

Processamento de Linguagens e Compiladores (3º ano LCC)

Trabalho Prático 2

(Gramáticas, Compiladores)

Grupo 17

Relatório de Desenvolvimento

José Pedro Gomes Ferreira
A91636

Pedro Paulo Costa Pereira
A88062

Tiago André Oliveira Leite
A91693

15 de Janeiro de 2022

Conteúdo

1	Introdução	3
2	Problema Proposto	4
2.1	Descrição	4
2.2	Requisitos	4
3	Concepção/desenho da Resolução	6
3.1	Organização e estrutura	6
3.2	GIC	6
3.3	Lexer	8
3.4	Parser e geração do código Assembly da VM	9
3.4.1	Algumas notas sobre o código gerado	9
4	Demonstração de Funcionamento	11
4.1	Geração e execução de código Assembly	11
4.2	Teste 1	11
4.2.1	Conteúdo do ficheiro	11
4.2.2	Código assembly gerado	12
4.2.3	Execução da VM com o código gerado	15
4.3	Teste 2	16
4.3.1	Conteúdo do ficheiro	16
4.3.2	Código assembly gerado	17
4.3.3	Execução da VM com o código gerado	19
4.4	Teste 3	19
4.4.1	Conteúdo do ficheiro	19
4.4.2	Código assembly gerado	20
4.4.3	Execução da VM com o código gerado	22
4.5	Teste 4	23
4.5.1	Conteúdo do ficheiro	23
4.5.2	Código assembly gerado	23
4.5.3	Execução da VM com o código gerado	25
4.6	Teste 5	25
4.6.1	Conteúdo do ficheiro	25

4.6.2	Código assembly gerado	26
4.6.3	Execução da VM com o código gerado	28
4.7	Teste 6	28
4.7.1	Conteúdo do ficheiro	29
4.7.2	Código assembly gerado	29
4.7.3	Execução da VM com o código gerado	30
4.8	Teste 7	31
4.8.1	Conteúdo do ficheiro	31
4.8.2	Código assembly gerado	32
4.8.3	Execução da VM com o código gerado	36
4.9	Teste 8	37
4.9.1	Conteúdo do ficheiro	37
4.9.2	Código assembly gerado	39
4.9.3	Execução da VM com o código gerado	45
4.10	Teste 9	46
4.10.1	Conteúdo do ficheiro	46
4.10.2	Código assembly gerado	46
4.10.3	Execução da VM com o código gerado	46
4.11	Teste 10	46
4.11.1	Conteúdo do ficheiro	47
4.11.2	Código assembly gerado	47
4.11.3	Execução da VM com o código gerado	47
4.12	Teste 11	47
4.12.1	Conteúdo do ficheiro	47
4.12.2	Código assembly gerado	47
4.12.3	Execução da VM com o código gerado	48
5	Conclusão	49
A	Código do Programa	50

Capítulo 1

Introdução

Este documento tem como objetivo explicar a solução que implementamos para a resolução do problema proposto no âmbito da unidade curricular de Processamento de Linguagens e Compiladores.

O problema consiste em implementar uma linguagem de programação imperativa simples, com regras sintáticas definidas pelo grupo.

Para o desenvolvimento da nossa linguagem tivemos que definir uma gramática independente de contexto, **GIC**, e um compilador que gera **pseudo-código Assembly** para uma Máquina Virtual VM, que nos foi fornecida.

O trabalho foi desenvolvido com recurso aos módulos 'Yacc/ Lex' do 'PLY/Python'.

Esperamos que o resultado final cumpra todos os requisitos.

Capítulo 2

Problema Proposto

2.1 Descrição

Pretende-se que comece por definir uma linguagem de programação imperativa simples, a seu gosto. Apenas deve ter em consideração que essa linguagem terá de permitir:

- *declarar* variáveis atômicas do tipo *inteiro*, com os quais se podem realizar as habituais operações aritméticas, relacionais e lógicas;
- *efetuar* instruções algorítmicas básicas como a *atribuição do valor de expressões numéricas a variáveis*;
- *ler* do *standard input* e *escrever* no *standard output*;
- *efetuar* instruções *condicionais* para controlo do fluxo de execução;
- *efetuar* instruções *cíclicas* para controlo do fluxo de execução, permitindo o seu aninhamento.
Note que deve implementar pelo menos o ciclo **while-do**, **repeat-until** ou **for-do**.

Adicionalmente deve ainda suportar, à sua escolha, uma das duas funcionalidades seguintes:

- *declarar e manusear* variáveis estruturadas do tipo *array* (a 1 ou 2 dimensões) de inteiros, em relação aos quais é apenas permitida a operação de indexação (índice inteiro);
- *definir e invocar subprogramas* sem parâmetros mas que possam retornar um resultado do tipo inteiro.

2.2 Requisitos

- Utilização da linguagem Python.
- Resolver o problema recurso aos módulos 'Yacc/ Lex' do 'PLY/Python'.
- Gerar **pseudo-código**, **Assembly** da Máquina Virtual VM fornecida.
- Preparar um conjunto de testes de modo a ver o código Assembly gerado bem como o programa a correr na máquina virtual VM. Este conjunto terá de conter, no mínimo, os 4 primeiros exemplos abaixo e um dos 2 últimos conforme a escolha de funcionalidades da linguagem:
 - ler 4 números e dizer se podem ser os lados de um quadrado;

- ler um inteiro N , depois ler N números e escrever o menor deles;
- ler N (constante do programa) números e calcular e imprimir o seu produtório;
- contar e imprimir os números ímpares de uma sequência de números naturais;
- ler e armazenar N números num array; imprimir os valores por ordem inversa;
- invocar e usar num programa seu uma função 'potencia()', que começa por ler do input a base B e o expoente E e retorna o valor B^E .

Capítulo 3

Concepção/desenho da Resolução

3.1 Organização e estrutura

O nosso trabalho pode ser dividido em 4 partes:

- Construção da **GIC** que define a estrutura sintática da nossa linguagem.
- Construção do analisador léxico, **lexer**.
- Construção do analisador sintático, **parser**.
- Conversão das instruções para código **Assembly** da VM.

Todas as funcionalidades descritas neste capítulo podem ser encontradas no anexo A do documento.

No nosso trabalho optamos por implementar a funcionalidade de *declarar e manusear* variáveis estruturadas do tipo *array* (a 1 ou 2 dimensões) de inteiros, em relação aos quais é apenas permitida a operação de indexação (índice inteiro).

3.2 GIC

A nossa linguagem é gerada pela seguinte gramática independente de contexto:

```
program      : MAIN LCURLY body RCURLY

body         : declarations instructions

declarations :
              | declarations declaration

declaration  : type VAR SEMICOLON
              | type LBRACKET NUM RBRACKET VAR SEMICOLON
              | type LBRACKET NUM RBRACKET LBRACKET NUM RBRACKET VAR SEMICOLON

type         : INT
```

```

| FLOAT

instructions :
| instructions instruction

instruction : atribution SEMICOLON
| WHILE LPAREN condition RPAREN LCURLY instructions RCURLY
| FOR LPAREN atributions SEMICOLON condition SEMICOLON atributions RPAREN LCURLY
instructions RCURLY
| IF LPAREN condition RPAREN LCURLY instructions RCURLY
| IF LPAREN condition RPAREN LCURLY instructions RCURLY ELSE LCURLY
instructions RCURLY
| SCAN LPAREN variable RPAREN SEMICOLON
| PRINT LPAREN variable RPAREN SEMICOLON
| PRINTLN LPAREN variable RPAREN SEMICOLON
| PRINT LPAREN STRING RPAREN SEMICOLON
| PRINTLN LPAREN STRING RPAREN SEMICOLON

atribution : variable EQUAL expression

variable : VAR
| VAR LBRACKET expression RBRACKET
| VAR LBRACKET expression RBRACKET LBRACKET expression RBRACKET

expression : term
| expression PLUS term
| expression MINUS term

term : factor
| term MUL factor
| term DIV factor
| term MOD factor

factor : variable
| NUM
| REAL
| LPAREN expression RPAREN

condition : formula
| condition OR formula

formula : preposition
| formula AND preposition

preposition : expression
| expression EQEQ expression
| expression DIFF expression
| expression GREATER expression

```



```

| expression LESSER expression
| expression GREATER expression
| expression LESSEQ expression

```

3.3 Lexer

O analisador léxico, `lexer`, é o responsável por 'capturar' os símbolos terminais, `tokens`, da nossa linguagem através de expressões regulares. Para a implementação do analisador léxico utilizamos o módulo 'Lex' do 'PLY/Python'.

Os `tokens` e respectivas expressões regulares da nossa linguagem são os seguintes:

```

SEMICOLON : ';'
LCURLY    : '{'
RCURLY    : '}'
LPAREN    : '('
RPAREN    : ')'
LBRACKET  : '['
RBRACKET  : ']'
FLOAT     : 'float'
INT       : 'int'
MAIN      : 'main'
WHILE     : 'while'
FOR       : 'for'
IF        : 'if'
ELSE      : 'else'
PRINTLN   : 'println'
PRINT     : 'print'
SCAN      : 'scan'
STRING    : '"'([^\"]|\\n)*'"
REAL      : '-?([1-9][0-9]*\\.[0-9]+|0\\.[0-9]+)'
NUM       : '-?\\d+'
EQEQ      : '\\='
DIFF      : '\\!=\\='
GREATEREQ : '\\>\\='
LESSEQ    : '\\<\\='
GREATER   : '\\>'
LESSER    : '\\<'
OR        : 'or'
AND       : 'and'
EQUAL     : '\\=\\='
PLUS      : '\\+'
MINUS     : '\\-'
MUL       : '\\*'
DIV       : '\\/'
MOD       : '\\%'
VAR       : '\\w+'

```

A implementação do analisador léxico pode ser encontrada no anexo A do documento.

Nota: na nossa linguagem não temos o tipo `booleano` implementado. No seu lugar, tal como na linguagem C, um valor superior a 0 é considerado `True` e um valor inferior ou igual a 0 é considerado `False`.

3.4 Parser e geração do código Assembly da VM

O analisador sintático, `parser`, é responsável por verificar se o código que foi escrito na nossa linguagem está sintaticamente correto, isto é, se respeita as regras gramaticais definidas.

Caso não haja erros sintáticos o `parser` converte o código da nossa linguagem em código `Assembly` da máquina virtual. Se houver erros, é mostrado ao utilizador uma mensagem de erro sintático.

A implementação do analisador sintático pode ser encontrada no anexo A do documento.

3.4.1 Algumas notas sobre o código gerado

Nota 1: Na geração do código para obter o valor armazenado numa variável, por exemplo, do tipo inteiro optamos por realizar a seguinte operação:

```
PUSHGP
PUSHI <endereço da variável>
LOADN
```

Em vez de fazermos simplesmente:

```
PUSHG <endereço da variável>
```

E para armazenar um valor numa variável, por exemplo, do tipo inteiro:

```
PUSHGP
PUSHI <endereço da variável>
PUSHI <valor a guardar>
STOREN
```

Em vez de fazermos simplesmente:

```
PUSHI <valor a guardar>
STOREG <endereço da variável>
```

Apesar de parecer mais complicado, isto vai nos permitir por exemplo fazer as seguintes instruções na nossa linguagem:

```
int[5] array;
int i;
i = 2;
array[i] = 4;
```

Neste caso o código gerado será:

```
PUSHN 5
PUSHI 0
START
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHI 2
STOREN
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHGP
PUSHI 5
LOADN
ADD
PUSHI 4
STOREN
STOP
```

Se o nosso acesso às variáveis utilizasse o processo mais simples, não iríamos conseguir aceder a **arrays** com um índice cujo valor está armazenado também numa variável. Tomamos esta decisão, apesar de não ser pedido no enunciado do trabalho, pois assim a nossa linguagem fica mais completa.

Nota 2: Também se poderá verificar no anexo A, na geração de código, que optamos por em cada produção envolvendo expressões numéricas e variáveis, retornar sempre um tuplo contendo o código **Assembly** da VM e um identificador do tipo de valor. Isto permite-nos fazer conversão de valores de **int** para **float** e de **float** para **int** quando tal é necessário e com isso realizar operações entre variáveis de tipos diferentes. Por exemplo:

```
int a;
float b;
a = 1.0;
b = 1;
println(a);
println(b);
b = b * 5;
println(b);
```

Em que o resultado da execução é:

```
1
1.000000
5.000000
```

Capítulo 4

Demonstração de Funcionamento

4.1 Geração e execução de código Assembly

Para utilizar a nossa linguagem, o utilizador tem que:

1. Escrever e guardar as instruções num ficheiro de texto de acordo com as regras grámaticais da linguagem.
2. Colocar o ficheiro na mesma diretoria dos ficheiros `lexer.py`, `parser.py`, `vms` e `vmsGTKAux`.
3. Executar um dos seguintes comandos:

```
>> python3 parser.py <ficheiro de input>
>> python3 parser.py <ficheiro de input> <ficheiro de output>
```

Nota: Caso o utilizador opte pelo primeiro comando é criado um ficheiro denominado `a.vm` onde será colocado o código Assembly gerado.

4. Executar um dos seguintes comandos:

```
>> ./vms <ficheiro gerado no comando anterior>
>> ./vms -g a.vm
```

Nota: Caso o utilizador opte pelo segundo comando a máquina virtual será executar em modo gráfico.

4.2 Teste 1

Ler 4 números e dizer se podem ser os lados de um quadrado.

Ficheiro de input: 'quadrado.txt'.

4.2.1 Conteúdo do ficheiro

```
main
{
    float[4] lados;
    int i;
```

```

int j;
int r;
i = 4;

while(i>0)
{
    print("Digite lado: ");
    scan(lados[4 - i]);
    i = i - 1;
}

r= 1;
for(i=0;i<4;i=i+1)
{
    for(j=i+1;j<4;j=j+1)
    {
        if(lados[i] != lados[j])
        {
            r = 0;
        }
    }
}

if(r and lados[0])
{
    println("Podem ser os lados de um quadrado!");
}
else
{
    println("Não podem ser os lados de um quadrado!");
}
}

```

4.2.2 Código assembly gerado

```

PUSHN 4
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
START
PUSHGP
PUSHI 4
PUSHI 4
STOREN
B0:

```

```
PUSHGP
PUSHI 4
LOADN
PUSHI 0
SUP
JZ E0
PUSHS "Digite lado: "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 4
PUSHGP
PUSHI 4
LOADN
SUB
ADD
READ
ATOF
STOREN
PUSHGP
PUSHI 4
PUSHGP
PUSHI 4
LOADN
PUSHI 1
SUB
STOREN
JUMP B0
EO:
PUSHGP
PUSHI 6
PUSHI 1
STOREN
PUSHGP
PUSHI 4
PUSHI 0
STOREN
B3:
PUSHGP
PUSHI 4
LOADN
PUSHI 4
INF
JZ E3
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 4
```

LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
B2:
PUSHGP
PUSHI 5
LOADN
PUSHI 4
INF
JZ E2
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHGP
PUSHI 4
LOADN
ADD
LOADN
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHGP
PUSHI 5
LOADN
ADD
LOADN
EQUAL
NOT
JZ E1
PUSHGP
PUSHI 6
PUSHI 0
STOREN
E1:
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 5
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B2
E2:
PUSHGP
PUSHI 4
PUSHGP
PUSHI 4
LOADN

```

PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B3
E3:
PUSHGP
PUSHI 6
LOADN
PUSHI 0
SUP
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 0
ADD
LOADN
PUSHF 0.0
FSUP
FTOI
PUSHI 0
SUP
MUL
PUSHI 0
SUP
JZ E4
PUSHS "Podem ser os lados de um quadrado!"
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
JUMP F4
E4:
PUSHS "Não podem ser os lados de um quadrado!"
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
F4:
STOP

```

4.2.3 Execução da VM com o código gerado

```

>> ./vms a.vm
Digite lado: 2
Digite lado: 2
Digite lado: 2
Digite lado: 2
Podem ser os lados de um quadrado!
>>

>> ./vms a.vm

```



```
Digite lado: 0
Digite lado: 0
Digite lado: 0
Digite lado: 0
Não podem ser os lados de um quadrado!
>>
```

```
>> ./vms a.vm
Digite lado: 0.1
Digite lado: 0.1
Digite lado: 0.1
Digite lado: 0.1
Podem ser os lados de um quadrado!
```

```
>> ./vms a.vm
Digite lado: 4
Digite lado: 4
Digite lado: 6
Digite lado: 4
Não podem ser os lados de um quadrado!
>>
```

```
>> ./vms a.vm
Digite lado: 1
Digite lado: 1.1
Digite lado: 1
Digite lado: 1
Não podem ser os lados de um quadrado!
>>
```

4.3 Teste 2

Ler um inteiro N, depois ler N números e escrever o menor deles.
Ficheiro de input: 'menor.txt'.

4.3.1 Conteúdo do ficheiro

```
main
{

    int menor;
    int N;
    int i;
    int aux;

    i = 0;

    print("Digite número: ");
```

```

scan(menor);

print("Digite quantos números quer ler: ");
scan(N);

while(i<N){
    print("Digite número: ");
    scan(aux);

    if(aux < menor){
        menor = aux;
    }
    i = i +1;
}
print("O menor número é: ");
println(menor);
}

```

4.3.2 Código assembly gerado

```

PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
START
PUSHGP
PUSHI 2
PUSHI 0
STOREN
PUSHS "Digite número: "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
READ
ATOI
STOREN
PUSHS "Digite quantos números quer ler: "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 1
READ
ATOI
STOREN
B1:
PUSHGP

```

```

PUSHI 2
LOADN
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
INF
JZ E1
PUSHS "Digite número: "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 3
READ
ATOI
STOREN
PUSHGP
PUSHI 3
LOADN
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
INF
JZ E0
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHGP
PUSHI 3
LOADN
STOREN
EO:
PUSHGP
PUSHI 2
PUSHGP
PUSHI 2
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B1
E1:
PUSHS "0 menor número é: "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
WRITEI
PUSHS"\n"
WRITES
STOP

```

4.3.3 Execução da VM com o código gerado

```
>> ./vms a.vm
Digite número: 5
Digite quantos números quer ler: 3
Digite número: -1
Digite número: 4
Digite número: 0
O menor número é: -1
>>
```

```
>> ./vms a.vm
Digite número: 2
Digite quantos números quer ler: 0
O menor número é: 2
>>
```

```
>> ./vms a.vm
Digite número: 1
Digite quantos números quer ler: 3
Digite número: 2
Digite número: 0
Digite número: 3
O menor número é: 0
```

4.4 Teste 3

Ler N (constante do programa) números e calcular e imprimir o seu produtório.
Ficheiro de input: 'produto.txt'.

4.4.1 Conteúdo do ficheiro

```
main
{

    int N;
    int r;
    int[5] a;
    int i;

    i = 0;
    N = 5;
    r = 1;

    while(i<N){
        print("Digite um número: ");
        scan(a[i]);
        i = i + 1;
    }
}
```

```

}
i = 0;

while(i<N){
    print(a[i]);
    print(" x ");
    r = r * a[i];
    i = i + 1;
}

print(" = ");
println(r);
}

```

4.4.2 Código assembly gerado

```

PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHN 5
PUSHI 0
START
PUSHGP
PUSHI 7
PUSHI 0
STOREN
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 5
STOREN
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHI 1
STOREN
BO:
PUSHGP
PUSHI 7
LOADN
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
INF
JZ E0
PUSHS "Digite um número: "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 2

```

```
PUSHGP
PUSHI 7
LOADN
ADD
READ
ATOI
STOREN
PUSHGP
PUSHI 7
PUSHGP
PUSHI 7
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B0
EO:
PUSHGP
PUSHI 7
PUSHI 0
STOREN
B1:
PUSHGP
PUSHI 7
LOADN
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
INF
JZ E1
PUSHGP
PUSHI 2
PUSHGP
PUSHI 7
LOADN
ADD
LOADN
WRITEI
PUSHS " x "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHGP
PUSHI 2
PUSHGP
```

```

PUSHI 7
LOADN
ADD
LOADN
MUL
STOREN
PUSHGP
PUSHI 7
PUSHGP
PUSHI 7
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B1
E1:
PUSHS " = "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
WRITEI
PUSHS "\n"
WRITES
STOP

```

4.4.3 Execução da VM com o código gerado

```

>> ./vms a.vm
Digite um número: 1
Digite um número: 2
Digite um número: 3
Digite um número: 4
Digite um número: 5
1 x 2 x 3 x 4 x 5 x  = 120
>>

```

```

>> ./vms a.vm
Digite um número: 0
Digite um número: 1
Digite um número: 2
Digite um número: 3
Digite um número: 4
0 x 1 x 2 x 3 x 4 x  = 0
>>

```

```

>> ./vms a.vm
Digite um número: 1.5

```

```

Digite um número: 1.5
Digite um número: 1
Digite um número: 2
Digite um número: 3
1 x 1 x 1 x 2 x 3 x  = 6
>>

```

4.5 Teste 4

Contar e imprimir os números ímpares de uma sequência de números naturais.
Ficheiro de input: 'impares.txt'.

4.5.1 Conteúdo do ficheiro

```

main
{

    int count;
    int aux;
    count = 0;
    aux = 1;
    println("Digite 0 para parar!");

    while(aux != 0){
        print("Digite número: ");
        scan(aux);
        if(aux % 2 == 1){
            print(aux);
            println(" é impar!");
            count = count +1;
        }
    }
    print("Foram lidos ");
    print(count);
    println(" números impares!");
}

```

4.5.2 Código assembly gerado

```

PUSHI 0
PUSHI 0
START
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 0
STOREN

```



```

PUSHGP
PUSHI 1
PUSHI 1
STOREN
PUSHS "Digite 0 para parar!"
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
B1:
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHI 0
EQUAL
NOT
JZ E1
PUSHS "Digite número: "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 1
READ
ATOI
STOREN
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHI 2
MOD
PUSHI 1
EQUAL
JZ E0
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
WRITEI
PUSHS " é impar!"
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
E0:

```

```

JUMP B1
E1:
PUSHS "Foram lidos "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
WRITEI
PUSHS " números impares!"
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
STOP

```

4.5.3 Execução da VM com o código gerado

```

>> ./vms a.vm
Digite 0 para parar!
Digite número: 1
1 é impar!
Digite número: 2
Digite número: 3
3 é impar!
Digite número: 4
Digite número: 5
5 é impar!
Digite número: 6
Digite número: 0
Foram lidos 3 números impares!
>>

```

4.6 Teste 5

Ler e armazenar N números num array. Imprimir os valores por ordem inversa.
Ficheiro de input: 'inversa.txt'.

4.6.1 Conteúdo do ficheiro

```

main
{
    int N;
    int i;
    int[10] a;
    N = 5;
    i = 0;

    print("Neste programa vamos digitar ");

```

```

print(N);
println(" números e imprimi-los por ordem inversa.");

while(i<N){
    print("Digite número: ");
    scan(a[i]);
    i = i +1;
}

i = N - 1;

while(i>=0){
    print(a[i]);
    print(" ");
    i = i - 1;
}

println("");
}

```

4.6.2 Código assembly gerado

```

PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHN 10
START
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 5
STOREN
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHI 0
STOREN
PUSHS "Neste programa vamos digitar "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
WRITEI
PUSHS " números e imprimi-los por ordem inversa."
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
BO:
PUSHGP
PUSHI 1

```

```
LOADN
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
INF
JZ E0
PUSHS "Digite número: "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 2
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
ADD
READ
ATOI
STOREN
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B0
EO:
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
PUSHI 1
SUB
STOREN
B1:
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHI 0
SUPEQ
JZ E1
PUSHGP
PUSHI 2
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
ADD
```

```

LOADN
WRITEI
PUSHS " "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHI 1
SUB
STOREN
JUMP B1
E1:
PUSHS ""
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
STOP

```

4.6.3 Execução da VM com o código gerado

```

>> ./vms a.vm
Neste programa vamos digitar 5 números e imprimi-los por ordem inversa.
Digite número: 1
Digite número: 2
Digite número: 3
Digite número: 4
Digite número: 5
5 4 3 2 1
>>

```

```

>> ./vms a.vm
Neste programa vamos digitar 5 números e imprimi-los por ordem inversa.
Digite número: 3
Digite número: 4
Digite número: 1
Digite número: 7
Digite número: 6
6 7 1 4 3
>>

```

4.7 Teste 6

Execução de operações aritméticas.
Ficheiro de input: 'calculo.txt'.

4.7.1 Conteúdo do ficheiro

```
main
{
    int a;

    a = 2 * 3 + 4 * 5 - 1;

    print("a = 2 * 3 + 4 * 5 - 1 = ");
    println(a);

    a = (1 + a) * a;

    print("a = (1 + a) * a = ");
    println(a);

    a = a %(a - 1);
    print("a = a % (a-1) = ");
    println(a);
}
```

4.7.2 Código assembly gerado

```
PUSHI 0
START
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 2
PUSHI 3
MUL
PUSHI 4
PUSHI 5
MUL
ADD
PUSHI 1
SUB
STOREN
PUSHS "a = 2 * 3 + 4 * 5 - 1 = "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
WRITEI
PUSHS "\n"
WRITES
```

```

PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 1
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
ADD
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
MUL
STOREN
PUSHS "a = (1 + a) * a = "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
WRITEI
PUSHS "\n"
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
PUSHI 1
SUB
MOD
STOREN
PUSHS "a = a % (a-1) = "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
WRITEI
PUSHS "\n"
WRITES
STOP

```

4.7.3 Execução da VM com o código gerado

```

>> ./vms a.vm
a = 2 * 3 + 4 * 5 - 1 = 25
a = (1 + a) * a = 650
a = a % (a-1) = 1

```

>>

4.8 Teste 7

Ordenação de um array.

Ficheiro de input: 'ordena.txt'.

4.8.1 Conteúdo do ficheiro

```
main
{
    int N;
    int i;
    int j;
    int menor;
    int aux;
    int[5] a;

    N = 5;

    print("Neste programa vamos digitar ");
    print(N);
    println(" números e imprimi-los por ordem crescente.");

    for(i=0;i<N;i=i+1){
        print("Digite número: ");
        scan(a[i]);
    }

    for(i=0;i<N;i=i+1)
    {
        menor = i;

        for(j=i+1;j<N;j=j+1)
        {
            if(a[j]<a[menor])
            {
                menor = j;
            }
        }

        if(menor !=i)
        {
            aux = a[i];
            a[i] = a[menor];
```



```

        a[menor] = aux;

    }

}

for(i=0;i<N; i=i+1)
{
    print(a[i]);
    print(" ");
}

println("");
}

```

4.8.2 Código assembly gerado

```

PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHN 5
START
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 5
STOREN
PUSHS "Neste programa vamos digitar "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
WRITEI
PUSHS " números e imprimir-los por ordem crescente."
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHI 0
STOREN
B0:
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHGP

```

```

PUSHI 0
LOADN
INF
JZ E0
PUSHS "Digite número: "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
ADD
READ
ATOI
STOREN
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B0
EO:
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHI 0
STOREN
B4:
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
INF
JZ E4
PUSHGP
PUSHI 3
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
STOREN
PUSHGP
PUSHI 2
PUSHGP
PUSHI 1

```

```
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
B2:
PUSHGP
PUSHI 2
LOADN
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
INF
JZ E2
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 2
LOADN
ADD
LOADN
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 3
LOADN
ADD
LOADN
INF
JZ E1
PUSHGP
PUSHI 3
PUSHGP
PUSHI 2
LOADN
STOREN
E1:
PUSHGP
PUSHI 2
PUSHGP
PUSHI 2
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B2
E2:
PUSHGP
PUSHI 3
```

LOADN
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
EQUAL
NOT
JZ E3
PUSHGP
PUSHI 4
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
ADD
LOADN
STOREN
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
ADD
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 3
LOADN
ADD
LOADN
STOREN
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 3
LOADN
ADD
PUSHGP
PUSHI 4
LOADN
STOREN
E3:
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHI 1

```

ADD
STOREN
JUMP B4
E4:
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHI 0
STOREN
B5:
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHGP
PUSHI 0
LOADN
INF
JZ E5
PUSHGP
PUSHI 5
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
ADD
LOADN
WRITEI
PUSHS " "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 1
PUSHGP
PUSHI 1
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B5
E5:
PUSHS ""
WRITES
PUSHS"\n"
WRITES
STOP

```

4.8.3 Execução da VM com o código gerado

```
>> ./vms a.vm
```

Neste programa vamos digitar 5 números e imprimi-los por ordem crescente.

Digite número: 1

```
Digite número: 2
Digite número: 3
Digite número: 4
Digite número: 5
1 2 3 4 5
>>
```

```
>> ./vms a.vm
Neste programa vamos digitar 5 números e imprimi-los por ordem crescente.
Digite número: 5
Digite número: 4
Digite número: 3
Digite número: 2
Digite número: 1
1 2 3 4 5
>>
```

```
>> ./vms a.vm
Neste programa vamos digitar 5 números e imprimi-los por ordem crescente.
Digite número: -1
Digite número: -5
Digite número: 3
Digite número: 0
Digite número: 3
-5 -1 0 3 3
>>
```

4.9 Teste 8

Transposta de uma matriz.

Ficheiro de input: 'transposta.txt'.

4.9.1 Conteúdo do ficheiro

```
main
{

    int[3][3] matriz;
    int i;
    int j;
    int aux;

    println("Neste programa vamos transpor uma matriz M 3x3.");
    println("Digite valores a armazenar em M[linha][coluna]:");
    for(i=0;i<3;i=i+1)
    {
        for(j=0;j<3;j=j+1)
        {
```

```

        print("[");
        print(i);
        print("]");
        print(j);
        print("] = ");

        scan(matriz[i][j]);
    }
}

println("\nMatriz M lida:");

for(i=0;i<3;i=i+1)
{
    for(j=0;j<3;j=j+1)
    {
        print(matriz[i][j]);
        print(" ");
    }
    println("");
}

for(i=0;i<3;i=i+1)
{
    for(j=0;j<i;j=j+1)
    {
        aux = matriz[i][j];
        matriz[i][j] = matriz[j][i];
        matriz[j][i] = aux;
    }
}

println("\nMatriz M' transposta:");

for(i=0;i<3;i=i+1)
{
    for(j=0;j<3;j=j+1)
    {
        print(matriz[i][j]);
        print(" ");
    }
    println("");
}
}

```

4.9.2 Código assembly gerado

```
PUSHN 9
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
START
PUSHS "Neste programa vamos transpor uma matriz M 3x3."
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
PUSHS "Digite valores a armazenar em M[linha][coluna]:"
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
PUSHGP
PUSHI 9
PUSHI 0
STOREN
B1:
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
PUSHI 3
INF
JZ E1
PUSHGP
PUSHI 10
PUSHI 0
STOREN
B0:
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
PUSHI 3
INF
JZ E0
PUSHS "["
WRITES
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
WRITEI
PUSHS "]"
WRITES
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
```



```

WRITEI
PUSHS "]" = "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 3
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
MUL
ADD
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
ADD
READ
ATOI
STOREN
PUSHGP
PUSHI 10
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B0
E0:
PUSHGP
PUSHI 9
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B1
E1:
PUSHS "\nMatriz M lida:"
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
PUSHGP
PUSHI 9
PUSHI 0
STOREN
B3:
PUSHGP

```

```
PUSHI 9
LOADN
PUSHI 3
INF
JZ E3
PUSHGP
PUSHI 10
PUSHI 0
STOREN
B2:
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
PUSHI 3
INF
JZ E2
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 3
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
MUL
ADD
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
ADD
LOADN
WRITEI
PUSHS " "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 10
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B2
E2:
PUSHS ""
WRITES
PUSHS"\n"
WRITES
PUSHGP
PUSHI 9
```

PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B3
E3:
PUSHGP
PUSHI 9
PUSHI 0
STOREN
B5:
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
PUSHI 3
INF
JZ E5
PUSHGP
PUSHI 10
PUSHI 0
STOREN
B4:
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
INF
JZ E4
PUSHGP
PUSHI 11
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 3
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
MUL
ADD
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
ADD
LOADN
STOREN

PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 3
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
MUL
ADD
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
ADD
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 3
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
MUL
ADD
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
ADD
LOADN
STOREN
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 3
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
MUL
ADD
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
ADD
PUSHGP
PUSHI 11
LOADN
STOREN
PUSHGP
PUSHI 10
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
PUSHI 1

```

ADD
STOREN
JUMP B4
E4:
PUSHGP
PUSHI 9
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B5
E5:
PUSHS "\nMatriz M' transposta:"
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
PUSHGP
PUSHI 9
PUSHI 0
STOREN
B7:
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
PUSHI 3
INF
JZ E7
PUSHGP
PUSHI 10
PUSHI 0
STOREN
B6:
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
PUSHI 3
INF
JZ E6
PUSHGP
PUSHI 0
PUSHI 3
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
MUL
ADD

```

```

PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
ADD
LOADN
WRITEI
PUSHS " "
WRITES
PUSHGP
PUSHI 10
PUSHGP
PUSHI 10
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B6
E6:
PUSHS ""
WRITES
PUSHS "\n"
WRITES
PUSHGP
PUSHI 9
PUSHGP
PUSHI 9
LOADN
PUSHI 1
ADD
STOREN
JUMP B7
E7:
STOP

```

4.9.3 Execução da VM com o código gerado

```

>> ./vms a.vm
Neste programa vamos transpor uma matriz M 3x3.
Digite valores a armazenar em M[linha][coluna]:
[0][0] = 1
[0][1] = 2
[0][2] = 3
[1][0] = 4
[1][1] = 5
[1][2] = 6
[2][0] = 7
[2][1] = 8
[2][2] = 9

```

Matriz M lida:

```
1 2 3
4 5 6
7 8 9
```

Matriz M' transposta:

```
1 4 7
2 5 8
3 6 9
>>
```

4.10 Teste 9

Erro na declaração de variáveis.

Ficheiro de input: 'erro1.txt'.

4.10.1 Conteúdo do ficheiro

```
main
{
    int a;
    int a;

}
```

4.10.2 Código assembly gerado

```
PUSHI 0
ERR "múltipla declaração da variável a\n"
STOP
START
STOP
```

4.10.3 Execução da VM com o código gerado

```
>> ./vms a.vm
múltipla declaração da variável a
>>
```

4.11 Teste 10

Erro de acesso a variável.

Ficheiro de input: 'erro2.txt'.

4.11.1 Conteúdo do ficheiro

```
main
{
    int a;
    a = b;
}
```

4.11.2 Código assembly gerado

```
PUSHI 0
START
PUSHGP
PUSHI 0
ERR "segmentation fault\n"
STOP
STOREN
STOP
```

4.11.3 Execução da VM com o código gerado

```
>> ./vms a.vm
segmentation fault
>>
```

4.12 Teste 11

Erro de aceso a array com índice não inteiro.
Ficheiro de input: 'erro3.txt'.

4.12.1 Conteúdo do ficheiro

```
main
{

    int[5] a;
    a[1.0] = 1;

}
```

4.12.2 Código assembly gerado

```
PUSHN 5
START
ERR "segmentation fault\n"
STOP
STOP
```


4.12.3 Execução da VM com o código gerado

```
>> ./vms a.vm  
segmentation fault  
>>
```

Capítulo 5

Conclusão

Com o projeto concluído esperamos ter cumprido todos os requisitos que nos foram propostos.

O facto de produzirmos a nossa própria linguagem tornou a experiência bastante interessante, apesar de as regras gramaticais escolhidas a tornarem bastante parecida com a linguagem C.

Achamos que há aspetos que poderiam ser melhorados. Por exemplo, gostaríamos que fosse possível atribuir o valor de uma condição a uma variável mas isso estava a gerar alguns conflitos no **parser** com a consequente rejeição de produções.

Também gostaríamos que nossa linguagem fosse possível colocar parênteses entre condições lógicas por forma a alterar a precedencia dos operadores **or** e **and**. Tal seria possível, no anexo A do documento temos a seguinte produção em comentário:

```
def p_preposition_condition_between_parenthesis(p):  
    """  
    preposition : LPAREN condition RPAREN  
    """  
    p[0] = p[2]
```

Bastaria 'descomentar' esta produção para que tal fosse possível. No entanto se o fizéssemos, ao executarmos o **parser**, iríamos gerar um conflito, muito provavelmente devido a outra produção que temos:

```
def p_factor_expression_between_parenthesis(p):  
    """  
    factor : LPAREN expression RPAREN  
    """  
    p[0] = p[2]
```

Como não queremos que haja conflitos entre produções, optamos por deixar a produção em comentário.

Por fim, tal como já tinha sido mencionado no relatório do primeiro projeto, todos concordamos que o facto de o projecto ter sido desenvolvido na linguagem 'Python' e, neste caso, com recurso aos módulos 'Yacc/ Lex' do 'PLY/Python', facilitou bastante o nosso trabalho.

Apêndice A

Código do Programa

Ficheiro lexer.py

```
import ply.lex as lex
import sys

tokens = ('LCURLY', 'RCURLY', 'LPAREN', 'RPAREN', 'LBRACKET', 'RBRACKET', 'NUM', 'REAL',
          'VAR', 'FLOAT', 'INT', 'SEMICOLON', 'MAIN', 'WHILE', 'FOR', 'IF', 'ELSE',
          'STRING', 'EQUAL', 'PLUS', 'MINUS', 'MUL', 'DIV', 'MOD', 'EQEQ', 'DIFF', 'GREATER',
          'LESSER', 'GREATEQ', 'LESSEQ', 'OR', 'AND', 'SCAN', 'PRINT', 'PRINTLN')

def t_SEMICOLON(t):
    r';'
    return t

def t_LCURLY(t):
    r'\{'
    return t

def t_RCURLY(t):
    r'\}'
    return t

def t_LPAREN(t):
    r'\('
    return t

def t_RPAREN(t):
    r'\)'
    return t

def t_LBRACKET(t):
    r'\['
    return t

def t_RBRACKET(t):
    r'\]'
    return t

def t_FLOAT(t):
    r'float'
    return t

def t_INT(t):
    r'int'
    return t

def t_MAIN(t):
```

```

    r'main'
    return t

def t_WHILE(t):
    r'while'
    return t

def t_FOR(t):
    r'for'
    return t

def t_IF(t):
    r'if'
    return t

def t_ELSE(t):
    r'else'
    return t

def t_PRINTLN(t):
    r'println'
    return t

def t_PRINT(t):
    r'print'
    return t

def t_SCAN(t):
    r'scan'
    return t

def t_STRING(t):
    r'"([^\]|\\n))*"'
    return t

def t_REAL(t):
    r'-?([1-9][0-9]*\.[0-9]+|0\.[0-9]+)'
    return t

def t_NUM(t):
    r'-?\d+'
    t.value = int(t.value)
    return t

def t_EQEQ(t):
    r'\==\'
    return t

def t_DIFF(t):
    r'\!=\'
    return t

def t_GREATER(t):
    r'\>\'
    return t

def t_GREATERQ(t):
    r'\>=\'
    return t

def t_LESSER(t):
    r'\<\'
    return t

def t_LESSERQ(t):
    r'\<=\'
    return t

```

```

def t_OR(t):
    r'or'
    return t

def t_AND(t):
    r'and'
    return t

def t_EQUAL(t):
    r'\='
    return t

def t_PLUS(t):
    r'\+'
    return t

def t_MINUS(t):
    r'\-'
    return t

def t_MUL(t):
    r'\*'
    return t

def t_DIV(t):
    r'\/'
    return t

def t_MOD(t):
    r'\%'
    return t

def t_VAR(t):
    r'\w+'
    return t

def t_error(t):
    print("Illegal Character:", t.value[0])
    t.lexer.skip(1)

t_ignore = ' \r\n\t'

lexer = lex.lex()

```

Ficheiro parser.py

```

import ply.yacc as yacc
import sys
import os.path
from lexer import tokens

def var_new(v):
    if v[0] in parser.tab_id or v[1] == 0 or v[2] == 0:
        return -1
    else:
        parser.tab_id[v[0]] = (parser.prox_address, v[1], v[2], v[3])
        parser.prox_address += v[1]*v[2]
        return 0

def var_address_base(v):
    if v in parser.tab_id:
        return parser.tab_id[v][0]
    else:
        return -1

```

```

def var_num_columns(v):
    if v in parser.tab_id:
        return parser.tab_id[v][1]
    else:
        return -1

def var_num_lines(v):
    if v in parser.tab_id:
        return parser.tab_id[v][2]
    else:
        return -1

def var_size(v):
    if v in parser.tab_id:
        return parser.tab_id[v][1] * parser.tab_id[v][2]
    else:
        return 0

def var_type(v):
    if v in parser.tab_id:
        return parser.tab_id[v][3]
    else:
        return None

def p_program(p):
    """
    program : MAIN LCURLY body RCURLY
    """
    fp.write(p[3])
    print(p[3])

def p_body(p):
    """
    body : declarations instructions
    """
    p[0] = p[1] + 'START\n' + p[2] + 'STOP'

def p_declarations_empty(p):
    """
    declarations :
    """
    p[0] = ""

def p_declarations(p):
    """
    declarations : declarations declaration
    """
    p[0] = p[1] + p[2]

def p_declaration_single(p):
    """
    declaration : type VAR SEMICOLON
    """

    status = var_new((p[2],1,1,p[1]))
    if status == -1:
        p[0] = f'ERR \"múltipla declaração da variável {p[2]}\n\nSTOP\n'
    else:
        p[0] = 'PUSHI 0\n'

```

```

def p_declaration_array(p):
    """
    declaration : type LBRACKET NUM RBRACKET VAR SEMICOLON

    """
    status = var_new((p[5],p[3],1,p[1]))
    if status == -1:
        p[0] = f'ERR \"múltipla declaração da variável {p[2]}\n\n\"nSTOP\n'
    else:
        p[0] = f'PUSHN {var_size(p[5])}\n'

def p_declaration_biarray(p):
    """
    declaration : type LBRACKET NUM RBRACKET LBRACKET NUM RBRACKET VAR SEMICOLON

    """
    status = var_new((p[8],p[6],p[3],p[1]))
    if status == -1:
        p[0] = f'ERR \"múltipla declaração da variável {p[2]}\n\n\"nSTOP\n'
    else:
        p[0] = f'PUSHN {var_size(p[8])}\n'

def p_type_int(p):
    """
    type : INT
    """
    p[0] = f'{p[1]}'

def p_type_float(p):
    """
    type : FLOAT
    """
    p[0] = f'{p[1]}'

def p_variable_single(p):
    """
    variable : VAR
    """
    p[0] = ('PUSHGPN' + f'PUSHI {var_address_base(p[1])}\n', var_type(p[1]))

def p_variable_index_expression(p):
    """
    variable : VAR LBRACKET expression RBRACKET
    """

    if p[3][1] == 'int':
        p[0] = ('PUSHGPN' + f'PUSHI {var_address_base(p[1])}\n' + p[3][0] + 'ADD\n', var_type(p[1]))
    else:
        p[0] = (f'ERR \"segmentation fault\n\n\"nSTOP\n', None)

def p_variable_index_expression_expression(p):
    """
    variable : VAR LBRACKET expression RBRACKET LBRACKET expression RBRACKET
    """
    if p[3][1] == 'int' and p[6][1] == 'int':
        p[0] = ('PUSHGPN' + f'PUSHI {var_address_base(p[1])}\n' + f'PUSHI {var_num_columns(p[1])}\n'
        + p[3][0] + 'MUL\n' + 'ADD\n' + p[6][0] + 'ADD\n', var_type(p[1]))
    else:
        p[0] = (f'ERR \"segmentation fault\n\n\"nSTOP\n', None)

def p_instructions_empty(p):

```

```

"""
instructions :
"""
p[0] = ""

def p_instructions(p):
    """
    instructions : instructions instruction
    """
    p[0] = p[1] + p[2]

def p_instruction_attribution(p):
    """
    instruction : attribution SEMICOLON
    """
    p[0] = p[1]

def p_attribution(p):
    """
    attribution : variable EQUAL expression
    """

    if p[1][1] == None:
        p[0] = f'ERR \"segmentation fault\\n\\n\"\\nSTOP\\n'

    elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'FTOI\\n' + 'STOREN\\n'

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\\n' + 'STOREN\\n'

    else:
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'STOREN\\n'

def p_expression_term(p):
    """
    expression : term
    """
    p[0] = p[1]

def p_expression_plus_term(p):
    """
    expression : expression PLUS term
    """
    if p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'ADD\\n', 'int')

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'FADD\\n', 'float')

    elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = (p[1][0] + 'ITOF\\n' + p[3][0] + 'FADD\\n', 'float')

    else:
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\\n' + 'FADD\\n', 'float')

def p_expression_minus_term(p):
    """
    expression : expression MINUS term
    """
    if p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'int':

```



```

    p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'SUB\n','int')

elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'float':
    p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'FSUB\n','float')

elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
    p[0] = (p[1][0] + 'ITOF\n' + p[3][0] + 'FSUB\n','float')

else:
    p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\n' + 'FSUB\n','float')

def p_term_factor(p):
    """
    term : factor
    """
    p[0] = p[1]

def p_term_mul_factor(p):
    """
    term : term MUL factor
    """
    if p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'MUL\n','int')

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'FMUL\n','float')

    elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = (p[1][0] + 'ITOF\n' + p[3][0] + 'FMUL\n','float')

    else:
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\n' + 'FMUL\n','float')

def p_term_div_factor(p):
    """
    term : term DIV factor
    """
    if p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'DIV\n','int')

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'FDIV\n','float')

    elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = (p[1][0] + 'ITOF\n' + p[3][0] + 'FDIV\n','float')

    else:
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\n' + 'FDIV\n','float')

def p_ter_mod_factor(p):
    """
    term : term MOD factor
    """
    if p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'MOD\n','int')

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = (p[1][0] + 'FTOI\n' + p[3][0] + 'FTOI\n' + 'MOD\n','int')

    elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':

```

```

    p[0] = (p[1][0] + p[3][0] + 'FTOI\n' + 'MOD\n','int')

else:
    p[0] = (p[1][0] + 'FTOI\n' + p[3][0] + 'MOD\n','int')

def p_factor_var(p):
    """
    factor : variable
    """
    if p[1][1] == None:
        p[0] = (f'ERR \"segmentation fault\\n\\nSTOP\n',None)

    else:
        p[0] = (p[1][0] + 'LOADN\n',p[1][1])

def p_factor_num(p):
    """
    factor : NUM
    """
    p[0] = (f'PUSHI {p[1]}\n','int')

def p_factor_float(p):
    """
    factor : REAL
    """
    p[0] = (f'PUSHF {p[1]}\n','float')

def p_factor_expression_between_parenthesis(p):
    """
    factor : LPAREN expression RPAREN
    """
    p[0] = p[2]

def p_instruction_while(p):
    """
    instruction : WHILE LPAREN condition RPAREN LCURLY instructions RCURLY
    """
    p[0] = f'B{parser.labels}:\n' + p[3] + 'JZ ' + f'E{parser.labels}\n' + p[6] + f'JUMP B{parser.labels}\n'
    + f'E{parser.labels}:\n'
    parser.labels +=1

def p_instruction_for(p):
    """
    instruction : FOR LPAREN attribution SEMICOLON condition SEMICOLON attribution RPAREN LCURLY instructions RCURLY
    """
    p[0] = p[3] + f'B{parser.labels}:\n' + p[5] + 'JZ ' + f'E{parser.labels}\n' + p[10] + p[7]
    + f'JUMP B{parser.labels}\n' + f'E{parser.labels}:\n'
    parser.labels +=1

def p_instruction_if(p):
    """
    instruction : IF LPAREN condition RPAREN LCURLY instructions RCURLY
    """
    p[0] = p[3] + 'JZ ' + f'E{parser.labels}\n' + p[6] + f'E{parser.labels}:\n'
    parser.labels +=1

def p_instruction_if_else(p):
    """
    instruction : IF LPAREN condition RPAREN LCURLY instructions RCURLY ELSE LCURLY instructions RCURLY
    """

```

```

p[0] = p[3] + 'JZ ' + f'E{parser.labels}\n' + p[6] + f'JUMP F{parser.labels}\n'
+ f'E{parser.labels}:\n' + p[10] + f'F{parser.labels}:\n'
parser.labels +=1

```

```

def p_condition_formula(p):

```

```

    """
    condition : formula
    """

```

```

    p[0] = p[1]

```

```

def p_condition_or_formula(p):

```

```

    """
    condition : condition OR formula
    """

```

```

    p[0] = p[1] + p[3] + 'ADD\nPUSHI 0\nSUP\n'

```

```

def p_formula_preposition(p):

```

```

    """
    formula : preposition
    """

```

```

    p[0] = p[1]

```

```

def p_formula_and_preposition(p):

```

```

    """
    formula : formula AND preposition
    """

```

```

    p[0] = p[1] + p[3] + 'MUL\nPUSHI 0\nSUP\n'

```

```

def p_preposition_expression_epeq_expression(p):

```

```

    """
    preposition : expression EQEQ expression
    """

```

```

    if p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = p[1][0] + 'ITOF\n' + p[3][0] + 'EQUAL\n'

```

```

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\n' + 'EQUAL\n'

```

```

    else:
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'EQUAL\n'

```

```

def p_preposition_expression_diff_expression(p):

```

```

    """
    preposition : expression DIFF expression
    """

```

```

    if p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = p[1][0] + 'ITOF\n' + p[3][0] + 'EQUAL\nNOT\n'

```

```

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\n' + 'EQUAL\nNOT\n'

```

```

    else:
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'EQUAL\nNOT\n'

```

```

def p_preposition_expression_greater_expression(p):

```

```

    """
    preposition : expression GREATER expression
    """

```

```

    if p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'float':

```

```

    p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'FSUP\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
    p[0] = p[1][0] + 'ITOF\n' + p[3][0] + 'FSUP\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'int':
    p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\n' + 'FSUP\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

else:
    p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'SUP\n'

def p_preposition_expression_lesser_expression(p):
    """
    preposition : expression LESSER expression
    """
    if p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'FINF\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

    elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = p[1][0] + 'ITOF\n' + p[3][0] + 'FINF\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\n' + 'FINF\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

    else:
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'INF\n'

def p_preposition_expression_greateq_expression(p):
    """
    preposition : expression GREATEQ expression
    """
    if p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'FSUPEQ\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

    elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = p[1][0] + 'ITOF\n' + p[3][0] + 'FSUPEQ\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\n' + 'FSUPEQ\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

    else:
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'SUPEQ\n'

def p_preposition_expression_lesseq_expression(p):
    """
    preposition : expression LESSEQ expression
    """
    if p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'FINFEQ\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

    elif p[1][1] == 'int' and p[3][1] == 'float':
        p[0] = p[1][0] + 'ITOF\n' + p[3][0] + 'FINFEQ\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

    elif p[1][1] == 'float' and p[3][1] == 'int':
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'ITOF\n' + 'FINFEQ\n' + 'FTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

    else:
        p[0] = p[1][0] + p[3][0] + 'INFEQ\n'

def p_preposition_expression(p):
    """
    preposition : expression
    """
    if p[1][1] == 'float':

```

```

p[0] = p[1][0] + 'PUSHF 0.0\nFSUP\nFTOI\nPUSHI 0\nSUP\n'

else:
    p[0] = p[1][0] + 'PUSHI 0\nSUP\n'

#def p_preposition_condition_between_parenthesis(p):
# """
# preposition : LPAREN condition RPAREN
# """
# p[0] = p[2]

def p_instruction_scan(p):
    """
    instruction : SCAN LPAREN variable RPAREN SEMICOLON
    """
    if p[3][1] == None:
        p[0] = f'ERR \"segmentation fault\\n\"\\nSTOP\n'

    elif p[3][1] == 'int':
        p[0] = p[3][0] + 'READ\nATOI\nSTOREN\n'

    else:
        p[0] = p[3][0] + 'READ\nATOF\nSTOREN\n'

def p_instruction_print_var(p):
    """
    instruction : PRINT LPAREN variable RPAREN SEMICOLON
    """
    if p[3][1] == None:
        p[0] = f'ERR \"segmentation fault\\n\"\\nSTOP\n'

    elif p[3][1] == 'int':
        p[0] = p[3][0] + 'LOADN\nWRITEI\n'

    else:
        p[0] = p[3][0] + 'LOADN\nWRITEF\n'

def p_instruction_println_var(p):
    """
    instruction : PRINTLN LPAREN variable RPAREN SEMICOLON
    """
    if p[3][1] == None:
        p[0] = f'ERR \"segmentation fault\\n\"\\nSTOP\n'

    elif p[3][1] == 'int':
        p[0] = p[3][0] + 'LOADN\nWRITEI\n'
        p[0] += 'PUSHS\\n\\n\"\\nWRITES\n'

    else:
        p[0] = p[3][0] + 'LOADN\nWRITEF\n'
        p[0] += 'PUSHS\\n\\n\"\\nWRITES\n'

def p_instruction_print_string(p):
    """
    instruction : PRINT LPAREN STRING RPAREN SEMICOLON
    """
    p[0] = f'PUSHS {p[3]}\nWRITES\n'

def p_instruction_println_string(p):
    """
    instruction : PRINTLN LPAREN STRING RPAREN SEMICOLON
    """

```

```
p[0] = f'PUSHS {p[3]}\nWRITES\nPUSHS\\n\\n\\nWRITES\n'
```

```
def p_error(p):
    print("Syntax error!")
    parser.success = False
```

```
parser = yacc.yacc()
parser.success = True
```

```
parser.prox_address = 0
parser.tab_id = {}
parser.labels = 0
```

```
if len(sys.argv)!=2 and len(sys.argv)!=3:
    print('Invalid number of arguments!')
    sys.exit(0)
else:
    file_input = sys.argv[1]

if not os.path.exists(file_input):
    print(f"File \"{file_input}\" not found!")
    sys.exit(0)
```

```
fp = open(file_input, 'r')
source = fp.read()
fp.close()
```

```
if len(sys.argv)==3:
    file_output = sys.argv[2]
else:
    file_output = "a.vm"
```

```
fp = open(file_output, "w")
```

```
parser.parse(source)
```

```
if parser.success:
    print("Parsing successfully completed!")
```

```
fp.close()
```

Ficheiro de teste quadrado.txt

```
main
{
    float[4] lados;
    int i;
    int j;
    int r;
    i = 4;

    while(i>0)
    {
        print("Digite lado: ");
        scan(lados[4 - i]);
        i = i - 1;
    }
}
```

```

    r= 1;
    for(i=0;i<4;i=i+1)
    {
        for(j=i+1;j<4;j=j+1)
        {
            if(lados[i] != lados[j])
            {
                r = 0;
            }
        }
    }

    if(r and lados[0])
    {
        println("Podem ser os lados de um quadrado!");
    }
    else
    {
        println("Não podem ser os lados de um quadrado!");
    }
}

```

Ficheiro de teste menor.txt

```

main
{

    int menor;
    int N;
    int i;
    int aux;

    i = 0;

    print("Digite número: ");
    scan(menor);

    print("Digite quantos números quer ler: ");
    scan(N);

    while(i<N){
        print("Digite número: ");
        scan(aux);

        if(aux < menor){
            menor = aux;
        }
        i = i +1;
    }
    print("O menor número é: ");
    println(menor);
}

```

Ficheiro de teste produto.txt

```

main
{

    int N;
    int r;
    int[5] a;
    int i;

```

```

i = 0;
N = 5;
r = 1;

while(i<N){
    print("Digite um número: ");
    scan(a[i]);
    i = i + 1;
}

i = 0;

while(i<N){
    print(a[i]);
    print(" x ");
    r = r * a[i];
    i = i + 1;
}

print(" = ");
println(r);
}

```

Ficheiro de teste impares.txt

```

main
{
    int count;
    int aux;
    count = 0;
    aux = 1;
    println("Digite 0 para parar!");

    while(aux != 0){
        print("Digite número: ");
        scan(aux);
        if(aux % 2 == 1){
            print(aux);
            println(" é impar!");
            count = count +1;
        }
    }
    print("Foram lidos ");
    print(count);
    println(" números impares!");
}

```

Ficheiro de teste inversa.txt

```

main
{
    int N;
    int i;
    int[10] a;
    N = 5;
    i = 0;

    print("Neste programa vamos digitar ");
    print(N);
    println(" números e imprimi-los por ordem inversa.");

    while(i<N){
        print("Digite número: ");
        scan(a[i]);
    }
}

```



```

    i = i + 1;
}

i = N - 1;

while(i>=0){
    print(a[i]);
    print(" ");
    i = i - 1;
}

println("");
}

```

Ficheiro de teste calculo.txt

```

main
{
    int a;

    a = 2 * 3 + 4 * 5 - 1;

    print("a = 2 * 3 + 4 * 5 - 1 = ");
    println(a);

    a = (1 + a) * a;

    print("a = (1 + a) * a = ");
    println(a);

    a = a % (a - 1);
    print("a = a % (a-1) = ");
    println(a);
}

```

Ficheiro de teste ordena.txt

```

main
{
    int N;
    int i;
    int j;
    int menor;
    int aux;
    int[5] a;

    N = 5;

    print("Neste programa vamos digitar ");
    print(N);
    println(" números e imprimi-los por ordem crescente.");

    for(i=0;i<N;i=i+1){
        print("Digite número: ");
        scan(a[i]);
    }

    for(i=0;i<N;i=i+1)
    {
        menor = i;

        for(j=i+1;j<N;j=j+1)

```

```

    {
        if(a[j]<a[menor])
        {
            menor = j;
        }
    }

    if(menor !=i)
    {
        aux = a[i];
        a[i] = a[menor];
        a[menor] = aux;
    }
}

for(i=0;i<N; i=i+1)
{
    print(a[i]);
    print(" ");
}

println("");
}

```

Ficheiro de teste transposta.txt

```

main
{

    int[3][3] matriz;
    int i;
    int j;
    int aux;

    println("Neste programa vamos transpor uma matriz M 3x3.");
    println("Digite valores a armazenar em M[linha][coluna]:");
    for(i=0;i<3;i=i+1)
    {
        for(j=0;j<3;j=j+1)
        {
            print("[");
            print(i);
            print("] [");
            print(j);
            print("] = ");

            scan(matriz[i][j]);
        }
    }

    println("\nMatriz M lida:");

    for(i=0;i<3;i=i+1)
    {
        for(j=0;j<3;j=j+1)
        {
            print(matriz[i][j]);
            print(" ");
        }
        println("");
    }

    for(i=0;i<3;i=i+1)
    {
        for(j=0;j<i;j=j+1)

```

```

    {
        aux = matriz[i][j];
        matriz[i][j] = matriz[j][i];
        matriz[j][i] = aux;
    }
}

println("\nMatriz M' transposta:");

for(i=0;i<3;i=i+1)
{
    for(j=0;j<3;j=j+1)
    {
        print(matriz[i][j]);
        print(" ");
    }
    println("");
}
}

```

Ficheiro de teste erro1.txt

```

main
{
    int a;
    int a;
}

```

Ficheiro de teste erro2.txt

```

main
{
    int a;
    a = b;
}

```

Ficheiro de teste erro3.txt

```

main
{

    int[5] a;
    a[1.0] = 1;
}

```