

1. (6 pontos) Considere a seguinte gramática, em que  $\Sigma = \{a, b, c\}$ :

$$\begin{aligned} E &\rightarrow SE \mid a \\ S &\rightarrow bS \mid cS \mid \lambda \end{aligned}$$

- (a) (1 ponto) Encontre os conjuntos FIRST e FOLLOW para cada um dos não-terminais da gramática.  
 (b) (1 ponto) Construa a tabela LL(1) para a gramática. Essa gramática é LL(1)?  
 (c) (2 pontos) Apresente o conjunto de itens LR(0) para esta gramática.  
 (d) (2 pontos) Apresenta a tabela SLR para esta gramática.
2. (4 pontos) Considere a seguinte gramática que denota a sintaxe abstrata de uma linguagem simples de expressões, em que  $n$ ,  $x$  e  $b$  são representam constantes numéricas, variáveis e valores booleanos, respectivamente. Operadores aritméticos e lógicos possuem seu significado usual.

$$\begin{aligned} e &\rightarrow n \mid x \mid b \mid e + e \mid e \times e \mid e \wedge e \mid e = e \\ b &\rightarrow \text{true} \mid \text{false} \\ v &\rightarrow n \mid b \\ \tau &\rightarrow N \mid B \\ \Gamma &\rightarrow \emptyset \mid \Gamma, x : \tau \end{aligned}$$

Expressões desta linguagem podem possuir o tipo numérico (representado por  $N$ ) ou o tipo booleano, representado por  $B$ . A verificação semântica é expressa por regras para deduzir  $\Gamma \vdash e : \tau$ , que denota que a expressão  $e$  possui o tipo  $\tau$  considerando as suposições de tipos para variáveis presentes em  $\Gamma$ . A notação  $\Gamma(x) = \tau$  representa que  $x : \tau \in \Gamma$ . As regras de verificação semântica desta linguagem são como se segue:

$$\begin{array}{c} \frac{}{\Gamma \vdash n : N} \quad \frac{}{\Gamma \vdash b : B} \quad \frac{\Gamma(x) = \tau}{\Gamma \vdash x : \tau} \\[10pt] \frac{\Gamma \vdash e_1 : N \quad \Gamma \vdash e_2 : N}{\Gamma \vdash e_1 \times e_2 : N} \quad \frac{\Gamma \vdash e_1 : B \quad \Gamma \vdash e_2 : B}{\Gamma \vdash e_1 \wedge e_2 : B} \quad \frac{\Gamma \vdash e_1 : \tau \quad \Gamma \vdash e_2 : \tau}{\Gamma \vdash e_1 = e_2 : B} \\[10pt] \frac{\Gamma \vdash e_1 : N \quad \Gamma \vdash e_2 : N}{\Gamma \vdash e_1 + e_2 : N} \end{array}$$

A semântica operacional desta linguagem é representada por um conjunto de regras para deduzir  $\langle \sigma, e \rangle \Downarrow v$ , em que  $\sigma$  é um ambiente que associa nome de variáveis a seus respectivos valores,  $e$  é a expressão a ser executada e  $v$  é o valor produzido pela execução de  $e$ . A notação  $\sigma(x) = v$  denota a busca pelo valor associado a variável  $x$  no ambiente  $\sigma$ , retornando um erro caso  $x$  não pertença ao domínio de  $\sigma$ . Os operadores  $\oplus$ ,  $\otimes$ ,  $\bar{\wedge}$  e  $\doteq$  denotam adição e multiplicação de números, conjunção (“e” lógico) de booleanos e igualdade de valores, respectivamente. As regras da semântica operacional para esta linguagem de expressões são como se segue:

$$\begin{array}{c} \frac{}{\langle \sigma, n \rangle \Downarrow n} \quad \frac{}{\langle \sigma, b \rangle \Downarrow b} \quad \frac{}{\langle \sigma, x \rangle \Downarrow \sigma(x)} \\[10pt] \frac{\langle \sigma, e_1 \rangle \Downarrow n_1 \quad \langle \sigma, e_2 \rangle \Downarrow n_2}{\langle \sigma, e_1 + e_2 \rangle \Downarrow n_1 \oplus n_2} \quad \frac{\langle \sigma, e_1 \rangle \Downarrow n_1 \quad \langle \sigma, e_2 \rangle \Downarrow n_2}{\langle \sigma, e_1 \times e_2 \rangle \Downarrow n_1 \otimes n_2} \quad \frac{\langle \sigma, e_1 \rangle \Downarrow b_1 \quad \langle \sigma, e_2 \rangle \Downarrow b_2}{\langle \sigma, e_1 \wedge e_2 \rangle \Downarrow b_1 \bar{\wedge} b_2} \\[10pt] \frac{\langle \sigma, e_1 \rangle \Downarrow v_1 \quad \langle \sigma, e_2 \rangle \Downarrow v_2}{\langle \sigma, e_1 = e_2 \rangle \Downarrow v_1 \doteq v_2} \end{array}$$

Com base no apresentado, faça o que se pede.

- (a) (1 ponto) Considerando que  $\Gamma_1 = \{x : N, y : N\}$  e  $e_1 = (x + 3) = y$ , mostre a derivação de tipos para concluir que  $\Gamma_1 \vdash e_1 : B$ .
- (b) (1 ponto) Considerando que  $\sigma_1 = \{x \mapsto 1, y \mapsto 5\}$  e  $e_1 = (x + 3) = y$ , apresente a derivação para  $\langle \sigma_1, e_1 \rangle \Downarrow \text{false}$ .
- (c) (2 pontos) Considere a tarefa de incluir um operador ternário (de três argumentos) cuja sintaxe seria  $e_1 ? e_2 : e_3$ . O resultado deste operador será igual ao resultado do operador  $e_2$ , caso  $e_1$  avalie para verdadeiro. Caso  $e_1$  avalie para falso, esse operador deve retornar o valor correspondente a expressão  $e_3$ . Apresente a regra de análise semântica para este novo operador e as regras de semântica operacional para este operador.