

ANALISADOR GRAMATICAL POR DESLOCAMENTO E REDUÇÃO COMO MODELO PSICOLINGÜÍSTICO¹

Luiz Arthur PAGANI

*Departamento de Lingüística, Letras Vernáculas e Clássicas — UFPR
Rua Gal. Carneiro, 460, 11º andar — Curitiba, Paraná, Brasil — CEP 80.060-150
Mél : arthur@ufpr.br — <http://www.cce.ufpr.br/~pagani>*

Resumo

Neste artigo, apresentaremos o analisador gramatical por deslocamento e redução como modelo das preferências de análises gramaticais evidenciadas pelos seres humanos, de acordo com os princípios de Anexação Mínima e de Encerramento Tardio. O último decorre da solução dos conflitos entre redução e deslocamento sempre em favor do deslocamento, enquanto o primeiro decorre da solução dos conflitos entre reduções sempre em favor das regras que consumirem a maior quantidade de símbolos da pilha.

Palavras-chave: analisador gramatical; deslocamento e redução; anexação mínima; encerramento tardio; psicolingüística computacional.

Abstract

SHIFT-REDUCE PARSER AS A PSYCHOLINGUISTIC MODEL

In this paper the shift-reduce parser will be presented as a model for the human parsing preferences, as predicted by the principles of Minimal Attachment and Late Closure. The latter follows from solving shift-reduce conflicts in favor of shifting, and the former from solving the reduce-reduce conflicts in favor of the rules that consume the most quantity of symbols on the stack.

Key-words: parser; shift-reduce; minimal attachment; late closure; computational psycholinguistics.

Resumen

ANALIZADOR GRAMATICAL POR DESPLAZAMIENTO Y REDUCCIÓN (SHIFT-REDUCE PARSER) COMO MODELO PSICOLINGÜÍSTICO

En este artículo, presentamos el analizador gramatical por desplazamiento y reducción como modelo de las preferencias de análisis gramaticales evidenciadas por los seres humanos, de acuerdo con los principios de Anexión Mínima y de Clausura Tardia. El último resulta de la solución de los conflictos entre reducción y desplazamiento siempre a favor del

¹ Agradeço aos dois pareceristas anônimos da revista (um português e outro brasileiro) pelos comentários que me permitiram corrigir alguns erros; mas também devo pedir-lhes desculpas por persistir em outros.

desplazamiento, cuando el primero resulta de la solución de los conflictos entre reducciones siempre a favor de las reglas que consumen la mayor cantidad de símbolos de la pila.

Palabras-clave: analizador gramatical; desplazamiento y reducción; anexión mínima; clausura tardía; psicolingüística computacional.

Résumé

ANALYSEUR GRAMMATICAL PAR DÉPLACEMENT ET RÉDUCTION (SHIFT-REDUCE PARSER) COMME MODÈLE PSYCHOLINGUISTIQUE

Dans cet article, nous présentons l'analyseur grammatical par déplacement et réduction comme modèle des préférences d'analyses grammaticales montrées par les êtres humains, d'après les principes d'Annexion minimum et de Fermeture tardive. Le dernier advient de la solution des conflits entre réduction et déplacement, toujours en faveur du déplacement, tandis que le premier advient de la solution des conflits entre réductions, toujours en faveur des règles qui consomment la majorité des symboles de la pile.

Mots-clé : analyseur grammatical.

Riassunto

UN ANALIZZATORE GRAMMATICALE CON DISLOCAZIONE E RIDUZIONE (SHIFT-REDUCE PARSER) COME MODELLO PSICOLINGUISTICO

In questo articolo l'analizzatore grammaticale per il dislocamento e la riduzione sarà presentato come un modello della preferenza di analisi grammaticale effettuata dagli esseri umani, come previsto dai principi di "Attaccamento Minimo e Chiusura Tardiva". Quest'ultimo deriva dal risolvere i conflitti tra le riduzioni e il dislocamento sempre in favore del dislocamento, mentre il primo risolve i conflitti sempre in favore delle regole che consumano la maggior quantità di simboli disponibili.

1. Introdução

Na história recente da Lingüística, principalmente depois da distinção cunhada por Chomsky entre competência e desempenho, fenômenos desse último tipo têm recebido pouca atenção, já que geralmente para um gerativista:

"o papel de nossa teoria, tal qual a concebemos, é descrever e explicar a competência lingüística do falante, explicitando os mecanismos gramaticais que subjazem a ela. Logicamente, a performance tem o seu papel nesse nosso estudo: como o físico deve observar os raios e trovões, o lingüista tem que observar as sentenças produzidas. Mas, sem dúvida, não pode se ater a elas." (Miotto et al., 1999: 23)

Apesar desse tipo de observação servir para alegar que nossas capacidades lingüísticas vão além da simples imitação (ou seja, que somos capazes de processar expressões que nunca tínhamos visto antes), ele pode ter colaborado para coibir a apreciação de uma parte sistematizável do desempenho.

Se fenômenos como a gagueira e a desatenção podem ser facilmente atribuídos a distúrbios psico-físicos sem nenhuma relação direta com os fenômenos lingüísticos, um outro tipo de fenômeno relacionado ao desempenho parece estar fortemente ligado à estrutura lingüística: as preferências de análise.

Ao lidar com sentenças que apresentam algum tipo de ambigüidade estrutural, os falantes escolhem sistematicamente uma das possibilidades de análise. A partir desse tipo de constatação, muitos psicolingüistas têm tentado chegar a um modelo que explique esse tipo de comportamento sistemático, muitas vezes à margem da corrente principal da Gramática Gerativa.

Além disso, depois de algum tempo de interação com a Ciência da Computação e com as Ciências Cognitivas, a Lingüística Computacional ofereceu um modelo dessas preferências de análises através do analisador gramatical por deslocamento e redução (*shift-reduce parser*).

Assim, o objetivo do presente artigo é o de apresentar didaticamente esse tipo de abordagem (que envolve a Psicolingüística Experimental, por um lado, e a Lingüística Computacional, por outro), já que o tipo de conhecimento necessário para a sua compreensão nem sempre está no domínio comum dos lingüistas. Nesse sentido, a apresentação está propositalmente simplificada, de forma a permitir que os interessados nesse tipo de discussão tenham um primeiro contato com ela, ainda que não dispusessem de todos os pressupostos para acompanhá-la.² A idéia aqui é a de justamente começar a instrumentar esses interessados não iniciados, para incentivar essas pessoas a acompanhar discussões mais específicas.

2. Psicolingüística computacional

O trabalho apresentado aqui pode ser classificado no que se tem chamado de Psicolingüística Computacional. Apesar de ter recebido esse nome há pouco tempo (Crocker, 1996), a área não é nova: descontada a antiga comparação do funcionamento do ser humano com o das máquinas (que na biologia levou a se cunhar termos como "sistema nervoso" e "sistema circulatório"), desde os primórdios das Ciências Cognitivas se explora a controversa metáfora da mente como computador. No entanto, para a Psicolingüística Computacional, o termo "computador" deve ser entendido num sentido mais "etimológico" (ou seja, o de algo que coloca coisas juntas, como no termo "máquina de Turing"), e não apenas como aqueles equipamentos diante dos quais nós redigimos os nossos textos ou navegamos pela Internet.

Nesse sentido, a Psicolingüística Computacional se deve a uma antiga idéia de Bresnan (Bresnan e Kaplan, 1982): a da Hipótese Forte da Competência. Segundo essa hipótese, os seres humanos não apresentam apenas o mesmo comportamento previsto pela teoria, mas empregam de alguma maneira a própria teoria para chegar àquele comportamento; em outras palavras, essa hipótese é apenas uma encarnação mais epistemologicamente isenta (já que não pressupõe uma teoria em particular) da realidade psicológica pretendida pela Gramática Gerativa. Ou, invertendo a ordem, uma teoria gramatical que se pretenda psicologicamente real precisa não apenas prever os dados lingüísticos e suas estruturas, mas o deve fazer

² Com isso espero ter me justificado perante um dos pareceristas anônimos desta revista que recomendou "um confronto mais desenvolvido com abordagens diferentes" e "um alargamento a estruturas com ambigüidades induzidas por outro tipo de fenômenos". Continuo preferindo não fazer comparações entre abordagens diferentes nem alargar o escopo empírico, porque nesse momento uma apresentação didática me parece mais proveitosa do que uma discussão epistemológica.

refletindo a maneira como isso acontece na mente dos falantes. Em termos computacionais, isso significa que o modelo precisa ser adequado não apenas declarativamente, mas também procedimentalmente.

Devido ao interesse pelo comportamento lingüístico humano, a Psicolingüística Computacional está invariavelmente associada à Psicolingüística Experimental, já que aquela depende dos resultados experimentais desta para poder propor e avaliar seus modelos; ou seja, a Psicolingüística Experimental funciona como fonte primária para a Psicolingüística Computacional. No entanto, elas diferem basicamente pela forma como tratam a Hipótese Forte da Competência: para a Psicolingüística Experimental, a hipótese é um princípio metodológico; para a Psicolingüística Computacional, a Hipótese Forte da Competência é um princípio ontológico. Em outras palavras, enquanto a Psicolingüística Experimental emprega a Hipótese Forte da Competência para elaborar a metodologia dos experimentos, a Psicolingüística Computacional tenta implementar computacionalmente essa mesma hipótese. Essa característica da Psicolingüística Experimental fica clara na seguinte explicação de (Frazier, 1978: 114) (*apud* (Gorrell, 1995: 51)): "o Encerramento Tardio é apenas parte da caracterização da primeira etapa do analisador gramatical; ele não precisa ser definido como uma estratégia específica".

Assim, a Psicolingüística Computacional tem tentado apresentar soluções computacionais para modelar o comportamento lingüístico humano, o que acaba funcionando como uma espécie de contrapartida para a Psicolingüística Experimental, à medida que os modelos computacionais podem ajudar a fazer previsões que auxiliem na elaboração de experimentos.

Enquanto tributário da Psicolingüística Experimental, o principal domínio empírico da Psicolingüística Computacional tem sido as chamadas sentenças-labirinto (*garden-path sentences*), cujo processamento apresenta ambigüidades locais para as quais a resolução preferida impede uma análise gramatical coerente. Em português, um dos melhores exemplos de sentença-labirinto talvez seja a sentença "O navio angolano entrava no porto o navio brasileiro";³ quando o processamento atinge a palavra "entrava", quase que invariavelmente ela é analisada como a terceira pessoa do singular do pretérito imperfeito do indicativo do verbo "entrar"; como, em sua forma mais freqüente, esse verbo é intransitivo (aceitando, no máximo, um complemento preposicionado locativo), quando o processamento atinge o sintagma nominal "o navio brasileiro", a análise gramatical encontra uma incoerência: um verbo intransitivo seguido de um complemento direto. Dificilmente os falantes do português conseguem ver, sem alguma reflexão consciente, que "entrava" também pode ser a terceira pessoa do singular do presente do indicativo do verbo "entravar"; esse sim um verbo transitivo direto. (Durante algum tempo, achei que esse não era um exemplo assim tão bom de sentença-labirinto, porque ele parece estar ligado a fenômenos de freqüência de uso, o que não parecia ser o caso de exemplos em inglês, como "*the horse raced past the barn fell*" (Bever, 1970); no entanto, não me recordo de nenhuma demonstração de que o passado simples do verbo "*to race*" não seja mais freqüente do que seu particípio passado; assim, mesmo no exemplo em inglês podemos estar diante de um efeito de freqüência de uso.)

³ Essa sentença parece ter sido usada como manchete na Folha de São Paulo, segundo o relato de João Luís Garcia Rosa (professor da Engenharia da Computação na PUC de Campinas), em comunicação pessoal quando ainda fazíamos as disciplinas de doutoramento.

Dessa forma, antes de passarmos ao analisador gramatical por deslocamento e redução, vamos rever dois princípios que foram postulados para a explicação das sentenças-labirinto.

3. Encerramento Tardio e Anexação Mínima

Os trabalhos de Frazier (1978) e Frazier & Fodor (1978) resumem as várias estratégias de análise gramatical propostas por Bever (1970) e por Kimball (1973) em apenas dois princípios gerais: o Encerramento Tardio (*Late Closure*) e a Anexação Mínima (*Minimal Attachment*). Naqueles dois textos, se apresenta um modelo de análise gramatical serial, sarcasticamente chamado pelas próprias autoras de "máquina de fazer lingüiça" (*sausage machine*). Nesse modelo, o processamento sentencial humano é simulado por um processador de duas etapas: inicialmente os itens lexicais são estruturados em sintagmas pelo empacotador sintagmático preliminar (*preliminar phrase packager – PPP*), e depois esses sintagmas são reunidos num único marcador sintagmático pelo supervisor da estrutura da sentença (*sentence structure supervisor – SSS*).

Na formulação de (Gorrell, 1995: 47), esses dois princípios são definidos da seguinte maneira:

1. Encerramento Tardio: *Quando possível, anexe o material de entrada na sentença ou no sintagma que estiver sendo analisado.*
2. Anexação Mínima: *Anexe o material de entrada no marcador sintagmático que estiver sendo construído empregando a menor quantidade de nós consistente com as regras de boa formação da gramática.*

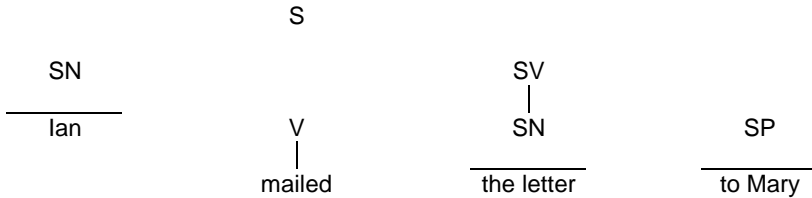
A motivação empírica para se postular esses dois princípios é a explicação de determinados efeitos na complexidade do processamento sintático causado pelas sentenças-labirinto. A mais famosa dessas sentenças-labirinto talvez seja a já mencionada "*the horse raced past the barn fell*", na qual a palavra "*raced*" é analisada como um verbo no passado simples até que "*fell*" (também um verbo no passado simples) é encontrado; nesse ponto, percebe-se que a escolha feita para "*raced*" não é adequada, mas como esta palavra pode ser reanalisada como um particípio passado, o processamento sintático poderia ter seguido esse outro caminho. No entanto, essa reanálise causa uma sobrecarga no processamento, que já foi exaustivamente medida por técnicas desde a simples decisão lexical (Gorrell, 1989) até a fixação ocular (Frazier e Rayner, 1982). A explicação para a escolha do passado simples ao invés do particípio passado como categoria de "*raced*" se deve ao princípio de Anexação Mínima: a opção pelo passado simples (3) exige uma estrutura menos complexa do que a do particípio passado (4). Como a máquina de fazer lingüiça é serial, uma vez escolhida uma estrutura, as outras possibilidades são descartadas; assim, quando a análise sintática de 3 é escolhida para "*the horse raced*", a opção de 4 é imediatamente descartada.

3.

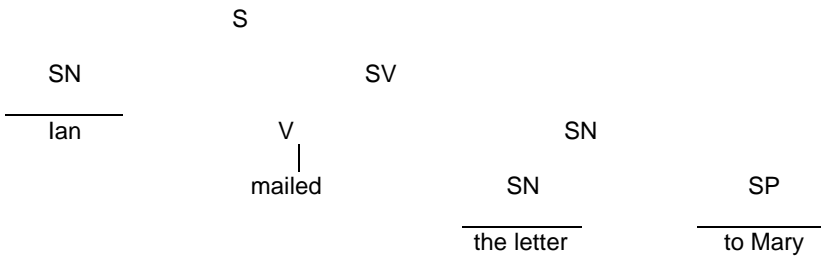
S

SN	SV
the horse	raced past the barn

6.



7.



No entanto, não é isso o que acontece efetivamente: a estrutura de 6 é mais fácil de ser processada pelos falantes do inglês do que a de 7.

Mas o problema é ainda pior porque a preferência dos falantes por estruturas como em 6 só acontece com um SN simples; numa sentença como "*Ian mailed the postcard, the note, the memo, and the letter to Mary*", a preferência é pela anexação do SP não no domínio do SV, mas sim no do SN, como em 7 (de onde essa discussão foi tirada (Gorrell, 1995: 49), não fica claro se apenas no SN mais encaixado "*the letter*" ou em todo o objeto direto "*the postcard, the note, the memo, and the letter*", nem mesmo se essa diferença é relevante ou não). Para resolver esse problema, Frazier precisa de uma nova estipulação (ainda segundo (Gorrell, 1995: 49)): "o PPP (devido a sua limitada janela de observação) não tem mais acesso ao verbo '*mail*'; o único local de anexação acessível é o SN". Dessa maneira, a explicação para a mudança de preferência é atribuída a uma janela de observação limitada (*limited viewing window*).

Só que mesmo com a estipulação de que "o PPP tem uma janela de observação limitada de aproximadamente 7 ± 2 palavras" (Gorrell, 1995: 47) (nessa mesma página, há uma nota em que se observa que a unidade pode ser definida mais adequadamente através de morfemas e não de palavras, mas aqui vamos continuar considerando a palavra como unidade), a dificuldade não é superada. (Ainda parece estranho que a janela de observação conte palavras ou morfemas, e não considere os sintagmas que já foram integrados; contudo, não nos aprofundaremos nesta discussão aqui.) Caso consideremos o limite como sendo de cinco palavras ($7 - 2$), a estrutura esperada seria a de "[_{SN} *the postcard*] [_{SN} *the note*] [_{SN} [_{SN} *the memo*] *and* [_{SN} *the letter*]]", com os dois primeiros SNs fora do domínio da conjunção porque não caberiam na janela de observação. Ainda com o limite de sete palavras, teríamos um SN fora do escopo da conjunção: "[_{SN} *the postcard*] [_{SN} [_{SN} *the note*] [_{SN} *the memo*] *and* [_{SN} *the letter*]]". No entanto, já com o limite de nove palavras, o objeto direto poderia ser integralmente processado: "[_{SN} [_{SN} *the postcard*] [_{SN} *the note*] [_{SN} *the memo*] *and* [_{SN} *the letter*]]"; nesse caso, o PPP já deveria poder passar para o SSS o objeto direto esperado depois que o verbo transitivo foi processado. Assim, nesse

ponto, ainda continuaríamos encontrando o mesmo conflito entre os princípios de Anexação Mínima e de Encerramento Tardio descritos logo acima.

No entanto, mais importante até do que essa discussão interna, é preciso lembrar que o exemplo invocado para justificar a estipulação do tamanho da janela de observação está relacionado a um fenômeno que ainda não foi bem resolvido nem na Gramática Gerativa: a questão do deslocamento para a direita dos SNs mais extensos. Já desde os primeiros anos, os gerativistas observaram que a maneira mais natural para se produzir uma sentença na qual o SP "*to Mary*" estivesse fora do domínio do objeto direto seria "*Ian mailed to Mary the postcard, the note, the memo, and the letter*". É curioso, mas bastante elucidativo, o fato de que esse tipo de dado tenha desaparecido das discussões mais modernas, já que ele parece resistir às explicações encontradas pelos gerativistas, que normalmente tenderiam a classificar esse fenômeno como da ordem do desempenho.

Antes de encerrarmos essa seção, ainda que especulativamente (pois não conheço dados experimentais desse tipo), vejamos como esses princípios poderiam ser aplicados ao português.

Para começar, é preciso observar que o exemplo mais clássico não tem como ser adaptado para o português, já que ele é baseado numa ambigüidade entre o particípio passado e o passado simples dos verbos em inglês, que não existe na nossa língua. Assim, não parece ser possível reproduzir em português a sentença-labirinto "*the horse raced past the barn fell*", que ilustrou o princípio de anexação mínima.

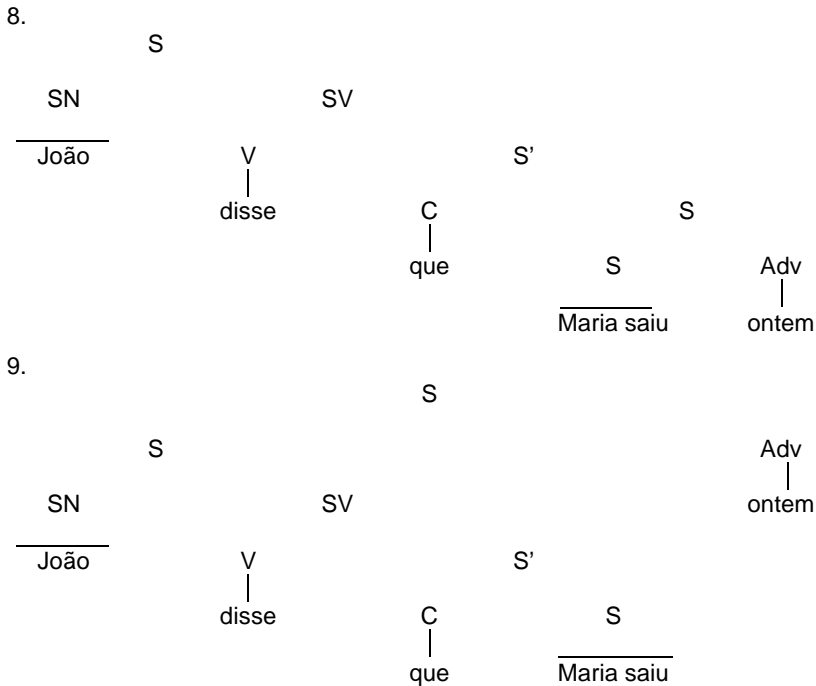
No entanto, a sentença "*while Mary was mending the sock fell*", usada para exemplificar o princípio de Encerramento Tardio, é ainda mais ambígua em português; contudo, ao contrário do que seria de se supor, essa ambigüidade ainda maior não aumenta os efeitos de labirinto. Como o português é uma língua de sujeito nulo, a sentença "enquanto a Maria costurava a meia caiu" pode ser facilmente analisada como "[_s [_s enquanto [_s a Maria costurava a meia]] [_s *pro* caiu]", de forma que o SN "a meia" pode ser inicialmente anexado como objeto de "costurava" sem precisar depois ser reanalisado como sujeito de "caiu". O problema aqui seria o de explicar a indexação da categoria vazia (o que também não poderá ser feito aqui), cuja preferência parece ser por "[_s [_s enquanto [_s a Maria_i costurava a meia]] [_s *pro*_i caiu]", e não "[_s [_s enquanto [_s a Maria_i costurava a meia]] [_s *pro*_j caiu]" ou "[_s [_s enquanto [_s a Maria_i costurava a meia]] [_s *pro*_k caiu]".⁴

O exemplo de "*Ian mailed the letter to Mary*" seria facilmente traduzido para o português como "João enviou a carta para Maria", de forma que a versão com o objeto mais extenso, "João enviou o cartão-postal, as anotações, o memorando e a carta para Maria", continuaria com o mesmo tipo de problema apontado para o inglês.

Outro exemplo clássico de sentença-labirinto, ainda não comentado, é o de sentenças com adjuntos temporais como "*Ian said Thomas left yesterday*", que poderia ser facilmente reproduzida em português como "João disse que Maria saiu ontem". Em ambos os casos, o princípio de Encerramento Tardio faz prever que os adjuntos temporais sejam anexados à sentença subordinada porque, quando o

⁴ Nesse ponto, torno a agradecer a um dos pareceristas anônimos da revista por me apontar um equívoco na identificação da categoria vazia.

processamento atinge o adjunto, a unidade que está sendo processada é a subordinada, ainda que a principal também continue aberta. Aqui, o princípio de anexação mínima não é relevante porque as duas estruturas apresentariam a mesma complexidade: as árvores de cada uma delas envolveria a duplicação de um nó S, a diferença é que numa o S dobrado seria o da subordinada (8), enquanto que na outra o S dobrado seria o da principal (9).



Passemos agora ao algoritmo de análise gramatical por deslocamento e redução.

4. Analisador gramatical por deslocamento e redução

Um analisador gramatical (*parser*) por deslocamento e redução (*shift-reduce*) é constituído por dois dispositivos de armazenamento e dispõe apenas de dois tipos de operação (na proposta original (Pereira, 1985), esse tipo de analisador gramatical ainda apresenta um componente, chamado oráculo, para resolver conflitos entre as operações; como a versão empregada aqui é baseada numa implementação em Prolog (Covington, 1994: 155-159) na qual o próprio mecanismo inferencial do Prolog funciona como oráculo, esse componente não será considerado). Para o armazenamento, é preciso uma fila (*queue*), em que a expressão a ser analisada é armazenada, de forma que a informação acessível para o processamento seja sempre a mais antiga (ou seja, a palavra mais à esquerda, pensando na ordem ortográfica); além dessa fila, um segundo armazenador, agora de tipo pilha (*stack*) – para o qual a informação mais acessível é a mais recente – recebe os resultados das operações de deslocamento e ainda funciona como entrada e saída para as operações de redução, como uma espécie de memória de trabalho.

A operação de deslocamento consiste apenas em retirar a palavra acessível da fila da expressão a ser processada e colocá-la na pilha que serve de memória de trabalho. A operação de redução, por sua vez, incidirá apenas na pilha, simplificando-a de acordo com as regras sintagmáticas definidas pela gramática; o resultado dessa operação é que as categorias e os itens lexicais que casarem com o lado direito de alguma regra sintagmática, segundo sua ordem de acessibilidade na pilha, serão substituídos na mesma pilha pela categoria correspondente ao lado esquerdo da mesma regra sintagmática.

Para analisar uma sentença como "o menino comeu o bolo", por exemplo, precisaríamos de uma gramática como:

- $S \rightarrow SN SV$
- $SN \rightarrow Det N$
- $SV \rightarrow V_{intr}$
- $SV \rightarrow V_{trans} SN$
- $Det \rightarrow \{\dots, o, \dots\}$
- $N \rightarrow \{\dots, bolo, \dots, menino, \dots\}$
- $V_{intr} \rightarrow \{\dots, correu, \dots\}$
- $V_{trans} \rightarrow \{\dots, comeu, \dots\}$

Já as operações do analisador gramatical por deslocamento e redução poderiam ser representadas pela (tabela 1).

Na linha 1, o analisador começa com a pilha vazia e com toda a expressão a ser analisada; com a pilha vazia, a redução não se aplica e, por isso, a operação empregada é o deslocamento de "o" para a pilha. O resultado dessa operação é visto na linha 2, onde "o" já não está mais na fila da expressão a ser analisada e já aparece na pilha da memória de trabalho; nesse estado, a redução (devido à regra " $Det \rightarrow o$ ") pode ser aplicada, resultando na pilha da linha 3. Agora nenhuma outra redução pode ocorrer, então mais um deslocamento é feito, cujo resultado pode ser visto na linha 4; nesse ponto, uma outra redução (devido à regra " $N \rightarrow menino$ ") pode ocorrer (linha 5). Nesse ponto, a pilha oferece condições de sofrer uma segunda redução, pois ela contém "Det" e "N", que são exatamente as categorias do lado direito da regra " $SN \rightarrow Det N$ "; assim, a fila não é afetada e a pilha passa a conter apenas "SN", que é a categoria do lado esquerdo da regra empregada, como se pode ver na linha 6. A partir daí, até a linha 11, ocorre uma série de três deslocamentos e reduções lexicais. Apenas na linha 12, com a fila já vazia, começamos a encontrar as condições que permitirão as três reduções que resultarão na análise da expressão como uma sentença, como se vê na linha 15. A condição de término do analisador gramatical por deslocamento e redução é atingida quando a fila da expressão está completamente vazia e a pilha da memória de trabalho contém uma única categoria, o que equivale a dizer que a expressão é completamente conexa, exatamente como ocorre nessa linha 15 (esta característica acaba sendo uma vantagem desse tipo de analisador que, ao contrário dos analisadores descendentes, não precisa saber de antemão qual a categoria da expressão a ser analisada: ela é descoberta ao final da análise, caso a expressão seja conexa; caso a expressão não seja conexa, a análise simplesmente falha).

Tabela 1 – Derivação de "o menino comeu o bolo" por deslocamento e redução

FILA	PILHA	OPERAÇÃO
1.	o menino comeu o bolo	Deslocamento
2.	menino comeu o bolo o	Redução (Det → o)
3.	menino comeu o bolo Det	Deslocamento
4.	comeu o bolo Det menino	Redução (N → menino)
5.	comeu o bolo Det N	Redução (SN → Det N)
6.	comeu o bolo SN	Deslocamento
7.	o bolo SN comeu	Redução (Vtrans → comeu)
8.	o bolo SN V _{trans}	Deslocamento
9.	bolo SN V _{trans} o	Redução (Det → o)
10.	bolo SN V _{trans} Det	Deslocamento
11.	SN V _{trans} Det bolo	Redução (N → bolo)
12.	SN V _{trans} Det N	Redução (SN → Det N)
13.	SN V _{trans} SN	Redução (SV → V _{trans} SN)
14.	SN SV	Redução (S → SN SV)
15.	S	Fim

Contudo, as línguas naturais não são assim tão bem comportadas como o nosso exemplo. Devido a sua complexidade gramatical, muitas vezes existe mais de uma possibilidade de redução, ou então tanto uma redução quanto um deslocamento num determinado ponto levam a análises gramaticais consistentes. Vejamos como isso acontece.

5. Conflitos entre reduções ou entre deslocamento e redução

Considere uma gramática mais robusta para analisar a sentença "João enviou a carta para Maria", que represente mais adequadamente a distinção de transitividade nos dois usos do verbo "enviar" e que ainda inclua a possibilidade de adjuntos de SV, como abaixo:

- S → SN SV
- SN → Det NC
- SN → NP
- SN → SN SP
- SV → V_i
- SV → V_{td} SN

- SV → V' SP
- SV → SV SP
- V' → V_b SN
- SP → P SN
- Det → {..., a, ...}
- NC → {..., carta, ...}
- NP → {..., João, ..., Maria, ...}
- V_{td} → {..., enviou, ...}
- V_b → {..., enviou, ...}
- P → {..., para, ...}

Uma análise gramatical por deslocamento e redução através desta gramática para a sentença "João enviou a carta para Maria" encontra três resultados: um, quando se considera o verbo "enviou" como bitransitivo ("[_S [_{SN} João] [_{SV} [_{V'} enviou [_{SN} a carta]] [_{SP} para Maria]]])", e outros dois, quando se considera o mesmo verbo como transitivo direto ("[_S [_{SN} João] [_{SV} [_{SV} enviou [_{SN} a carta]] [_{SP} para Maria]]])", com o SP funcionando como adjunto do SV, e "[_S [_{SN} João] [_{SV} enviou [_{SN} [_{SN} a carta]] [_{SP} para Maria]]])", com o SP funcionando como adjunto do SN).

Na representação em tabela da análise gramatical por deslocamento e redução, o primeiro resultado se configura quando, na linha 5 da (tabela 2), abaixo, se opta por reduzir "enviou", no topo da pilha, através da regra "V_b → enviou".

A primeira alternativa para a análise anterior aparece ao se optar pela redução de "enviou", no topo da pilha, através da regra "V_{td} → enviou" (na mesma linha 5, agora da (tabela 3) e da (tabela 4), a seguir). E as duas análises para o verbo transitivo direto se devem a uma opção entre um deslocamento ou uma redução na linha 11 destas mesmas tabelas.

Tabela 2 – Análise de "João enviou a carta para Maria"

FILA	PILHA	OPERAÇÃO
1. João enviou a carta para Maria		Deslocamento
2. enviou a carta para Maria	João	Redução (N _P → João)
3. enviou a carta para Maria	N _P	Redução (SN → N _P)
4. enviou a carta para Maria	SN	Deslocamento
5. a carta para Maria	SN enviou	Redução (V _b → enviou)
6. a carta para Maria	SN V _b	Deslocamento
7. carta para Maria	SN V _b a	Redução (Det → a)
8. carta para Maria	SN V _b Det	Deslocamento
9. para Maria	SN V _b Det carta	Redução (N _C → carta)

10.	para Maria	SN V _b Det N _C	Redução (SN → Det N _C)
11.	para Maria	SN V _b SN	Redução (V' → V _b SN)
12.	para Maria	SN V'	Deslocamento
13.	Maria	SN V' para	Redução (P → para)
14.	Maria	SN V' P	Deslocamento
15.		SN V' P Maria	Redução (N _P → Maria)
16.		SN V' P N _P	Redução (SN → N _P)
17.		SN V' P SN	Redução (SP → P SN)
18.		SN V' SP	Redução (SV → V' SP)
19.		SN SV	Redução (S → SN SV)
20.		S	Fim

Na (tabela 3), imediatamente abaixo (abreviada para não repetir a análise já feita na tabela anterior, começando portanto a partir da mesma linha 5), a opção na linha 11 é pela redução da pilha através da regra "SV → V_{td} SN", eliminando a possibilidade de se analisar o SP como adjunto do SN. A análise do SP como adjunto do SV aparece explicitamente na passagem da linha 18 para a linha 19. (No nosso exemplo, essa análise parece pouco plausível; mas ela não seria estranha no caso da sentença "João enviou a carta de Campinas". Parece razoável supor que esta outra sentença seria preferencialmente analisada com esta segunda estrutura (o que já nos permite antever a questão da plausibilidade a ser comentada na Conclusão), mas ambas apresentam a mesma disposição superficial: um SN, o verbo "enviou", outro SN e um SP. Assim, fica justificada esta segunda análise, apesar de sua implausibilidade.)

Tabela 3 – Segunda análise (parcial) de "João enviou a carta para Maria"

	FILA	PILHA	OPERAÇÃO
5.	a carta para Maria	SN enviado	Redução (V _{td} → enviado)
6.	a carta para Maria	SN V _{td}	Deslocamento
7.	carta para Maria	SN V _{td} a	Redução (Det → a)
8.	carta para Maria	SN V _{td} Det	Deslocamento
9.	para Maria	SN V _{td} Det carta	Redução (N _C → carta)
10.	para Maria	SN V _{td} Det N _C	Redução (SN → Det N _C)
11.	para Maria	SN V _{td} SN	Redução (SV → V _{td} SN)
12.	para Maria	SN SV	Deslocamento
13.	Maria	SN SV para	Redução (P → para)
14.	Maria	SN SV P	Deslocamento

15.	SN SV P Maria	Redução (N _P → Maria)
16.	SN SV P N _P	Redução (SN → N _P)
17.	SN SV P SN	Redução (SP → P SN)
18.	SN SV SP	Redução (SV → SV SP)
19.	SN SV	Redução (S → SN SV)
20.	S	Fim

No terceiro resultado, apresentado na (tabela 4), a seguir (também abreviada para não apresentar algumas derivações já feitas), a opção pelo deslocamento na linha 11, antes de fechar o SV, resulta na análise do SP como adjunto do SN (que acontece definitivamente na passagem da linha 17 para a linha 18).

Acabamos de ver o que normalmente é chamado de conflito redução-redução (que distinguiu a primeira estrutura das outras duas) e de conflito deslocamento-redução (que determinou a diferença entre as duas últimas estruturas), na área de Teoria de Compiladores ((Aho e Ullman, 1972) ou (Aho *et al.*, 1988)). Vejamos agora como as preferências estabelecidas pelos princípios de Encerramento Tardio e de Anexação Mínima podem ser explicitamente definidas através de um analisador gramatical por deslocamento e redução.

Tabela 4 – Terceira análise (parcial) de "João enviou a carta para Maria"

	FILA	PILHA	OPERAÇÃO
11.	para Maria	SN V _{td} SN	Deslocamento
12.	Maria	SN V _{td} SN para	Redução (P → para)
13.	Maria	SN V _{td} SN P	Deslocamento
14.		SN V _{td} SN P Maria	Redução (N _C → Maria)
15.		SN V _{td} SN P N _C	Redução (SN → N _C)
16.		SN V _{td} SN P SN	Redução (SP → P SN)
17.		SN V _{td} SN SP	Redução (SN → SN SP)
18.		SN V _{td} SN	Redução (SV → V _{td} SN)
19.		SN SV	Redução (S → SN SV)
20.		S	Fim

6. Preferência de análise e resolução de conflitos

Segundo (Pereira, 1985: 313), as duas estratégias de preferência podem ser diretamente associadas à maneira de resolver os dois tipos de conflitos que acabamos de ver, da seguinte maneira:

- O princípio de Encerramento Tardio corresponde à resolução do conflito deslocamento-redução em favor do deslocamento.
- O princípio da Anexação Mínima corresponde à resolução de todos os conflitos redução-redução em favor da operação de redução que consumir a maior quantidade de símbolos da pilha.

(Na verdade, ao invés de mencionar o princípio de Encerramento Tardio, Pereira se refere à Associação à Direita (*Right Association*); esta distinção é irrelevante para a presente discussão. Sobre ela, ver (Fodor e Frazier, 1980) e (Wanner, 1980).)

Segundo esses critérios a análise de uma sentença como « João disse que Maria saiu ontem » apresentaria a preferência do princípio de Encerramento Tardio da seguinte maneira. Na (tabela 5), abaixo, com uma análise parcial da sentença, podemos observar que, na última linha, a fila contém apenas « ontem » e a pilha está com « SN V_C C S »; nesse ponto, teríamos duas opções: deslocar "ontem" da fila para a pilha, ou reduzir a pilha através da regra "S' → C S". No entanto, segundo o que foi estabelecido acima, os conflitos deslocamento-redução devem ser resolvidos em favor do deslocamento; assim, a continuação para a análise seria a do deslocamento de "ontem", de forma que a pilha ficaria com "SN V_C C S ontem", o que permitiria a seguinte sucessão de reduções: 1) "SN V_C C S Adv" (pela regra "Adv → ontem"), 2) "SN V_C C S" (pela regra "S → S Adv"), 3) "SN V_C S'" (pela regra "S' → C S"), 4) "SN SV" (pela regra "SV → V_C S'"), e finalmente 5) "S" (pela regra "S → SN SV"). Na primeira dessas reduções, o advérbio é analisado como adjunto da sentença subordinada "Maria saiu".

Tabela 5 – Análise parcial de "João disse que Maria saiu ontem"

	FILA	PILHA	OPERAÇÃO
1.	João disse que Maria saiu ontem		Deslocamento
2.	disse que Maria saiu ontem	João	Redução (N _P → João)
3.	disse que Maria saiu ontem	N _P	Redução (SN → N _P)
4.	disse que Maria saiu ontem	SN	Deslocamento
5.	que Maria saiu ontem	SN disse	Redução (V _C → disse)
6.	que Maria saiu ontem	SN V _C	Deslocamento
7.	Maria saiu ontem	SN V _C que	Redução (C → que)
8.	Maria saiu ontem	SN V _C C	Deslocamento
9.	saiu ontem	SN V _C C Maria	Redução (N _P → Maria)
10.	saiu ontem	SN V _C C N _P	Redução (SN → N _P)
11.	saiu ontem	SN V _C C SN	Deslocamento
12.	ontem	SN V _C C SN saiu	Redução (V _i → saiu)
13.	ontem	SN V _C C SN V _i	Redução (SV → V _i)
14.	ontem	SN V _C C SN SV	Redução (S → SN SV)

Para a sentença "João enviou a carta para Maria", a preferência definida pela Anexação Mínima apareceria na escolha do verbo bitransitivo em detrimento do transitivo direto. Por causa da escolha da teoria X', a formulação de Pereira ficou um pouco obscurecida, já que ela pressupunha uma regra do tipo "SV → V SN SP" para os verbos bitransitivos. No entanto, o apelo da formulação continua o mesmo: a atribuição como bitransitivo ao verbo permite consumir ainda dentro de um único SV tanto o SN quanto o SP; a atribuição como transitivo direto, exigiria a duplicação do SV para abrigar o SP como seu adjunto. Além disso, essa escolha no nível da transitividade parece refletir melhor a característica lexical bastante sistemática não só entre os verbos bitransitivos e os transitivos diretos, mas também entre estes últimos e os intransitivos (ainda que não seja em todos os casos, muitos verbos bitransitivos podem ser usados como transitivos diretos, e muitos transitivos diretos podem ser usados intransitivamente).

7. Conclusões

É o próprio (Pereira, 1985: 308) quem nos adverte que ele não está "propondo determinados mecanismos como modelo do processamento sentencial humano", mas sim "um ambiente genérico no qual modelos falsificáveis podem ser precisamente formulados". Ou seja, a conclusão deve se restringir exclusivamente à observação de que o analisador gramatical por deslocamento e redução oferece um "campo de provas" no qual os princípios de preferência que fazem com que certas estruturas sejam mais facilmente processadas podem ser explicitamente definidos (ainda que Pereira tenha preferido uma maneira popperiana de dizer isso); com essa restrição, evita-se a controvérsia sobre a realidade psicológica da análise gramatical por deslocamento e redução (se o analisador gramatical faz parte ou não do processamento lingüístico humano), da mesma maneira que não faz o menor sentido discutir, na Física, se os objetos arremessados apenas percorrem uma trajetória parabólica ou se eles efetivamente calculam uma parábola para percorrer o trajeto.

Outra vantagem dessa comparação entre os princípios de preferência e as resoluções dos conflitos, também notada por (Pereira, 1985: 316), é que possíveis contradições entre o Encerramento Tardio e a Anexação Mínima (como a que foi apresentada acima, para a sentença "Ian mailed the letter to Mary") "estão automaticamente eliminadas porque os dois princípios operam necessariamente em diferentes momentos da análise". Como o Encerramento Tardio corresponde à resolução do conflito deslocamento-redução e a Anexação Mínima à resolução do conflito redução-redução, e como esses conflitos não se sobrepõem (ou seja, nunca haverá um conflito deslocamento-redução-redução), devido ao próprio funcionamento do analisador, a possibilidade de conflito entre os princípios de preferência deixa de existir.

No nosso exemplo, a resolução do conflito deslocamento-redução decorre do funcionamento do analisador gramatical (na implementação em Prolog mencionada, isso significa definir o analisador gramatical invocando-se o deslocamento antes de se invocar a redução, num esquema como o de "analisa(...) :- desloca(...),

reduz(...)."). Numa das versões dessa implementação (mais próxima à proposta por (Covington, 1994), e que foi incluída aqui no O autor

Luiz Arthur Pagani foi professor de Lingüística na Universidade Estadual de Londrina de 1992 a 2002. Em dezembro de 2001, se doutorou pelo programa de pós-graduação do Instituto de Estudos da Linguagem, na Universidade Estadual de Campinas, com uma tese na qual implementava em Prolog os analisadores gramaticais do livro *Intrtroduction to Montague Semantics*. A partir de 2002, se transferiu para a Universidade Federal do Paraná, onde ministra aulas de Semântica Formal, Gramática Categorial e Introdução à Lógica para Lingüistas; além disso, coordena o Laboratório de Lingüística, Lógica e Computação (também na Universidade Federal do Paraná), que atualmente está trabalhando na implementação em Prolog de um analisador gramatical para Gramáticas Categoriais, em colaboração com o LAFAPE.

Apêndice), o analisador chega à análise do SP como adjunto adverbial antes da análise como adjunto adnominal; contudo, se as operações fossem definidas em cascata ("analisa(...) :- desloca(...).", "desloca(...) :- reduz(...)." e "reduz(...) :- regra(...), (desloca(...); reduz(...))."), a prioridade entre essas análises como adjunto é invertida (no entanto, ela apresenta uma redundância, chegando uma segunda vez à mesma análise como complemento verbal na última possibilidade de análise).

Já o conflito redução-redução apareceu na ambigüidade argumental de um verbo e foi resolvido basicamente através de uma prioridade lexical dos verbos bitransitivos em relação aos transitivos diretos. Essa pode não ser a solução mais adequada, porque ela deixa em aberto a possibilidade de conflitos redução-redução nas regras sintagmáticas não lexicais. Mas para um conflito redução-redução aparecer entre as regras sintagmáticas, seria preciso que duas regras sintagmáticas compartilhassem uma parte dos seus lados direitos, o que, com a adoção da Teoria X', parece ficar mais difícil. De qualquer maneira, o caráter lexical do fenômeno que apareceu no nosso exemplo fica claro não só na questão da transitividade (da escolha entre o bitransitivo e o transitivo direto), mas também na seleção da preposição. Como foi rapidamente mencionado na discussão da análise da sentença "João enviou a carta para Maria", se a preposição for trocada, como em "João enviou a carta de São Paulo", a estrutura superficial é exatamente a mesma, porém a estrutura subjacente mais fácil de processar é aquela na qual o SP funciona como adjunto do SV.

Esta discussão lexical ainda suscita uma outra questão: a da facilitação (*priming*) semântica e contextual. Essa questão é amplamente apresentada, tanto do ponto de vista experimental quanto computacional, por (Crain e Steedman, 1985). Segundo estes autores, não haveria estruturas mais fáceis de processar por si próprias do que outras; uma mesma estrutura pode ser fácil de processar em determinados ambientes, mas difícil em outros (dependendo da estrutura temática, como foi mencionado, ou de acessibilidade discursiva dos referentes). Devido aos limites desse texto, porém, essa discussão não tem como ser feita aqui.

Finalmente, para fazer jus à minha formação no LAFAPE,⁵ não poderia terminar esse texto sem comentar o que sempre mais me incomodou nessas discussões: a ausência da estrutura prosódica. Todos os exemplos discutidos na literatura

⁵ Laboratório de Fonética Acústica e Psicolingüística Experimental, do Instituto de Estudos da Linguagem, na Universidade Estadual de Campinas.

mencionada parecem pressupor uma espécie de contexto discursivo neutro que não parece ser plausível sequer para a leitura de apresentações ortográficas: ler uma seqüência de palavras na tela de um computador (que é como são realizados quase todos os experimentos mencionados), não é apenas comparar sinais gráficos com padrões mentais para o reconhecimento desses sinais. Ao contrário, ler um texto adequadamente é projetar uma maneira de pronunciar a seqüência de palavras que o constitui. Assim, parecem pouco confiáveis as conclusões obtidas a partir de sentenças como "*while Mary was mending the sock fell*", já que elas só poderiam ser gramaticalmente pronunciadas com uma única estrutura prosódica: "[*while Mary was mending*] [*the sock fell*]"; a outra possibilidade seria simplesmente agramatical: "[*while Mary was mending the sock*] [*fell*]". Em português o problema da desconsideração da estrutura prosódica é ainda mais grave, porque ambas as estruturas são gramaticais: "[enquanto a Maria costurava] [a meia caiu]" e "[enquanto Maria costurava a meia] [caiu]" (que, como foi dito, é entendida como 'Maria caiu enquanto costurava a meia', cuja discussão não pôde avançar exatamente pela falta da estrutura prosódica e de informações de outros módulos além da Teoria X'). Ou seja, não parece fazer sentido pensar que haja uma projeção prosódica neutra que transforme essa sentença num labirinto: ou bem projetamos uma fronteira entoacional quando processamos a palavra "costurava" (mesmo quando estivermos apenas lendo a sentença), e portanto o SN "a meia" só pode ser analisado como sujeito de "caiu"; ou bem projetamos a fronteira entoacional na palavra "meia", de forma que o SN "a meia" agora só poderia ser analisado como objeto de "costurava".

Dessa maneira, os próximos passos a serem naturalmente investigados a partir das questões abordadas aqui parecem exigir dois tipos de tarefas: 1) a inclusão da estrutura prosódica e da representação semântica na análise gramatical, e 2) a consideração dos outros módulos da teoria sintática. Por enquanto, apenas o primeiro deles está sendo tentado por mim neste momento, através da investigação do acréscimo das informações semânticas e prosódicas, como as discutidas por (Kadmon, 2001), e da combinação direta entre as duas estruturas (sem nenhuma mediação sintática) possibilitada pela gramática categorial, como no trabalho de (Steedman, 1999).

Referências bibliográficas

- Aho, A., Sethi R., Ullman J. (1988). *Compilers – Principles, Techniques, and Tools*. Reading: Addison-Wesley.
- Aho A., Ullman J. (1972). *The Theory of Parsing, Translation, and Compiling – Vol. 1: Parsing*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Bever T. (1970). The cognitive basis for linguistic structure. In John R. Hayes (ed.) (1970), *Cognition and the Development of Language*, New York: John Willey & Sons, pp. 279-362.
- Bresnan J., Kaplan R. (1982). Introduction: Grammars as mental representations of language. In Joan Bresnan (ed.) (1982), *The Mental Representation of Grammatical Relations*, Cambridge: The MIT Press, pp. xvii-iii.
- Covington M. (1994). *Natural Language Processing for Prolog Programmers*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Crain S., Steedman M. (1985). On not being led up the garden path: The use of context by the psychological syntax processor. In (Dowty et al., 1985 : 320-358).

- Crocker M. (1996). *Computational Psycholinguistics – An Interdisciplinary Approach to the Study of Language*. Dordrecht: Kluwer.
- Dowty D., Karttunen L., Zwicky A. (eds.) (1985). *Natural Language Parsing – Psychological, Computational, and Theoretical Perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fodor J., Frazier L. (1980). Is the human sentence parsing mechanism an ATN? *Cognition*, 8(4): 417-459.
- Frazier L. (1978). *On Comprehending Sentences: Syntactic Parsing Strategies*. University of Connecticut: unpublished Ph.D. dissertation. Distributed by the Indiana Linguistics Club.
- Frazier L., Fodor J. (1978). The sausage machine: A new two-stage parsing model. *Cognition*, 6(4): 291-325.
- Frazier L., Rayner K. (1982). Making and correcting errors during sentence comprehension: eye movements in the analysis of structurally ambiguous sentences. *Cognitive Psychology*, 14: 178-210.
- Gorrell P. (1989). Establishing the loci of serial and parallel effects in syntactic processing. *Journal of Psycholinguistic Research*, 18(1): 61-74.
- Gorrell P. (1995). *Syntax and Parsing*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kadmon N. (2001). *Formal Pragmatics*. London: Blackwell.
- Kimball J. (1973). Seven principles of surface structure parsing in natural language. *Cognition*, 2(1): 15-47.
- Mioto C., Silva M., Lopes R. (1999). *Manual de Sintaxe*. Florianópolis: Insular.
- Pereira F. (1985). A new characterization of attachment preferences. In (Dowty et al., 1985 : 307-319).
- Steedman M. (1999). *The Syntactic Process*. Cambridge: The MIT Press.
- Wanner E. (1980). The ATN and the sausage machine: Which one is baloney? *Cognition*, 8(2): 209-225.

O autor

Luiz Arthur Pagani foi professor de Lingüística na Universidade Estadual de Londrina de 1992 a 2002. Em dezembro de 2001, se doutorou pelo programa de pós-graduação do Instituto de Estudos da Linguagem, na Universidade Estadual de Campinas, com uma tese na qual implementava em Prolog os analisadores gramaticais do livro *Intrtroduction to Montague Semantics*. A partir de 2002, se transferiu para a Universidade Federal do Paraná, onde ministra aulas de Semântica Formal, Gramática Categorial e Introdução à Lógica para Lingüistas; além disso, coordena o Laboratório de Lingüística, Lógica e Computação (também na Universidade Federal do Paraná), que atualmente está trabalhando na implementação em Prolog de um analisador gramatical para Gramáticas Categoriais, em colaboração com o LAFAPE.

Apêndice

Segue abaixo a listagem do programa em Prolog (testado no SWI-Prolog) que faz a análise gramatical por deslocamento e redução dos exemplos apresentados no texto.

```
% des_red.pl

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Inicializador %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

analisa(Expressão) :-
    tell('resultado.tdr'),
    separador(46),
    nl,
    analisa(Expressão, [], _, [], Tabela),
    tab(4),
    write('FILA'),
    tab(37),
    write('PILHA'),
    tab(20),
    write('OPERAÇÃO'),
    nl,
    nl,
    apresenta(Tabela, _),
    nl,
    separador(46),
    nl,
    nl,
    fail.

analisa(_) :-
    told,
    write('A(s) tabela(s) com a análise gramatical '),
    write('está(ão) gravada(s) no arquivo RESULTADO.TDR').

% Separador das tabelas
separador(0) :-
    write('x').
separador(X) :-
    X > 0,
    write('x-'),
    Y is X - 1,
    separador(Y).

% Apresenta uma tabela linha por linha
apresenta([], 0).
apresenta([Primeiro | Resto], X) :-
    apresenta(Resto, Y),
    X is Y + 1,
    write(X),
    Primeiro.

% Escreve uma linha da tabela
linha(Expressão, Pilha, Operação) :-
    nl,
    tab(4),
```

```
desempilha(Expressão),
nl,
tab(45),
desempilha(Pilha),
nl,
tab(70),
write(Operação),
nl.

desempilha([]).
desempilha([Primeiro | Resto]) :-
    write(Primeiro),
    write(' '),
    desempilha(Resto).

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Analisador gramatical %
% por deslocamento e redução %
% baseado em Covington (1994: 159) %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Analisador gramatical
analisa([], [Resultado], _, Tab, NovaTab) :-
    NovaTab = [linha([], [Res], fim) | Tab].
analisa(Expr, Pilha, Resultado, Tab, NovaTab) :-
    desloca(Expr, NovaExpr, Pil, NovaPil, Tab, MaisLin),
    reduz(NovaExpr, NovaPil, PilhaRed, MaisLin, OutrasLin),
    analisa(NovaExpr, PilhaRed, Res, OutrasLin, NovaTab).

% Deslocamento
desloca(Expr, Rest, Pil, [Pal | Pil], Tab, NovaTab) :-
    Expr = [Pal | Rest],
    inverte(Pil, PilhaInv),
    NovaTab = [linha(Expr, PilhaInv, deslocamento) | Tab].

% Redução
reduz(NovaExpr, Pilha, PilhaRed, Tab, NovaTab) :-
    regra(Regra, Pilha, NovaPilha),
    inverte(Pilha, PilInv),
    Lin = [linha(NovaExpr, PilInv, redução(Regra)) | Tab],
    reduz(NovaExpr, NovaPilha, PilhaRed, Lin, NovaTab).
reduz(_, PilhaReduzida, PilhaReduzida, Tabela, Tabela).

% Inverte pilha
inverte([], []).
inverte([Primeiro | Resto], Resultado) :-
    inverte(Resto, RestoInvertido),
    append(RestoInvertido, [Primeiro], Resultado).

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Gramática de estrutura sintagmática %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% Inserção Lexical
regra(Regra, [Palavra | Resto], [Categoria | Resto]) :-
    palavra(Palavra, Categoria, Regra).
% S --> SN SV
regra('S --> SN SV', ['SV', 'SN' | Rest], ['S' | Rest]).
% S --> S Adv
regra('S --> S Adv', ['Adv', 'S' | Rest], ['S' | Rest]).
% Sbarra --> C S
regra('Sbar --> C S', ['S', 'C' | R], ['Sbar' | R]).
% SN --> Det Nc
regra('SN --> Det Nc', ['Nc', 'Det' | R], ['SN' | R]).
% SN --> Np
regra('SN --> Np', ['Np' | Resto], ['SN' | Resto]).
% SN --> SN SP
regra('SN --> SN SP', ['SP', 'SN' | R], ['SN' | R]).
% SV --> Vi
regra('SV --> Vi', ['Vi' | Resto], ['SV' | Resto]).
% SV --> Vtd SN
regra('SV --> Vtd SN', ['SN', 'Vtd' | R], ['SV' | R]).
% SV --> Vc Sbarra
regra('SV --> Vc Sbar', ['Sbar', 'Vc' | R], ['SV' | R]).
% SV --> Vbarra SP
regra('SV --> Vbar SP', ['SP', 'Vbar' | R], ['SV' | R]).
% SV --> SV SP
regra('SV --> SV SP', ['SP', 'SV' | R], ['SV' | R]).
% Vbarra --> Vb SN
regra('Vbar --> Vb SN', ['SN', 'Vb' | R], ['Vbar' | R]).
% SP --> P SN
regra('SP --> P SN', ['SN', 'P' | Rest], ['SP' | Rest]).

%%%%%%%%%%
% Léxico %
%%%%%%%%%%

% Advérbios
palavra(ontem, 'Adv', 'Adv --> ontem').

% Complementizadores
palavra(que, 'C', 'C --> que').

% Determinantes
palavra(a, 'Det', 'Det --> a').
palavra(o, 'Det', 'Det --> o').

% Nomes comuns
palavra(bola, 'Nc', 'Nc --> bola').
palavra(bolo, 'Nc', 'Nc --> bolo').
palavra(cachorro, 'Nc', 'Nc --> cachorro').
palavra(cartá, 'Nc', 'Nc --> carta').
palavra(menina, 'Nc', 'Nc --> menina').
palavra(menino, 'Nc', 'Nc --> menino').
```

```
% Nomes próprios
palavra(joão, 'Np', 'Np --> João').
palavra(maria, 'Np', 'Np --> Maria').

% Preposições
palavra(para, 'P', 'P --> para').
palavra(com, 'P', 'P --> com').

% Verbos bitransitivos
palavra(enviou, 'Vb', 'Vb --> enviou').

% Verbos intransitivos
palavra(correu, 'Vi', 'Vi --> correu').
palavra(saiu, 'Vi', 'Vi --> saiu').

% Verbos transitivos diretos
palavra(comeu, 'Vtd', 'Vtd --> comeu').
palavra(deu, 'Vtd', 'Vtd --> deu').
palavra(enviou, 'Vtd', 'Vtd --> enviou').

% Verbos com complemento sentencial
palavra(disse, 'Vc', 'Vc --> disse').
```

