

# Construção de Compiladores

## Período Especial

### Aula 19: Construção das Tabelas

Bruno Müller Junior

Departamento de Informática  
UFPR

2020



- Para entender o algoritmo de construção da tabela de desvios, é necessário primeiro entender três conceitos:
  - Estado
  - Transição
  - Item

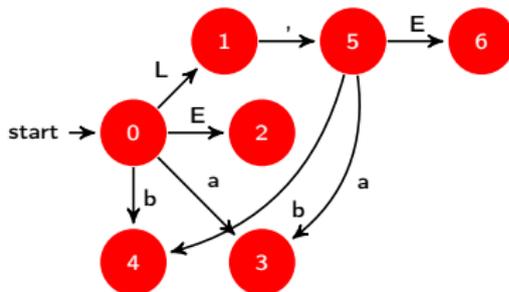






# Transição

- Mudança de um estado para outro;
  - Usando token:  $T(1, ", ") = 5$
  - Usando árvore não rotulada:  $T(5, E) = 6$



# Item

- Cada estado indica:
  - 1 a configuração atual da floresta, e
  - 2 o que falta para completar uma produção;
- item: representação das configurações possíveis em um estado.
- Utiliza o símbolo ● para separar a floresta já construída do que falta para completar uma produção;

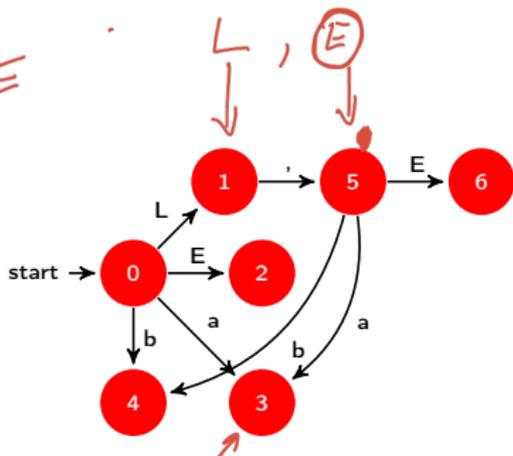
Exemplos:

- $[L \rightarrow L \bullet, E] \in 1$
- $[L \rightarrow E \bullet] \in 2, 6$
- $[E \rightarrow \bullet a] \in (5, 0)$
- $[E \rightarrow a \bullet] \in 3$

Um estado pode representar um conjunto de itens:

- $5: \{[E \rightarrow \bullet a], [E \rightarrow \bullet b], [E \rightarrow \bullet E]\}$

$L \rightarrow L, E$   
 $L \rightarrow E$   
 $E \rightarrow a$



$E \rightarrow \bullet a$   
 $E \rightarrow \bullet b$   
 $E \rightarrow \bullet E$   
~~~~~

















# Algoritmo Tabela de Desvios

- 1 Criar a tabela onde cada coluna é um elemento da gramática;
- 2 Aumentar a gramática;
- 3 Criar estado zero a partir do estado aumentado.
- 4 Para cada estado  $e_x$ , faça:
  - 1 Aplicar fecho;
  - 2 Para cada símbolo  $Y$  faça:
    - 1  $e_{temp} = \text{Transfere}(e_x, Y)$ ;
    - 2 Se  $e_{temp}$  já existe, desconsiderar;



# Criar a Tabela

- Dada a gramática  $G$ , monta-se a tabela de desvios com número desconhecido de linhas. As colunas contém os símbolos (variáveis+tokens) da gramática.

$$G = \{ L \rightarrow L, E \text{ (1)}$$

$$L \rightarrow E \text{ (2)}$$

$$E \rightarrow a \text{ (3)}$$

$$E \rightarrow b \text{ (4)}$$

| Tabela de Desvios |             |
|-------------------|-------------|
|                   | L E a b , # |
| 0                 |             |
| 1                 |             |
| 2                 |             |
| 3                 |             |
| 4                 |             |
| 5                 |             |
| 6                 |             |



# Aumentar a gramática

$$G = \{L' \rightarrow L\#$$

$$L \rightarrow L, E \textcircled{1}$$

$$L \rightarrow E \textcircled{2}$$

$$E \rightarrow a \textcircled{3}$$

$$E \rightarrow b \textcircled{4}$$

| Tabela de Desvios |             |
|-------------------|-------------|
|                   | L E a b , # |
| 0                 |             |
| 1                 |             |
| 2                 |             |
| 3                 |             |
| 4                 |             |
| 5                 |             |
| 6                 |             |



# Criar estado $e_0$

$$e_0 = [L' \rightarrow \bullet L\#]$$

| Tabela de Desvios |             |
|-------------------|-------------|
|                   | L E a b , # |
| 0                 |             |
| 1                 |             |
| 2                 |             |
| 3                 |             |
| 4                 |             |
| 5                 |             |
| 6                 |             |



# Aplicar Fecho

- O fecho é obtido ao incluir no estado corrente todos os itens deriváveis a partir do  $\bullet$ .

$$\begin{aligned}
 e_0 &= [L' \rightarrow \bullet L \#] \\
 &\quad [L \rightarrow \bullet L, E][L \rightarrow \bullet E] \\
 &\quad [E \rightarrow \bullet a][E \rightarrow \bullet b]
 \end{aligned}$$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 |   |   |   |   |   |   |
| 1                 |   |   |   |   |   |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   |   |   |   |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |



## Criar novos estados

- Novos estados são obtidos aplicando a função Transfere.
- A ordem que vamos adotar é a indicada na tabela de desvios.

$$e_0 = \{ [L' \rightarrow \bullet L \#], [L \rightarrow \bullet L, E] [L \rightarrow \bullet E], [E \rightarrow \bullet a] [E \rightarrow \bullet b] \}$$

- $T(e_0, L) = \{ [L' \rightarrow L \bullet \#], [L \rightarrow L \bullet, E] \}$
- Como não existe estado com estes itens, deve ser criado um novo, e indicado na tabela de desvios.
- $e_1 = \{ [L' \rightarrow L \bullet \#], [L \rightarrow L \bullet, E] \}$

|   | L | E | a | b | , | # |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 |   |   |   |   |   |
| 1 |   |   |   |   |   |   |
| 2 |   |   |   |   |   |   |
| 3 |   |   |   |   |   |   |
| 4 |   |   |   |   |   |   |
| 5 |   |   |   |   |   |   |
| 6 |   |   |   |   |   |   |



## Demais Transições de $e_0$

$$e_0 = \{ [L' \rightarrow \bullet L \#] \\ [L \rightarrow \bullet L, E] [L \rightarrow \bullet E] \\ [E \rightarrow \bullet a] [E \rightarrow \bullet b] \}$$

- $T(e_0, E) = \{ [L \rightarrow \bullet E] \} = e_2$
- $T(e_0, a) = \{ [E \rightarrow a \bullet] \} = e_3$
- $T(e_0, b) = \{ [E \rightarrow b \bullet] \} = e_4$
- $T(e_0, ,) = \emptyset$
- $T(e_0, \#) = \emptyset$

|   | L | E | a | b | , | # |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1 |   |   |   |   |   |   |
| 2 |   |   |   |   |   |   |
| 3 |   |   |   |   |   |   |
| 4 |   |   |   |   |   |   |
| 5 |   |   |   |   |   |   |
| 6 |   |   |   |   |   |   |



# Transições de $e_1$

$$e_1 = \{[L' \rightarrow L \bullet \#]$$

$$[L \rightarrow L \bullet, E]\}$$

- $T(e_1, E) = \emptyset$
- $T(e_1, a) = \emptyset$
- $T(e_1, b) = \emptyset$
- $T(e_1, \cdot) = \{[L \rightarrow L, \bullet E]\} = e_5$   
 $e_5 = \text{Fecho}(e_5) = \{[L \rightarrow L, \bullet E],$   
 $[E \rightarrow \bullet a], [E \rightarrow \bullet b]\}$
- $T(e_1, \#) = \emptyset$  (não faz sentido "ultrapassar" o fim de arquivo.)

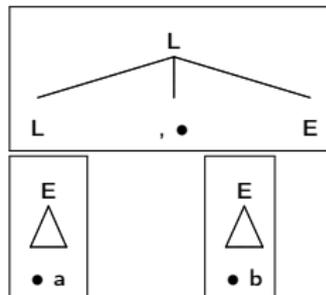
|   | L | E | a | b | , | # |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2 |   |   |   |   |   |   |
| 3 |   |   |   |   |   |   |
| 4 |   |   |   |   |   |   |
| 5 |   |   |   |   |   |   |
| 6 |   |   |   |   |   |   |



## Análise de $e_5$

- O estado  $e_5$  é composto por uma série de itens. Observe o que ele representa graficamente.
- A árvore de  $E$  pode derivar para  $E \rightarrow a$  ou  $E \rightarrow b$ .
- Com isso, as entradas  $a$  e  $b$  são válidas para  $e_5$ , enquanto que  $,$  ou  $\#$  não são.

$$e_5 = \{ [L \rightarrow L, \bullet E], \\ [E \rightarrow \bullet a], \\ [E \rightarrow \bullet b] \}$$





# Transições de $e_2$

$$e_2 = \{[L \rightarrow E \bullet]\}$$

- $T(e_2, E) = \emptyset$
- $T(e_2, a) = \emptyset$
- $T(e_2, b) = \emptyset$
- $T(e_2, ,) = \emptyset$
- $T(e_2, \#) = \emptyset$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1                 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   |   |   |   |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |



# Transições de $e_3$

$$e_3 = \{[L \rightarrow a \bullet]\}$$

- $T(e_3, E) = \emptyset$
- $T(e_3, a) = \emptyset$
- $T(e_3, b) = \emptyset$
- $T(e_3, ,) = \emptyset$
- $T(e_3, \#) = \emptyset$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1                 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   |   |   |   |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |



# Transições de $e_4$

$$e_4 = \{[E \rightarrow b\bullet]\}$$

- $T(e_4, E) = \emptyset$
- $T(e_4, a) = \emptyset$
- $T(e_4, b) = \emptyset$
- $T(e_4, ,) = \emptyset$
- $T(e_4, \#) = \emptyset$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1                 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   |   |   |   |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |



# Transições de $e_5$

$$e_5 = \{[L \rightarrow L, \bullet E], \\ [E \rightarrow \bullet a], \\ [E \rightarrow \bullet b]\}$$

- $T(e_5, E) = \{[L \rightarrow L, E\bullet]\} = e_6$
- $T(e_5, a) = \{[E \rightarrow a\bullet]\} = e_3$
- $T(e_5, b) = \{[E \rightarrow b\bullet]\} = e_4$
- $T(e_5, ,) = \emptyset$
- $T(e_5, \#) = \emptyset$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1                 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   | 6 | 3 | 4 |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |



# Transições de $e_6$

$$e_6 = \{[L \rightarrow L, E\bullet]\}$$

- $T(e_6, E) = \emptyset$
- $T(e_6, a) = \emptyset$
- $T(e_6, b) = \emptyset$
- $T(e_6, ,) = \emptyset$
- $T(e_6, \#) = \emptyset$

|   | L | E | a | b | , | # |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2 |   |   |   |   |   |   |
| 3 |   |   |   |   |   |   |
| 4 |   |   |   |   |   |   |
| 5 |   | 6 | 3 | 4 |   |   |
| 6 |   |   |   |   |   |   |



## Tabela de Ações

- A tabela de ações indica qual ação o algoritmo deve executar quando encontrar um token.
- Por esta razão, ela não está definida para as variáveis.
- São quatro ações: empilha, Reduz, Aceita e Erro.

# Tabela de Ações

- Para cada estado  $e_x$ , faça:
  - 1 Se houver um item do tipo  $[A \rightarrow \alpha \bullet a\beta]$  então coloque um “empilha” na interseção de  $e_x$  com  $a$ .
  - 2 Se houver um item do tipo  $[A \rightarrow \alpha \bullet]$  então coloque um “reduz” (com o número da produção correspondente) em toda linha de  $e_x$ .
  - 3 Se houver um item do tipo  $[A \rightarrow \alpha \bullet \#]$  então coloque um “aceita” na interseção de  $x$  com  $\#$ .

Ações de  $e_0$ 

$$e_0 = [L' \rightarrow \bullet L\#]$$

$$[L \rightarrow \bullet L, E]$$

$$[L \rightarrow \bullet E]$$

$$[E \rightarrow \bullet a]$$

$$[E \rightarrow \bullet b]$$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1                 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   | 6 | 3 | 4 |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |

| Tabela de Ações |   |   |   |   |
|-----------------|---|---|---|---|
|                 | a | b | , | # |
| 0               |   | e | e |   |
| 1               |   |   |   |   |
| 2               |   |   |   |   |
| 3               |   |   |   |   |
| 4               |   |   |   |   |
| 5               |   |   |   |   |
| 6               |   |   |   |   |

Ações de  $e_1$ 

$$e_1 = \{[L' \rightarrow L \bullet \#]$$

$$[L \rightarrow L \bullet, E]\}$$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1                 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   | 6 | 3 | 4 |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |

| Tabela de Ações |   |   |     |
|-----------------|---|---|-----|
|                 | a | b | #   |
| 0               | e | e |     |
| 1               |   |   | e A |
| 2               |   |   |     |
| 3               |   |   |     |
| 4               |   |   |     |
| 5               |   |   |     |
| 6               |   |   |     |

Ações de  $e_2$ 

$$e_2 = \{[L \rightarrow E \bullet]\}$$

$$G = \{L \rightarrow L, E \textcircled{1}\}$$

$$L \rightarrow E \textcircled{2}$$

$$E \rightarrow a \textcircled{3}$$

$$E \rightarrow b \textcircled{4}$$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1                 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   | 6 | 3 | 4 |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |

| Tabela de Ações |   |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|
|                 | a | b     | ,     | #     |
| 0               | e | e     |       |       |
| 1               |   |       | e     | A     |
| 2               |   | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ |
| 3               |   |       |       |       |
| 4               |   |       |       |       |
| 5               |   |       |       |       |
| 6               |   |       |       |       |

Ações de  $e_3$ 

$$e_3 = \{[E \rightarrow a\bullet]\}$$

$$G = \{L \rightarrow L, E \textcircled{1}\}$$

$$L \rightarrow E \textcircled{2}$$

$$E \rightarrow a \textcircled{3}$$

$$E \rightarrow b \textcircled{4}$$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1                 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   | 6 | 3 | 4 |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |

| Tabela de Ações |   |       |       |       |
|-----------------|---|-------|-------|-------|
|                 | a | b     | ,     | #     |
| 0               | e | e     |       |       |
| 1               |   |       | e     | A     |
| 2               |   | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ |
| 3               |   | $R_3$ | $R_3$ | $R_3$ |
| 4               |   |       |       |       |
| 5               |   |       |       |       |
| 6               |   |       |       |       |

Ações de  $e_4$ 

$$e_4 = \{[E \rightarrow b\bullet]\}$$

$$G = \{L \rightarrow L, E \textcircled{1}\}$$

$$L \rightarrow E \textcircled{2}$$

$$E \rightarrow a \textcircled{3}$$

$$E \rightarrow b \textcircled{4}$$

|   | L | E | a | b | , | # |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2 |   |   |   |   |   |   |
| 3 |   |   |   |   |   |   |
| 4 |   |   |   |   |   |   |
| 5 |   | 6 | 3 | 4 |   |   |
| 6 |   |   |   |   |   |   |

|   | a     | b     | ,     | #     |
|---|-------|-------|-------|-------|
| 0 | e     | e     |       |       |
| 1 |       |       | e     | A     |
| 2 | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ |
| 3 | $R_3$ | $R_3$ | $R_3$ | $R_3$ |
| 4 | $R_4$ | $R_4$ | $R_4$ | $R_4$ |
| 5 |       |       |       |       |
| 6 |       |       |       |       |

Ações de  $e_5$ 

$$e_5 = \{ [L \rightarrow L, \bullet E], \\ [E \rightarrow \bullet a], \\ [E \rightarrow \bullet b] \}$$

$$G = \{ L \rightarrow L, E \text{ (1)} \\ L \rightarrow E \text{ (2)} \\ E \rightarrow a \text{ (3)} \\ E \rightarrow b \text{ (4)} \}$$

| Tabela de Desvios |   |   |   |   |   |   |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|
|                   | L | E | a | b | , | # |
| 0                 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1                 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2                 |   |   |   |   |   |   |
| 3                 |   |   |   |   |   |   |
| 4                 |   |   |   |   |   |   |
| 5                 |   | 6 | 3 | 4 |   |   |
| 6                 |   |   |   |   |   |   |

| Tabela de Ações |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|                 | a     | b     | ,     | #     |
| 0               | e     | e     |       |       |
| 1               |       |       | e     | A     |
| 2               | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ |
| 3               | $R_3$ | $R_3$ | $R_3$ | $R_3$ |
| 4               | $R_4$ | $R_4$ | $R_4$ | $R_4$ |
| 5               | e     | e     |       |       |
| 6               |       |       |       |       |

Ações de  $e_6$ 

$$e_6 = \{[L \rightarrow L, E \bullet]\}$$

$$G = \{L \rightarrow L, E \textcircled{1}\}$$

$$L \rightarrow E \textcircled{2}$$

$$E \rightarrow a \textcircled{3}$$

$$E \rightarrow b \textcircled{4}$$

|   | L | E | a | b | , | # |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |   |   |
| 1 |   |   |   |   | 5 |   |
| 2 |   |   |   |   |   |   |
| 3 |   |   |   |   |   |   |
| 4 |   |   |   |   |   |   |
| 5 |   | 6 | 3 | 4 |   |   |
| 6 |   |   |   |   |   |   |

|   | a     | b     | ,     | #     |
|---|-------|-------|-------|-------|
| 0 | e     | e     |       |       |
| 1 |       |       | e     | A     |
| 2 | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ |
| 3 | $R_3$ | $R_3$ | $R_3$ | $R_3$ |
| 4 | $R_4$ | $R_4$ | $R_4$ | $R_4$ |
| 5 | e     | e     |       |       |
| 6 | $R_1$ | $R_1$ | $R_1$ | $R_1$ |



## Representação Alternativa

- Muitos textos usam a notação abaixo;
- Observe que na primeira coluna, “ $e_x$ ” indica o estado  $X$ .
- Sem cores, é menos intuitivo dizer se “ $e_x$ ” de dentro da tabela significa estado  $X$  ou empilha e vai para estado  $X$ .
- Em inglês não melhora muito (state  $X$ ) (shift and goto  $X$ ).

| Tabela de Desvios |   |   |       |       |       |       |
|-------------------|---|---|-------|-------|-------|-------|
|                   | L | E | a     | b     | ,     | #     |
| e0                | 1 | 2 | e3    | e4    |       |       |
| e1                |   |   |       |       | e5    |       |
| e2                |   |   | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ | $R_2$ |
| e3                |   |   | $R_3$ | $R_3$ | $R_3$ | $R_3$ |
| e4                |   |   | $R_4$ | $R_4$ | $R_4$ | $R_4$ |
| e5                |   | 6 | e3    | e4    |       |       |
| e6                |   |   | $R_1$ | $R_1$ | $R_1$ | $R_1$ |



- Página para anotações

# Licença

- Slides desenvolvidos somente com software livre:
  - $\text{\LaTeX}$  usando beamer;
  - Inkscape.
- Licença:
  - Creative Commons Atribuição-Usos Não-Comerciais-Vedada a Criação de Obras Derivadas 2.5 Brasil License. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/br/>

