

PROCESSADOR HÍBRIDO DE PAPÉIS TEMÁTICOS: RELAÇÕES LINGÜÍSTICAS SIMBÓLICAS REVISADAS PELO APRENDIZADO CONEXIONISTA

João Luís Garcia ROSA ¹

RESUMO *Em Lingüística, as relações semânticas entre as palavras em uma sentença são consideradas, entre outras coisas, como a atribuição de papéis temáticos, por exemplo, AGENTE, INSTRUMENTO, etc. Como na lógica de predicados, expressões lingüísticas simples são decompostas em um predicado (normalmente o verbo) e seus argumentos. O predicado atribui papéis temáticos aos argumentos, tal que cada sentença tem uma grade temática, uma estrutura com todos os papéis temáticos atribuídos pelo predicado. Com a finalidade de revelar a grade temática de uma sentença, um sistema chamado HTRP (Hybrid Thematic Role Processor – Processador Híbrido de Papéis Temáticos) foi proposto (Rosa e Françaço, 1999), na qual a arquitetura conexionista tem, como entrada, uma representação das palavras de uma sentença baseada em características, e como saída, sua grade temática. Foram propostas duas versões: uma versão com pesos iniciais aleatórios (RIW = random initial weights) e uma versão com pesos iniciais polarizados (BIW = biased initial weights), para dar conta de sistemas sem e com conhecimento inicial, respectivamente. Na versão BIW, os pesos de conexão iniciais refletem regras simbólicas para papéis temáticos. Para ambas as versões, depois do aprendizado supervisionado, um conjunto de regras simbólicas finais é extraído, que é consistentemente correlacionado com o conhecimento lingüístico (e simbólico). No caso da versão BIW, trata-se de uma revisão das regras iniciais. Na versão RIW, regras simbólicas parecem ser induzidas da arquitetura conexionista e do aprendizado.*

ABSTRACT *In linguistics, the semantic relations between words in a sentence are accounted for, inter alia, as the assignment of thematic roles, e.g. AGENT,*

¹ Texto resultante da Tese de Doutorado, intitulada “Um Sistema Híbrido Simbólico-conexionista para o Processamento de Papéis Temáticos”, apresentada ao Curso de Lingüística, do Instituto de Estudos da Linguagem, da Unicamp, no dia 23 de Junho de 1999, sob orientação do Prof. Dr. Edson Françaço (IEL-Unicamp) e co-orientada pelo Prof. Dr. Márcio Luiz de Andrade Netto (FEEC-Unicamp).

INSTRUMENT, etc. As in predicate logic, simple linguistic expressions are decomposed into one predicate (often the verb) and its arguments. The predicate assigns thematic roles to the arguments, so that each sentence has a thematic grid, a structure with all thematic roles assigned by the predicate. In order to reveal the thematic grid of a sentence, a system called HTRP (Hybrid Thematic Role Processor) is proposed, in which the connectionist architecture has, as input, a featural representation of the words of a sentence, and, as output, its thematic grid. Both a random initial weight version (RIW) and a biased initial weight version (BIW) are proposed to account for systems without and with initial knowledge, respectively. In BIW, initial connection weights reflect symbolic rules for thematic roles. For both versions, after supervised training, a set of final symbolic rules is extracted, which is consistently correlated to linguistic – symbolic – knowledge. In the case of BIW, this amounts to a revision of the initial rules. In RIW, symbolic rules seem to be induced from the connectionist architecture and training.

1. INTRODUÇÃO

Em sentenças como

(1) O homem quebrou a vidraça com a pedra, pode-se intuitivamente achar um AGENTE (*o homem*), um PACIENTE (*a vidraça*) e um INSTRUMENTO (*a pedra*). A teoria lingüística [Haegeman, 1991] refere aos papéis que as palavras geralmente parecem ter em relação ao verbo como *papéis temáticos*, tal que pode-se dizer que *quebrar* tem uma estrutura temática com os seguintes papéis [AGENTE, PACIENTE, INSTRUMENTO] nesta sentença. Mas a teoria lingüística também assume que essa estrutura pode mudar, dependendo da sentença. Tal que para a sentença

(2) A pedra quebrou o vaso, há uma estrutura temática diferente, já que *pedra* é a CAUSA (aquela que causa a ação) e *vaso* é o PACIENTE. A diferença entre (1) e (2) é que, ainda que o mesmo verbo seja empregado (*quebrar*), nenhum AGENTE ou INSTRUMENTO é expresso em (2); portanto, a estrutura temática para (2) – [CAUSA, PACIENTE] – é diferente da estrutura temática para (1).

A abordagem teórica aos papéis temáticos na lingüística é simbólica. Como na lógica de predicados, as expressões lingüísticas são decompostas em um predicado central (normalmente o verbo) e vários argumentos que completam o seu significado [Raposo, 1992]. O predicado atribui papéis temáticos aos argumentos e cada sentença tem uma *grade temática*, isto é, uma estrutura com todos os papéis temáticos atribuídos aos argumentos da sentença pelo predicado. Um sistema de Processamento de Linguagem Natural, chamado HTRP (iniciais para *Hybrid Thematic Role Processor* – Processador Híbrido de Papéis Temáticos), é proposto para identificar a grade temática de uma sentença de entrada semanticamente válida

[Rosa and Françaço, 1999]. Existem duas versões desse sistema: a primeira, *sem* conhecimento inicial e a segunda, *com* conhecimento inicial. A primeira versão especifica uma arquitetura conexionista comum com pesos de conexão iniciais aleatórios, doravante chamada de RIW (*random initial weight version*). Na segunda versão, doravante chamada de BIW (*biased initial weight version*), um conjunto inicial de pesos de conexão da rede polarizados é introduzido para representar regras simbólicas para dez papéis temáticos. Em ambas as versões, depois do aprendizado supervisionado, um conjunto de regras simbólicas finais é extraído, que é consistentemente correlacionado com o conhecimento lingüístico (simbólico). No caso do BIW, isso significa uma revisão das regras iniciais. No RIW, as regras simbólicas parecem ser induzidas da arquitetura conexionista.

2. PAPÉIS TEMÁTICOS

Pegando as sentenças (1) e (2) novamente, parece que a distinção entre AGENTE e CAUSA tem alguma coisa a ver com os substantivos aos quais são atribuídos tais papéis. Portanto, já que apenas um substantivo *animado* é esperado que seja um AGENTE, algum tipo de análise semântica é necessária para distinguir entre atribuições temáticas diferentes. Em outras palavras, papéis temáticos devem ser elementos com conteúdo semântico [Dowty, 1989]. Pode-se imaginar que as palavras, que podem preencher cada *slot* para uma dada grade temática, compartilham um núcleo semântico comum. Assumindo que isso é regular, pode-se tentar capturar tal regularidade (a) descrevendo cada palavra em termos de seus traços semânticos, e (b) generalizando sobre todas as descrições para cada *slot* temático.

A generalização de características (ou traços) semânticas é o ponto principal da proposta pioneira de McClelland e Kawamoto's [1986] e de muitos trabalhos subsequentes. Num sistema chamado CPPro [Rosa, 1997], uma arquitetura conexionista baseada em uma adaptação do modelo de McClelland e Kawamoto [1986] é proposta. As palavras são representadas por vetores de microcaracterísticas semânticas, formados por subconjuntos que dão conta de aspectos do significado da palavra como *humano* e *não humano*, onde apenas um valor em cada subconjunto está ativo. Para o verbo, esses vetores são arrançados na base dos relacionamentos temáticos entre o verbo e as outras palavras de uma sentença, portanto através do mapeamento de papéis temáticos em características semânticas. O objetivo do CPPro é explorar a idéia da representação de microcaracterísticas para construir uma arquitetura capaz de analisar e aprender as atribuições corretas de relacionamentos temáticos das palavras em uma sentença. Sua saída reflete julgamentos de aceitabilidade semântica de uma sentença.

No HTRP a saída é constituída pela grade temática de uma sentença, composta de até dez papéis temáticos: AGENTE, EXPERIENCIADOR, CAUSA, PACIENTE, TEMA,

FONTE, META, BENEFICIÁRIO, VALOR e INSTRUMENTO. Para o HTRP, algumas definições intuitivas de papéis temáticos são adotadas. AGENTE é o argumento que tem o controle da ação expressa pelo predicado. EXPERIENCIADOR é um participante que não tem o controle da ação que expressa um estado psicológico. CAUSA é o argumento que inicia a ação expressa pelo predicado sem controlá-la. PACIENTE é o participante afetado diretamente pela ação do predicado, geralmente mudando de estado. TEMA é o participante afetado indiretamente pela ação do predicado, sem mudar de estado. Os outros papéis são auto-explicativos.

No HTRP, apenas sentenças com até três argumentos são consideradas. Portanto, a estrutura argumental [Haegeman, 1991] das sentenças é:

verbo; 1 2 3
 arg1 arg2 arg3

onde *arg1*, *arg2* e *arg3* são os argumentos do verbo, aos quais o predicado (o verbo) atribui papéis temáticos. Um conjunto limitado de verbos foi escolhido para a presente implementação do HTRP: *amar*, *assustar*, *bater*, *comprar*, *dar*, *entregar*, *quebrar* e *temer*.

2.1. Representação do Verbo

A representação do verbo no HTRP é fortemente baseada em Franchi e Cançado [1998]. Eles usam uma representação não-lexicalista; isto é, a atribuição de papel temático composicionalmente depende de toda a sentença. Por exemplo, pegando o verbo *quebrar*, (5) e (6) são as grades temáticas para (3) e (4), respectivamente:

- (3) Maria quebrou o vaso com um martelo.
- (4) A pedra quebrou o vaso.
- (5) [AGENTE, PACIENTE, INSTRUMENTO]
- (6) [CAUSA, PACIENTE].

Para explicar a diferença, pode-se retornar à noção de que papéis temáticos são elementos com conteúdo semântico. Nesse caso, parece que algumas vezes (por exemplo, na sentença (3)) o controle da ação é requerido pelo verbo *quebrar* em relação à *arg1*, enquanto que tal controle não é necessário na sentença (4). Portanto, pode-se dizer que *controle da ação* é uma característica a ser associada ao verbo.

O mesmo é verdade para o verbo *assustar*, em relação a uma característica diferente: *encadeamento direto do processo*.

- (7) Maria assustou Paulo com um grito.
- (8) Os testes assustaram Paulo.

Em (7) o controle da ação é parte do jogo, enquanto que (8) o encadeamento direto do processo assume um papel central.

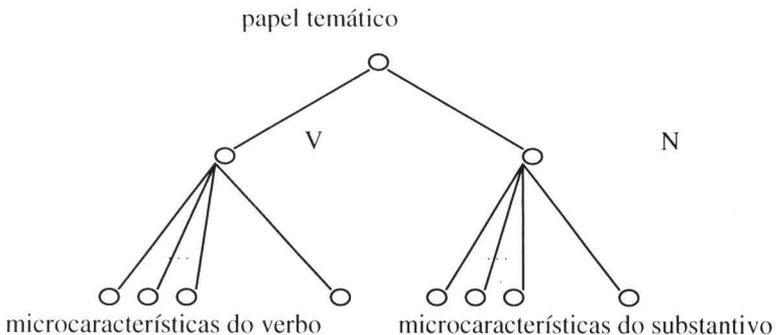
Portanto, um conjunto pequeno de características pode ser associado ao verbo, da mesma forma que substantivos são associados a um conjunto de características (diferentes) [Waltz and Pollack, 1985; McClelland and Kawamoto, 1986; Rosa, 1997].

As características composicionais associadas ao verbo mudam de acordo com a sentença na qual o verbo é usado. Então, é inadequado dizer que um verbo específico tem uma grade temática única, porque isto dependerá de toda a sentença na qual o verbo ocorre. Em resumo, uma abordagem não-lexicalista é preferível.

3. A ARQUITETURA CONEXIONISTA

O sistema HTRP usa uma arquitetura conexionista que representa onze redes neurais artificiais independentes, uma para cada papel temático e uma para a saída erro [Lawrence *et al.*, 1998]. Os processadores elementares são unidades clássicas tipo perceptron e cada rede tem 40 unidades de entrada, 2 unidades escondidas e uma unidade de saída. As unidades de entrada são responsáveis pela representação de duas palavras de uma sentença, o verbo e um substantivo. Como cada sentença no HTRP tem, no máximo, três substantivos além do verbo, cada sentença trabalha com no máximo três redes neurais para ativar uma grade de até três papéis temáticos. A primeira unidade escondida (V) representa a conjunção de todas as microcaracterísticas do verbo e a segunda (N), a conjunção de todas as microcaracterísticas do substantivo. A unidade de saída representa a conjunção desses dois conjuntos de microcaracterísticas (veja a figura 1). A saída erro, que também tem duas unidades escondidas e uma unidade de saída, difere na camada de entrada, que neste caso tem 80 unidades, porque não se sabe que substantivos, em conjunção com o verbo, ativam a saída erro.

Figura 1. A arquitetura conexionista para um papel temático.



3.1. A Saída Erro

Lawrence *et al.* [1998] propõem uma rede neural recorrente para classificar sentenças do inglês como gramaticais ou agramaticais, exibindo o mesmo poder discriminatório suprido pela teoria lingüística. A rede não é dividida em conhecido inato e adquirido. Ao invés disto, exemplos positivos e negativos são usados para discriminar sentenças gramaticalmente aceitáveis de inaceitáveis.

No HTRP, uma saída erro é implementada para dar conta desse fato. Para uma entrada semanticamente inaceitável como:

(9) A pedra comprou o homem

o sistema ativa a saída erro. Então, antes de gerar a grade temática para uma sentença, o HTRP testa a aceitabilidade semântica da sentença, de tal forma que o sistema revela a grade temática apenas para sentenças semanticamente bem formadas.

4. A ABORDAGEM HÍBRIDA

Desde o início, a Inteligência Artificial (IA) está dividida em dois campos opostos: o paradigma *simbólico*, baseado em lógica, e o paradigma *conexionista*, baseado na propagação da atividade de processadores elementares.

As redes neurais artificiais não têm o poder expressivo de representações lógicas gerais, pois elas não são adequadas para manipulação de símbolos de alto nível [Fodor and Pylyshyn, 1988]. Elas são geralmente preferidas em várias situações (tal como reconhecimento de padrões) porque são capazes de generalizar sobre as entradas, são tolerantes a falhas e exibem a habilidade de aprender através da experiência.

Mas as redes neurais têm uma desvantagem: geralmente por causa da falta de transparência é difícil entender como elas constroem suas representações internas. Não é fácil descobrir o significado das conexões e seus pesos ou a configuração das camadas escondidas em relação a um certo par entrada-saída.

Mas as chamadas redes neurais baseadas em conhecimento, que aproximam os paradigmas opostos da IA, permitem que o conhecimento simbólico seja introduzido nas redes neurais assim como extraído das redes neurais – o que é chamado de *abordagem híbrida*.

A extração de conhecimento simbólico de redes neurais treinadas permite a troca de informação entre representações de conhecimento conexionista e simbólico e tem sido de grande interesse para entender o que a rede neural realmente faz [Shavlik, 1994]. Além disso, um decréscimo significativo no tempo de aprendizado pode ser obtido treinando redes com conhecimento inicial [Omlin and Giles, 1996].

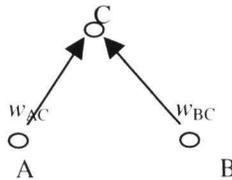
Também, o conhecimento simbólico pode ser inserido em redes neurais e então refinado após o treinamento.

Na abordagem híbrida adotada aqui, o conhecimento simbólico é representado através de pesos de conexão entre as unidades de processamento da rede neural. Por exemplo, uma regra lógica, do tipo *se-então*, com antecedentes ponderados A e B e conseqüente C,

$$(10) ((w_{AC} * A) + (w_{BC} * B)) \rightarrow C$$

pode ser representada por um esquema conexionista, como mostrado na figura 2. A regra tem antecedentes ponderados porque w_{AC} e w_{BC} (pesos de conexão) não são valores binários mas números reais. Além disso, a regra simula uma unidade *and*, tal que apenas a presença de ambas as entradas A e B faz com que a saída C seja ativada.

Figura 2. Um esquema para a regra $((w_{AC} * A) + (w_{BC} * B)) \rightarrow C$.



O conhecimento simbólico gerado pela rede pode ser extraído, em ambas as versões do HTRP, de uma forma comparável à inserção do conhecimento simbólico inicial no BIW, usando a estrutura da figura 2.

4.1. Representações por Microcaracterísticas

A representação da palavra no HTRP é adaptada das representações de microcaracterísticas semânticas usadas por Waltz e Pollack [1985] e McClelland e Kawamoto [1986], para o substantivo. Para o verbo, a representação é principalmente baseada em Franchi e Cançado [1998]. Vinte unidades binárias de microcaracterísticas semânticas dão conta de cada substantivo e verbo. O seguinte esquema geral representa os substantivos:

- *humano – não-humano*
- *“soft” – “hard”*
- *pequeno – médio – grande*
- *1-D/compacto – 2-D – 3-D*
- *pontudo – arredondado*
- *frágil/quebrável – inquebrável*

- *valor – mobília – alimento – brinquedo – ferramenta/utensílio – animado*

Para cada um desses subconjuntos, apenas uma característica está ativa e todas as outras inativas. Por exemplo, *homem é humano*, “soft”, grande, 3-D, arredondado, inquebrável e animado; *pedra é não-humano*, “hard”, pequeno, 3-D, pontudo, inquebrável e ferramenta/utensílio.

O sistema também inclui substantivos ambíguos, tal que algumas de suas microcaracterísticas são indeterminadas. Nesses casos, o sistema chegará aos valores ausentes para a leitura pretendida, porque é tolerante a falhas.

O seguinte esquema representa os verbos:

- *arg1 tem controle da ação – não tem controle*
- *desencadeamento direto do processo – desencadeamento indireto*
- *direção para fonte (arg1) – direção para meta (arg2)*
- *afetação pelo processo para arg2 – não afetação pelo processo*
- *mudança de estado de arg2 – não mudança de estado*
- *estado psicológico – não estado psicológico*
- *arg1 tem objetivo – não objetivo*
- *ação resultante – não ação resultante*
- *alta intensidade do processo – baixa intensidade*
- *arg1 tem interesse no processo – não interesse no processo*

Novamente, para cada subconjunto, uma característica está ativa e a outra inativa. Por exemplo, no sentido da sentença (1) acima, para *quebrar* as seguintes características estão ativas: *controle da ação, desencadeamento direto do processo, direção para meta, afetação pelo processo, mudança de estado, não estado psicológico, objetivo, ação resultante, alta intensidade e interesse no processo*. No sentido da sentença (2), as seguintes características estão ativas: *não controle da ação, desencadeamento indireto do processo, direção para meta, afetação pelo processo, mudança de estado, não estado psicológico, não objetivo, ação resultante, alta intensidade e não interesse no processo*. Como se pode ver, duas leituras diferentes para o mesmo verbo *quebrar*.

Mas quando o usuário entra com o verbo *quebrar* no HTRP, o sistema não sabe qual *quebrar* é pretendido. E, a entrada da rede é a “média” das duas leituras de *quebrar*. Novamente, algumas das microcaracterísticas estão indeterminadas. E novamente, o sistema chegará aos valores ausentes para a leitura pretendida de *quebrar*.

4.2. Regras Simbólicas Iniciais

As “regras temáticas” do HTRP inspiradas em Haegeman [1991] e McRae *et al.* [1997] para 13 tipos de verbos (8 verbos diferentes e 5 leituras alternativas) também foram implementadas. As regras são regras *se-então* (implicações lógicas) e são implementadas como uma porta *and*, isto é, se uma entrada estiver ausente a unidade deve se manter inativa. Ao contrário da lógica clássica, cada elemento na parte antecedente das regras é ponderado pelo peso de conexão do elemento respectivo na rede. Então, para uma unidade ficar ativa, todas as suas entradas juntas devem ser tais que sua soma seja suficiente para ativar a unidade (veja a figura 2).

Para cada papel temático há duas regras ‘escondidas’ cujos antecedentes mapeam as unidades pertencentes à camada de entrada e cujos conseqüentes mapeam unidades escondidas – uma para o verbo e a outra para o substantivo (veja a figura 1). Por exemplo, para o papel temático AGENTE no BIW, não há regra inicial para o substantivo (N), porque qualquer substantivo pode, em princípio, ser um AGENTE. O sistema, depois do aprendizado, decidirá quais substantivos podem ser AGENTES. Mas para o verbo (V) a regra é:

Se para o verbo (0.2 controle da ação) + (0.2 desencadeamento direto do processo) + (0.2 afetação pelo processo) + (0.2 objetivo) + (0.2 interesse no processo)

Então V

Se (0.5 V) + (0.5 N) então papel temático = AGENTE.

4.3. A Fase do Aprendizado

As sentenças de treinamento são geradas por um gerador de sentenças, alternando verbos e substantivos. Tanto sentenças semanticamente válidas quanto semanticamente anômalas são geradas. Para o BIW, o aprendizado começa depois da introdução de regras simbólicas iniciais como pesos de conexão da rede. O algoritmo usado é o algoritmo supervisionado *backpropagation* [Rumelhart *et al.*, 1986]. Depois de 3000 ciclos de treinamento, o sistema é capaz de julgar, com um alto grau de certeza, se uma sentença tem significado ou não, e, se tiver, qual é a sua grade temática.

Uma conseqüência interessante do aprendizado é que o sistema é capaz de categorizar na base da complementaridade das microcaracterísticas do verbo para a maioria dos subconjuntos. Considere o sistema sem conhecimento inicial (RIW); neste caso, os pesos de conexão iniciais para cada subconjunto de microcaracterísticas são aleatórios. Como durante o treinamento as sentenças exibem valores mutuamente exclusivos dentro de cada subconjunto de microcaracterísticas, os pesos de conexão finais são revelados complementares no sentido de que seus valores respectivos têm sinais opostos. Isto é, a rede incorpora a

complementaridade das microcaracterísticas em virtude de sua arquitetura e experiência.

4.4. Regras Finais

A extração de regras consiste em reverter o processo da inserção de regras iniciais no BIW. Isto é, os pesos da rede são avaliados e um antecedente ponderado é obtido, correspondendo ao peso da conexão. Esta regra permite antecedentes ponderados na regra de produção. O conhecimento simbólico extraído da presente arquitetura conexionista corresponde ao aprendizado e capacidade de generalização da rede. Como consequência, a rede é capaz de “revisar” as regras simbólicas iniciais. A extração de regras da rede, depois do treinamento, para ambas as versões do HTRP é baseada em Fu [1993], Setiono e Liu [1996], e Towell e Shavlik [1993].

Para o RIW, as regras finais para o papel temático AGENTE são as seguintes:

Regras ‘Escondidas’:

Se para o verbo (-0.6 controle da ação) + (-1.0 desencadeamento direto do processo) + (-0.1 direção para meta) + (-0.9 afetação pelo processo) + (-1.1 mudança de estado) + (-0.1 não estado psicológico) + (-2.2 objetivo) + (-0.6 resultante) + (0.2 alta intensidade) + (-0.8 interesse no processo)

Então V

Se para o substantivo (1.7 humano) + (0.2 “soft”) + (3.1 médio + 1.8 grande) + (0.2 3-D) + (0.2 arredondado) + (1.4 inquebrável) + (3.7 animado)

Então N

Regra de ‘Saída’:

Se (-7.3 V) + (6.9 N) então papel temático = AGENTE.

Note que quase todos os antecedentes da regra ‘escondida’ são negativos para o verbo. Mas o antecedente da regra de ‘saída’ (-7.3 V) também é negativo para o verbo, que significa que os sinais negativos se cancelam.

Note também que, para o verbo, muitas microcaracterísticas são altamente polarizadas pelo aprendizado: *controle da ação, desencadeamento direto do processo, afetação pelo processo, mudança de estado, objetivo, resultante e interesse no processo*. Em relação à regra do substantivo, o AGENTE aprendido pela rede é principalmente *médio e animado*, e com menos peso, *humano, grande e inquebrável*.

Para o BIW, isto é, com a introdução de regras simbólicas iniciais, para o papel temático AGENTE, há a seguinte regra final para o verbo:

Regra ‘Escondida’:

Se para o verbo (0.9 controle da ação) + (1.2 desencadeamento direto do processo) + (0.8 direção para a meta) + (0.5 afetação pelo processo) + (0.4 mudança de estado) + (0.1 não estado psicológico) + (1.2 objetivo) + (-0.1 resultante) + (0.2 alta intensidade) + (1.2 interesse no processo)

Então V

Como se pode ver, considerando os antecedentes da regra inicial, todas as características são altamente fortalecidas pelo aprendizado, com a exceção de *afetação pelo processo*, que subiu de 0.2 para 0.5. Isto é, o sistema parece reforçar as características iniciais.

Há a regra final para o substantivo também:

Regra ‘Escondida’:

Se para o substantivo (-1.6 humano) + (-0.3 “soft”) + (-2.3 médio + -0.8 grande) + (-0.7 3-D) + (-0.6 arredondado) + (-0.6 inquebrável) + (-2.6 animado)

Então N

Regra de ‘Saída’:

Se (7.1 V) + (-7.1 N) então papel temático = AGENTE.

Como a regra de ‘saída’ mostra um antecedente negativo para o substantivo (-7.1 N), todos os pesos negativos dos antecedentes da regra ‘escondida’ tornam-se positivos. Então, o agente aprendido pela rede é principalmente, *humano*, *médio* e *animado*, e com menor peso, *“soft”*, *grande*, *3-D*, *arredondado* e *inquebrável*.

Note que há pequenas diferenças entre as regras escondidas finais para substantivos no RIW e no BIW, ainda que se espere que sejam iguais porque tanto no BIW quanto no RIW, nenhuma regra inicial para substantivos é inserida. Tal diferença vem (i) da arquitetura conexionista empregada, que considera tanto as entradas do verbo quanto as do substantivo para ativar a saída do papel temático (veja a figura 1); e (ii) do algoritmo *backpropagation*, que faz com que os pesos do verbo influenciem os pesos do substantivo durante o passo da retropropagação do erro.

Para ilustrar e comparar as diferenças entre o RIW e o BIW, um resumo dos pesos para o verbo, em relação ao papel temático agente é apresentado na tabela 3. Lembre-se que esses valores são usados para ponderar as microcaracterísticas nos antecedentes das regras simbólicas.

Tabela 3. Uma comparação entre pesos iniciais e finais.

<i>MS</i>	<i>ca</i>	<i>dd</i>	<i>dm</i>	<i>ap</i>	<i>me</i>	<i>np</i>	<i>ob</i>	<i>re</i>	<i>ai</i>	<i>ip</i>
<i>I</i>	0.2	0.2	-	0.2	-	-	0.2	-	-	0.2
<i>FR</i>	0.6	1.0	0.1	0.9	1.1	0.1	2.2	0.6	-0.2	0.8
<i>FB</i>	0.9	1.2	0.8	0.5	0.4	0.1	1.2	-0.1	0.2	1.2

Nota: *MS* = microcaracterística semântica; *ca* = *controle da ação*; *dd* = *desencadeamento direto*; *dm* = *direção para a meta*; *ap* = *afetação pelo processo*; *me* = *mudança de estado*; *np* = *não estado psicológico*; *ob* = *objetivo*; *re* = *resultante*; *ai* = *alta intensidade*; *ip* = *interesse no processo*; *I* = pesos iniciais; *FR* = pesos finais para RIW; *FB* = pesos finais para BIW.

Note que, quando o conhecimento inicial é inserido no sistema (BIW), há uma tendência de fortalecer os pesos iniciais. Quando nenhum conhecimento inicial é provido (RIW), os pesos finais são bem próximos àqueles no BIW. Isto pode ser tomado como evidência de que os pesos finais refletem o conhecimento simbólico disponível (sobre um papel temático) a partir dos exemplos e da arquitetura, já que nesse caso os pesos iniciais são arbitrários.

5. CONCLUSÃO

No universo do processamento de linguagem natural conexionista, vários sistemas usam a noção de modelamento de papel temático (por exemplo, McClelland e Kawamoto [1986], McClelland *et al.* [1989], St. John e McClelland [1990], Jain [1991], e Miikkulainen [1996]). Também, pelo menos um recente trabalho [Chan and Franklin, 1998] que implementa um sistema híbrido, faz uso da noção de papéis de caso, que é próximo ao conceito de relações temáticas. O presente sistema vai mais longe que todos estes no que diz respeito a empregar o papel dos acarretamentos semânticos nas relações temáticas, isto é, na forma como faz uso do conhecimento teórico da lingüística.

HTRP implementa uma abordagem híbrida simbólico-conexionista para o processamento de papel temático. Nesta abordagem, as vantagens dos sistemas simbólicos (facilidade de representação do conhecimento, entendimento através da inferência lógica, etc.) são combinadas com as vantagens do conexionismo (aprendizado, generalização, tolerância a falhas, etc.) para resultar num processamento de papel temático mais discriminatório, que é sensível às sutilezas envolvidas em tal fenômeno lingüístico.

A representação das características semânticas adotada neste sistema permite facilmente que novas palavras sejam inseridas para aumentar o seu léxico, desde que seus vetores de microcaracterísticas semânticas sejam fornecidos. No HTRP uma única rede dá conta de todo par verbo-substantivo; portanto, generalizando sobre *ambos* substantivos e verbos. De fato, isto é crucial no tratamento de papéis temáticos, porque eles nada mais são que generalizações de relacionamentos semânticos entre verbos e substantivos. Um outro resultado interessante que deve ser enfatizado diz respeito ao RIW. Mesmo em um sistema sem conhecimento inicial, as regras finais extraídas da rede correspondem totalmente à teoria simbólica que as

explica. Isto é, parece que a arquitetura do HTRP, juntamente com o treinamento, é suficiente para o sistema chegar à grade temática correta de uma sentença.

BIBLIOGRAFIA

- CHAN, S. W. K. and FRANKLIN, J. (1998). Symbolic Connectionism in Natural Language Disambiguation. **IEEE Transactions on Neural Networks**, Vol. 9, No. 5, 739-755.
- DOWTY, D. (1989). On the Semantic Content of the Notion of 'Thematic Role'. In: **Properties, Types and Meaning**. Edited by G. Chierchia, B. H. Partee, and R. Turner. Dordrecht, Kluwer.
- FODOR, J. A. and PYLYSHYN, Z. W. (1988). Connectionism and Cognitive Architecture: A Critical Analysis. **Cognition**, Vol. 28, 3-71.
- FRANCHI, C. e CANÇADO, M. (1998). **Hierarquia Temática**. Artigo não publicado, Unicamp/USP e UFMG, Brasil.
- FU, L. M. (1993). Knowledge-Based Connectionism for Revising Domain Theories. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, Vol. 23, No.1, 173-182.
- HAEGEMAN, L. (1991). **Introduction to Government and Binding Theory**. Blackwell.
- JAIN, A. N. (1991). Parsing Complex Sentences with Structured Connectionist Networks. **Neural Computation**, 3:110-120.
- LAWRENCE, S., GILES, C. L., and FONG, S. (1998). Natural Language Grammatical Inference with Recurrent Neural Networks. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering** (accepted for publication).
- MCCLELLAND, J. L., ST. JOHN, M. F., and TARABAN, R. (1989). Sentence Processing: A Parallel Distributed Processing Approach. **Language and Cognitive Processes**, 4 (3/4), 287-335.
- MCCLELLAND, J. L. and KAWAMOTO, A. H. (1986). Mechanisms of Sentence Processing: Assigning Roles to Constituents of Sentences. In: **Parallel Distributed Processing**, Vol. 2. Ed. by J. L. McClelland and D. E. Rumelhart. A Bradford Book, MIT Press.
- MCRAE, K., FERRETTI, T. R., and AMYOTE, L. (1997). Thematic Roles as Verb-specific Concepts. **Language and Cog. Processes**, 12 (2/3), 137-176.
- MIKKULAINEN, R. (1996). Subsymbolic Case-role Analysis of Sentences with Embedded Clauses. **Cognitive Science** 20, 47-73.
- OMLIN, C. W. and Giles, C. L. (1996). Rule Revision with Recurrent Neural Networks. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, 8(1):183-188.
- RAPOSO, E. P. (1992). **Teoria da Gramática – A Faculdade da Linguagem**. Caminho – coleção universitária, Lisboa, Portugal.

- ROSA, J. L. G. (1997). A Thematic Connectionist Approach to Portuguese Language Processing. In: **Proceedings of the IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing**. Banff, Canada, 240-243, July 27-31.
- _____. and FRANÇOZO, E. (1999). Hybrid Thematic Role Processor: Symbolic Linguistic Relations Revised by Connectionist Learning. In: **Proceedings of IJCAT'99 – Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence**. Stockholm, Sweden, July 31-August 6, Volume 2, Morgan Kaufmann, 852-857.
- RUMELHART, D. E., HINTON, G. E., and WILLIAMS, R. J. (1986). Learning Internal Representations by Error Propagation. In: **Parallel Distributed Processing, Vol. 1**. Ed. by D. E. Rumelhart and J. L. McClelland. A Bradford Book, MIT Press.
- SETIENO, R. and Liu, H. (1996). Symbolic Representation of Neural Networks. **IEEE Computer, Vol. 29**, No. 3, 71-77.
- SHAVLIK, J. W. (1994). Combining Symbolic and Neural Learning. **Machine Learning, 14**(3): 321-331.
- ST. JOHN, M. F. and McClelland, J. L. (1990). Learning and Applying Contextual Constraints in Sentence Comprehension. **Artificial Intelligence, 46**:217-258.
- TOWELL, G. and Shavlik, J. W. (1993). Extracting Refined Rules from Knowledge-Based Neural Networks. **Machine Learning, 13**, 71-101.
- WALTZ, D. L. and Pollack, J. B. (1985). Massively Parallel Parsing: A Strongly Interactive Model of Natural Language Interpretations. **Cognitive Science 9**, 51-74.