

PRG0018 Processamento de Linguagem Natural

Prof. Thiago A. S. Pardo



Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

| Universidade de São Paulo |

RELEMBRANDO

- Sintaxe e gramáticas
 - Constituintes e dependências
- Treebanks
- DCG e geração/reconhecimento de sentenças

RELEMBRANDO

sentença --> sintagma_nominal, sintagma_verbal.

sintagma_nominal --> artigo, substantivo.

sintagma_verbal --> verbo, sintagma_nominal.

artigo --> [o].

artigo → [a].

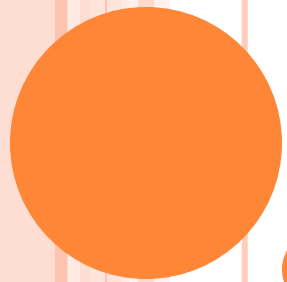
substantivo --> [gato].

substantivo --> [rato].

substantivo --> [pomba].

verbo --> [matou].

Como mesmo se garante a concordância?



PARSING

PARSING

○ Questão

- Dada uma gramática, como analisar uma sentença para produzir sua árvore sintática?
 - *Top-down*, ou descendente
 - *Bottom-up*, ou ascendente

PARSING

○ Análise top-down

- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...

Sentença

PARSING

○ Análise top-down

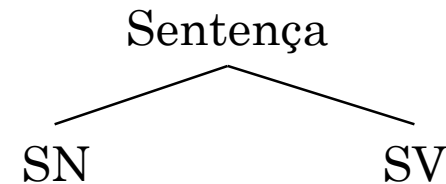
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- **Sentença** → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise top-down

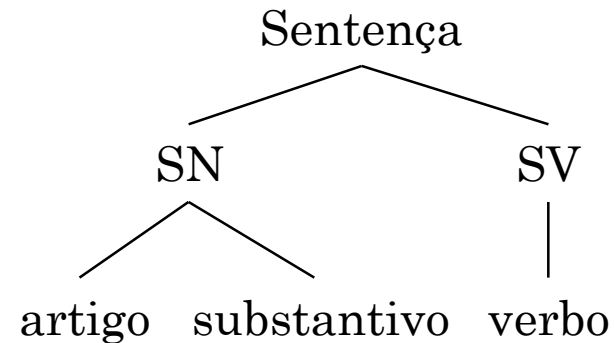
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → **artigo substantivo**
- SV → **verbo**
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise top-down

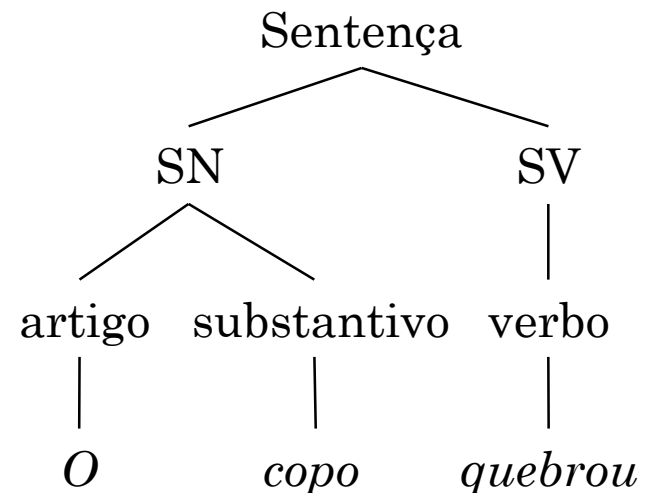
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- **artigo** → o | a | os | ...
- **pronome** → eu | ele | ela | ...
- **substantivo** → casa | brinquedo | **copo** | abacaxi | ...
- **verbo** → correu | comprou | faça | **quebrou** | deu | ...
- **preposição** → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise top-down

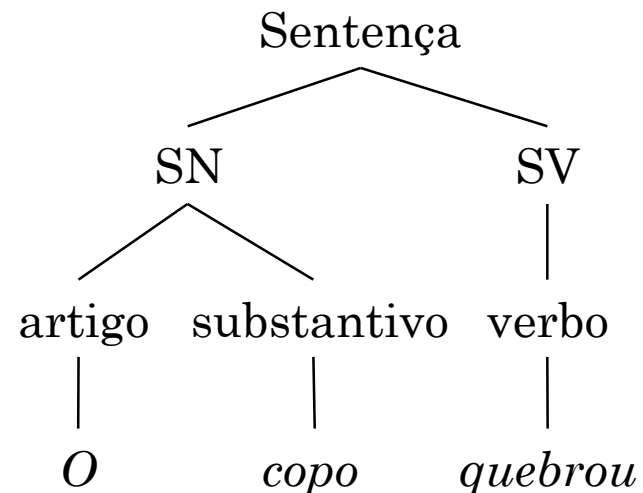
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



Sentença gramatical!
Mas se chega diretamente a ela?

PARSING

○ Análise top-down

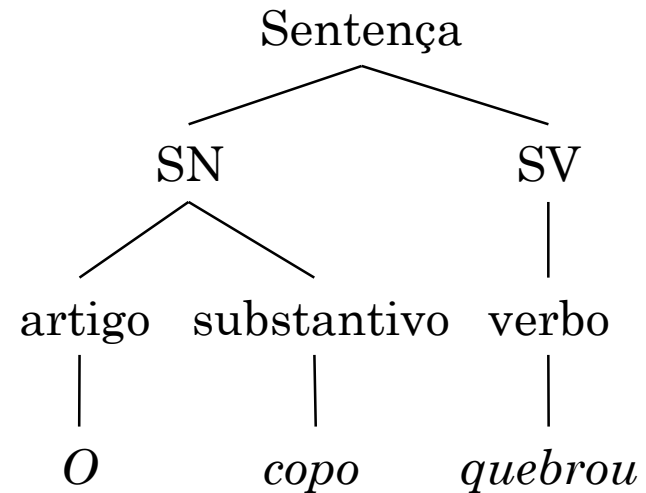
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



Não!
Qual o problema?

PARSING

○ Análise top-down

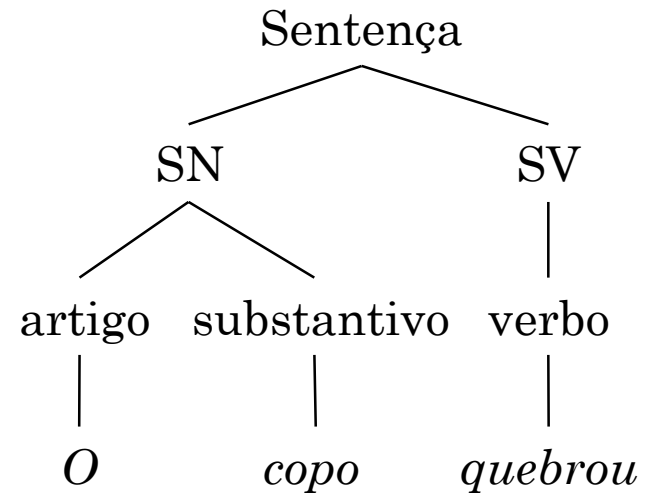
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



Várias regras são testadas.
Pode haver **backtracking!**

PARSING

○ Análise top-down

- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...

Sentença

PARSING

○ Análise top-down

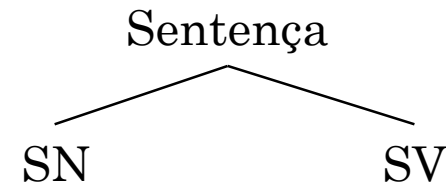
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise top-down

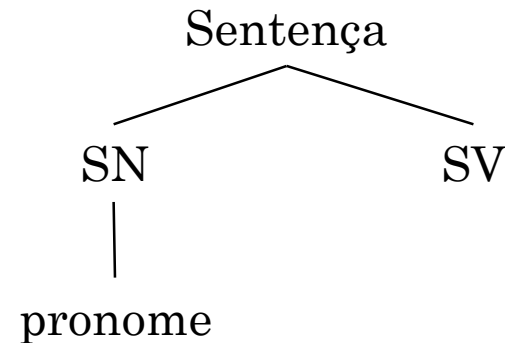
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise top-down

- Da raiz para as folhas (palavras)

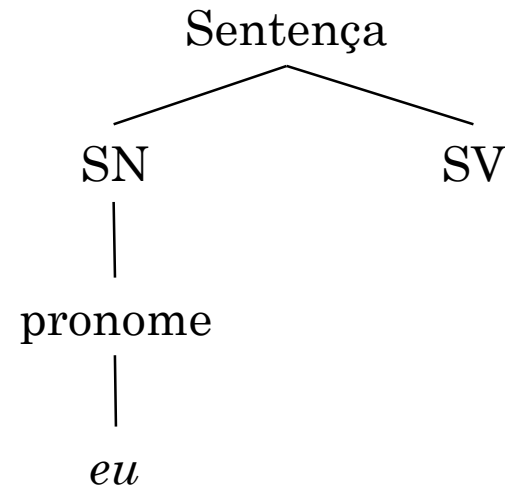
○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...

Refaz!



PARSING

○ Análise top-down

- Da raiz para as folhas (palavras)

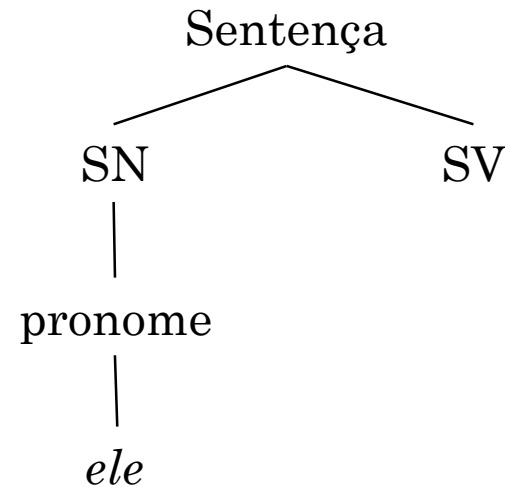
○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...

Refaz!



PARSING

○ Análise top-down

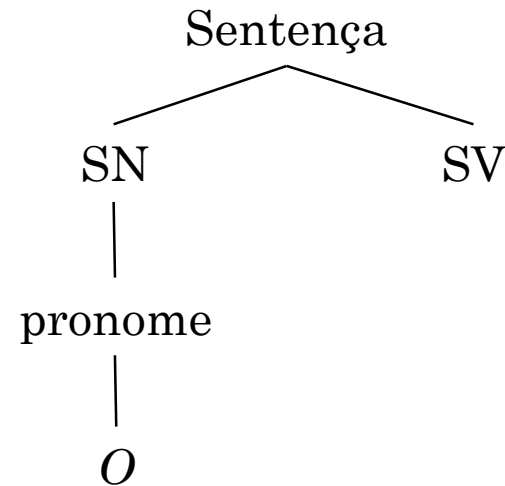
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise top-down

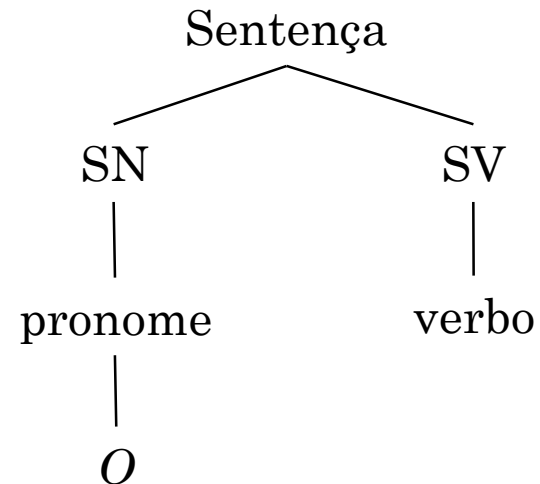
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise top-down

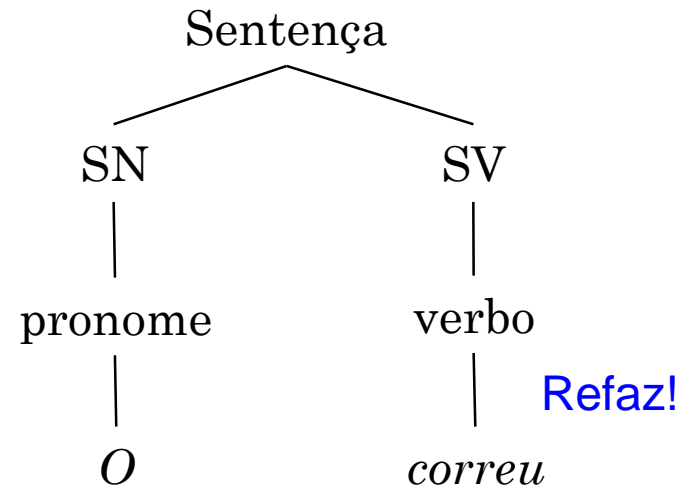
- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise top-down

- Da raiz para as folhas (palavras)

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

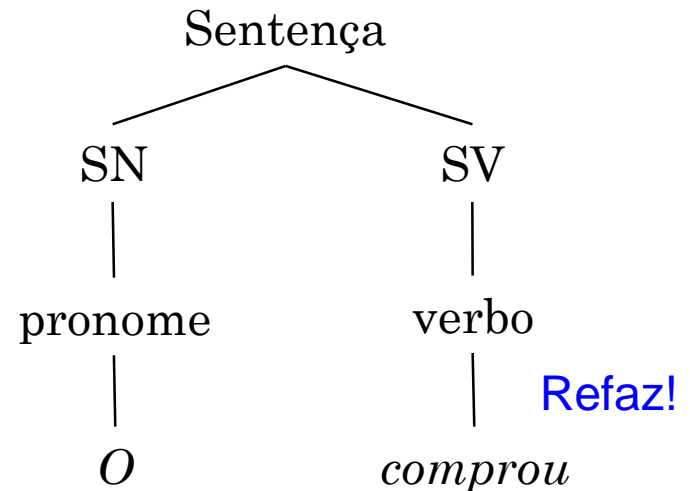
- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...

Refaz várias vezes!

→ Não vai achar regra que cubra a sentença

→ Vai testar a segunda opção para SN e recomeçar o processo

→ Muito esforço repetido

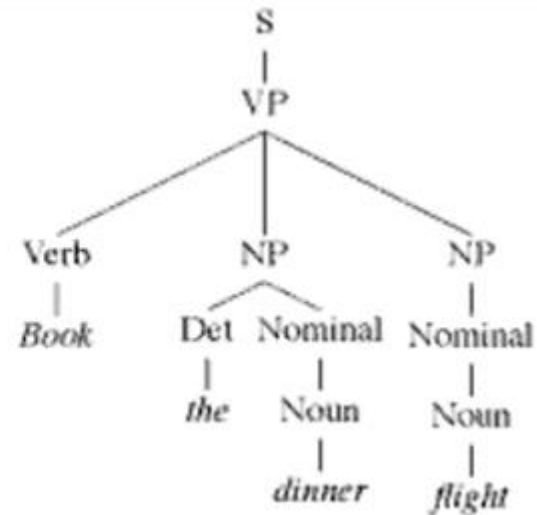
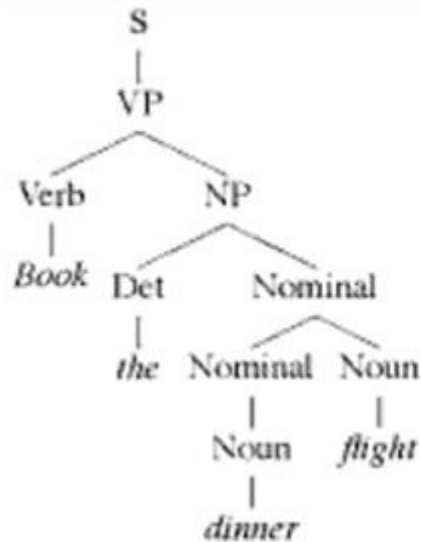


PARSING

- Análise top-down
 - Da raiz para as folhas (palavras)

PIOR:

- mais de uma árvore é possível para uma mesma sentença
- uma mesma regra pode ser aplicada várias vezes



PARSING

○ Análise *bottom-up*

- Das folhas (palavras) para a raiz

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...

O copo quebrou

PARSING

○ Análise bottom-up

- Das folhas (palavras) para a raiz

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- **artigo** → o | a | os | ...
- **pronome** → eu | ele | ela | ...
- **substantivo** → casa | brinquedo | **copo** | abacaxi | ...
- **verbo** → correu | comprou | faça | **quebrou** | deu | ...
- **preposição** → de | para | em | ...

artigo	substantivo	verbo
<i>O</i>	<i>copo</i>	<i>quebrou</i>

PARSING

○ Análise bottom-up

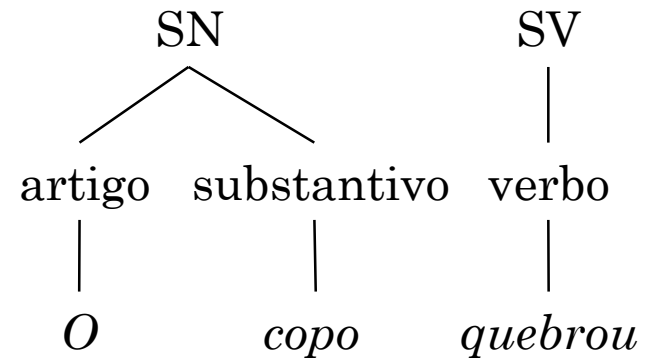
- Das folhas (palavras) para a raiz

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → **artigo substantivo**
- SV → **verbo**
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise bottom-up

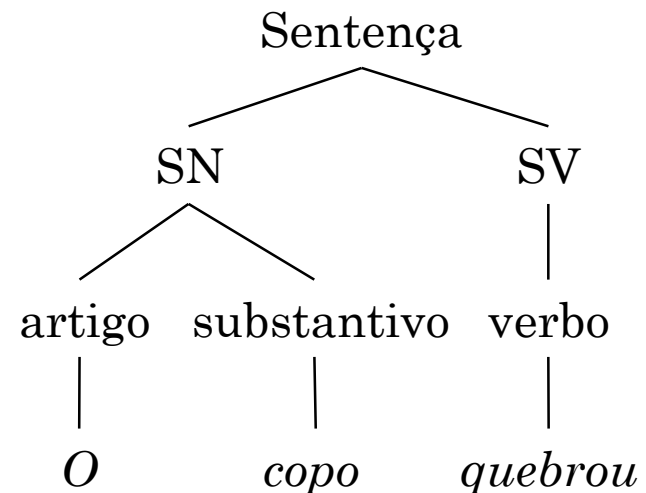
- Das folhas (palavras) para a raiz

○ REGRAS

- **Sentença** → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



PARSING

○ Análise bottom-up

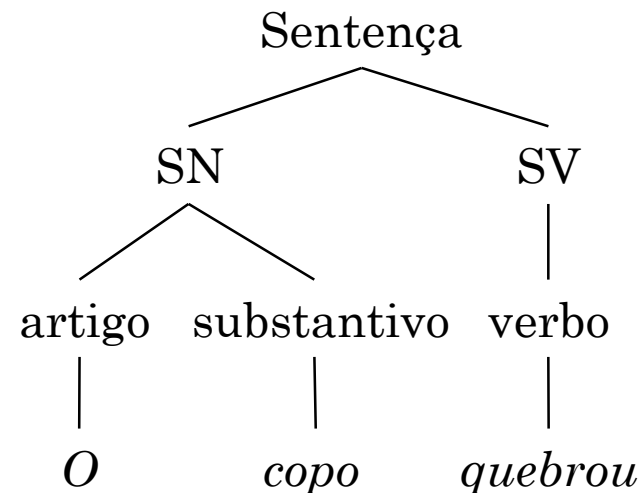
- Das folhas (palavras) para a raiz

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



Tem problemas?

PARSING

Mesmos problemas anteriores: regras improdutivas, mais de uma árvore, regras aplicadas várias vezes

○ Análise bottom-up

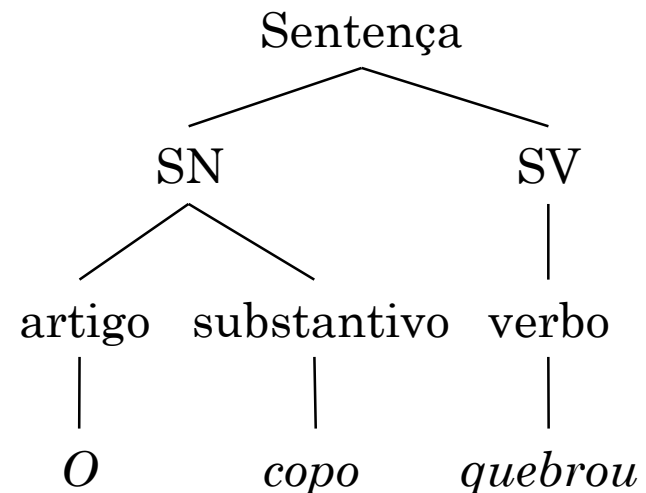
- Das folhas (palavras) para a raiz

○ REGRAS

- Sentença → SN SV
- Sentença → SV
- SN → pronome
- SN → substantivo
- SN → artigo substantivo
- SV → verbo
- SV → verbo SN
- SV → verbo SN SP
- SP → preposição SN

○ LÉXICO

- artigo → o | a | os | ...
- pronome → eu | ele | ela | ...
- substantivo → casa | brinquedo | copo | abacaxi | ...
- verbo → correu | comprou | faça | quebrou | deu | ...
- preposição → de | para | em | ...



AMBIGUIDADE

- Há vários **tipos de ambiguidades** que afetam o parsing
 - **Etiquetas morfossintáticas**
 - Book *the flight!*
 - Substantivo vs. verbo
 - **Funções gramaticais**
 - *He gave her his book*
 - Objeto direto vs. indireto

AMBIGUIDADE

- Há vários tipos de ambiguidades que afetam o parsing
 - Estrutural
 - Ligação
 - *Ele viu a Torre Eiffel voando para Paris.*
 - viu ← voando para Paris
 - Torre Eiffel ← voando para Paris
 - Coordenação
 - Ele chamou amigos e amigas legais.
 - [amigos] e [amigas legais]
 - [amigos e amigas] legais

AMBIGUIDADE

- Há vários tipos de ambiguidades que afetam o parsing
 - **Ligação do SP**
 - Responsável pela grande maioria dos erros atuais dos parsers
 - Acredita-se que somente a semântica pode ajudar

AMBIGUIDADE

- Há vários tipos de ambiguidades que afetam o parsing
 - Geram diferentes árvores sintáticas
 - Um parser pode relatar todas (podem ser muitas!!!)
 - Em geral, faz-se necessária a desambiguação sintática
 - Escolha da melhor análise
 - Utilizando **critérios estatísticos, semânticos ou pragmáticos**
 - Exemplos desses critérios?



UM EXEMPLO DE TÉCNICA DE PARSING

MÉTODOS DE PARSING

○ Programação dinâmica

- Guarda em uma tabela (matriz) os constituintes já descobertos
 - Evita repetição de esforço
 - É possível recuperar todas as análises
- Método tradicional: CKY (1965)

MÉTODOS DE PARSING

- CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger
 - **Primeiro passo:** converter gramática livre de contexto para a **Forma Normal de Chomsky (FNC)**
 - Somente produções da forma $N \rightarrow NN$ e $N \rightarrow T$

MÉTODOS DE PARSING

- Exemplo de gramática

$S \rightarrow SN SV$

$SN \rightarrow Pro$

$SN \rightarrow Subst$

$SN \rightarrow Art Subst$

$SN \rightarrow Art Subst SP$

$SV \rightarrow V SN$

$SV \rightarrow V SN SP$

$SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$

$Pro \rightarrow Ela$

$Art \rightarrow o$

$Art \rightarrow a$

$Subst \rightarrow pudim$

$Subst \rightarrow garfo$

$V \rightarrow comeu$

$V \rightarrow picou$

$Prep \rightarrow com$

$Prep \rightarrow de$

$Prep \rightarrow a$

MÉTODOS DE PARSING

○ Exemplo de gramática

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Pro$
 $SN \rightarrow Subst$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow Art Subst SP$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

Convertendo
regras não
lexicais

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

Regras lexicais já
estão na FNC

MÉTODOS DE PARSING

- CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger
 - **Segundo passo:** construir uma tabela/matriz quadrada de N linhas por N colunas
 - N é o número de palavras da sentença a se analisar
 - Cada posição indica uma palavra
 - *Ele₁ comeu₂ o₃ pudim₄ com₅ garfo₆*

MÉTODOS DE PARSING

- CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

- Somente a parte de cima da tabela é usada

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo

MÉTODOS DE PARSING

- CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger
 - **Terceiro passo: recheiar a tabela** usando a gramática e o léxico
 - Passo a passo, da esquerda para a direita, de baixo para cima
 - Cada célula verifica as células que domina
 - Todas as opções até que se chegue no canto superior direito da tabela, que seria a raiz da árvore
 - Atenção: deve-se relacionar segmentos contínuos e completos

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

S → SN SV
SN → Ele | Ela
SN → pudim | garfo
SN → Art Subst
SN → X1 SP
X1 → Art Subst
SV → V SN
SV → V X2
X2 → SN SP
SP → Prep SN

Pro → Ele
Pro → Ela
Art → o
Art → a
Subst → pudim
Subst → garfo
V → comeu
V → picou
Prep → com
Prep → de
Prep → a

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

S → SN SV
SN → Ele | Ela
SN → pudim | garfo
SN → Art Subst
SN → X1 SP
X1 → Art Subst
SV → V SN
SV → V X2
X2 → SN SP
SP → Prep SN

Pro → Ele
Pro → Ela
Art → o
Art → a
Subst → pudim
Subst → garfo
V → comeu
V → picou
Prep → com
Prep → de
Prep → a

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro						

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

S → SN SV
SN → Ele | Ela
SN → pudim | garfo
SN → Art Subst
SN → X1 SP
X1 → Art Subst
SV → V SN
SV → V X2
X2 → SN SP
SP → Prep SN

Pro → Ele
Pro → Ela
Art → o
Art → a
Subst → pudim
Subst → garfo
V → comeu
V → picou
Prep → com
Prep → de
Prep → a

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro						
		V				

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

S → SN SV
SN → Ele | Ela
SN → pudim | garfo
SN → Art Subst
SN → X1 SP
X1 → Art Subst
SV → V SN
SV → V X2
X2 → SN SP
SP → Prep SN

Pro → Ele
Pro → Ela
Art → o
Art → a
Subst → pudim
Subst → garfo
V → comeu
V → picou
Prep → com
Prep → de
Prep → a

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---					
	V					

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

S → SN SV
SN → Ele | Ela
SN → pudim | garfo
SN → Art Subst
SN → X1 SP
X1 → Art Subst
SV → V SN
SV → V X2
X2 → SN SP
SP → Prep SN

Pro → Ele
Pro → Ela
Art → o
Art → a
Subst → pudim
Subst → garfo
V → comeu
V → picou
Prep → com
Prep → de
Prep → a

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---					
	V					
			Art			

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---					
	V	---				
			Art			

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---				
	V	---				
			Art			

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---				
	V	---				
			Art			
				SN Subst		

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---				
	V	---				
			Art	SN X1		
				SN Subst		

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---				
	V	---	SV			
			Art	SN X1		
				SN Subst		

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S		
		V	---	SV		
			Art	SN X1		
				SN Subst		

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S		
		V	---	SV		
			Art	SN X1		
				SN Subst		
					Prep	

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S		
		V	---	SV		
			Art	SN X1		
				SN Subst	---	
					Prep	

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S		
		V	---	SV		
			Art	SN X1	---	
				SN Subst	---	
					Prep	

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S		
		V	---	SV	---	
			Art	SN X1	---	
				SN Subst	---	
					Prep	

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S	---	
		V	---	SV	---	
			Art	SN X1	---	
				SN Subst	---	
					Prep	

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S	---	
		V	---	SV	---	
			Art	SN X1	---	
				SN Subst	---	
					Prep	
						SN Subst

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S	---	
		V	---	SV	---	
			Art	SN X1	---	
				SN Subst	---	
					Prep	SP
						SN Subst

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S	---	
		V	---	SV	---	
			Art	SN X1	---	
				SN Subst	---	X2
					Prep	SP
						SN Subst

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S	---	
		V	---	SV	---	
			Art	SN X1	---	X2 SN
				SN Subst	---	X2
					Prep	SP
						SN Subst

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	---	---		S	---	
		V	---	SV	---	SV
			Art	SN X1	---	X2 SN
				SN Subst	---	X2
					Prep	SP
						SN Subst

MÉTODOS DE PARSING

Regras na FNC

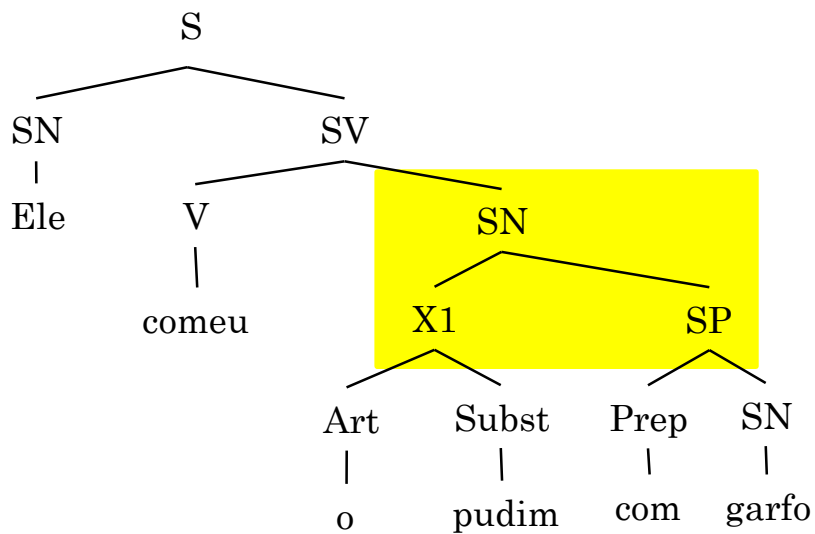
$S \rightarrow SN SV$
 $SN \rightarrow Ele \mid Ela$
 $SN \rightarrow pudim \mid garfo$
 $SN \rightarrow Art Subst$
 $SN \rightarrow X1 SP$
 $X1 \rightarrow Art Subst$
 $SV \rightarrow V SN$
 $SV \rightarrow V X2$
 $X2 \rightarrow SN SP$
 $SP \rightarrow Prep SN$

$Pro \rightarrow Ele$
 $Pro \rightarrow Ela$
 $Art \rightarrow o$
 $Art \rightarrow a$
 $Subst \rightarrow pudim$
 $Subst \rightarrow garfo$
 $V \rightarrow comeu$
 $V \rightarrow picou$
 $Prep \rightarrow com$
 $Prep \rightarrow de$
 $Prep \rightarrow a$

	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	S	...	S	
	V	...	SV	...	SV	
			Art	SN X1	...	X2 SN
			SN Subst		...	X2
					Prep	SP
						SN Subst

MÉTODOS DE PARSING

○ Árvore 1

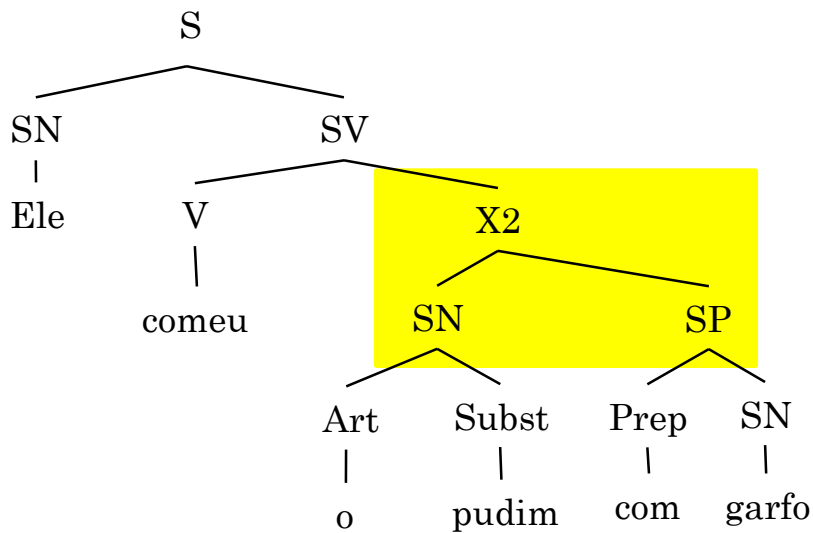


	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	S	...	S	S
		V	SV	...	SV	SV
			Art	SN X1	...	X2 SN
				SN Subst	...	X2
					Prep	SP
						SN Subst

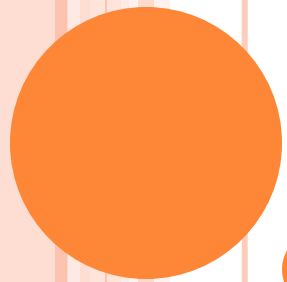
The table illustrates the parsing process for the sentence "Ele comeu o pudim com garfo". The columns represent the words in the sentence. The rows represent the syntactic categories assigned to each word. Blue arrows indicate the flow of the parse tree, showing how the root node S branches into SN (Pro) and SV, and how SV branches into V and SN. The SN node branches into X1 and SP, which further branch into their respective syntactic categories and words. Orange arrows indicate the current state of the parse, showing the current node being processed and the words it covers.

MÉTODOS DE PARSING

- **Árvore 2: interpretação mais provável**



	Ele	comeu	o	pudim	com	garfo
SN Pro	S	...	S	
	V	...	SV	...	SV	
			Art	SN X1	...	X2 SN
			SN Subst	...	X2	
					Prep	SP
						SN Subst



HUMANOS E PARSING

PROCESSAMENTO HUMANO & PROBABILIDADE

- Experimentos com humanos: **probabilidades na mente!**
 - Humanos desambiguam análises, preferindo análises mais prováveis
 - Sentenças ***garden-path***: temporariamente ambíguas
 - *The students forgot the solution was in the back of the book.*
 - *The horse raced past the barn fell.*
 - *The complex houses married and single students and their families.*

PROCESSAMENTO HUMANO & PROBABILIDADE

- Experimentos com humanos: **probabilidades na mente!**
 - Humanos desambiguam análises, preferindo análises mais prováveis
 - Sentenças *garden-path*: temporariamente ambíguas
 - *Maria beijou João e o irmão dele arregalou os olhos de espanto.*

PROCESSAMENTO HUMANO & PROBABILIDADE

- Experimentos com humanos: **probabilidades na mente!**
 - Humanos desambiguam análises, preferindo análises mais prováveis
 - Sentenças *garden-path*: há casos mais complexos!
 - *Um navio brasileiro entrava na baía um navio japonês.*

TAREFA

- Leitura da semana
 - *PortNOIE: A Neural Framework for Open Information Extraction for the Portuguese Language* (Cabral et al. 2022)
 - No e-Disciplinas

PRÓXIMA QUARTA-FEIRA (31/MAIO)

- Excepcionalmente, não teremos aula (devido a compromisso de pesquisa no Centro de IA)
 - Sugestões de atividades alternativas
 - Workshop Semantics 2023 (evento presencial no ICMC):
<http://sites.labic.icmc.usp.br/semantics2023/>
 - Palestra especial do Centro de IA (no horário da aula, transmitida via youtube):
<https://www.youtube.com/watch?v=l2SzkvqcdC8>