



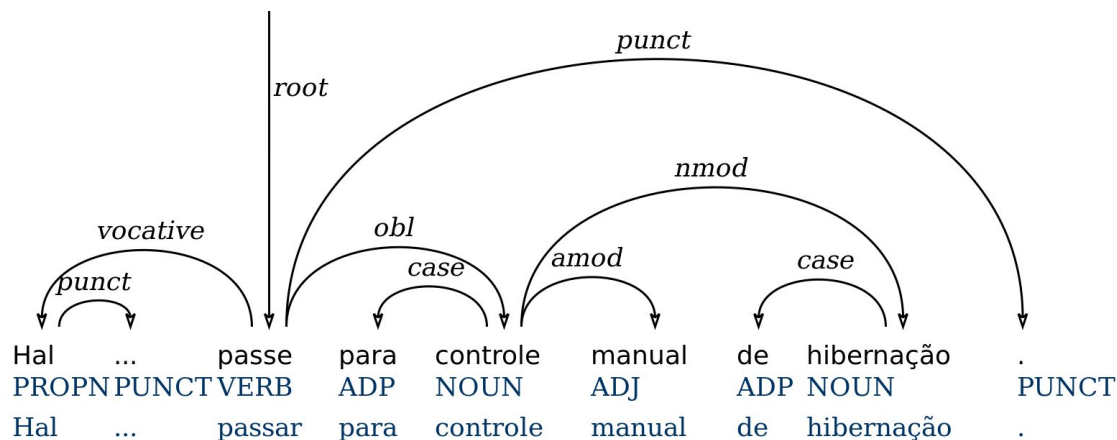
# Sintaxe de Dependência



@*thiagocasfer*

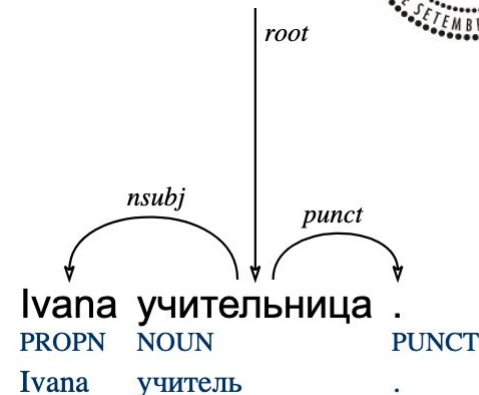
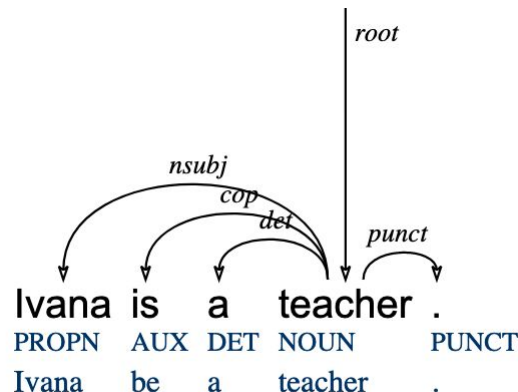
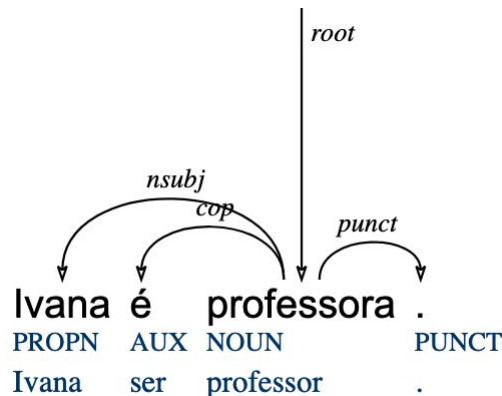
Thiago Castro Ferreira

# Gramática de Dependência



- Importante em sistemas contemporâneos de processamento de texto e voz
- A estrutura sintática de uma sentença é representada somente em termos de suas palavras e relações binárias (e direcionadas) entre elas.
- Sua grande vantagem é a capacidade de representar a estrutura de linguagens ricas morfológica e que possuem uma maior flexibilidade na ordenação das palavras
- Outra grande vantagem é a similaridade com representações semânticas *predicado-argumento*

# Propriedades



1. Toda árvore de dependência possui um nó raiz que não possui um nó de entrada
2. Com exceção do nó raiz, todo nó da árvore possui um nó de entrada
3. Uma árvore sintática de dependência é conectada, i.e. sempre um caminho pode ser derivado entre o nó raiz e qualquer nó da árvore
4. As relações entre dois nós podem ser nomeadas



# Relações Binárias

Relações de Argumento Causal	Descrição	Exemplo
NSUBJ	Sujeito	O <b>rapaz</b> <i>cancelou</i> o voo
OBJ	Objeto direto	O atendente <i>confirmou</i> o <b>voo</b>
IOBJ	Objeto indireto	O atendente <b>me</b> <i>confirmou</i> o voo
OBL	Oblíquo	O atendente <i>confirmou</i> o voo <b>por telefone</b>

Relações comuns da Universal Dependency, um famoso projeto de sintaxe de dependência (governante em *itálico* dependente em **negrito**)



# Relações Binárias

Relações de Modificadores Nominais	Descrição	Exemplo
NMOD	Modificador Nominal	Nós viajamos no voo da <b>tarde</b>
AMOD	Modificador Adjetival	Eu quero o voo mais <b>barato</b>
NUMMOD	Modificador Numeral	O piloto com mais de <b>1000</b> vôos
APPOS	Aposto	<i>GOL</i> , uma <b>companhia</b> aérea Brasileira
DET	Determinante	<b>O</b> <i>piloto</i> com mais de 1000 vôos
CASE	Preposições, pós-posições e outros marcadores de caso	Um piloto <b>de</b> <i>avião</i>

Relações comuns da Universal Dependency, um famoso projeto de sintaxe de dependência (governante em *italico* dependente em **negrito**)

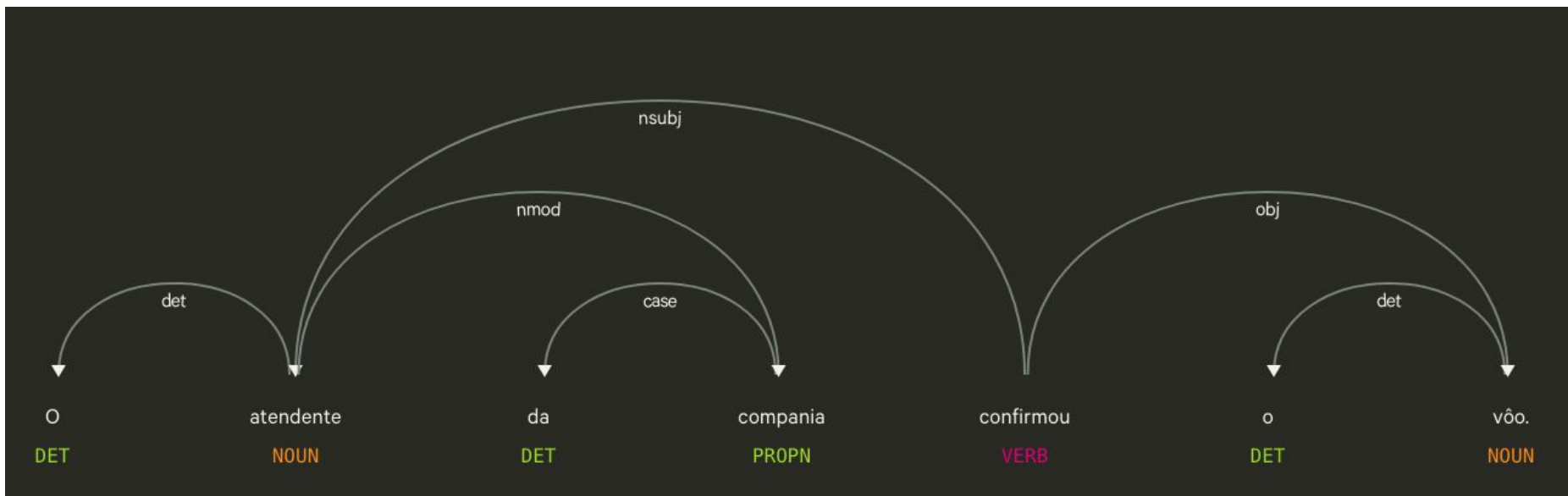
# Relações Binárias



Outras Relações	Descrição	Exemplo
CONJ	Conjunção	Nós <i>voamos</i> para BH e <b>dirigimos</b> até Ipatinga
CC	Conjunção coordenativa	Nós voamos para BH <b>e</b> <i>dirigimos</i> até Ipatinga

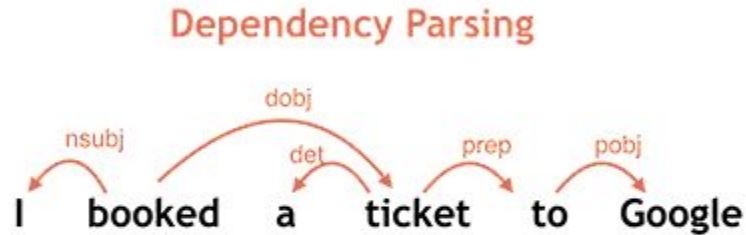
Relações comuns da Universal Dependency, um famoso projeto de sintaxe de dependência (governante em *italico* dependente em **negrito**)

# Visualizador



<https://explosion.ai/demos/displacy>

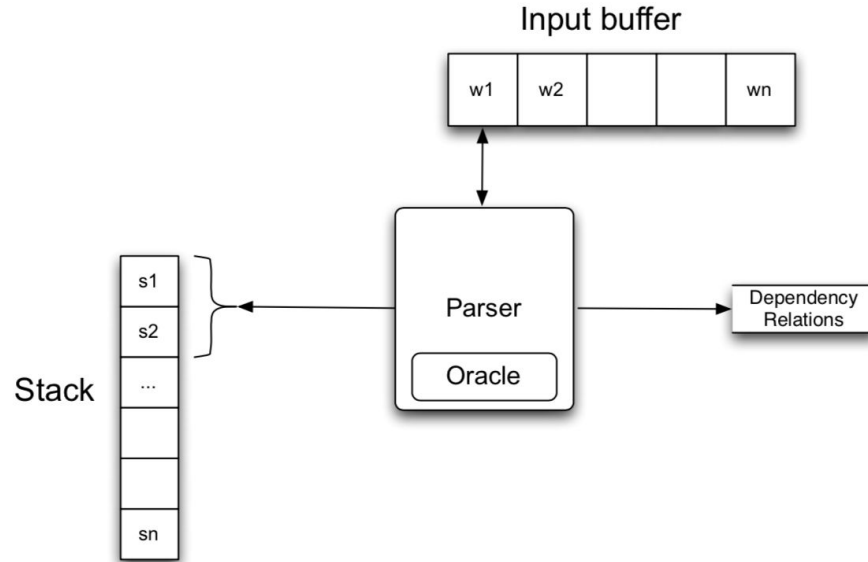
# Parser de Dependência baseados em Transição



Parsers baseados em transição (*transition-based*) são os mais populares



# Parser de Dependência baseados em Transição



Compostos de três componentes:

1. Um buffer de entrada, inicializado com as palavras da sentença
2. Uma pilha, inicializada com o nó raiz
3. Um oráculo, treinado para prever uma operação entre duas palavras

# Parser de Dependência baseados em Transição: Oráculo



Operação	Descrição
LEFTARC	Cria uma relação governante-dependente entre a primeira palavra do buffer de entrada e a palavra no topo da pilha. A palavra no topo da pilha é removida.
RIGHTARC	Cria uma relação governante-dependente entre a palavra no topo da pilha e a primeira palavra do buffer de entrada. Move a primeira palavra do buffer de entrada para a pilha.
SHIFT	Remove a primeira palavra do buffer de entrada para o topo pilha
REDUCE	Remove a palavra no topo da pilha

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	o ← rapaz

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	o ← rapaz
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	o ← rapaz
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	
3	[raíz, rapaz]	[cancelou, o, vôo]	LEFTARC	rapaz ← cancelou

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	o $\leftarrow$ rapaz
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	
3	[raíz, rapaz]	[cancelou, o, vôo]	LEFTARC	rapaz $\leftarrow$ cancelou
4	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	RIGHTARC	raíz $\rightarrow$ cancelou

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	o $\leftarrow$ rapaz
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	
3	[raíz, rapaz]	[cancelou, o, vôo]	LEFTARC	rapaz $\leftarrow$ cancelou
4	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	RIGHTARC	raíz $\rightarrow$ cancelou
5	[raíz, cancelou]	[o, vôo]	SHIFT	



# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	o $\leftarrow$ rapaz
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	
3	[raíz, rapaz]	[cancelou, o, vôo]	LEFTARC	rapaz $\leftarrow$ cancelou
4	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	RIGHTARC	raíz $\rightarrow$ cancelou
5	[raíz, cancelou]	[o, vôo]	SHIFT	
6	[raíz, cancelou, o]	[vôo]	LEFTARC	o $\leftarrow$ vôo

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	$o \leftarrow \text{rapaz}$
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	
3	[raíz, rapaz]	[cancelou, o, vôo]	LEFTARC	$\text{rapaz} \leftarrow \text{cancelou}$
4	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	RIGHTARC	$\text{raíz} \rightarrow \text{cancelou}$
5	[raíz, cancelou]	[o, vôo]	SHIFT	
6	[raíz, cancelou, o]	[vôo]	LEFTARC	$o \leftarrow \text{vôo}$
7	[raíz, cancelou]	[vôo]	RIGHTARC	$\text{cancelou} \rightarrow \text{vôo}$

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	$o \leftarrow \text{rapaz}$
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	
3	[raíz, rapaz]	[cancelou, o, vôo]	LEFTARC	$\text{rapaz} \leftarrow \text{cancelou}$
4	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	RIGHTARC	$\text{raíz} \rightarrow \text{cancelou}$
5	[raíz, cancelou]	[o, vôo]	SHIFT	
6	[raíz, cancelou, o]	[vôo]	LEFTARC	$o \leftarrow \text{vôo}$
7	[raíz, cancelou]	[vôo]	RIGHTARC	$\text{cancelou} \rightarrow \text{vôo}$
8	[raíz, cancelou, vôo]		REDUCE	

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	$o \leftarrow \text{rapaz}$
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	
3	[raíz, rapaz]	[cancelou, o, vôo]	LEFTARC	$\text{rapaz} \leftarrow \text{cancelou}$
4	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	RIGHTARC	$\text{raíz} \rightarrow \text{cancelou}$
5	[raíz, cancelou]	[o, vôo]	SHIFT	
6	[raíz, cancelou, o]	[vôo]	LEFTARC	$o \leftarrow \text{vôo}$
7	[raíz, cancelou]	[vôo]	RIGHTARC	$\text{cancelou} \rightarrow \text{vôo}$
8	[raíz, cancelou, vôo]		REDUCE	
9	[raíz, cancelou]		REDUCE	

# Parser de Dependência baseados em Transição



Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC	o $\leftarrow$ rapaz
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	
3	[raíz, rapaz]	[cancelou, o, vôo]	LEFTARC	rapaz $\leftarrow$ cancelou
4	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	RIGHTARC	raíz $\rightarrow$ cancelou
5	[raíz, cancelou]	[o, vôo]	SHIFT	
6	[raíz, cancelou, o]	[vôo]	LEFTARC	o $\leftarrow$ vôo
7	[raíz, cancelou]	[vôo]	RIGHTARC	cancelou $\rightarrow$ vôo
8	[raíz, cancelou, vôo]		REDUCE	
9	[raíz, cancelou]		REDUCE	
10	[raíz]		FIM	

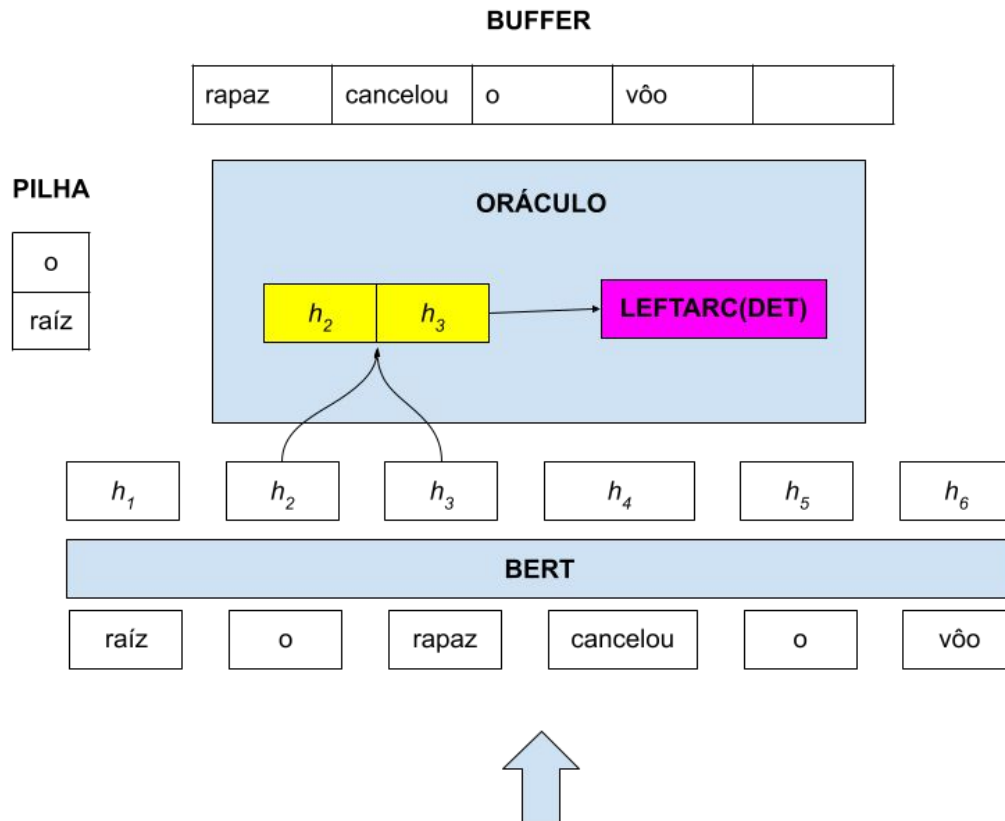


# Parser de Dependência baseados em Transição

Passo	Pilha	Buffer	Operação	Relação
0	[raíz]	[o, rapaz, cancelou, o, vôo]	SHIFT	
1	[raíz, o]	[rapaz, cancelou, o, vôo]	LEFTARC-DET	<b>DET</b> (o ← rapaz)
2	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	SHIFT	
3	[raíz, rapaz]	[cancelou, o, vôo]	LEFTARC-NSUBJ	<b>NSUBJ</b> (rapaz ← cancelou)
4	[raíz]	[cancelou, o, vôo]	RIGHTARC-ROOT	<b>ROOT</b> (raíz → cancelou)
5	[raíz, cancelou]	[o, vôo]	SHIFT	
6	[raíz, cancelou, o]	[vôo]	LEFTARC-DET	<b>DET</b> (o ← vôo)
7	[raíz, cancelou]	[vôo]	RIGHTARC-DOBJ	<b>DOBJ</b> (cancelou → vôo)
8	[raíz, cancelou, vôo]		REDUCE	
9	[raíz, cancelou]		REDUCE	
10	[raíz]		FIM	

O oráculo pode ser treinado para prever as relações nomeadas

# Oráculo



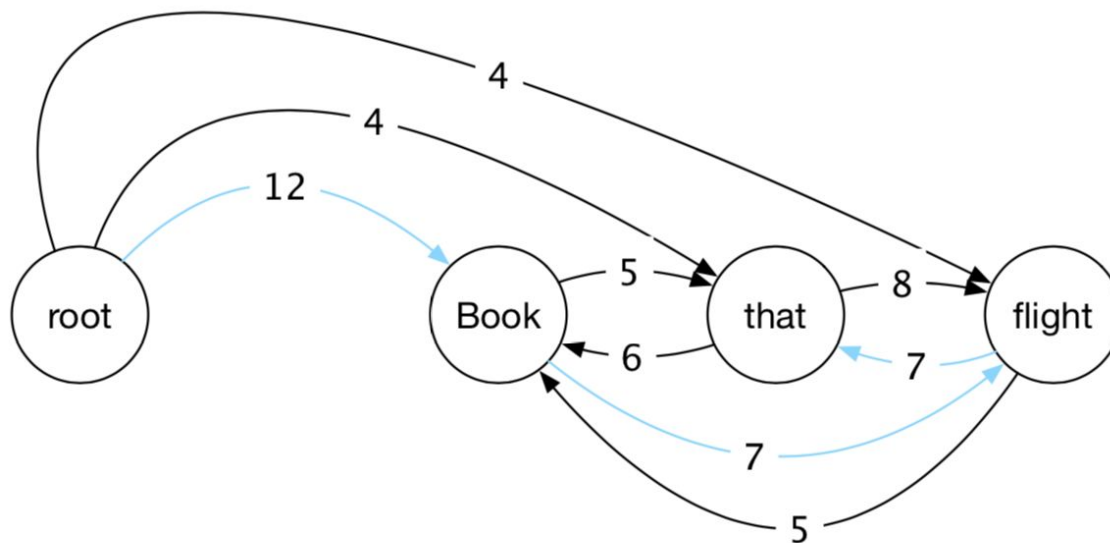
# Parser de Dependência baseados em Transição: Limitação



Dificuldade com Relações de Dependência Cruzadas



# Parser de Dependência baseados Grafos



(Jurafsky and Martin, 2020)

# Parser de Dependência baseados Grafos

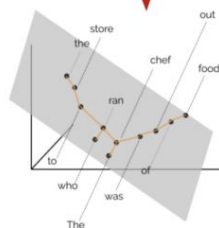
The chef who ran to the store was out of food



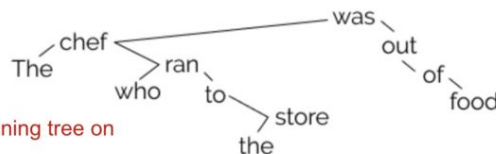
1. BERT transforms words to vectors

$$\begin{bmatrix} .4 \\ -.2 \\ .3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .1 \\ .9 \\ -.2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .3 \\ -.4 \\ .2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .7 \\ -.4 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .4 \\ 0 \\ -.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .1 \\ -.6 \\ .2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .3 \\ .1 \\ -.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .1 \\ .9 \\ -.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} .3 \\ .1 \\ .8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -.8 \\ .3 \\ -.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ .7 \\ -.9 \end{bmatrix}$$


2. Linear Transform of word vectors



3. Minimum spanning tree on distances



Recovered Syntax tree from transformed BERT vectors

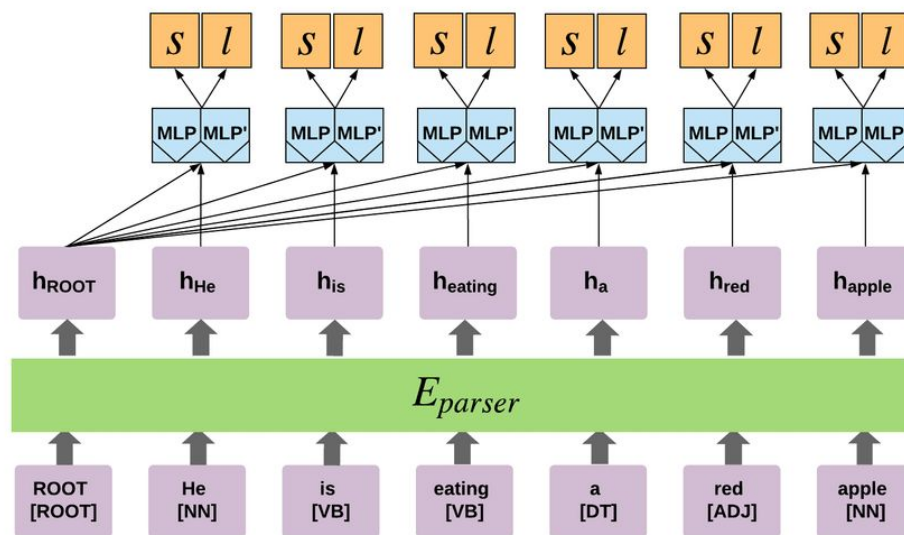
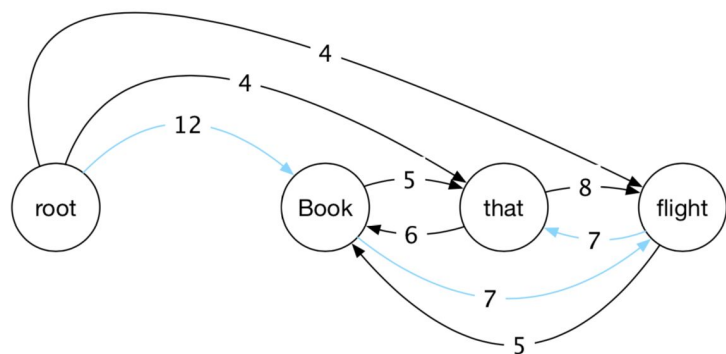


Same as

The chef who ran to the stores was out of food

Syntax tree of sentence

# Parser de Dependência baseados Grafos: Biaffine



# Avaliação



## **Exact Match**

Proporção de sentenças que tiveram suas estruturas sintáticas corretamente inferidas  
Conservadora/Difícil

## **Unlabeled Attachment Score**

Proporção de pares de palavras que foram relacionadas corretamente

## **Labeled Attachment Score**

Proporção de pares de palavras cuja relação nomeada de dependência foi  
inferida corretamente

# Sumário



## Conteúdo da Aula:

- Gramática de Dependência
  - Definição e Vantagens
  - Propriedades
  - Relações
- Parsing de Dependência
  - *Transition-based Parsing*
  - *Graph-Based Parsing*