

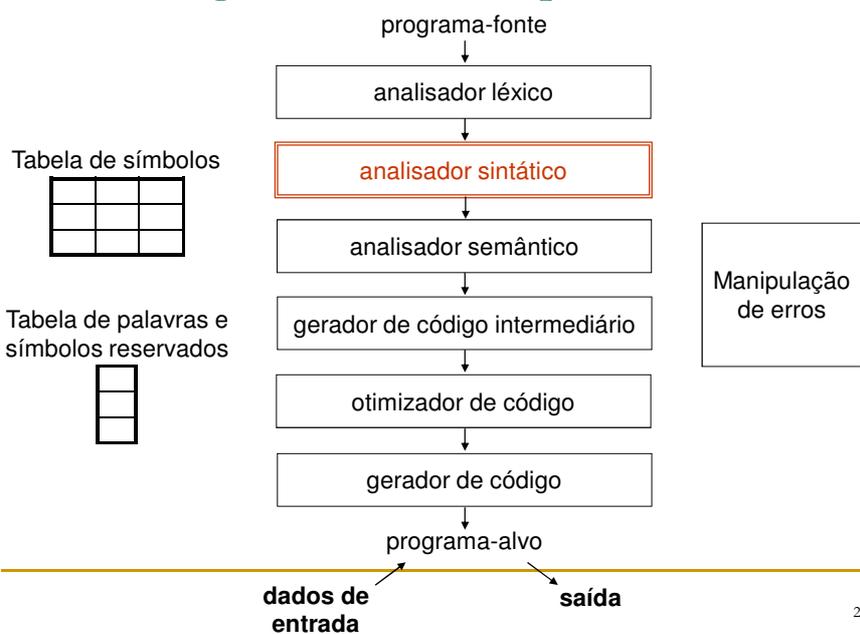
Análise sintática

Função, interação com o compilador
 Análise descendente e ascendente
 Especificação e reconhecimento de cadeias de tokens válidas
 Implementação
 Tratamento de erros

Prof. Thiago A. S. Pardo

1

Estrutura geral de um compilador



2

Analizador sintático

- Analizador sintático ou *parser*: processo principal do compilador
 - Coordena as outras etapas
- Funções
 - Verificar a boa formação do programa: quais cadeias pertencem à linguagem
 - Sintaxe, gramática
 - Construção da árvore sintática do programa: implícita ou explícita
 - Tratar erros
- Exemplos
 - while (<exp>) <comandos>
 - id := <exp>

3

Análise sintática

■ 2 principais tipos

- Top-down ou descendente

- Da raiz para as folhas

<programa>



program p ...

- Bottom-up ou ascendente

- Das folhas para a raiz

<programa>

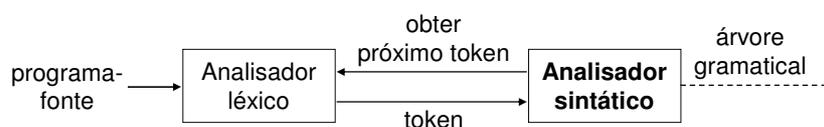


program p ...

4

Análise sintática

- Para análise eficiente, trabalha-se com uma **subclasse de gramáticas**
 - Suficientemente expressivas para descrever a maioria das linguagens de programação



5

Análise sintática descendente (ASD)

- Parte-se do símbolo inicial da gramática e tenta-se chegar às folhas
- **2 tipos**
 - ASD com retrocesso
 - ASD preditiva
 - Recursiva
 - Não recursiva

6

ASD com retrocesso

- Método de tentativa e erro
- Um dos primeiros métodos que surgiram
- Fácil de implementar manualmente
- Características
 - Exploratório: tenta todas as possibilidades
 - Ineficiente
- Funcionamento
 - A cada passo, escolhe uma regra e aplica
 - Se falhar em algum ponto, retrocede e escolhe uma outra regra
 - O processo termina quando a cadeia é reconhecida ou quando as regras se esgotaram e a cadeia não foi reconhecida

7

ASD com retrocesso

■ Exemplo

$$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle + \langle E \rangle \mid \langle T \rangle$$

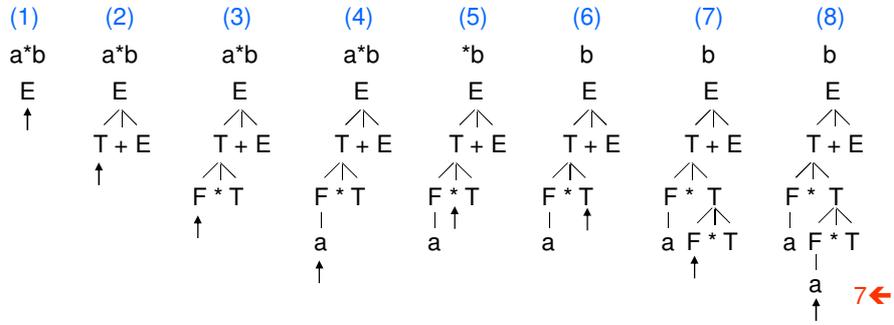
$$\langle T \rangle ::= \langle F \rangle^* \langle T \rangle \mid \langle F \rangle$$

$$\langle F \rangle ::= a \mid b \mid (\langle E \rangle)$$

Reconhecer a cadeia a^*b

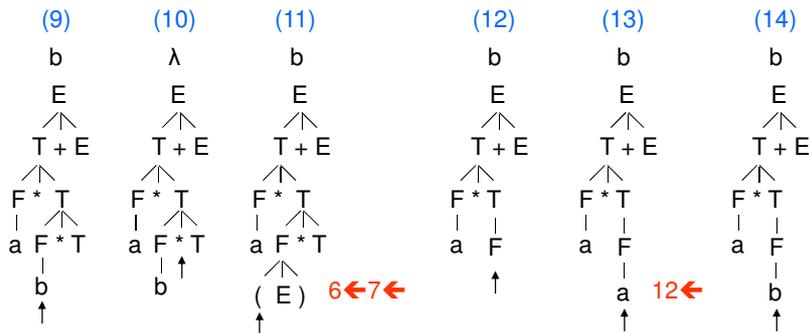
8

ASD com retrocesso



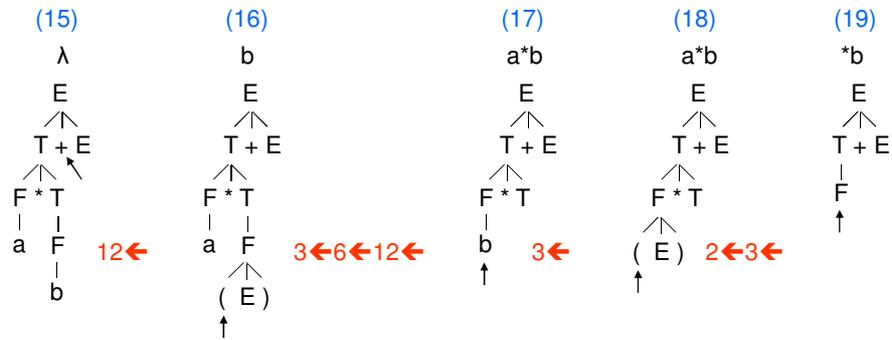
9

ASD com retrocesso



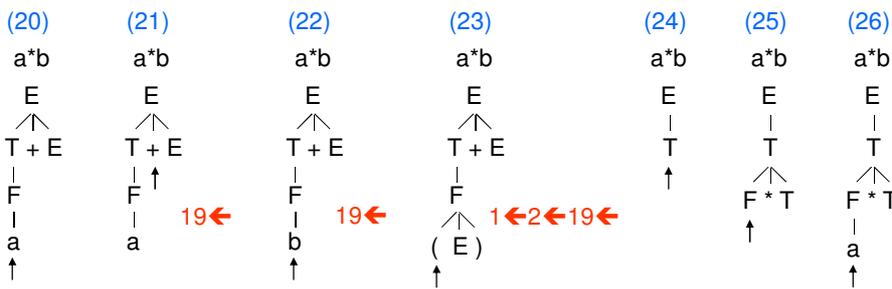
10

ASD com retrocesso



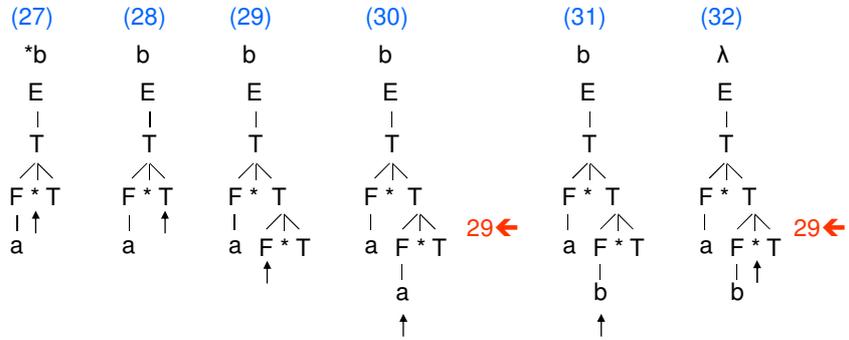
11

ASD com retrocesso



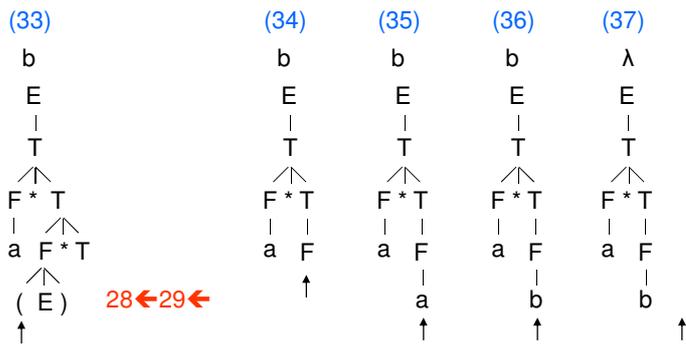
12

ASD com retrocesso



13

ASD com retrocesso



14

ASD com retrocesso

- O número de derivações pode ser uma função **exponencial** do tamanho da cadeia
- A **recursividade à esquerda não é permitida** nos métodos de ASD
 - O que acontece com a gramática abaixo?

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &::= \langle E \rangle + \langle T \rangle \mid \langle T \rangle \\ \langle T \rangle &::= \langle T \rangle * \langle F \rangle \mid \langle F \rangle \\ \langle F \rangle &::= a \mid b \mid (\langle E \rangle) \end{aligned}$$

15

ASD com retrocesso

- Se gramática recursiva à esquerda, deve-se eliminar essa recursividade
- Exemplo

$$\begin{array}{l} \langle E \rangle ::= \langle E \rangle \text{ op } \langle T \rangle \mid \langle T \rangle \\ \langle T \rangle ::= a \end{array} \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{l} \langle E \rangle ::= \langle T \rangle \text{ op } \langle E \rangle \mid \langle T \rangle \\ \langle T \rangle ::= a \end{array}$$

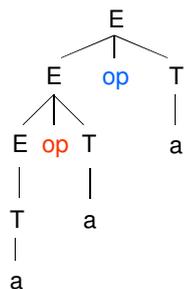
Recursão à esquerda eliminada?
Produzem a mesma cadeia?

16

ASD com retrocesso

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &::= \langle E \rangle \text{ op } \langle T \rangle \mid \langle T \rangle \longrightarrow \\ \langle T \rangle &::= a \end{aligned}$$

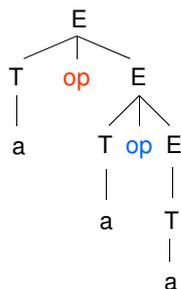
a op a op a



Precedência à esquerda!

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &::= \langle T \rangle \text{ op } \langle E \rangle \mid \langle T \rangle \\ \langle T \rangle &::= a \end{aligned}$$

a op a op a



Precedência à direita!

17

ASD

- A análise só é eficiente quando se **eliminam retrocessos**
 - Sabe-se de antemão qual regra aplicar
 - Além de não serem recursivas à esquerda, as gramáticas devem obedecer **duas restrições**
 - Os lados direitos das produções devem começar por terminais
 - Para um não terminal qualquer, não devem existir duas regras que comecem com um mesmo terminal
- Com isso, olhando o primeiro símbolo da entrada, sabe-se qual regra aplicar

18

ASD

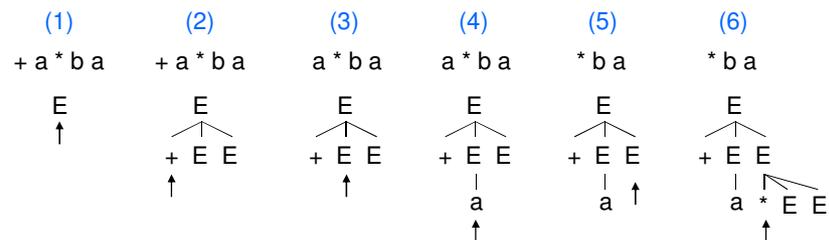
■ Exemplo

$$\langle E \rangle ::= a \mid b \mid * \langle E \rangle \langle E \rangle \mid + \langle E \rangle \langle E \rangle$$

Reconhecer a cadeia $+a^*ba$

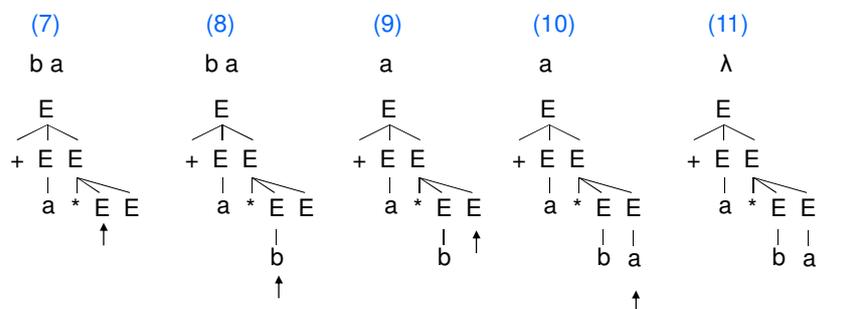
19

ASD



20

ASD



21

ASD

- Além de não serem recursivas à esquerda, as gramáticas devem obedecer duas restrições
 - O lado direito das produções devem começar por terminais
 - Para um não terminal qualquer, não devem existir duas regras que comecem com um mesmo terminal
- Restrição muito severa!
 - Generalização: podem existir não terminais começando os lados direitos das regras de um não terminal, mas seus conjuntos Primeiro devem ser disjuntos

22

ASD

■ Exemplo

$$\langle S \rangle ::= \langle A \rangle \langle S \rangle \mid \langle B \rangle \langle A \rangle$$

$$\langle A \rangle ::= a \langle B \rangle \mid \langle C \rangle$$

$$\langle B \rangle ::= b \langle A \rangle \mid d$$

$$\langle C \rangle ::= c$$

Quais os primeiros de cada não terminal? A gramática segue a restrição?

$$P(S) = P(A) \cup P(B) = \{a, c, b, d\}$$

$$P(A) = \{a\} \cup P(C) = \{a, c\}$$

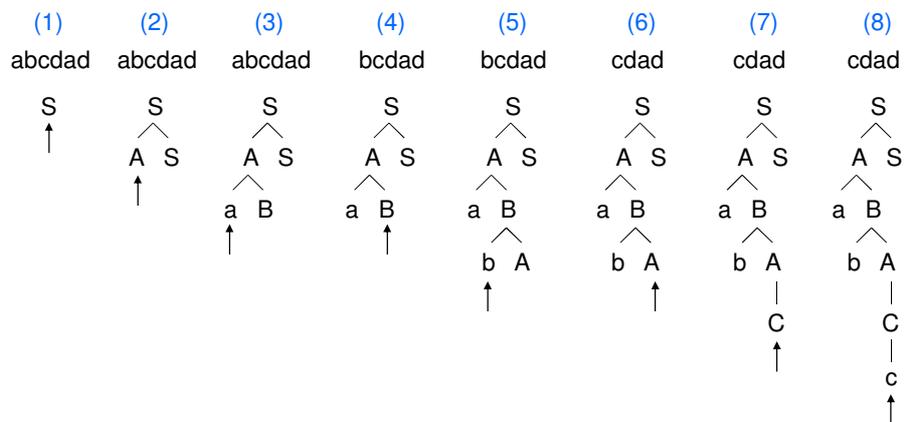
$$P(B) = \{b, d\}$$

$$P(C) = \{c\}$$

23

ASD

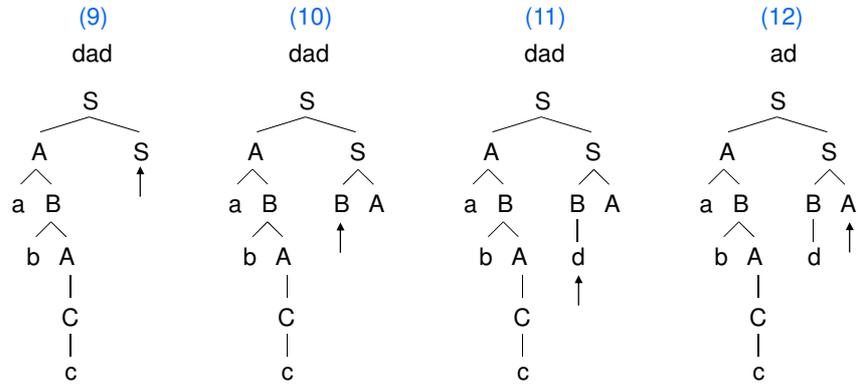
■ Reconhecer cadeia abcdad



24

ASD

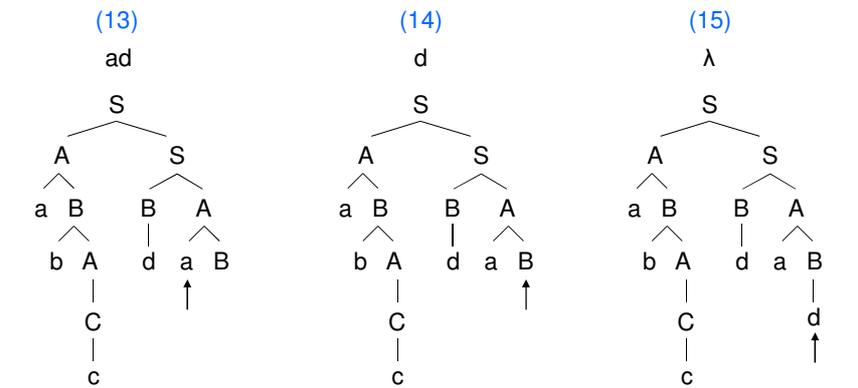
■ Reconhecer cadeia abcdad



25

ASD

■ Reconhecer cadeia abcdad



26

ASD

- As gramáticas que
 - Não são recursivas à esquerda
 - Para um não terminal, não possuem regras cujo lado direito comecem com o mesmo terminal

são chamadas gramáticas LL(1)

- *Left to right, Leftmost derivation*
- 1 único símbolo a frente para determinar qual regra aplicar

27

ASD

- ASD preditiva
- Dois métodos
 - ASD preditiva recursiva
 - ASD preditiva não recursiva

28

ASD preditiva recursiva

- Um **analisador sintático recursivo** é um conjunto de procedimentos possivelmente recursivos, um para cada não terminal a ser derivado
- Se se dispõe de uma gramática LL(1), pode-se usar tal método
 - Eficiência

29

ASD preditiva recursiva

Exemplo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle + \langle E \rangle \mid \langle T \rangle$
 $\langle T \rangle ::= \langle F \rangle^* \langle T \rangle \mid \langle F \rangle$
 $\langle F \rangle ::= a \mid b \mid (\langle E \rangle)$

```

procedimento E
begin
  T;
  se (símbolo='+') então
    obter_simbolo;
  E;
end
  
```

```

procedimento T
begin
  F;
  se (símbolo='*') então
    obter_simbolo;
  T;
end
  
```

```

procedimento ASD
begin
  obter_simbolo;
  E;
  se fim-de-cadeia OK
  senão ERRO
end
  
```

```

procedimento F
begin
  se (símbolo='(') então
    obter_simbolo;
  E;
  se (símbolo=')') então
    obter_simbolo
  senão ERRO;
  senão se (símbolo='a')
    ou (símbolo='b')
    então obter_simbolo
  senão ERRO;
end
  
```

30

ASD preditiva recursiva

Exemplo

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle + \langle E \rangle \mid \langle T \rangle$

$\langle T \rangle ::= \langle F \rangle^* \langle T \rangle \mid \langle F \rangle$

$\langle F \rangle ::= a \mid b \mid (\langle E \rangle)$

Testar com cadeia a+b

```

procedimento E
begin
  T;
  se (símbolo='+') então
    obter_simbolo;
  E;
end

```

```

procedimento T
begin
  F;
  se (símbolo='*') então
    obter_simbolo;
  T;
end

```

```

procedimento ASD
begin
  obter_simbolo;
  E;
  se fim-de-cadeia OK
  senão ERRO
end

```

```

procedimento F
begin
  se (símbolo='(') então
    obter_simbolo;
    E;
  se (símbolo=')') então
    obter_simbolo
  senão ERRO;
  senão se (símbolo='a')
    ou (símbolo='b')
  então obter_simbolo
  senão ERRO;
end

```

31

ASD preditiva recursiva

Método formal para gerar os procedimentos

- **Regras de transformação:** mapeamento das regras de um não terminal em grafos sintáticos
- **Regras de tradução:** mapeamento dos grafos em procedimentos

Exemplo

$\langle S \rangle ::= a \langle A \rangle d$

$\langle A \rangle ::= c \langle A \rangle \mid e \langle B \rangle$

$\langle B \rangle ::= f \mid g$

32

ASD preditiva recursiva

- $\langle S \rangle ::= a \langle A \rangle d$



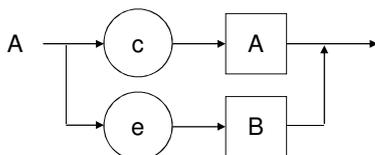
```

procedimento S
begin
  se (simbolo='a') então
    obter_simbolo;
    A;
  se (simbolo='d')
    então obter_simbolo
    senão ERRO;
  senão ERRO;
end
  
```

33

ASD preditiva recursiva

- $\langle A \rangle ::= c \langle A \rangle \mid e \langle B \rangle$



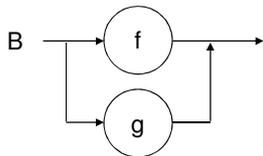
```

procedimento A
begin
  se (simbolo='c') então
    obter_simbolo;
    A;
  senão se (simbolo='e') então
    obter_simbolo
    B;
  senão ERRO;
end
  
```

34

ASD preditiva recursiva

- $\langle B \rangle ::= f \mid g$



```

procedimento B
begin
  se (simbolo='f') ou (simbolo='g')
  então obter_simbolo
  senão ERRO;
end
  
```

35

ASD preditiva recursiva

- Programa principal

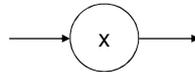
```

procedimento ASD
begin
  obter_simbolo;
  S;
  se (terminou_cadeia)
  então SUCESSO
  senão ERRO
end
  
```

36

ASD preditiva recursiva

- Regras de transformação
 - Regras gramaticais → grafos sintáticos
1. Toda regra é mapeada em um grafo
 2. Toda ocorrência de um terminal x em uma forma corresponde ao seu reconhecimento na cadeia de entrada e à leitura do próximo símbolo dessa cadeia



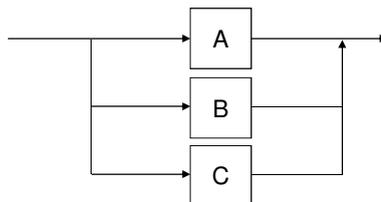
37

ASD preditiva recursiva

3. Toda ocorrência de um não-terminal A corresponde a análise imediata de A



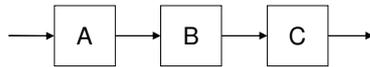
4. Alternativas são representadas como



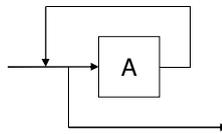
38

ASD preditiva recursiva

5. Uma seqüência A B C é mapeada em



6. A forma $\{A\}^*$ ou A^* é representada por



39

ASD preditiva recursiva

■ Exercício

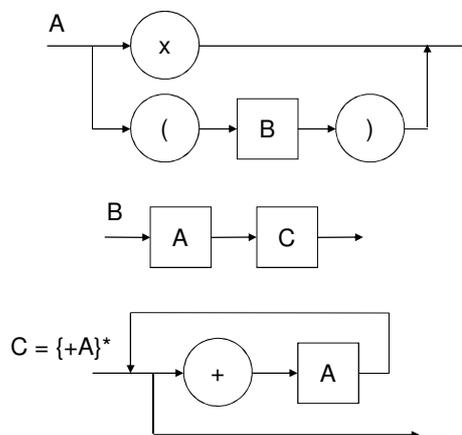
$\langle A \rangle ::= x \mid (\langle B \rangle)$
 $\langle B \rangle ::= \langle A \rangle \langle C \rangle$
 $\langle C \rangle ::= +\langle A \rangle \langle C \rangle \mid \lambda$

40

ASD preditiva recursiva

■ Exercício

$\langle A \rangle ::= x \mid (\langle B \rangle)$
 $\langle B \rangle ::= \langle A \rangle \langle C \rangle$
 $\langle C \rangle ::= +\langle A \rangle \langle C \rangle \mid \lambda$



41

ASD preditiva recursiva

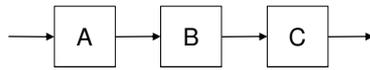
■ Regras de tradução

- Grafos sintáticos → procedimentos
1. Reduzir o número de grafos: união de grafos para maior simplicidade e eficiência
 - Bom senso!
 2. Escrever um procedimento para cada grafo

42

ASD preditiva recursiva

3. A seqüência



origina o procedimento

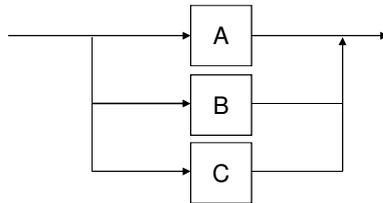
```

begin
    A;
    B;
    C;
end
  
```

43

ASD preditiva recursiva

4. A alternativa



origina o procedimento

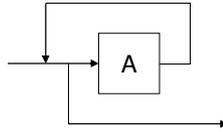
```

begin
    se (símbolo está em Primeiro(A)) então A
    senão se (símbolo está em Primeiro(B)) então B
    senão se (símbolo está em Primeiro(C)) então C
end
  
```

44

ASD preditiva recursiva

5. Uma repetição



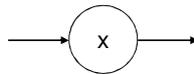
origina o procedimento

```
begin
    enquanto (símbolo está em Primeiro(A)) faça
        A;
end
```

45

ASD preditiva recursiva

6. O terminal



origina

```
begin
    se (símbolo=x)
        então obter_simbolo
        senão ERRO;
end
```

46

ASD preditiva recursiva

7. O não terminal



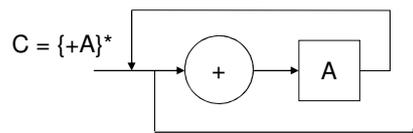
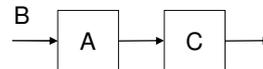
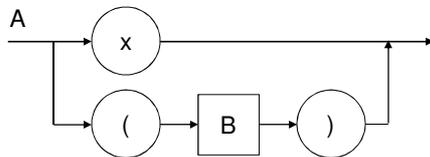
origina

```
begin
  A;
end
```

47

ASD preditiva recursiva

- Exercício: fazer o(s) procedimento(s) para os grafos sintáticos

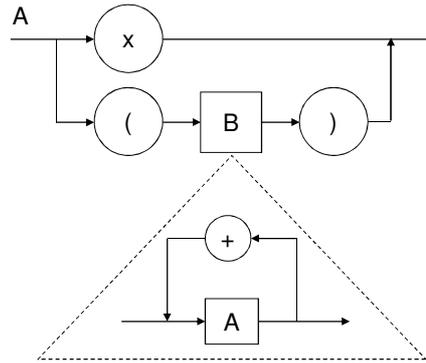


48

ASD preditiva recursiva

```

procedimento A
begin
  se (simbolo='x') então obter_simbolo
  senão se (simbolo='(') então
    faça
      obter_simbolo;
      A;
    até (simbolo<>'+' );
    se (simbolo=')')
      então obter_simbolo
      senão ERRO;
  senão ERRO;
end
  
```



49

ASD preditiva

- Operações para re-escrita de gramáticas para processamento pela ASD preditiva
 - Eliminação da recursividade direta à esquerda por re-escrita

$$\langle A \rangle ::= \langle A \rangle \alpha \mid \beta \quad \rightarrow \quad \begin{array}{l} \langle A \rangle ::= \beta \langle A' \rangle \\ \langle A' \rangle ::= \alpha \langle A' \rangle \mid \lambda \end{array}$$

Exemplo:

$$\begin{array}{l} \langle E \rangle ::= \langle E \rangle + \langle T \rangle \mid \langle T \rangle \\ \langle T \rangle ::= \langle T \rangle * \langle F \rangle \mid \langle F \rangle \\ \langle F \rangle ::= (\langle E \rangle) \mid \text{id} \end{array} \quad \rightarrow \quad \begin{array}{l} \langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle \\ \langle E' \rangle ::= + \langle T \rangle \langle E' \rangle \mid \lambda \\ \langle T \rangle ::= \langle F \rangle \langle T' \rangle \\ \langle T' \rangle ::= * \langle F \rangle \langle T' \rangle \mid \lambda \\ \langle F \rangle ::= (\langle E \rangle) \mid \text{id} \end{array}$$

50

ASD preditiva

- Eliminação da recursividade direta à esquerda por substituição

$$\langle E \rangle ::= \langle E \rangle + \langle T \rangle \mid \langle T \rangle \quad \rightarrow \quad \langle E \rangle ::= \langle T \rangle \{ + \langle T \rangle \}$$

51

ASD preditiva

- Fatoração à esquerda: eliminar regras com mesmo terminal em seus conjuntos primeiro

$$\langle A \rangle ::= \alpha \beta_1 \mid \alpha \beta_2 \quad \rightarrow \quad \begin{aligned} \langle A \rangle &::= \alpha \langle A' \rangle \\ \langle A' \rangle &::= \beta_1 \mid \beta_2 \end{aligned}$$

Regra: para cada não terminal A, achar o maior prefixo α em comum a duas ou mais alternativas; se há um prefixo em comum, então substituir a produção $\langle A \rangle ::= \alpha \beta_1 \mid \dots \mid \alpha \beta_n \mid \gamma$ (em que γ representa as alternativas que não começam por α) por

$$\begin{aligned} \langle A \rangle &::= \alpha \langle A' \rangle \mid \gamma \\ \langle A' \rangle &::= \beta_1 \mid \dots \mid \beta_n \end{aligned}$$

52

ASD preditiva

Exemplo

$$\begin{aligned} \langle S \rangle &::= i \langle E \rangle t \langle S \rangle \mid i \langle E \rangle t \langle S \rangle e \langle S \rangle \mid a \\ \langle E \rangle &::= b \end{aligned}$$


$$\begin{aligned} \langle S \rangle &::= i \langle E \rangle t \langle S \rangle \langle S' \rangle \mid a \\ \langle S' \rangle &::= e \langle S \rangle \mid \lambda \\ \langle E \rangle &::= b \end{aligned}$$

53

ASD preditiva

Atenção: recursividade indireta

$$\begin{aligned} \langle S \rangle &::= \langle A \rangle a \mid b \\ \langle A \rangle &::= \langle A \rangle c \mid \langle S \rangle d \mid \lambda \end{aligned}$$

$S \rightarrow Aa \rightarrow Sda$

RECURSÃO

54

ASD preditiva

- Reconhecimento da linguagem reconhecida pela gramática para posterior re-escrita da gramática

Gramática G \rightarrow L(G) \rightarrow Gramática G1

55

ASD preditiva

Exercício

- A gramática seguinte é LL(1)? Se não é, transforme-a

```

<S> ::= i<A>
<A> ::= :=<E>
<E> ::= <T> + <E> | <T>
<T> ::= <F> * <T> | <F>
<F> ::= <P> <F> | <P>
<P> ::= i | (<E>)
  
```

56

ASD preditiva

■ Exercício

- A gramática seguinte é LL(1)? Se não é, transforme-a

$\begin{aligned} \langle S \rangle &::= i \langle A \rangle \\ \langle A \rangle &::= \langle E \rangle \\ \langle E \rangle &::= \langle T \rangle + \langle E \rangle \mid \langle T \rangle \\ \langle T \rangle &::= \langle F \rangle * \langle T \rangle \mid \langle F \rangle \\ \langle F \rangle &::= \langle P \rangle \langle F \rangle \mid \langle P \rangle \\ \langle P \rangle &::= i \mid (\langle E \rangle) \end{aligned}$		$\begin{aligned} \langle S \rangle &::= i \langle A \rangle \\ \langle A \rangle &::= \langle E \rangle \\ \langle E \rangle &::= \langle T \rangle \langle E' \rangle \\ \langle E' \rangle &::= + \langle E \rangle \mid \lambda \\ \langle T \rangle &::= \langle F \rangle \langle T' \rangle \\ \langle T' \rangle &::= * \langle T \rangle \mid \lambda \\ \langle F \rangle &::= \langle P \rangle \langle X \rangle \\ \langle X \rangle &::= \langle F \rangle \mid \lambda \\ \langle P \rangle &::= i \mid (\langle E \rangle) \end{aligned}$
--	---	--

57

Exercício

- Passo 1: a gramática é LL(1)? Se não, transforme-a

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &::= \langle T \rangle + \langle E \rangle \mid \langle T \rangle \\ \langle T \rangle &::= a \mid b \end{aligned}$$

58

Exercício

- Passo 1: a gramática é LL(1)? Se não, transforme-a

$$\begin{array}{l}
 \langle E \rangle ::= \langle T \rangle + \langle E \rangle \mid \langle T \rangle \\
 \langle T \rangle ::= a \mid b
 \end{array}
 \quad \longrightarrow \quad
 \begin{array}{l}
 \langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle \\
 \langle E' \rangle ::= + \langle E \rangle \mid \lambda \\
 \langle T \rangle ::= a \mid b
 \end{array}$$

59

Exercício

- Passo 2: construa os grafos sintáticos

$$\begin{array}{l}
 \langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle \\
 \langle E' \rangle ::= + \langle E \rangle \mid \lambda \\
 \langle T \rangle ::= a \mid b
 \end{array}$$

60

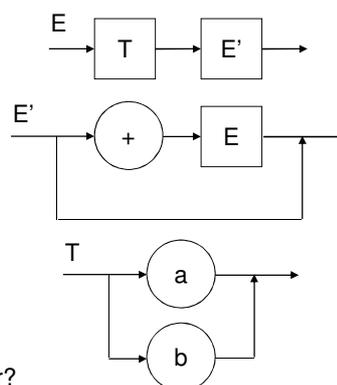
Exercício

- Passo 2: construa os grafos sintáticos

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$

$\langle E' \rangle ::= + \langle E \rangle \mid \lambda$

$\langle T \rangle ::= a \mid b$



É possível reduzir?

61

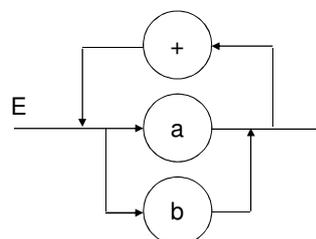
Exercício

- Passo 2: construa os grafos sintáticos

$\langle E \rangle ::= \langle T \rangle \langle E' \rangle$

$\langle E' \rangle ::= + \langle E \rangle \mid \lambda$

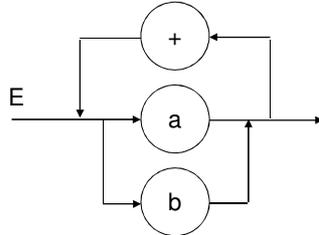
$\langle T \rangle ::= a \mid b$



62

Exercício

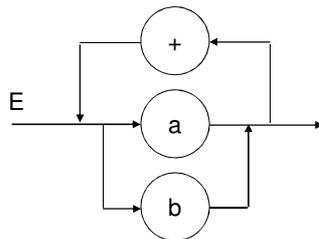
- Passo 3: construa o programa principal e o procedimento para E



63

Exercício

- Passo 3: construa o programa principal e o procedimento para E



```

procedimento ASD
begin
  obter_próximo();
  E();
  se (terminou_cadeia) então SUCESSO
  senão ERRO;
end
  
```

```

procedimento E
begin
  se (símbolo='a') ou (símbolo='b') então
    obter_próximo()
  senão ERRO;
  enquanto (símbolo='+') faça
    obter_próximo();
    se (símbolo='a') ou (símbolo='b') então
      obter_próximo()
    senão ERRO;
  end
end
  
```

64

ASD preditiva

■ Exercícios

- A gramática da LALG é LL(1)? Se não é, transforme-a

65

Exercício

- Construa o(s) grafo(s) (em número reduzido) e o(s) procedimento(s) recursivo(s) para declaração de variáveis na LALG

66