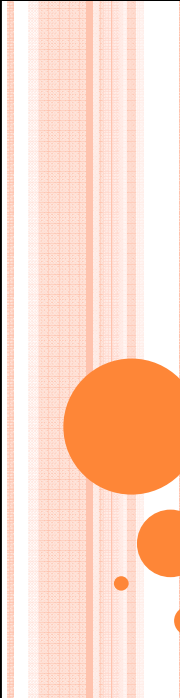


# SINTAXE – PARTE 1

*SCC5908 Tópicos em Processamento de Língua Natural*

Thiago A. S. Pardo



# SINTAXE E GRAMÁTICAS

## DEFINIÇÃO

- Forma como as **palavras se organizam** em uma sentença
  - Longa história: gramática do Sânscrito, com mais de 2.000 anos
- Questões envolvidas
  - Constituintes
  - Relações/funções gramaticais
  - Subcategorização e dependência

3

## APLICAÇÃO

- **Útil** para diversos fins em PLN
  - Revisão gramatical
  - Interpretação semântica
  - Sistemas de diálogo
  - Tradução automática
  - Sumarização de textos
  - Outros?

4

## CONSTITUINTES

- Sintagma nominal
  - “Ela”, “João”, “a casa”, “o cavalo Pangaré”, “uma bela moça”
- Sintagma verbal
  - “Eu corri.”, “Ele precisa de uma passagem”, “João e Maria deram o livro para ela.”, “Faça!”
- Sintagma adjetival
  - “Ele é competente.”, “Maria é muito desleal.”
- Sintagma adverbial
  - “Antigamente tudo era diferente.”, “Nós acordamos muito cedo.”
- Sintagma preposicional
  - “O armário da cozinha está trancado.”, “Ele queimou o livro de física.”

5

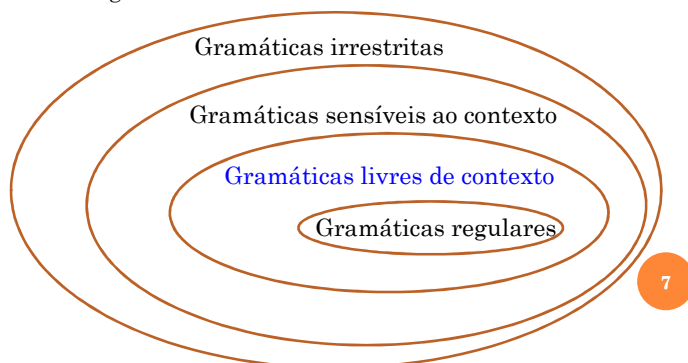
## CONSTITUINTES

- Um sintagma é do tipo de seu elemento nuclear
  - Substantivo, verbo, adjetivo, advérbio ou preposição
- É comum ter sintagma dentro de sintagma
  - [O vidro de remédio]<sub>SN</sub> [quebrou]<sub>SV</sub>
  - [O vidro [de remédio]<sub>SP</sub>]<sub>SN</sub> [quebrou]<sub>SV</sub>
  - [O vidro [de [remédio]<sub>SN</sub>]<sub>SP</sub>]<sub>SN</sub> [quebrou]<sub>SV</sub>
- **Pontos importantes**
  - Concordância de gênero e número entre elementos
  - Subcategorização dos verbos
    - Preferências sintáticas
    - Alternativa: predicado e argumentos

6

## SINTAXE

- Tradicionalmente representada por **gramáticas livres de contexto**
  - Hierarquia de Chomsky
    - Uma gramática/linguagem de qualquer tipo também é do tipo mais abrangente



## SINTAXE

- Tradicionalmente representada por gramáticas livres de contexto
  - Muito boas para fins computacionais
    - Poderosas, mas ainda assim eficientemente manipuladas
  - Compostas por
    - Regras/produções
      - Indicam como os símbolos da linguagem podem ser agrupados
      - Podem ter recursões
    - Léxico
      - Palavras/símbolos da linguagem

8

## GRAMÁTICA LIVRE DE CONTEXTO

### ○ 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 | ...

9

## GRAMÁTICA LIVRE DE CONTEXTO

### ○ Gramática pode ser usada para

- **Gerar** sentenças
- **Reconhecer** sentenças

### ○ **Derivação**

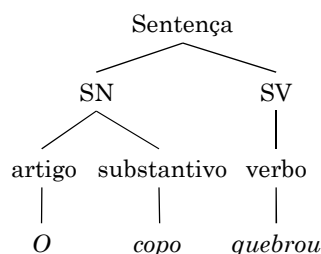
- Seqüência de aplicação de regras da gramática
- Gera uma **árvore sintática** (*parse tree*)

10

## GRAMÁTICA LIVRE DE CONTEXTO

### ○ Árvore sintática

- *O copo quebrou.*



### • Terminologia

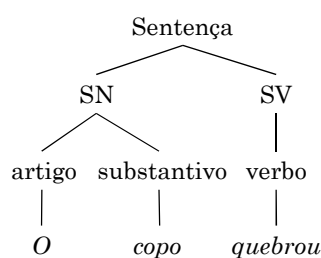
- Sentença **domina** todos os nós da árvore
- Sentença **domina imediatamente** SN e SV
- SN e SV são **filhos** de Sentença
- SN, SV, etc. são **descendentes** de Sentença

11

## GRAMÁTICA LIVRE DE CONTEXTO

### ○ Árvore sintática

- *O copo quebrou.*



### • Terminologia

- Sentença é o **símbolo inicial**
- Sentença, SN, SV, artigo, substantivo e verbo são **símbolos não terminais**
- O, copo e quebrou são **símbolos terminais**
- Se sentença é gerada/reconhecida pela gramática, é dita **gramatical**
- Notação **parentizada**:  $[[O_{artigo} copo_{substantivo}]_{SN} [quebrou_{verbo}]_{SV}]_{Sentença}$

12

## GRAMÁTICA LIVRE DE CONTEXTO

- Formalmente, uma gramática é uma **quádrupla**
  - $G = (N, T, P, S)$ 
    - N: conjunto de símbolos não terminais
    - T: conjunto de símbolos terminais
    - P: conjunto de regras de produção
    - S: símbolo inicial da gramática
  - Gramática livre de contexto
    - Regras da forma  $N \rightarrow (N \cup T)^*$

13

## PARSING

- Tarefa de mapear uma sentença em uma árvore sintática
  - Ferramenta: *parser*
- Atenção com o termo: parsing é muito genérico e pode significar outras coisas dependendo do contexto
  - Parser semântico
  - Parser discursivo
  - Tagger vs. parser

14

## TREEBANKS

- **Coleção de sentenças e suas árvores sintáticas**, normalmente construídas manualmente
- Exemplos
  - *Penn Treebank* para o inglês (há para outras línguas também)
    - *Wall Street Journal*, principalmente
  - Susanne para o inglês
  - *Prague Dependency Treebank* para o tcheco
  - Negra para o alemão
  - Floresta Sintá(c)tica para o português
  - Tycho Brahe para português histórico
- Linguagens de consulta a treebanks
  - TGrep e TGrep2

15

## TREEBANKS

- Formato parentizado é comum
- Alguns treebanks contêm outras anotações
  - Predicados e argumentos
  - Funções gramaticais (sujeito, objeto, etc.)
  - Funções semânticas (local, tempo, etc.)
- Para que treebanks?

16



## TREEBANKS

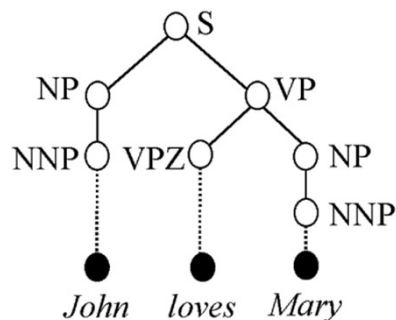
- Formato parentizado é comum
- Alguns treebanks contêm outras anotações
  - Predicados e argumentos
  - Funções gramaticais (sujeito, objeto, etc.)
  - Funções semânticas (local, tempo, etc.)
- Gramática da língua embutida nas análises
  - As árvores sintáticas podem ser a base para a construção de gramáticas
  - Pode ser a fonte de estudos de fenômenos lingüísticos

17

## TREEBANKS

- Exemplo do Penn Treebank

(S (NP (NNP *John*))  
 (VP (VPZ *loves*)  
 (NP (NNP *Mary*)))  
 (. .))



## TREEBANKS

### Exemplo da Floresta Sintá(c)tica

Queremos	[querer] <fmc> V PR 1P IND VFIN @FMV
que	[que] KS @SUB @#FS-<ACC
especialistas	[especialista] N M/F P @-<ACC
internacionais	[internacional] ADJ M/F P @N<
e	[e] <co-postnom> KC @CO
nacionais	[nacional] ADJ M/F P @N<
pensem	[pensar] V PR 3P SUBJ VFIN @FMV
em	[em] PRP @-<PIV
as	[o] <artd> DET F P @>N
possibilidades	[possibilidade] N F P @P<
que	[que] KS @SUB @#FS-<ACC
existem	[existir] V PR 3P IND VFIN @FMV
de	[de] PRP @-<ADVL
abordagem	[abordagem] N F S @P<
de	[de] PRP @N<
o	[o] <artd> DET M S @>N
tema	[tema] N M S @P<
em	[em] PRP @N<
o	[o] <artd> DET M S @>N
contexto	[contexto] N M S @P<
de	[de] <sam-> PRP @N<
a	[o] <-sam> <artd> DET F S @>N
sociedade	[sociedade] N F S @P<
de	[de] <sam-> PRP @N<
a	[o] <-sam> <artd> DET F S @>N
informação	[informação] N F S @P<

## TREEBANKS

### Heads

- Elemento lexical gramaticalmente mais importante de um constituinte
  - Por exemplo, um substantivo em um SN
- Noção importante para várias linhas de pesquisa, práticas ou teóricas
  - Treinamento automático de parsers
  - *Head-driven Phrase Structure Grammar* (HPSG)
- Nem sempre é trivial encontrar as *heads*
  - Pode ser necessária a aplicação de várias regras

## TREEBANKS

### ○ *Heads*

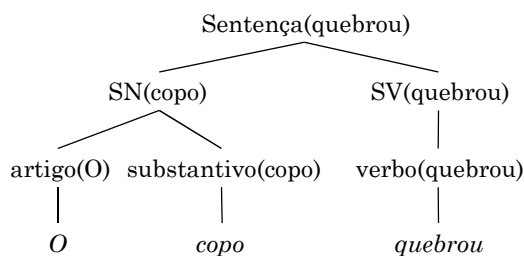
- Exemplo de regras para encontrar elemento mais importante de um SN para o inglês
  - Se última palavra é etiquetada como POS, retorne-a  
Senão procure da direita para a esquerda pelo primeiro filho que é um NN, NNP, NNPS, NX, POS ou JJR
  - Senão procure da esquerda para a direita pelo primeiro filho que é um SN
  - Senão procure da direita para a esquerda pelo primeiro filho que é um \$, ADJP ou PRN
  - Senão procure da direita para a esquerda pelo primeiro filho que é um CD
  - Senão procure da direita para a esquerda pelo primeiro filho que é um JJ, JJS, RB ou QP
  - Senão retorne a última palavra

21

## TREEBANKS

### ○ *Heads*

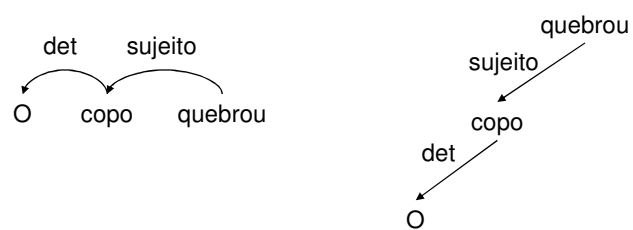
- Podem ser associadas a cada nó da árvore



22

## GRAMÁTICA DE DEPENDÊNCIA

- Alternativa à gramática de constituintes
- Foco nas **relações gramaticais**
  - Explicitamente rotuladas ou não



23

## GRAMÁTICA DE DEPENDÊNCIA

- Cada vez mais populares
- **Vantagens?**

24

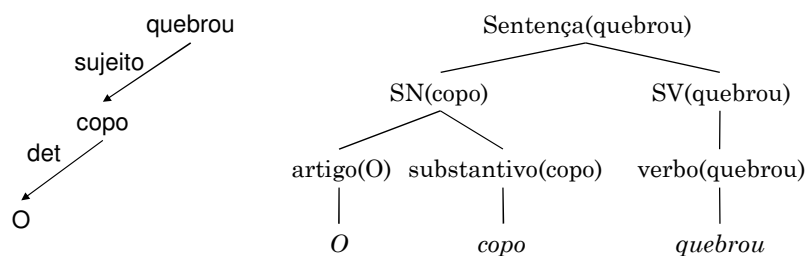
## GRAMÁTICA DE DEPENDÊNCIA

- Cada vez mais populares
- **Vantagens**
  - Maior **poder preditivo das palavras** em relação a seus dependentes
    - Saber a identidade de um verbo pode ajudar a decidir quem é seu sujeito
  - Lidam mais facilmente com **línguas com ordenação livre de palavras** (por exemplo, tcheco)
    - Na gramática de constituintes, seriam necessárias várias regras para montar os constituintes adequados
    - Na gramática de dependências, não (basta um link entre as palavras)

25

## GRAMÁTICA DE DEPENDÊNCIA

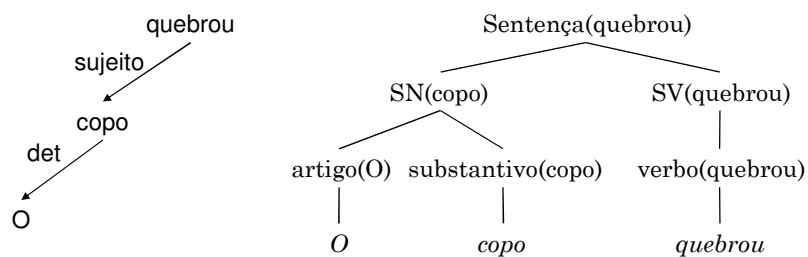
- Certa similaridade entre **análise de dependência** e *heads*



26

## GRAMÁTICA DE DEPENDÊNCIA

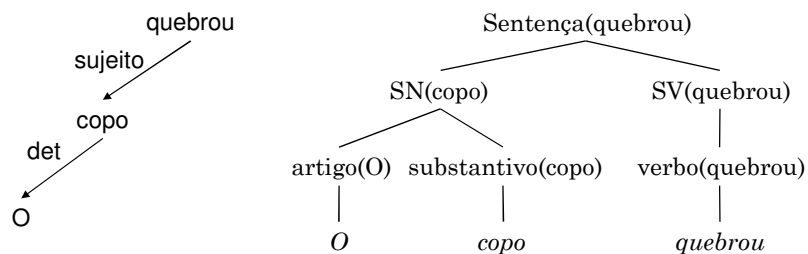
- É possível mapear uma estrutura de constituintes em uma de dependência? E o contrário?



27

## GRAMÁTICA DE DEPENDÊNCIA

- É possível mapear uma estrutura de constituintes em uma de dependência? E o contrário?
  - Apenas parcialmente



28

## FALA

- Gramática

- Coisas em comum com língua escrita
- Muitos **outros fenômenos**
  - Pronomes são muito mais usados
  - Pequenos fragmentos de fala
  - Características fonológicas, prosódicas e acústicas
  - Disfluências: hesitação, pausa, reparo, recomeço, gagueira, etc.

- Também há treebanks importantes

29

## GRAMÁTICAS E PROCESSAMENTO HUMANO

- Há evidências de que **sintagmas são mais do que um artefato sintático**
  - Representam uma unidade semântica, em geral

30

## FORMALISMOS GRAMATICAIS

- DCG: *definite-clause grammar*
- LFG: *lexical functional grammar*
- GPSG: *generalized phrase structure grammar*
- HPSG: *head-driven phrase structure grammar*
- TAG: *tree adjoining grammar*
  - Árvores em vez de regras
- Etc.

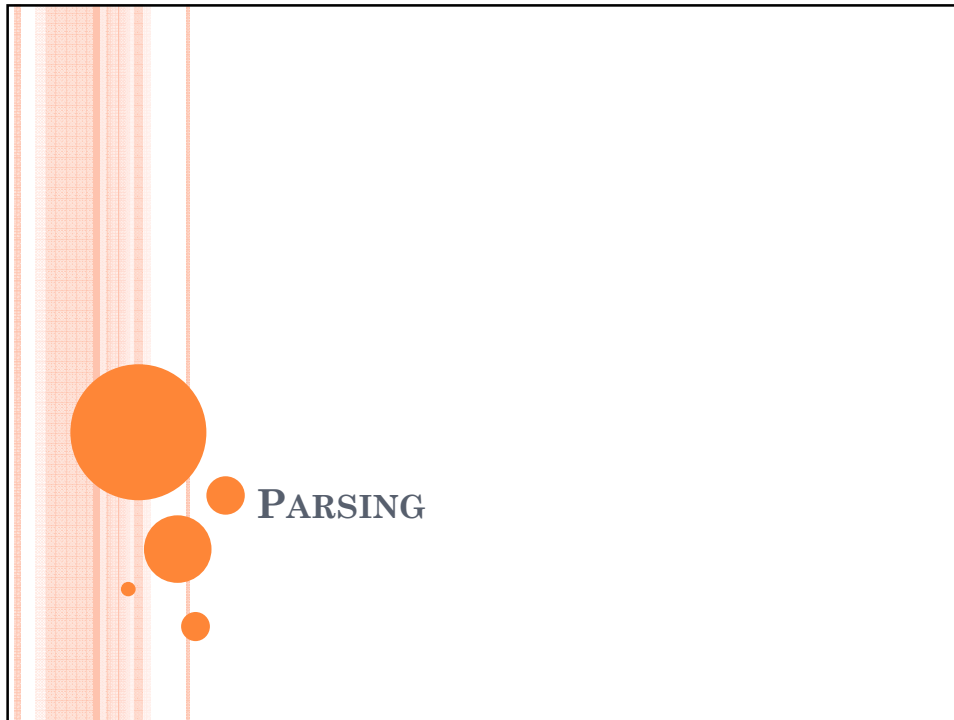
31

## GRAMÁTICAS

- Regras
  - Escritas **manualmente**
    - Demandam tempo, sujeitas a erros e inconsistências humanas
    - Podem ter pouca cobertura
  - Aprendidas **automaticamente**
    - Rápido, mas sujeitas a erros e inconsistências por *overfitting* ou *underfitting*
    - Podem não fazer sentido
      - *Experiência com Penn Treebank*: regras longas, árvores mais “achatadas”
- Aprendidas automaticamente, revisadas por humanos

32





## 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

Sentença

#### ○ LÉXICO

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

35

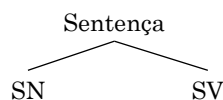
## PARSING

### ○ 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 | ...

36

## PARSING

### ○ Análise top-down

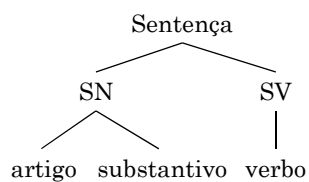
- Da raiz para as folhas (palavras)

#### ○ 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 | ...



37

## PARSING

### ○ Análise top-down

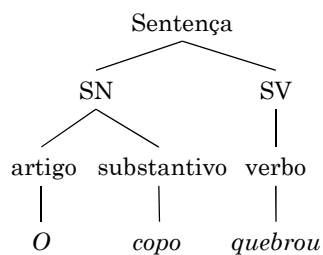
- Da raiz para as folhas (palavras)

#### ○ 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 | ...



38

## PARSING

### ○ Análise top-down

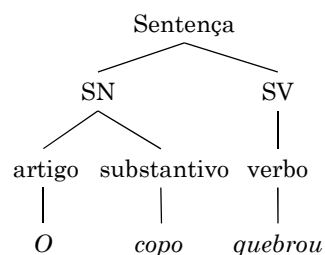
- Da raiz para as folhas (palavras)

#### ○ 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?

39

## PARSING

### ○ Análise top-down

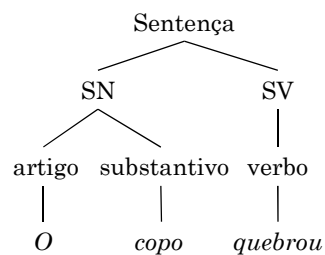
- Da raiz para as folhas (palavras)

#### ○ 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?

40

## PARSING

### ○ Análise top-down

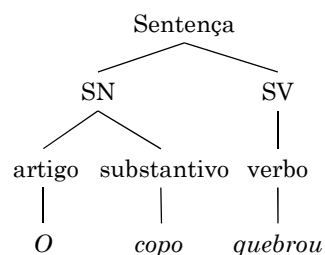
- Da raiz para as folhas (palavras)

#### ○ 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!**

41

MUNDO REAL

## 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

42

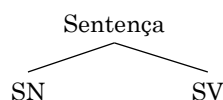
## MUNDO REAL

## 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 | ...



43

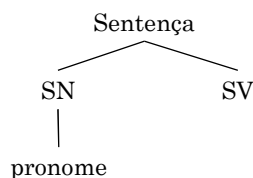
## MUNDO REAL

## 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 | ...



44

## MUNDO REAL

## PARSING

## ○ Análise top-down

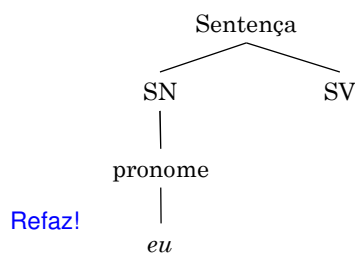
- Da raiz para as folhas (palavras)

## ○ 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 | ...



45

## MUNDO REAL

## PARSING

## ○ Análise top-down

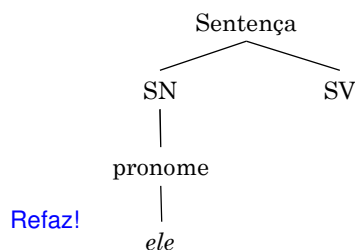
- Da raiz para as folhas (palavras)

## ○ 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 | ...



46

## MUNDO REAL

## PARSING

## ○ Análise top-down

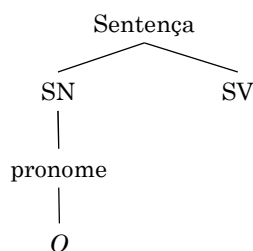
- Da raiz para as folhas (palavras)

## ○ 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 | ...



47

## MUNDO REAL

## PARSING

## ○ Análise top-down

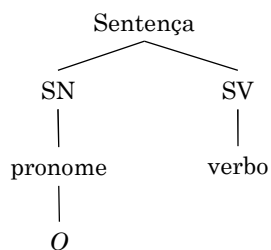
- Da raiz para as folhas (palavras)

## ○ 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 | ...



48



## MUNDO REAL

## PARSING

## ○ Análise top-down

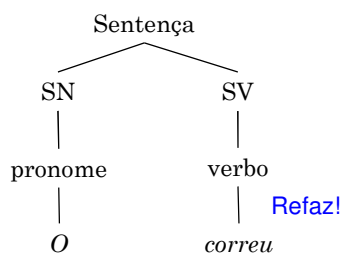
- Da raiz para as folhas (palavras)

## ○ 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 | ...



49

## MUNDO REAL

## PARSING

## ○ Análise top-down

- Da raiz para as folhas (palavras)

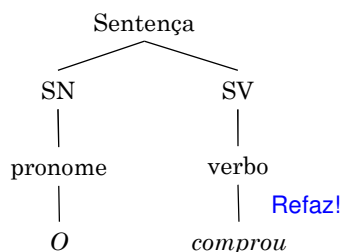
## ○ REGRAS

- 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



50

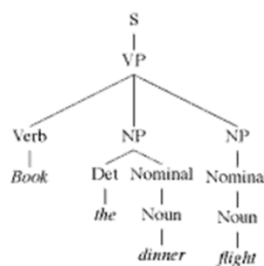
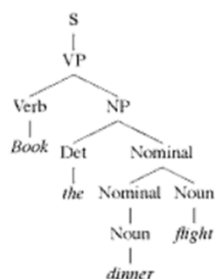
## MUNDO REAL

## 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



51

## 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

52

## PARSING

### ○ Análise bottom-up

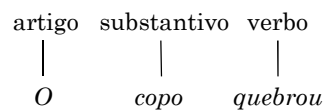
- Das folhas (palavras) para a raiz

#### ○ 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 | ...



53

## PARSING

### ○ Análise bottom-up

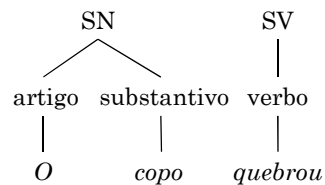
- Das folhas (palavras) para a raiz

#### ○ 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 | ...



54

## PARSING

### ○ Análise bottom-up

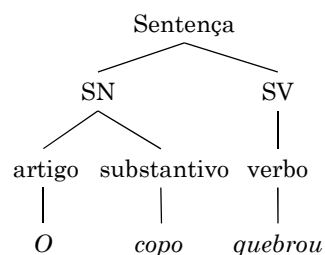
- Das folhas (palavras) para a raiz

#### ○ 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 | ...



55

## PARSING

### ○ Análise bottom-up

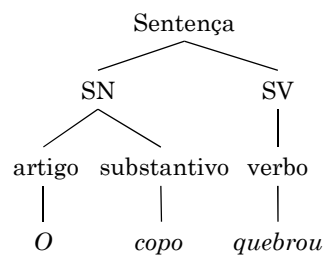
- Das folhas (palavras) para a raiz

#### ○ 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?

56

## PARSING

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

### ○ Análise bottom-up

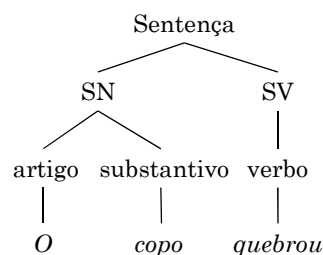
- Das folhas (palavras) para a raiz

#### ○ 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 | ...



57

## PARSING

### ○ DCG e PROLOG

- Gramática para gerar ou reconhecer sentenças (top-down)

sentenca --> sintagma\_nominal, sintagma\_verbal.

sintagma\_nominal --> artigo, substantivo.

sintagma\_verbal --> verbo, sintagma\_nominal.

artigo --> [o].

substantivo --> [gato].

substantivo --> [rato].

verbo --> [matou].

#### • Notação

- Símbolos separados por vírgula
- Regras terminadas por ponto
- Palavras indicadas entre colchetes

58

## PARSING

### o DCG e PROLOG

- Gramática para gerar ou reconhecer sentenças (top-down)

sentenca --> sintagma\_nominal, sintagma\_verbal.

sintagma\_nominal --> artigo, substantivo.

sintagma\_verbal --> verbo, sintagma\_nominal.

artigo --> [o].

substantivo --> [gato].

substantivo --> [rato].

verbo --> [matou].

- Para reconhecer sentença
  - o sentenca([o,gato,matou,o,rato],[,]).
- Para gerar sentenças
  - o sentenca(S,[,]).

59

## PARSING

### o Exercício para casa

- Testar gramática abaixo

#### o 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

#### o LÉXICO

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

60

## AMBIGÜIDADE

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

61

## AMBIGÜIDADE

- Há vários tipos de ambigüidades 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

62

## AMBIGÜIDADE

- Há vários tipos de ambigüidades 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?

63

## AMBIGÜIDADE

- Há vários tipos de ambigüidades que afetam o parsing
  - **Ligação do SP**
    - Um dos maiores problemas para a língua inglesa
    - Responsável pela grande maioria dos erros atuais dos parsers
    - Acredita-se que somente a semântica pode ajudar

64



## MÉTODOS DE PARSING

- Aplicação sequencial de regras gramaticais
  - Estilos *top-down* ou *bottom-up* clássicos
    - Várias questões com que lidar

65

## MÉTODOS DE PARSING

- Programação dinâmica
  - Guarda em uma tabela (matriz) os constituintes já descobertos
    - Evita repetição de esforço
    - É possível recuperar todas as análises
  - 2 métodos tradicionais
    - CKY (1965)
    - Earley (1970)

66

## 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  $N \rightarrow N N$  e  $N \rightarrow T$
  - Procedimentos simples
    - Produções novas
      - $A \rightarrow a B \rightarrow A \rightarrow X B, X \rightarrow a$
      - $A \rightarrow B C D \rightarrow A \rightarrow X C, X \rightarrow B C$
    - União de produções
      - $A \rightarrow B C, B \rightarrow D, D \rightarrow E \rightarrow A \rightarrow E C$
    - Aplicação sistemática/recursiva dos procedimentos acima

67

## MÉTODOS DE PARSING

### ○ Exemplo de gramática para o inglês

Grammar	Lexicon
$S \rightarrow NP VP$	$Det \rightarrow that \mid this \mid a$
$S \rightarrow Aux NP VP$	$Noun \rightarrow book \mid flight \mid meal \mid money$
$S \rightarrow VP$	$Verb \rightarrow book \mid include \mid prefer$
$NP \rightarrow Pronoun$	$Pronoun \rightarrow I \mid she \mid me$
$NP \rightarrow Proper-Noun$	$Proper-Noun \rightarrow Houston \mid NWA$
$NP \rightarrow Det Nominal$	$Aux \rightarrow does$
$Nominal \rightarrow Noun$	$Preposition \rightarrow from \mid to \mid on \mid near \mid through$
$Nominal \rightarrow Nominal Noun$	
$Nominal \rightarrow Nominal PP$	
$VP \rightarrow Verb$	
$VP \rightarrow Verb NP$	
$VP \rightarrow Verb NP PP$	
$VP \rightarrow Verb PP$	
$VP \rightarrow VP PP$	
$PP \rightarrow Preposition NP$	

68

## MÉTODOS DE PARSING

### o Exemplo de gramática para o inglês

- Conversão da gramática para FNC
- Léxico não precisa ser convertido (não é mostrado)

$\mathcal{L}_1$ Grammar	$\mathcal{L}_1$ in CNF
$S \rightarrow NP VP$	$S \rightarrow NP VP$
$S \rightarrow Aux NP VP$	$S \rightarrow XI VP$
	$XI \rightarrow Aux NP$
$S \rightarrow VP$	$S \rightarrow book \mid include \mid prefer$
	$S \rightarrow Verb NP$
	$S \rightarrow X2 PP$
	$S \rightarrow Verb PP$
	$S \rightarrow VP PP$
$NP \rightarrow Pronoun$	$NP \rightarrow I \mid she \mid me$
$NP \rightarrow Proper-Noun$	$NP \rightarrow TWA \mid Houston$
$NP \rightarrow Det Nominal$	$NP \rightarrow Det Nominal$
$Nominal \rightarrow Noun$	$Nominal \rightarrow book \mid flight \mid meal \mid money$
$Nominal \rightarrow Nominal Noun$	$Nominal \rightarrow Nominal Noun$
$Nominal \rightarrow Nominal PP$	$Nominal \rightarrow Nominal PP$
$VP \rightarrow Verb$	$VP \rightarrow book \mid include \mid prefer$
$VP \rightarrow Verb NP$	$VP \rightarrow Verb NP$
$VP \rightarrow Verb NP PP$	$VP \rightarrow X2 PP$
	$X2 \rightarrow Verb NP$
$VP \rightarrow Verb PP$	$VP \rightarrow Verb PP$
$VP \rightarrow VP PP$	$VP \rightarrow VP PP$
$PP \rightarrow Preposition NP$	$PP \rightarrow Preposition NP$

## MÉTODOS DE PARSING

### o CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

- Primeiro passo: converter gramática livre de contexto para a Forma Normal de Chomsky (FNC)
  - o Por que converter? Qual a vantagem?

## MÉTODOS DE PARSING

- CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger
  - Primeiro passo: converter gramática livre de contexto para a Forma Normal de Chomsky (FNC)
    - Por que converter? Qual a vantagem?
      - A árvore sintática será binária, ou seja, cada nó pode ter no máximo dois filhos
        - Exatamente o que precisamos se vamos lidar com TABELAS

71

## 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
      - *Book*<sub>1</sub> *the*<sub>2</sub> *flight*<sub>3</sub> *through*<sub>4</sub> *Houston*<sub>5</sub>

72

## MÉTODOS DE PARSING

### ○ CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

- Somente a parte de cima da tabela é usada

	<i>Book</i>	<i>the</i>	<i>flight</i>	<i>through</i>	<i>Houston</i>

## 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

### o CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

$S \rightarrow NP VP$   
 $S \rightarrow XI VP$   
 $XI \rightarrow Aux NP$   
 $S \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $S \rightarrow Verb NP$   
 $S \rightarrow X2 PP$   
 $S \rightarrow Verb PP$   
 $S \rightarrow VP PP$   
 $NP \rightarrow I \mid she \mid me$   
 $NP \rightarrow TWA \mid Houston$   
 $NP \rightarrow Det Nominal$   
 $Nominal \rightarrow book \mid flight \mid meal \mid money$   
 $Nominal \rightarrow Nominal Noun$   
 $Nominal \rightarrow Nominal PP$   
 $VP \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $VP \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow X2 PP$   
 $X2 \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow Verb PP$   
 $VP \rightarrow VP PP$   
 $PP \rightarrow Preposition NP$

+ léxico

Tabela vazia inicial

	Book	the	flight	through	Houston

## MÉTODOS DE PARSING

### o CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

$S \rightarrow NP VP$   
 $S \rightarrow XI VP$   
 $XI \rightarrow Aux NP$   
 $S \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $S \rightarrow Verb NP$   
 $S \rightarrow X2 PP$   
 $S \rightarrow Verb PP$   
 $S \rightarrow VP PP$   
 $NP \rightarrow I \mid she \mid me$   
 $NP \rightarrow TWA \mid Houston$   
 $NP \rightarrow Det Nominal$   
 $Nominal \rightarrow book \mid flight \mid meal \mid money$   
 $Nominal \rightarrow Nominal Noun$   
 $Nominal \rightarrow Nominal PP$   
 $VP \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $VP \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow X2 PP$   
 $X2 \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow Verb PP$   
 $VP \rightarrow VP PP$   
 $PP \rightarrow Preposition NP$

+ léxico

Começando pela diagonal principal  
→ etiquetas possíveis das palavras

	Book	the	flight	through	Houston
S, VP, Verb, Nominal, Noun					
	Det				
			Nominal, Noun		
				Prep	
					NP, proper noun

## MÉTODOS DE PARSING

### o CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

*S* → *NP VP*  
*S* → *X1 VP*  
*X1* → *Aux NP*  
*S* → *book | include | prefer*  
*S* → *Verb NP*  
*S* → *X2 PP*  
*S* → *Verb PP*  
*S* → *VP PP*  
*NP* → *I | she | me*  
*NP* → *TWA | Houston*  
*NP* → *Det Nominal*  
*Nominal* → *book | flight | meal | money*  
*Nominal* → *Nominal Noun*  
*Nominal* → *Nominal PP*  
*VP* → *book | include | prefer*  
*VP* → *Verb NP*  
*VP* → *X2 PP*  
*X2* → *Verb NP*  
*VP* → *Verb PP*  
*VP* → *VP PP*  
*PP* → *Preposition NP*

+ léxico

Próxima diagonal  
→ primeiros constituintes

	<i>Book</i>	<i>the</i>	<i>flight</i>	<i>through</i>	<i>Houston</i>
<i>S, VP, Verb, Nominal, Noun</i>	---				
	Det	NP			
			Nominal, Noun	---	
				Prep	PP
					NP, proper noun

## MÉTODOS DE PARSING

### o CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

*S* → *NP VP*  
*S* → *X1 VP*  
*X1* → *Aux NP*  
*S* → *book | include | prefer*  
*S* → *Verb NP*  
*S* → *X2 PP*  
*S* → *Verb PP*  
*S* → *VP PP*  
*NP* → *I | she | me*  
*NP* → *TWA | Houston*  
*NP* → *Det Nominal*  
*Nominal* → *book | flight | meal | money*  
*Nominal* → *Nominal Noun*  
*Nominal* → *Nominal PP*  
*VP* → *book | include | prefer*  
*VP* → *Verb NP*  
*VP* → *X2 PP*  
*X2* → *Verb NP*  
*VP* → *Verb PP*  
*VP* → *VP PP*  
*PP* → *Preposition NP*

+ léxico

Próxima diagonal

	<i>Book</i>	<i>the</i>	<i>flight</i>	<i>through</i>	<i>Houston</i>
<i>S, VP, Verb, Nominal, Noun</i>	---		<i>S, VP, X2</i>		
	Det	NP	---		
			Nominal, Noun	---	Nominal
				Prep	PP
					NP, proper noun

## MÉTODOS DE PARSING

o CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

*S* → *NP VP*  
*S* → *X1 VP*  
*X1* → *Aux NP*  
*S* → *book | include | prefer*  
*S* → *Verb NP*  
*S* → *X2 PP*  
*S* → *Verb PP*  
*S* → *VP PP*  
*NP* → *I | she | me*  
*NP* → *TWA | Houston*  
*NP* → *Det Nominal*  
*Nominal* → *book | flight | meal | money*  
*Nominal* → *Nominal Noun*  
*Nominal* → *Nominal PP*  
*VP* → *book | include | prefer*  
*VP* → *Verb NP*  
*VP* → *X2 PP*  
*X2* → *Verb NP*  
*VP* → *Verb PP*  
*VP* → *VP PP*  
*PP* → *Preposition NP*

+ léxico

Próxima diagonal

	<i>Book</i>	<i>the</i>	<i>flight</i>	<i>through</i>	<i>Houston</i>
S, VP, Verb, Nominal, Noun	---		S, VP, X2	---	
	Det	NP	---		NP
			Nominal, Noun	---	Nominal
				Prep	PP
					NP, proper noun

## MÉTODOS DE PARSING

o CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

*S* → *NP VP*  
*S* → *X1 VP*  
*X1* → *Aux NP*  
*S* → *book | include | prefer*  
*S* → *Verb NP*  
*S* → *X2 PP*  
*S* → *Verb PP*  
*S* → *VP PP*  
*NP* → *I | she | me*  
*NP* → *TWA | Houston*  
*NP* → *Det Nominal*  
*Nominal* → *book | flight | meal | money*  
*Nominal* → *Nominal Noun*  
*Nominal* → *Nominal PP*  
*VP* → *book | include | prefer*  
*VP* → *Verb NP*  
*VP* → *X2 PP*  
*X2* → *Verb NP*  
*VP* → *Verb PP*  
*VP* → *VP PP*  
*PP* → *Preposition NP*

+ léxico

Última diagonal  
→ raiz da árvore

	<i>Book</i>	<i>the</i>	<i>flight</i>	<i>through</i>	<i>Houston</i>
S, VP, Verb, Nominal, Noun	---		S, VP, X2	---	S, VP
	Det	NP	---		NP
			Nominal, Noun	---	Nominal
				Prep	PP
					NP, proper noun



## MÉTODOS DE PARSING

- CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger
  - O processo tem sucesso se chega ao símbolo inicial da gramática no canto direito superior
  - A partir da tabela, é possível recuperar todas as árvores sintáticas possíveis
    - Cada constituinte encontrado pode armazenar junto de si os filhos que lhe deram origem
  - É possível pós-processar a árvore para remodelar a gramática para a gramática original, antes de se tornar FNC
    - Mais natural
  - Estilo bottom-up de análise
  - Pode ser on-line/por demanda, ou seja, analisar a sentença conforme as palavras aparecem

81

## MÉTODOS DE PARSING

- CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

$S \rightarrow NP VP$   
 $S \rightarrow XI VP$   
 $XI \rightarrow Aux NP$   
 $S \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $S \rightarrow Verb NP$   
 $S \rightarrow X2 PP$   
 $S \rightarrow Verb PP$   
 $S \rightarrow VP PP$   
 $NP \rightarrow I \mid she \mid me$   
 $NP \rightarrow TWA \mid Houston$   
 $NP \rightarrow Det Nominal$   
 $Nominal \rightarrow book \mid flight \mid meal \mid money$   
 $Nominal \rightarrow Nominal Noun$   
 $Nominal \rightarrow Nominal PP$   
 $VP \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $VP \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow X2 PP$   
 $X2 \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow Verb PP$   
 $VP \rightarrow VP PP$   
 $PP \rightarrow Preposition NP$

+ léxico

On-line, palavra a palavra

	Book	the	flight	through	Houston
S, VP, Verb, Nominal, Noun					

## MÉTODOS DE PARSING

### ○ CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

$S \rightarrow NP VP$   
 $S \rightarrow XI VP$   
 $XI \rightarrow Aux NP$   
 $S \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $S \rightarrow Verb NP$   
 $S \rightarrow X2 PP$   
 $S \rightarrow Verb PP$   
 $S \rightarrow VP PP$   
 $NP \rightarrow I \mid she \mid me$   
 $NP \rightarrow TWA \mid Houston$   
 $NP \rightarrow Det Nominal$   
 $Nominal \rightarrow book \mid flight \mid meal \mid money$   
 $Nominal \rightarrow Nominal Noun$   
 $Nominal \rightarrow Nominal PP$   
 $VP \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $VP \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow X2 PP$   
 $X2 \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow Verb PP$   
 $VP \rightarrow VP PP$   
 $PP \rightarrow Preposition NP$

+ léxico

On-line, palavra a palavra

	Book	the	flight	through	Houston
S, VP, Verb, Nominal, Noun	---				
	Det				

## MÉTODOS DE PARSING

### ○ CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

$S \rightarrow NP VP$   
 $S \rightarrow XI VP$   
 $XI \rightarrow Aux NP$   
 $S \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $S \rightarrow Verb NP$   
 $S \rightarrow X2 PP$   
 $S \rightarrow Verb PP$   
 $S \rightarrow VP PP$   
 $NP \rightarrow I \mid she \mid me$   
 $NP \rightarrow TWA \mid Houston$   
 $NP \rightarrow Det Nominal$   
 $Nominal \rightarrow book \mid flight \mid meal \mid money$   
 $Nominal \rightarrow Nominal Noun$   
 $Nominal \rightarrow Nominal PP$   
 $VP \rightarrow book \mid include \mid prefer$   
 $VP \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow X2 PP$   
 $X2 \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow Verb NP$   
 $VP \rightarrow Verb PP$   
 $VP \rightarrow VP PP$   
 $PP \rightarrow Preposition NP$

+ léxico

On-line, palavra a palavra

	Book	the	flight	through	Houston
S, VP, Verb, Nominal, Noun	---		S, VP, X2		
	Det		NP		
			Nominal, Noun		

## MÉTODOS DE PARSING

### o CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

*S* → *NP VP*  
*S* → *X1 VP*  
*X1* → *Aux NP*  
*S* → *book | include | prefer*  
*S* → *Verb NP*  
*S* → *X2 PP*  
*S* → *Verb PP*  
*S* → *VP PP*  
*NP* → *I | she | me*  
*NP* → *TWA | Houston*  
*NP* → *Det Nominal*  
*Nominal* → *book | flight | meal | money*  
*Nominal* → *Nominal Noun*  
*Nominal* → *Nominal PP*  
*VP* → *book | include | prefer*  
*VP* → *Verb NP*  
*VP* → *X2 PP*  
*X2* → *Verb NP*  
*VP* → *Verb PP*  
*VP* → *VP PP*  
*PP* → *Preposition NP*

+ léxico

On-line, palavra a palavra

	<i>Book</i>	<i>the</i>	<i>flight</i>	<i>through</i>	<i>Houston</i>
S, VP, Verb, Nominal, Noun	---		S, VP, X2	---	
	Det	NP	---		
		Nominal, Noun	---		
			Prep		

## MÉTODOS DE PARSING

### o CKY: algoritmo de Cocke-Kasami-Younger

*S* → *NP VP*  
*S* → *X1 VP*  
*X1* → *Aux NP*  
*S* → *book | include | prefer*  
*S* → *Verb NP*  
*S* → *X2 PP*  
*S* → *Verb PP*  
*S* → *VP PP*  
*NP* → *I | she | me*  
*NP* → *TWA | Houston*  
*NP* → *Det Nominal*  
*Nominal* → *book | flight | meal | money*  
*Nominal* → *Nominal Noun*  
*Nominal* → *Nominal PP*  
*VP* → *book | include | prefer*  
*VP* → *Verb NP*  
*VP* → *X2 PP*  
*X2* → *Verb NP*  
*VP* → *Verb PP*  
*VP* → *VP PP*  
*PP* → *Preposition NP*

+ léxico

On-line, palavra a palavra

	<i>Book</i>	<i>the</i>	<i>flight</i>	<i>through</i>	<i>Houston</i>
S, VP, Verb, Nominal, Noun	---		S, VP, X2	---	S, VP
	Det	NP	---		NP
		Nominal, Noun	---		Nominal
			Prep		PP
					NP, proper noun

## EXERCÍCIO

- Em duplas, pelo método CKY, analisar a sentença “O copo quebrou.”

### ○ 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 | ...