplo para x. Mas, fornecer um valor é exatamente o que deve ser feito para respostas a perguntas do tipo Qu_. Portanto, estaremos tratando esses dois casos conjuntamente - $\exists x F(x)$ e $F(x)$ - lembrando que o caso existencial exige uma afirmação/negação antes que o valor seja exibido. Chamamos de seletiva o tipo de resposta que fornece um valor como resposta. Há a possibilidade, entretanto, de se fornecer uma classe de valores que satisfazem F. Neste caso a resposta é dita "categórica". Estaremos privilegiando, aqui, as respostas categóricas mas é perfeitamente normal que em algumas situações a resposta seletiva seja de maior utilidade.

Exemplos :

1. Q.: Há um pássaro que nada ?
   R_1: Sim, o pinguim nada.
   R_2: Não, pássaros não nadam.
   R_3: Sim. Há um pássaro que nada mas não é possível exibir.

2. Q.: Quem possui um lápis ou uma caneta ?
   R_1: Maria possui uma caneta.
   R_2: Ninguem possui lápis ou caneta.
   R_3: Maria e José possuem uma caneta e João possui um lápis

3. Q.: Quem ama Maria ?
   R.: João, Carlos e Cristina amam Maria.

4. Q.: Há um vôo do Rio a Shangai às segundas-feiras, 23 horas?
   R_1: Não. Não há vôos do Rio a Shangai às segundas-feiras neste horário das 23 horas.
   R_2: Não. Não há vôos do Rio a Shangai às segundas-feiras.
   R_3: Não. Não há vôos do Rio a Shangai.

5. Q.: Existe algum pássaro mamífero que não voa?
   R.: Não existe pássaro mamífero.

Se $F(x)$ é da forma $F_1(x) \vee F_2(x) \vee \ldots$ é cooperativo dizer quais são verdadeiros para o valor encontrado, no caso de uma prova construtiva. Isso implica em, ao descobrir a disjunção em F, ativar recursivamente o processo para a disjunção instanciada com o valor que tornou verdadeiro $\exists x(F(x))$, para todo valor possível Para isso é necessário um mecanismo de *backtracking* que s encarregue de obtê-los. Só assim é possível gerar respostas com R_1 e R_3 do exemplo 2 e a do exemplo 3.

Analogamente, no caso de uma conjunção é fundamental que resposta indique qual(ais) dos componentes da conjunção result falso para que a conjunção fosse falsa. Um método simples é, constatar a negação da conjunção, submeter ao R.A. a conjunção subtraída do componente mais a direita, e assim por diante, até que se encontre uma sub-conjunção válida ou que termine as possibilidades (neste caso, a resposta para o exemplo 4 seria, por exemplo: "Não sei de nenhum vôo"). Este procedimento baseia-se no fato de que, em geral, a conjunção sob quantificação - $\exists x(c_1(x) \wedge c_2(x) \wedge \ldots \wedge c_n(x))$ - tem o seguinte significado: os primeiros i ($i \geq 0$) componentes determinam a classe dos objetos/indivíduos e os últimos n-i especificam o objeto/indivíduo, de tal forma que c_n fornece o detalhe mais específico de x. Assim, no exemplo 4, após obter a negação de $\exists x$(vôo(x) $\wedge$ rota(x, Rio, Shangai) $\wedge$ dia(x, segunda-feira) $\wedge$ hora(x, 23)), submete-se ao R.A. $\exists x$(vôo(x) $\wedge$ rota(x, Rio, Shangai) $\wedge$ dia(x, segunda-feira)). No caso de sucesso, obtém-se a segunda parte da resposta - a negativa detalhada. No caso de R_1 e R_2 uma correção do tipo "O horário correto é 22 hs" e "Há vôos de terças e quintas", respectivamente, parece ser extremamente útil. Entretanto, no caso de R_3 a listagem de todos os vôos existentes, à exceção de Rio-Shangai, parece ser extremamente irrelevante. De fato, quanto mais "à esquerda" da conjunção, menos sujeito à correção o componente estaria. A determinação sistemática do limite de correção e, portanto, de cooperatividade, parece estar relacionada intimamente a fatores extra-sintáticos, como o próprio domínio e as metas do usuário (típico no exemplo acima). Por essa dependência semântica, paga-se, aqui, o preço de não apresentar a correção da parte negada. Esse mesmo procedimento leva à resposta do exemplo 5.

(a) Submete $\exists x F(x)$ ao R.A.
- (i) Se consulta for sucesso,
  - Determinar, via *backtracking*, todos os valores $v_1, v_2, \ldots, v_n$ que fazem F(x) válida.
  - Se F(x) for uma disjunção $F_1 \vee F_2 \vee \ldots$, obter recursivamente os esquemas para a disjunção aplicada a cada valor v_i - Esq(F(v_i)) e
  - Resposta = {Esq(F(v_1)),...Esq(F(v_n))}
  - Caso contrário,
  - Resposta = {F(v_1),...F(v_n)}

(b) Senão, submete $\sim\exists x F(x)$ ao R.A.
- (i) Se consulta for sucesso,
  - Se F(x) for conjunção $C_1 \wedge C_2 \wedge \ldots$, submeter a conjunção que resultou falso sem o componente da direita até que se encontre uma sub-conjunção válida, $C_1 \wedge C_2 \wedge \ldots C_i$.
  - Resposta = {$\sim\exists x$ ($C_1 \wedge C_2 \wedge \ldots C_i$)}
  - Caso contrário, Resposta = {$\sim\exists x$ (F(x))}

As conjunções e disjunções de quaisquer fórmulas são pouco comuns no contexto de perguntas, mas suas respostas podem ser facilmente obtidas via um processo recursivo a partir dos casos apresentados aqui.

CONCLUSÕES.

As idéias aqui apresentadas fazem parte do projeto de um Planejador de Respostas Cooperativas para o uso interativo de um R.A. operando sobre uma B.C. Embora os métodos e estratégias aqui apresentados tenham generalidade com respeito à natureza do método de prova empregado pelo raciocinador, eles foram elaborados tendo-se em mente provadores analíticos que obtenham provas diretas em preferência à provas por refutação.

O projeto incorpora, ainda, outras facilidades não abordadas neste artigo, entre essas a habilidade de prover explicações do raciocínio lógico e expor os argumentos que justificam conclusões em atendimento à perguntas do tipo "Por que..." [Haeusler & Pequeno-88] [Nunes-89]. No momento, estudamos o problema de dotar o sistema da habilidade de elaborar perguntas ao usuário, de forma a suprir as informações necessárias para estabelecer uma conclusão requerida. Com essa habilidade, teremos desenvolvido a capacidade de manter um diálogo cooperativo com o usuário, que é o objetivo final do projeto.

REFERÊNCIAS.

[Green-69] C.Green. *Theorem-proving by resolution as a basis for question-answering systems.* In *Machine Intelligence*, vol.4, Bernard Meltzer, Donald Michie and Michael Swann (ed.), Elsevier, New York, 1969, 183-205.

[Grice-75] H. P. Grice, *Logic and Conversation*, in *Syntax and Semantics*. Vol.3. eds. P. Cole and J. Morgan, Academic Press, New York, 1975.

[Haeusler & Pequeno-88] E.H.Hauesler & T.H.Pequeno, *Explanation by Game*. Relatório Técnico. D.I. PUC/RJ. 1988

[Luckham & Nilsson-71] D. Luckham & N.J. Nilsson, *Extracting information from resolution proof trees.* Artificial Intelligence 2, (1971), 27-54.

[Nunes-88] M.G.V. Nunes, *Deep Generation in a Criminal Knowledge Based System.* Série Monografias em Ciências da Computação. Ed. P.Veloso. Dep. Informática. PUC/RJ. no.10/88. 1988.

[Nunes-89] M.G.V. Nunes, *Proposta de um Gerador de Explicações Causais para Sistemas com Raciocínio expresso em Dedução Natural*. Exame de Qualificação. Dep. Informática, PUC/RJ. 1989.

[Nunes-90] M.G.V. Nunes, *Interação Inteligente Usando Raciocinador Automático*. Relatório Técnico. D.I. PUC/RJ. Janeiro 1990.

[Prawitz-65] D. Prawitz, *Natural Deduction*. Stockholm, 1965.

[Rios & Pequeno-89] J.R.C.Rios & T.H.Pequeno, *Um Raciocinador Automático por Jogos Semânticos*. 6o. Simpósio Brasileiro em Inteligência Artificial. Rio de Janeiro. Nov. 1989.