

Construção de Compiladores

Período Especial

Aula 19: Construção das Tabelas

Bruno Müller Junior

Departamento de Informática
UFPR

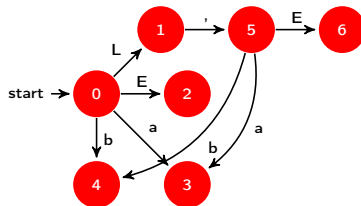
2020



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

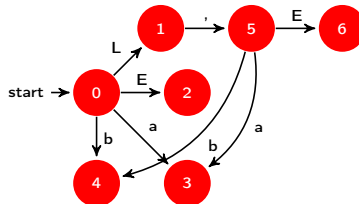
Estado

- Cada estado indica:
 - 1 a configuração atual da floresta, e
 - 2 o que falta para completar uma produção;
- Exemplos: Estado 1
 - Árvore “L” na floresta;
 - Aguarda token “,”



Estado

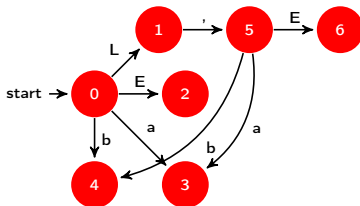
- Exemplos: Estado 5
 - Árvores “L” e “,” na floresta;
 - Aguarda token “a”, “b” ou árvore “E” (redução de “a” ou “b”);
- Exemplos: Estado 4
 - Recebeu token “b”;





Transição

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



Item

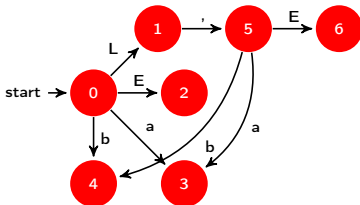
- Cada estado indica:
 - 1 a configuração atual da floresta, e
 - 2 o que falta para completar uma produção;
- item: representação das configurações possíveis em um estado.
- Utiliza o símbolo ● para separar a floresta já construída do que falta para completar uma produção;

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



- Cada produção tem vários itens.
- Por exemplo, a produção $L \rightarrow L, E$ tem os seguintes itens:

$$\begin{aligned} \{L &\rightarrow [\bullet L, E] \\ L &\rightarrow [L\bullet, E] \\ E &\rightarrow [L, \bullet E] \\ E &\rightarrow [L, E\bullet]\} \end{aligned}$$

- Observe que cada item apresenta exatamente um \bullet .
- Isto permite calcular quantos itens tem cada produção;

- Na gramática G abaixo estão indicados o número de itens em cada produção.

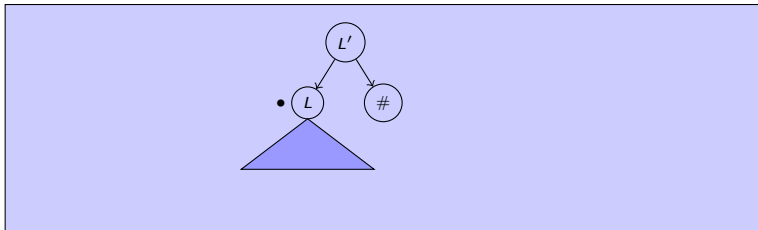
$$\begin{aligned}
 G = \{ & L' \rightarrow L\#(3) \\
 & L \rightarrow L, E(4) \\
 & L \rightarrow E(2) \\
 & E \rightarrow a(2) \\
 & E \rightarrow b(2)
 \end{aligned}$$

- Existem $3 + 4 + 2 + 2 + 2 = 13$ itens;

- Cada estado representa um conjunto de itens;
- Conjunto no sentido matemático:
 - $E_1 = \{[E \rightarrow \bullet a], [E \rightarrow \bullet b], [E \rightarrow \bullet E]\}$
 - $E_2 = \{[E \rightarrow \bullet E], [E \rightarrow \bullet a], [E \rightarrow \bullet b]\}$
 - então E_1 e E_2 SÃO O MESMO ESTADO!
- Existem 2^{13} formas diferentes de combinar estes itens (ou seja, 2^{13} conjuntos de itens).
- Alguns destes conjuntos são os estados do grafo.

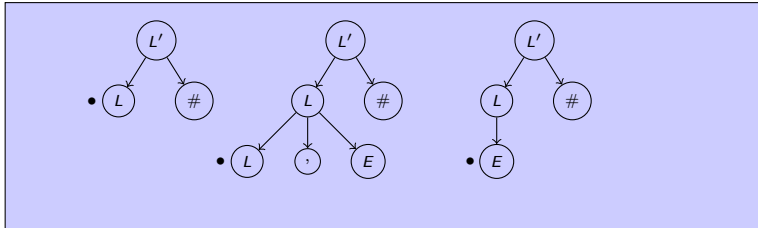
Fecho transitivo de itens

- A construção do conjunto de itens válidos para cada estado (e as transições entre eles) é feita a partir de um item inicial daquele estado.
- Item inicial do estado 0: $[L' \rightarrow \bullet L\#]$.
- Graficamente (o triângulo representa todas as derivações de L):



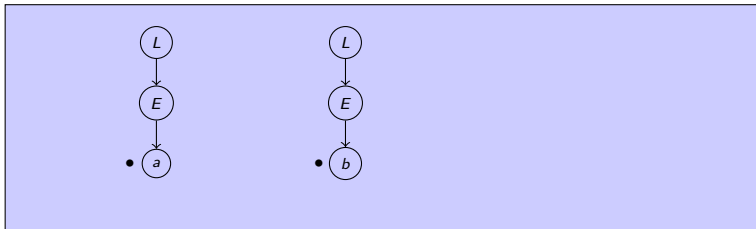
Fecho transitivo de itens

- Observe que o \bullet mostra que todas as derivações possíveis a partir de L também são válidas, ou seja, no triângulo de L podem ser encaixados os seguintes itens: $[L \rightarrow \bullet L, E]$, $[L \rightarrow \bullet E\#]$.



Fecho transitivo de itens

- Observe que o ● mostra que todas as derivações possíveis a partir de L são válidas, INCLUSIVE as produções de E , onde podem ser encaixados os seguintes itens: $[E \rightarrow \bullet a]$, $[E \rightarrow \bullet b\#]$
- Visualmente:



Fecho transitivo de itens

- Este processo é conhecido como “aplicar o fecho”:
 - para cada item da forma $[A \rightarrow \alpha \bullet B\beta]$
 - inclua todas as itens onde $[B \rightarrow \bullet \gamma]$
 - Neste caso, teremos:

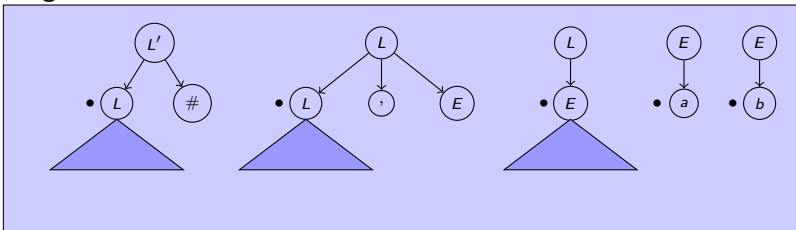
$$\begin{aligned}
 \text{original} : e_0 &= \{ [L' \rightarrow \bullet L\#] \} \\
 \text{fecho}(e_0, L) : e_0 &= \{ [L' \rightarrow \bullet L\#], \\
 & [L \rightarrow \bullet L, E], [L \rightarrow \bullet E] \} \\
 \text{fecho}(e_0, E) : e_0 &= \{ [L' \rightarrow \bullet L\#], \\
 & [L \rightarrow \bullet L, E], [L \rightarrow \bullet E], \\
 & [E \rightarrow \bullet a], [E \rightarrow \bullet b] \}
 \end{aligned}$$

Fecho transitivo de itens

- Após o fecho, o estado e_0 é composto pelos itens:

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

- ou graficamente:



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 .

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

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

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

Tabela de Desvios						
	L	E	a	b	,	#
0						
1						
2						
3						
4						
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

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

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

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



Transições de e_1

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

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

- $T(e_1, E) = \emptyset$
- $T(e_0, a) = \emptyset$
- $T(e_0, b) = \emptyset$
- $T(e_0, \cdot) = \{[L \rightarrow L, \bullet E]\} = e_5$
 $e_5 = \text{Fecho}(e_5) = \{[L \rightarrow L, \bullet E],$
 $[E \rightarrow \bullet a], [E \rightarrow \bullet b]\}$
- $T(e_0, \#) = \emptyset$ (não faz sentido "ultrapassar" o fim de arquivo).

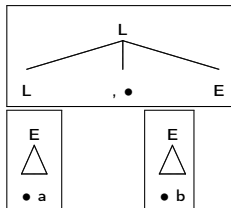
	L	E	a	b	,	#
0	1	2	3	4		
1					5	
2						
3						
4						
5						
6						



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

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

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

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

Tabela de desvios: Automato com itens

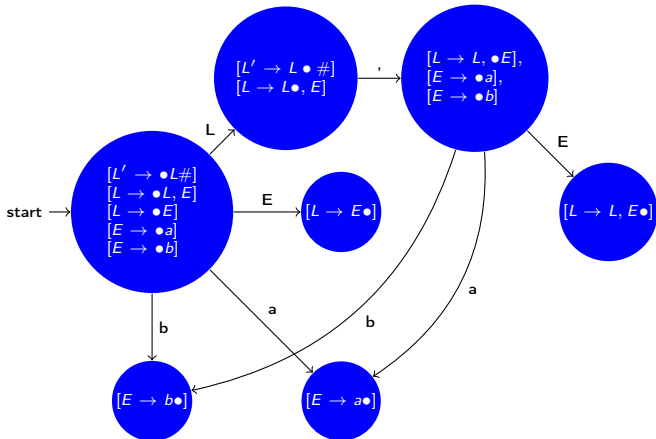


Tabela de Ações

- 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

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

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

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

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

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

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				
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:
 - \LaTeX usando beamer;
 - Inkscape.
- Licença:
 - Creative Commons Atribuição-Usa Não-Comercial-Vedada a Criação de Obras Derivadas 2.5 Brasil License. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/br/>