Geração de Código para LALG

Ambiente de execução para LALG
Máquina hipotética
Repertório de instruções

Prof. Thiago A. S. Pardo
taspardo@icmc.usp.br

Geração de código para LALG

- Código-alvo será um código de montagem
  - Portanto, requer interpretação posterior

Geração de código para LALG

- Técnica para geração de código
  - Ad hoc: geração de código atrelada aos procedimentos sintáticos
    - Geração diretamente dos procedimentos sintáticos ou...
    - via chamada a procedimentos/funções de geração com argumentos específicos
      - Tabela de símbolos dará o suporte necessário para a geração

3

Geração de código para LALG

- Máquina hipotética e seu ambiente de execução
  - MaqHipo, com ambiente baseado em pilhas simplificado
    - Basicamente, área de código e de dados
      - Área de código: simulada em um vetor nomeado C
      - Área de dados: simulada em um vetor nomeado D
    - Ponteiros/registradores
      - Contador de programa i
      - Topo da pilha s

4

Geração de código para LALG

- Área de código C
  - A geração consiste no preenchimento deste vetor conforme o programa for sendo compilado
    - Posição atual marcada por C[i]
    - Ao final, o vetor C é gravado em um arquivo de saída
      - As instruções não podem ir direto para o arquivo conforme forem sendo geradas
        - Ainda poderão ser modificadas
        - O processo pode parar por algum motivo e o tempo de escrita em arquivo seria perdido

5

Geração de código para LALG

- Área de código C
  - Cada posição do vetor contém uma instrução na linguagem de montagem
  - Tabela de símbolos acrescida de 2 campos para suporte à geração
    - Endereço relativo de identificadores na pilha
    - Endereço da primeira instrução de procedimentos
  - Esse vetor será interpretado posteriormente

6

Geração de código para LALG

- Área de dados D
  - Vetor que se comporta como uma pilha
    - Topo marcado por D[s]
  - Só existirá realmente durante a execução
  - As instruções funcionarão sobre seu topo e, muitas vezes, sobre a posição imediatamente abaixo do topo (no caso de uma operação binária)

7

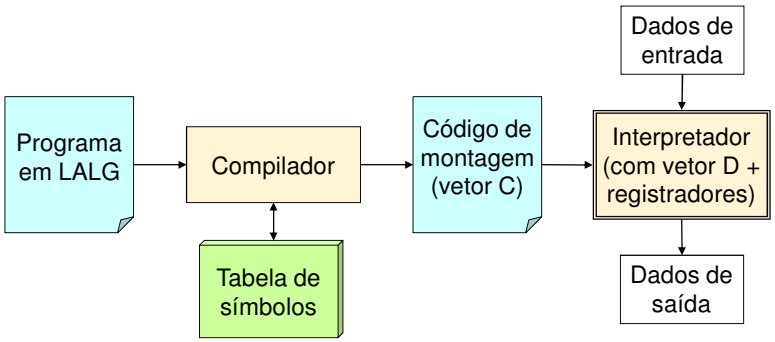
Geração de código para LALG

- Uma vez gerado código no vetor C, a execução é simples (via um interpretador)
  - As instruções indicadas pelo registrador i são executadas até que seja encontrada a instrução de parada ou ocorra algum erro
    - Conforme as instruções são executadas, a pilha é manipulada
  - A execução de cada instrução aumenta de 1 o valor de i, exceto as instruções que envolvem desvios
  - Como só há os tipos inteiro e real na LALG, a pilha D pode ser um vetor de reais

8

Geração de código para LALG

- Interpretador



9

Repertório de instruções

- Grupos de instruções que funcionam para LALG, mas que funcionariam também para o básico de outras linguagens, como Pascal e C
  - Avaliação de expressões
  - Atribuição
  - Comandos condicionais e iterativos
  - Entrada e saída
  - Alocação de memória
  - Inicialização e finalização de programa
  - Procedimentos
- Junto com cada instrução
  - **interpretação durante a execução em cor verde**
  - **ações durante compilação em cor vermelha**

10

Instruções para avaliação de expressões

- CRCT k

  {carrega constante k na pilha D}

  s:=s+1

  D[s]:=k

- CRVL n

  {carrega valor de endereço n na pilha D}

  s:=s+1

  D[s]:=D[n]

11

Instruções para avaliação de expressões

- SOMA

  {soma topo da pilha com seu antecessor, desempilha-os e empilha resultado}

  D[s-1]:=D[s-1]+D[s]

  s:=s-1

- SUBT

  {subtrai o elemento do topo do antecessor, desempilha-os e empilha o resultado}

  D[s-1]:=D[s-1]-D[s];

  s:= s-1

12

Instruções para avaliação de expressões

- MULT

  {multiplica elemento do topo pelo antecessor, desempilha-os e empilha resultado}

  D[s-1]:=D[s-1]*D[s]

  s:=s-1

- DIVI

  {divide elemento do antecessor pelo do topo, desempilha-os e empilha resultado }

  D[s-1]:=D[s-1] div D[s]

  s:=s-1

13

Instruções para avaliação de expressões

- INVE

  {inverte sinal do topo}

  D[s]:= - D[s]

- CONJ

  {conjunção de valores lógicos: F=0 e V=1}

  se D[s-1]=1 e D[s]=1 então D[s-1]:=1

  senão D[s-1]:=0

  s:=s-1

14

Instruções para avaliação de expressões

- DISJ
  {disjunção de valores lógicos}
  se D[s-1]=1 ou D[s]=1 então D[s-1]:=1
  senão D[s-1]:=0
  s:=s-1

- NEGA
  {negação lógica}
  D[s]:=1-D[s]

15

Instruções para avaliação de expressões

- CPME
  {comparação de menor}
  se D[s-1]<D[s] então D[s-1]:=1
  senão D[s-1]:=0
  s:=s-1

- CPMA
  {comparação de maior}
  se D[s-1]>D[s] então D[s-1]:=1
  senão D[s-1]:=0
  s:=s-1

16

Instruções para avaliação de expressões

- CPIG
  {comparação de igualdade}
  se D[s-1]=D[s] então D[s-1]:=1
  senão D[s-1]:=0
  s:=s-1

- CDES
  {comparação de desigualdade}
  se D[s-1]<>D[s] então D[s-1]:=1
  senão D[s-1]:=0
  s:=s-1

17

Instruções para avaliação de expressões

- CPMI
  {comparação <= }
  se D[s-1]<=D[s] então D[s-1]:=1
  senão D[s-1]:=0
  s:=s-1

- CMAI
  {comparação >= }
  se D[s-1]>=D[s] então D[s-1]:=1
  senão D[s-1]:=0
  s:=s-1

18

Instruções para avaliação de expressões

- Exemplo
  - 1 - a + b
    - CRCT 1
    - CRVL a*
    - SUBT
    - CRVL b*
    - SOMA

    * endereços na pilha D obtidos da tabela de símbolos

Instrução de atribuição

- ARMZ n

  {armazena o topo da pilha no endereço n de D}

  D[n]:=D[s]

  s:=s-1

Instrução de atribuição

- Exemplo
  - a := a + 1
    - CRVL a*
    - CRCT 1
    - SOMA
    - ARMZ a*

21

Instruções para comandos condicionais e iterativos

- DSVI p

  {desvio incondicional para a instrução de endereço p}

  i:=p

- DSVF p

  {desvie para a instrução de endereço p caso a condição resultante seja falsa}

  ???

22

Instruções para comandos condicionais e iterativos

- DSVI p

  {desvio incondicional para a instrução de endereço p}

  i:=p

- DSVF p

  {desvie para a instrução de endereço p caso a condição resultante seja falsa}

  se D[s]=0 então i:=p

  senão i:=i+1

  s:=s-1

23

Instruções para comandos condicionais e iterativos

- Seqüência de instruções
  - If E then C1 else C2

    Seqüência de instruções?

24

Instruções para comandos condicionais e iterativos

- Seqüência de instruções
  - If E then C1 else C2

```
    ... } E
    DSVF k1
    ...} C1
    DSVI k2
k1 ... } C2
k2 ...
```

No lugar de k1 e k2 devem aparecer índices reais de C

k1 é determinado quando se encontra o else, e k2 quando termina o comando if

➔necessidade de se voltar no vetor C para substituir k1 e k2 por índices reais

25

Instruções para comandos condicionais e iterativos

- Seqüência de instruções
  - If E then C

```
    ... } E
    DSVF k1
    ... } C
k1  ...
```

26

Instruções para comandos condicionais e iterativos

- Seqüência de instruções
  - While E do C

```
k1 ... } E
    DSVF k2
    ... } C
    DSVI k1
k2 ...
```


Instruções para comandos condicionais e iterativos

- Seqüência de instruções
  - Repeat C until E

???

Instruções para comandos condicionais e iterativos

- Seqüência de instruções
  - Repeat C until E

```
k1 ... } C
   E
   DSVF k1
```

29

Instruções para entrada e saída

- LEIT

  {lê um dado do arquivo de entrada}

  s:=s+1

  D[s]:=próximo valor da entrada

- IMPR

  {imprime valor inteiro no arquivo de saída}

  Imprime D[s]

  s:=s-1

30

Instruções para entrada e saída

- Exemplo
  - Read a, b
    - LEIT
    - ARMZ a*
    - LEIT
    - ARMZ b*

31

Instruções para entrada e saída

- Exemplo
  - Write x, x*y
    - CRVL x*
    - IMPR
    - CRVL x*
    - CRVL y*
    - MULT
    - IMPR

32

Instrução de alocação de memória

- ALME m

  {reserva m posições na pilha D, sendo que m depende do tipo da variável}

  o valor de s é armazenado no campo de endereço relativo da variável correspondente na tabela de símbolos (em tempo de compilação)

  s:=s+m

  - Na LALG, por simplicidade, todos os tipos ocuparão uma única posição
    - m=1

Instrução de alocação de memória

- Exemplo

```
program p1;
var x, y: integer;
...
```

```
ALME 1
ALME 1
```

Tabela de símbolos

Cadeia	Token	...	End. relativo
x	id		0
y	id		1
...			

Instruções para inicialização e finalização de programas

- INPP

  {inicia programa - será sempre a 1ª instrução}

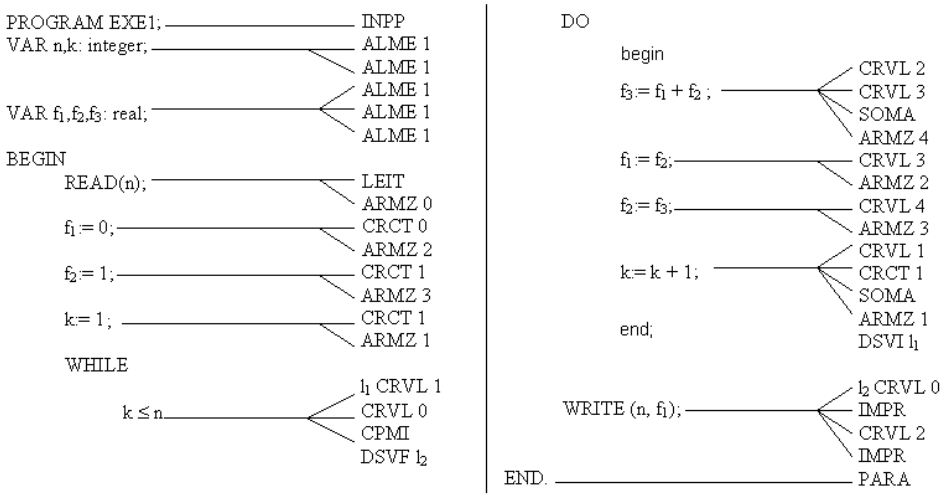
  s:= -1

- PARA

  {termina a execução do programa}

35

Exemplo completo



No lugar dos rótulos simbólicos l1 e l2 devem aparecer endereços reais que serão calculados após sua geração, tendo-se que voltar no vetor C

Exercício

- Gere código para o programa abaixo e interprete o código gerado

```
program exemplo1;
var a, b: integer;
begin
read(a,b);
write(a,b);
end.
```

37

Exercício

- Gere código para o programa ao lado e interprete o código gerado

```
program exemplo2;
var a, b: integer;
var c: real;
begin
read(a,b);
c:=5;
while a<b do
begin
a:=a+1;
c:=c*a;
end;
write(c);
end.
```

38

Exercício

- Gere código para o programa ao lado e interprete o código gerado

```
program exemplo3;
var x, y: integer;
begin
read(x);
y:=x*x;
if (x<y) then
while (x<y) do
begin
y=y-2;
write(y);
end;
else write(x);
write(x*y);
end.
```

39

Instruções para procedimentos

- Características da LALG
  - Passagem de parâmetros por valor
  - Somente procedimentos globais

40

Instruções para procedimentos

- Ao chamar procedimento
  - Empilha-se endereço de retorno (ainda não definido, pois depende do número de parâmetros)
  - Empilham-se valores de parâmetros
  - Salta-se para 1ª instrução de procedimento
- No início do procedimento
  - Desvia-se para programa principal
  - Copia valores dos parâmetros passados
- No fim do procedimento
  - Libera memória (variáveis locais e parâmetros)
  - Retorna do procedimento

41

Instruções para procedimentos

- PUSHER e

  {empilha endereço de retorno}

  s:=s+1

  D[s]:=e

- CHPR p

  {desvia para instrução de índice p no vetor C, obtido na tabela de símbolos}

  i:=p

42

Instruções para procedimentos

- DESM m

  {desaloca m posições de memória, a partir do topo s de D, restaurando os valores do topo a partir de m}

  deve retirar (ou tornar inacessível) da tabela de símbolos as posições desalocadas (em tempo de compilação)

  s:=s-m

- RTPR

  {retorna do procedimento}

  i:=D[s]

  s:=s-1

43

Instruções para procedimentos

- COPVL

  sem efeito na execução

  coloca na tabela de símbolos o endereço absoluto do parâmetro, associando parâmetros atuais com formais (em tempo de compilação)

- PARAM n

  {aloca memória e copia valor da posição n de D}

  s:=s+1

  D[s]:=D[n]

44

Instruções para procedimentos

- Ao chamar procedimento
  - PUSHER e
  - {PARAM n}
  - {.....}
  - CHPR p
- No início do procedimento
  - {DSVI k}
  - {COPVL}
  - {.....}
- No fim do procedimento
  - DESM n
  - RTPR

Deve levar em conta a posição usada pelo endereço de retorno na pilha D, isto é, soma-se 1 ao endereço obtido para o primeiro parâmetro ou variável local

45

Exemplo: sem parâmetros

```
PROGRAM EX2;                    INPP
VAR x,y;                        ALME 1
                                ALME 1
PROCEDURE p;                    DSVI l3
VAR z;                          l0 ALME 1
BEGIN
    z:= x;                      CRVL 0
                                ARMZ 3
    x:= x - 1;                  CRVL 0
                                CRCT 1
                                SUBT
                                ARMZ 0
    IF                          CRVL 0
        x > 1                   CRCT 1
                                CPMA
                                DSVF l1
    THEN x:= z                  CRVL 3
                                ARMZ 0
                                DSVI l2
    ELSE y:= 1;                 l1 CRCT 1
                                ARMZ 1
                                l2 CRVL 1
    y:= y * z;                  CRVL 3
                                MULT
                                ARMZ 1
END;                            DESM 1
                                RTPR
```

```
BEGIN
    READ x;                     l3 LEIT
                                ARMZ 0
    p;                          PUSHER l4
                                CHPR l0
    WRITE x,y;                  l4 CRVL 0
                                IMPR
                                CRVL 1
                                IMPR
END.                            PARA
```

Exemplo: com parâmetros

```
Program ex3;
var a,b: integer;
procedure proc(x,y:integer);
        var l: integer;
        begin
                l:= x + y;
                x:= l;
        end;
begin
        read(a,b);
        proc(a,b);
end.
```

```
1.INPP
2. ALME 1
3. ALME 1
4. DSVI 16
5. COPVL
6. COPVL
7. ALME1
8.CRVL 3
9. CRVL 4
10. SOMA
11. ARMZ 5
12. CRVL 5
13. ARMZ 3
14. DESM 3
15. RTPR
16. LEIT
17. ARMZ 0
18. LEIT
19. ARMZ 1
20. PUSHER 24
21. PARAM 0
22. PARAM 1
23. CHPR 5
24. PARA
```

Instruções para procedimentos

- Ao se gerar código para um procedimento, coloca-se o endereço de sua primeira instrução na tabela de símbolos
- Ao se retornar do procedimento, a pilha deve estar exatamente como estava antes da chamada do procedimento

48

Exercício

- Gere código para o programa ao lado e interprete o código gerado

```
program exemplo2;
var a: real;
var b: integer;
procedure nomep(x: real);
var a, c: integer;
begin
read(c,a);
if a<x+c then
begin
a:=c+x;
write(a);
end
else c:=a+x;
end;
begin {programa principal}
read(b);
nomep(b);
end.
```

49

Exercício

- Gere código para o programa ao lado e interprete o código gerado

```
program p;
var x: integer;
procedure nomep(a:real);
var y: integer;
begin
y:=1;
end;
procedure teste(b,c:real);
var d: integer;
begin
d:=1;
if (b>c) then
begin
b:=b-c;
c:=2;
end;
end;
begin
read(x);
nomep(x);
teste(x,5);
write(x);
end.
```

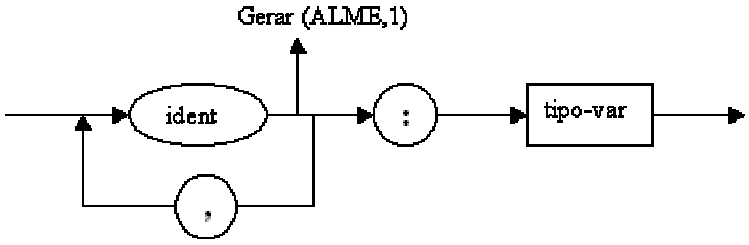
Exercício

- E se procedimento recursivo?
  - Gere o código e interprete
    - Funciona? Justifique.
    - E procedimentos que chamam outros procedimentos?

```
program p;
var x: integer;
procedure nomep(a:real);
var y: integer;
begin
y:=a+2;
if y<10 then
nomep(y);
end;
begin
read(x);
nomep(x);
end.
```

Geração de código para LALG

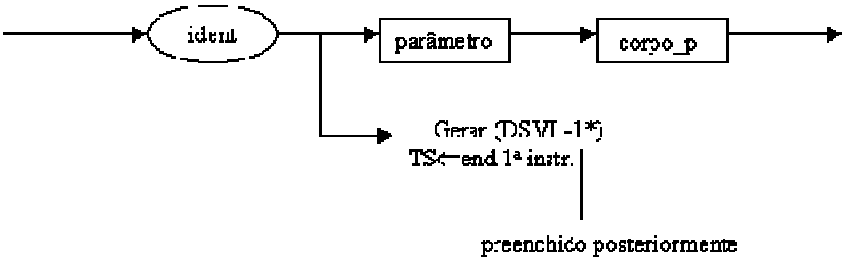
- Alguns exemplos de onde se gerar código
  - Declaração de variáveis



52

Geração de código para LALG

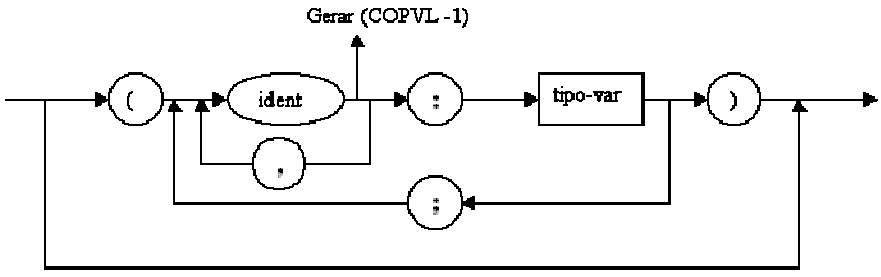
- Alguns exemplos de onde se gerar código
  - Declaração de procedimentos



53

Geração de código para LALG

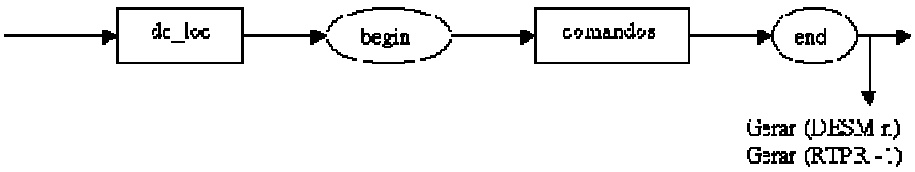
- Alguns exemplos de onde se gerar código
  - Parâmetros de procedimentos



54

Geração de código para LALG

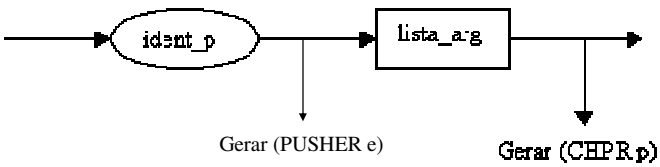
- Alguns exemplos de onde se gerar código
  - Corpo do procedimento



55

Geração de código para LALG

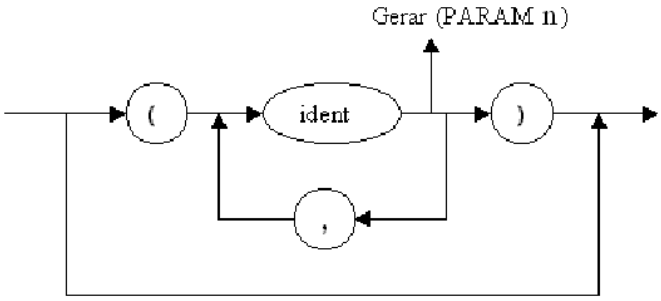
- Alguns exemplos de onde se gerar código
  - Chamada de procedimento



56

Geração de código para LALG

- Alguns exemplos de onde se gerar código
  - Lista de argumentos na chamada de procedimento



57

Exercício

- Escreva o procedimento sintático completo para a declaração de variáveis na LALG
  - Tratamento de erros sintáticos pelo modo pânico
  - Análise semântica e tratamento de erros semânticos
  - Geração de código

<dc_v> ::= var <variaveis> : <tipo_var> ;
<tipo_var> ::= real | integer
<variaveis> ::= ident <mais_var>
<mais_var> ::= , <variaveis> | λ

58

Exercício – possível solução

```
procedimento dc_v(S) {
        se (simb=var)
                então obter_símbolo()
                senão {
                        imprimir("Erro: var esperado");
                        ERRO(S+{id});
                }
        se (simb=id)
                então {
                        se busca_TS(cadeia,token=id,cat=var,escopo=0)=TRUE
                              então imprimir("Erro: identificador declarado novamente")
                              senão inserir_id_TS(cadeia,token=id,cat=var,escopo=0,end=s++);
                        se erro_léxico=FALSE e erro_sintático=FALSE e erro_semântico=FALSE
                              então gera_codigo(contador_linha++ || "ALME 1");
                        obter_símbolo();
                }
                senão {
                        imprimir("Erro: id esperado");
                        ERRO(S+{:}+{,});
                }
...
```

Rosa=interface com léxico, azul=semântica, verde=geração de código

Exercício – possível solução

```
        enquanto (simb=simb_virgula) faça {
                obter_símbolo();
                se (simb=id)
                    então {
                        se busca_TS(cadeia,token=id,cat=var,escopo=0)=TRUE
                            então imprimir("Erro: identificador declarado novamente")
                            senão inserir_id_TS(cadeia,token=id,cat=var,escopo=0,end=s++);
                        se erro_léxico=FALSE e erro_sintático=FALSE e erro_semântico=FALSE
                            então gera_codigo(contador_linha++ || "ALME 1");
                        obter_símbolo();
                    }
                    senão {
                        imprimir("Erro: id esperado");
                        ERRO(S+{:}+{,});
                    }
        }
        se (simb=simb_dp)
                então obter_símbolo()
                senão {
                        imprimir("Erro: ':' esperado");
                        ERRO(S+{real,integer});
                }
...
```

Rosa=interface com léxico, azul=semântica, verde=geração de código

Exercício – possível solução

```
        se (simb=real) ou (simb=integer)
                então {
                        inserir_tipo_ids_declarados_TS(cadeia,cat=var,escopo=0);
                        obter_símbolo();
                }
                senão {
                        imprimir("Erro: 'real' ou 'integer' esperado");
                        ERRO(S+{;});
                }
        se (simb=simb_pv)
                então obter_símbolo()
                senão {
                        imprimir("Erro: ';' esperado");
                        ERRO(S+{var});
                }
}
```

Rosa=interface com léxico, azul=semântica, verde=geração de código

61

Exercício

- Escreva o procedimento sintático completo para os comandos da LALG
  - Tratamento de erros sintáticos pelo modo pânico
  - Análise semântica e tratamento de erros semânticos
  - Geração de código

```
<cmd> ::= read ( <variaveis> ) |
          write ( <variaveis> ) |
          while <condicao> do <cmd> |
          if <condicao> then <cmd> <pfalsa> |
          ident := <expressao> |
          ident <lista_arg> |
          begin <comandos> end
<variaveis> ::= ident <mais_var>
<mais_var> ::= , <variaveis> | λ
...
```

62