

Construção de um compilador de Python para Dalvik usando Objective Caml

Miguel Henrique de Brito Pereira

miguelhbrito@gmail.com

Faculdade de Computação
Universidade Federal de Uberlândia

27 de junho de 2019

Lista de Figuras

2.1	ADV Manager	12
2.2	Criar um novo device	13
2.3	Modelo Device	13
2.4	Manager Devices	14

Lista de Tabelas

4.1 Tabela de Tokens 29

Lista de Listagens

3.1	Nano01.py	15
3.2	Nano01.java	15
3.3	Nano01.smali	15
3.4	Nano02.py	16
3.5	Nano02.java	16
3.6	Nano02.smali	16
3.7	Nano03.py	16
3.8	Nano03.java	17
3.9	Nano03.smali	17
3.10	Nano04.py	17
3.11	Nano04.java	17
3.12	Nano04.smali	18
3.13	Nano05.py	18
3.14	Nano05.java	18
3.15	Nano05.smali	18
3.16	Nano06.py	19
3.17	Nano06.java	19
3.18	Nano06.smali	19
3.19	Nano07.py	20
3.20	Nano07.java	20
3.21	Nano07.smali	20
3.22	Nano08.py	21
3.23	Nano08.java	21
3.24	Nano08.smali	21
3.25	Nano09.py	22
3.26	Nano09.java	22
3.27	Nano09.smali	23
3.28	Nano10.py	23
3.29	Nano10.java	24
3.30	Nano10.smali	24
3.31	Nano11.py	24
3.32	Nano11.java	25
3.33	Nano11.smali	25
3.34	Nano12.py	26
3.35	Nano12.java	26
3.36	Nano12.smali	26
4.1	lexico.mll	30
4.2	pre-processador.ml	33
4.3	carregador.ml	36
4.4	teste.py	36

4.5	nano01.py	37
4.6	nano02.py	37
4.7	nano03.py	37
4.8	nano04.py	37
4.9	nano05.py	37
4.10	nano06.py	38
4.11	nano07.py	38
4.12	nano08.py	38
4.13	nano09.py	38
4.14	nano10.py	39
4.15	nano11.py	39
4.16	nano12.py	39
5.1	lexico.mll	41
5.2	sintatico.mly	44
5.3	ast.ml	48
5.4	sintaticoTest.ml	49
5.5	astMicro01	51
5.6	astMicro02	52
5.7	astMicro03	52
5.8	astMicro04	53
5.9	astMicro05	53
5.10	astMicro06	54
5.11	astMicro07	54
5.12	astMicro08	55
5.13	astMicro09	55
5.14	astMicro10	56
5.15	astMicro11	57
6.1	lexico.mll	58
6.2	sintatico.mly	63
6.3	ast.ml	67
6.4	sast.ml	68
6.5	tast.ml	68
6.6	semantico.ml	68
6.7	.ocamlinit	77
6.8	micro10.txt	78
7.1	ambInterp.ml	80
7.2	interprete.ml	81
7.3	.ocamlinit	88
8.1	Codigo.ml	90
8.2	Cod3End.ml	91
8.3	cod3endTest.ml	97
8.4	.ocamlinit	102
8.5	micro10.py	103
8.6	micro10.py	103
8.7	micro10.py	104

Sumário

Lista de Figuras	2
Lista de Tabelas	3
1 Introdução	8
1.1 Sistema Operacional	8
1.2 Python	8
1.3 Dalvik	8
1.4 Smali/Baksmali	9
1.5 OCaml	9
2 Instalações	10
2.1 Python	10
2.2 Java	10
2.3 Dalvik	10
2.4 OCaml	11
2.5 Compilação	11
2.5.1 Compilando Java em .dex	12
2.5.2 Complilando .dex em .smali	12
2.5.3 Compilando .smali code em .dex	12
2.6 Executando o arquivo .dex no Android	12
2.6.1 Utilizando Emulador AVD	12
3 Nano Programas	15
3.1 Nano01	15
3.2 Nano02	16
3.3 Nano03	16
3.4 Nano04	17
3.5 Nano05	18
3.6 Nano06	19
3.7 Nano07	20
3.8 Nano08	21
3.9 Nano09	22
3.10 Nano10	23
3.11 Nano11	24
3.12 Nano12	26

4	Analizador Léxico	28
4.1	Lista de Tokens	29
4.2	Códigos	30
4.3	Compilação e execução	36
4.4	Análise léxica Nanos	37
5	Análise sintática	41
5.1	Código	41
5.2	Execução	51
5.3	Análise sintática dos programas micro	51
6	Análise semantica	58
6.1	Execução	58
6.2	Codigos	58
6.3	Compilação e execução	77
6.4	Codigo teste	78
7	Interprete	80
7.1	Códigos	80
7.2	Compilação e execução	89
8	Representação intermediária	90
8.1	Codigos	90
8.2	Compilação e execução	102
8.3	Exemplos	103
9	Referências	105

Capítulo 1

Introdução

Este documento foi escrito para auxiliar na confecção do relatório da disciplina de Construção de Compiladores com a finalidade de detalhar todo o trabalho desenvolvido e os processos envolvidos da Construção de um Compilador, mais especificamente, um Compilador de Python para Dalvik, utilizando a linguagem OCaml para a construção do mesmo.

1.1 Sistema Operacional

Para esse trabalho foi utilizado o sistema operacional *Fedora 28*, sua instalação é fácil e rápida, basta acessar o [site](#) e seguir os passos descritos pela desenvolvedora do sistema.

1.2 Python

Python é uma ótima linguagem de programação orientada a objetos, interpretada e interativa é uma linguagem de programação orientada a objetos, interpretada, de script, interativa, funcional e de tipagem dinâmica. Criada por Guido van Rossum em 1991, hoje segue o modelo de desenvolvimento comunitário, aberto e gerenciado pela organização sem fins lucrativos *Python Software Foundation*.

1.3 Dalvik

Desenvolvida por Dan Bornstein e com contribuições de outros engenheiros do Google, é uma máquina virtual baseada em registradores e foi projetada para ser utilizada no sistema operacional Android. É muito conhecida pelo seu bom desempenho, pelo baixo consumo de memória e foi projetada para permitir que múltiplas instâncias da máquina virtual rodem ao mesmo tempo. A *Dalvik* é frequentemente confundida com uma Java Virtual Machine, porém, o bytecode que ela opera é bastante diferente do bytecode da JVM. A VM do Dalvik, executa um bytecode no formato `.dex` (Dalvik Executable), codigos em `.dex`

são ilegíveis aos humanos, portanto, neste trabalho usaremos Smali Code para apresentar os códigos.

1.4 Smali/Baksmali

O *smali/baksmali* é um *assembler/disassembler* para o formato *.dex* usado pela *Dalvik*, que gera um arquivo *SmaliCode*. A sintaxe é vagamente baseada na sintaxe do *Jasmin*, e suporta a funcionalidades do formato *.dex* (anotações, informações de depuração, informações de linha, etc.)

1.5 OCaml

Objective Caml, ou somente *OCaml*, é uma linguagem de programação funcional e fortemente tipada, da família ML com ênfase na expressividade e na segurança. É usada em aplicações sensíveis onde um único erro pode custar milhões. Será utilizada na implementação de nosso compilador.

Capítulo 2

Instalações

2.1 Python

Já vem instalado por padrão em sistemas *GNU/Linux*, para conferir a versão, digite no terminal:

```
> which python
```

2.2 Java

Para checar as versões disponíveis, digite no terminal:

```
> sudo dnf search openjdk
```

Instale a versão desejada digitando no terminal:

```
> sudo dnf install <openjdk-package-name>
```

Por exemplo:

```
> sudo dnf install java-1.8.0-openjdk.x86_64
```

Para verificar se foi instalado com sucesso digite:

```
> java -version
```

2.3 Dalvik

O Dalvik é uma VM executada em android, então neste trabalho usaremos o Android Studio. Para instalar basta ir no [site](#) baixar a versão que se aplica ao seu SO e configurar o PATH no terminal:

```
>export PATH=\$PATH:/diretoriolocal/android-studio/bin
```

Para executar o Android Studio, entre no diretório android-studio/bin e digite no terminal:

```
>sh studio.sh
```

Os componentes adicionais serão instalados com a ajuda do assistente de configuração na primeira execução do programa.

2.4 OCaml

Versão utilizada: 4.07.0

```
>sudo dnf install wget
>sudo dnf install git m4 mercurial darcs
>wget https://raw.githubusercontent.com/ocaml/opam/master/shell/
>opam_installer.sh -O - | sh -s /dev/bin
>opam init
>eval `opam config env`
>opam repository add git git+https://github.com/ocaml/
>opam-repository
>opam update
```

Para saber qual a versão mais atual:

```
>opam switch
```

Instalando a versão 4.0.7:

```
>opam switch 4.07.0
>eval `opam config env`
```

Instalar o rlwrap para trabalhar melhor com o OCaml:

```
> sudo dnf update
> sudo dnf install rlwrap
```

Executar o OCaml com o rlwrap:

```
>rlwraper ocaml
```

2.5 Compilação

Como gerar .smeli a partir do .dex.

2.5.1 Compilando Java em .dex

Dentro do diretório execute no terminal:

```
> javac file.java
> diretorioSDK/build-tools/version/dx --dex --output=file.dex file.class
```

Onde esta "diretorioSDK" é o caminho no qual foi instalado o SDK com o assistente de configuração do Android Studio, assim, como "version" a versão que esta sendo utilizada. Baixe o baksmali e smali, os dois na versão 2.2.6, no [site](#) para fazer o desassembly. É importante ressaltar que tem que deixar o .dex/.smali e o baksmali/smali no mesmo diretório.

2.5.2 Complilando .dex em .smali

Dentro do diretório execute no terminal:

```
> java -jar baksmali-2.2.6.jar disassemble file.dex
```

2.5.3 Compilando .smali code em .dex

Dentro do diretório execute no terminal:

```
> java -jar smali-2.2.6.jar assemble file.smali -o file.dex
```

2.6 Executando o arquivo .dex no Android

Depois de compilado o .dex, para executa-lo usaremos um emulador que rode o sistema operacional android. Usaremos o modelo Nexus 5, android 5.1.

2.6.1 Utilizando Emulador AVD

Após instalado o Android Studio, execute-o e crie um novo projeto em branco. Na interface do programa, vá em: *Tools > ADV Manager*.

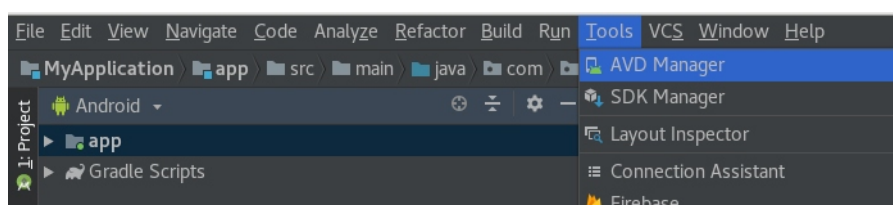


Figura 2.1: *ADV Manager*

A seguinte tela irá aparecer:

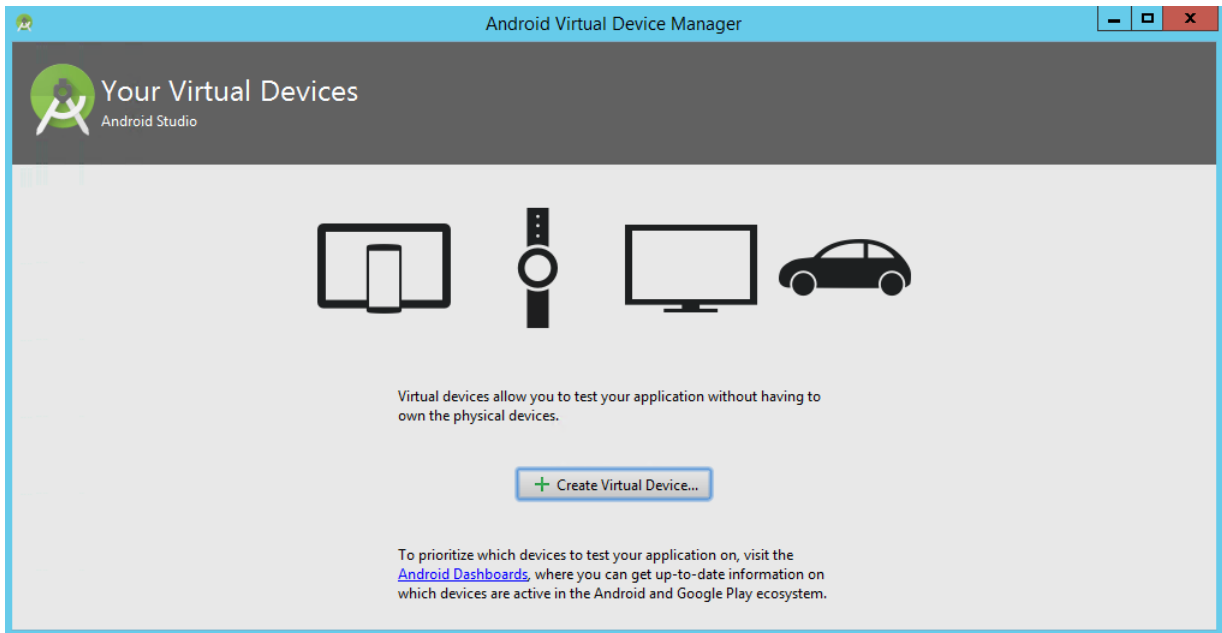


Figura 2.2: Criar um novo device

Nessa janela, selecione *Create Virtual Device*.

Logo em seguida irá aparecer essa janela:

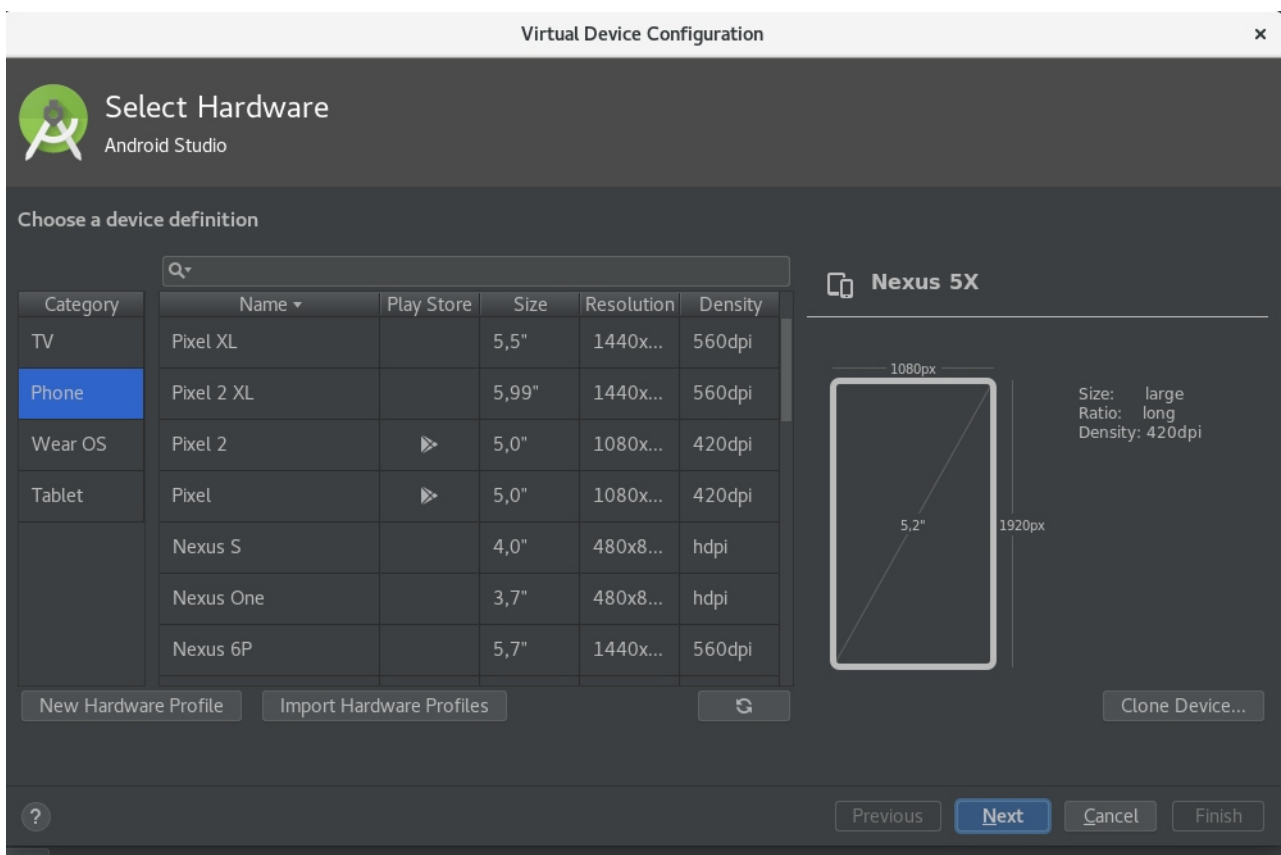


Figura 2.3: Modelo Device

Selecione o modelo que deseja emular, indico usar modelos Nexus, continue para as próximas

janelas clicando em next.

Abrindo o ADV Manager novamente, seu modelo emulado deverá aparecer como mostrado na figura abaixo, para iniciar, clique no ícone *Play*.

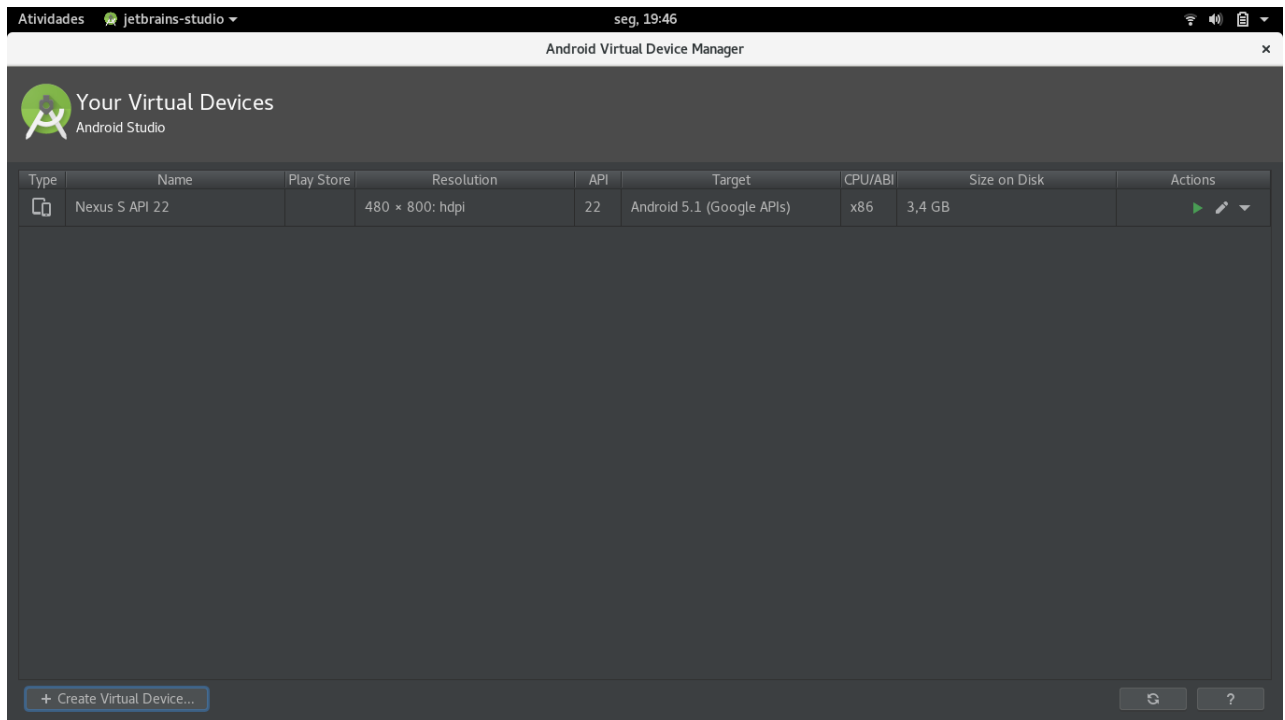


Figura 2.4: *Manager Devices*

Ao fazer esses passos irá aparecer um emulador da tela do celular, com isso já podemos rodar arquivos .dex.

No terminal digite:

```
> ./adb devices
> ./adb push /home/fenrir/dev/Projetos/compilados/nano01.dex /data/local
> ./adb shell dalvikvm -cp /data/local/nano01.dex nano01
```

A execução da ferramenta adb deve ser feita dentro do diretório *androidpath/sdk/platform-tools/*.

Capítulo 3

Nano Programas

Neste capítulo será apresentado alguns programas e suas respectivas versões em Python, Java e Smali Code.

3.1 Nano01

Listagem 3.1: Nano01.py

```
1 def main() -> None:
2     return
```

Listagem 3.2: Nano01.java

```
1 public class Nano01 {
2     public static void main(String[] args) {
3     }
4 }
```

Listagem 3.3: Nano01.smali

```
1 .class public LNano01;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano01.java"
4
5
6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10    .prologue
11    .line 1
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;-><init>()V
13
14    return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 1
19
```

```

20     .prologue
21     .line 3
22     return-void
23 .end method

```

Saída : nenhuma.

3.2 Nano02

Listagem 3.4: Nano02.py

```

1 def main() -> None:
2     n: int = 0

```

Listagem 3.5: Nano02.java

```

1 public class Nano02 {
2     public static void main(String[] args) {
3         int n;
4     }
5 }

```

Listagem 3.6: Nano02.smali

```

1 .class public LNano02;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano02.java"
4
5
6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10    .prologue
11    .line 1
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;-><init>()V
13
14    return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 1
19
20     .prologue
21     .line 4
22     return-void
23 .end method

```

Saída : nenhuma.

3.3 Nano03

Listagem 3.7: Nano03.py

```

1 def main() -> None:

```


3.4

```
2      n: int = 1
```

Listagem 3.8: Nano03.java

```
1 public class Nano03 {  
2     public static void main(String[] args) {  
3         int n;  
4         n = 1;  
5     }  
6 }
```

Listagem 3.9: Nano03.smali

```
1 .class public LNano03;  
2 .super Ljava/lang/Object;  
3 .source "Nano03.java"  
4  
5  
6 # direct methods  
7 .method public constructor <init>()V  
8     .registers 1  
9  
10    .prologue  
11    .line 1  
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;--><init>()V  
13  
14    return-void  
15 .end method  
16  
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V  
18     .registers 1  
19  
20     .prologue  
21     .line 4  
22     .line 5  
23     return-void  
24 .end method
```

Saída : nenhuma.

3.4 Nano04

Listagem 3.10: Nano04.py

```
1 def main() -> None:  
2     n: int = 1 + 2
```

Listagem 3.11: Nano04.java

```
1 public class Nano04 {  
2     public static void main(String[] args) {  
3         int n;  
4         n = 1+2;  
5     }  
6 }
```

Listagem 3.12: Nano04.smali

```

1 .class public LNano04;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano04.java"
4
5
6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10    .prologue
11    .line 1
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object; -> <init>()V
13
14    return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 1
19
20    .prologue
21    .line 4
22    .line 5
23    return-void
24 .end method

```

Saída : nenhuma.

3.5 Nano05

Listagem 3.13: Nano05.py

```

1 def main() -> None:
2     n: int = 2
3     print(n)
4
5 main()

```

Listagem 3.14: Nano05.java

```

1 public class Nano05 {
2     public static void main(String[] args) {
3         int n;
4         n = 2;
5         System.out.println(n);
6     }
7 }

```

Listagem 3.15: Nano05.smali

```

1 .class public LNano05;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano05.java"
4
5
6 # direct methods

```

3.6

```
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10    .prologue
11    .line 1
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;--><init>()V
13
14    return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 3
19
20     .prologue
21     .line 4
22     const/4 v0, 0x2
23
24     .line 5
25     sget-object v1, Ljava/lang/System;-->out:Ljava/io/PrintStream;
26
27     invoke-virtual {v1, v0}, Ljava/io/PrintStream;-->println(I)V
28
29     .line 6
30     return-void
31 .end method
```

Saída : 2.

3.6 Nano06

Listagem 3.16: Nano06.py

```
1 def main() -> None:
2     n: int = 1 - 2
3     print(n)
4
5 main()
```

Listagem 3.17: Nano06.java

```
1 public class Nano06 {
2     public static void main(String[] args) {
3         int n;
4         n = 1-2;
5         System.out.println(n);
6     }
7 }
```

Listagem 3.18: Nano06.smali

```
1 .class public LNano06;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano06.java"
4
5
6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
```

```

8      .registers 1
9
10     .prologue
11     .line 1
12     invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object; -><init>()V
13
14     return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 3
19
20     .prologue
21     .line 4
22     const/4 v0, -0x1
23
24     .line 5
25     sget-object v1, Ljava/lang/System; ->out:Ljava/io/PrintStream;
26
27     invoke-virtual {v1, v0}, Ljava/io/PrintStream; ->println(I)V
28
29     .line 6
30     return-void
31 .end method

```

Saída : -1.

3.7 Nano07

Listagem 3.19: Nano07.py

```

1 def main() -> None:
2     n = 1
3     if n == 1:
4         print(n)
5
6 main()

```

Listagem 3.20: Nano07.java

```

1 public class Nano07 {
2     public static void main(String[] args) {
3         int n;
4         n = 1;
5         if(n==1) {
6             System.out.println(n);
7         }
8     }
9 }

```

Listagem 3.21: Nano07.smali

```

1 .class public LNano07;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano07.java"
4
5

```

```

6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10     .prologue
11     .line 1
12     invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;--><init>()V
13
14     return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 3
19
20     .prologue
21     .line 4
22     const/4 v0, 0x1
23
24     .line 6
25     sget-object v1, Ljava/lang/System;-->out:Ljava/io/PrintStream;
26
27     invoke-virtual {v1, v0}, Ljava/io/PrintStream;-->println(I)V
28
29     .line 8
30     return-void
31 .end method

```

Saída : 1.

3.8 Nano08

Listagem 3.22: Nano08.py

```

1 def main() -> None:
2     n: int = 1
3     if n == 1:
4         print(n)
5     else:
6         print(0)
7
8 main()

```

Listagem 3.23: Nano08.java

```

1 public class Nano08 {
2     public static void main(String[] args) {
3         int n;
4         n = 1;
5         if(n==1){
6             System.out.println(n);
7         }else{
8             System.out.println(0);
9         }
10    }
11 }

```

Listagem 3.24: Nano08.smali

```

1 .class public LNano08;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano08.java"
4
5
6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10    .prologue
11    .line 1
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object; -> <init>()V
13
14    return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 3
19
20     .prologue
21     .line 4
22     const/4 v0, 0x1
23
24     .line 6
25     sget-object v1, Ljava/lang/System; -> out:Ljava/io/PrintStream;
26
27     invoke-virtual {v1, v0}, Ljava/io/PrintStream; -> println(I)V
28
29     .line 10
30     return-void
31 .end method

```

Saída : 1.

3.9 Nano09

Listagem 3.25: Nano09.py

```

1 def main() -> None:
2     n: int = 1 + (1 / 2)
3     if n == 1:
4         print(n)
5     else:
6         print(0)
7
8 main()

```

Listagem 3.26: Nano09.java

```

1 public class Nano09 {
2     public static void main(String[] args) {
3         int n;
4
5         n = 1 + 1 / 2;
6         if(n==1) {

```

3.10

```
7         System.out.println(n);
8     } else {
9         System.out.println(0);
10    }
11 }
12 }
```

Listagem 3.27: Nano09.smali

```
1 .class public LNano09;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano09.java"
4
5
6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10    .prologue
11    .line 1
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;-><init>()V
13
14    return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 3
19
20     .prologue
21     .line 5
22     const/4 v0, 0x1
23
24     .line 7
25     sget-object v1, Ljava/lang/System;->out:Ljava/io/PrintStream;
26
27     invoke-virtual {v1, v0}, Ljava/io/PrintStream;->println(I)V
28
29     .line 11
30     return-void
31 .end method
```

Saída : 0.

3.10 Nano10

Listagem 3.28: Nano10.py

```
1 def main() -> None:
2     n: int = 1
3     m: int = 2
4     if n == m:
5         print(n)
6     else:
7         print(0)
8
9 main()
```

Listagem 3.29: Nano10.java

```

1 public class Nano10 {
2     public static void main(String[] args) {
3         int n, m;
4         n = 1;
5         m = 2;
6         if(n==m) {
7             System.out.println(n);
8         }else{
9             System.out.println(0);
10        }
11    }
12
13 }

```

Listagem 3.30: Nano10.smali

```

1 .class public LNano10;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano10.java"
4
5
6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10    .prologue
11    .line 1
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;-><init>()V
13
14    return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 3
19
20     .prologue
21     .line 4
22     .line 9
23     sget-object v0, Ljava/lang/System;->out:Ljava/io/PrintStream;
24
25     const/4 v1, 0x0
26
27     invoke-virtual {v0, v1}, Ljava/io/PrintStream;->println(I)V
28
29     .line 11
30     return-void
31 .end method

```

Saída : 0.

3.11 Nano11

Listagem 3.31: Nano11.py

```

1 def main() -> None:

```



```

2      n: int = 1
3      m: int = 2
4      x: int = 5
5      while x > n:
6          n = n + m
7          print(n)
8
9 main()

```

Listagem 3.32: Nano11.java

```

1 public class Nano11 {
2     public static void main(String[] args) {
3         int n, m, x;
4
5         n = 1;
6         m = 2;
7         x = 5;
8         while (x>n) {
9             n = n + m;
10            System.out.println(n);
11        }
12    }
13 }

```

Listagem 3.33: Nano11.smali

```

1 .class public LNano11;
2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano11.java"
4
5
6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10    .prologue
11    .line 1
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;-><init>()V
13
14    return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 5
19
20     .prologue
21     .line 5
22     const/4 v0, 0x1
23
24     .line 6
25     const/4 v1, 0x2
26
27     .line 7
28     const/4 v2, 0x5
29
30     .line 8
31     :goto_3
32     if-le v2, v0, :cond_c

```

```

33
34     .line 9
35     add-int/2addr v0, v1
36
37     .line 10
38     sget-object v3, Ljava/lang/System; ->out:Ljava/io/PrintStream;
39
40     invoke-virtual {v3, v0}, Ljava/io/PrintStream; ->println(I)V
41
42     goto :goto_3
43
44     .line 12
45     :cond_c
46     return-void
47 .end method

```

Saída : 3.

Saída : 5.

3.12 Nano12

Listagem 3.34: Nano12.py

```

1 def main() -> None:
2     n: int = 1
3     m: int = 2
4     x: int = 5
5     while x > n:
6         if n == m:
7             print(n)
8         else:
9             print(0)
10        x = x - 1
11
12 main()

```

Listagem 3.35: Nano12.java

```

1 public class Nano12 {
2     public static void main(String[] args) {
3         int n, m, x;
4         n = 1;
5         m = 2;
6         x = 5;
7         while(x>n) {
8             if(n==m)
9                 System.out.println(n);
10            else
11                System.out.println(0);
12            x = x - 1;
13        }
14    }
15 }

```

Listagem 3.36: Nano12.smali

```

1 .class public LNano12;

```

```

2 .super Ljava/lang/Object;
3 .source "Nano12.java"
4
5
6 # direct methods
7 .method public constructor <init>()V
8     .registers 1
9
10    .prologue
11    .line 1
12    invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;--><init>()V
13
14    return-void
15 .end method
16
17 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
18     .registers 5
19
20    .prologue
21    .line 4
22    const/4 v1, 0x1
23
24    .line 6
25    const/4 v0, 0x5
26
27    .line 7
28    :goto_2
29    if-le v0, v1, :cond_d
30
31    .line 11
32    sget-object v2, Ljava/lang/System;-->out:Ljava/io/PrintStream;
33
34    const/4 v3, 0x0
35
36    invoke-virtual {v2, v3}, Ljava/io/PrintStream;-->println(I)V
37
38    .line 12
39    add-int/lit8 v0, v0, -0x1
40
41    goto :goto_2
42
43    .line 14
44    :cond_d
45    return-void
46 .end method

```

Saída : 0.

Saída : 0.

Saída : 0.

Saída : 0.

Capítulo 4

Analizador Léxico

Esse capítulo irá abordar como foi criado o analisador léxico para a linguagem Python.

A análise léxica é a primeira fase do compilador, e tem como tarefa analisar um alfabeto de uma determinada linguagem. Após receber uma sequência de caracteres, ele produz uma sequência de nomes, palavras-chaves e sinais de pontuação chamados de *tokens*. Ainda nessa fase, é de responsabilidade do analisador o descarte de elementos "decorativos" do programa, tais como espaços em branco e comentários entre os tokens.

A ferramenta utilizada para construir o analisador léxico foi o *ocamllex*, que cria um analisador, muito semelhante ao funcionamento de um Automato Finito Determinístico, a partir de um conjunto de expressões regulares e ações semânticas para tais regras.

4.1 Lista de Tokens

Tipo	Representação	Tipo	Representação
FALSE	False	MODULO	%
NONE	None	EXP	**
TRUE	True	EQUIVALENTE	==
AND	and	NAOEQUIVALENTE	!=
AS	as	MENOR	«
BREAK	break	MAIOR	»
CONTINUE	continue	MENORIGUAL	«=
DEF	def	MAIORIGUAL	»=
DEL	del	IGUAL	=
ELIF	elif	APAR	(
ELSE	else	FPAR)
EXCEPT	except	ACOLCHETE	[
FOR	for	FCOLCHETE]
FROM	from	ACHAVE	{
IF	if	FCHAVE	}
IMPORT	import	PONTO	.
IN	in	VIRG	,
IS	is	DPONTOS	:
NOT	not	PVIRG	;
OR	or	ARROBA	@
RETURN	return	SOMAIGUAL	+=
WHILE	while	SUBIGUAL	-=
WITH	with	MULTIGUAL	*=
SOMA	+	DIVIGUAL	/=
SUB	-	DIVINTIGUAL	//=
MULT	*	MODULOIGUAL	%=
DIV	/	EXPIGUAL	**/
DIVINT		SETA	->

Tabela 4.1: *Tabela de Tokens*

4.2 Códigos

Foi incluído o código `pre_processador.ml`, como foi pedido pelo professor para quem estivesse fazendo o trabalho em Python.

Listagem 4.1: `lexico.ml`

```

1 {
2
3   open Lexing
4   open Printf
5   open Sintatico
6
7   type token =
8   | LITINT of (int)
9   | LITSTRING of (string)
10  | ID of (string)
11  | FALSE
12  | NONE
13  | TRUE
14  | AND
15  | AS
16  | BREAK
17  | CONTINUE
18  | DEF
19  | DEL
20  | ELIF
21  | ELSE
22  | EXCEPT
23  | FOR
24  | FROM
25  | IF
26  | IMPORT
27  | IN
28  | IS
29  | NOT
30  | OR
31  | RETURN
32  | WHILE
33  | WITH
34  | SOMA
35  | SUB
36  | MULT
37  | DIV
38  | DIVINT
39  | MODULO
40  | EXP
41  | EQUIVALENTE
42  | NAOEQUIVALENTE
43  | MENOR
44  | MAIOR
45  | MENORIGUAL
46  | MAIORIGUAL
47  | IGUAL
48  | APAR
49  | FPAR
50  | ACOLCHETE
51  | FCOLCHETE
52  | ACHAVE

```

```

53 | FCHAVE
54 | PONTO
55 | VIRG
56 | DPONTOS
57 | PVIRG
58 | ARROBA
59 | SOMAIGUAL
60 | SUBIGUAL
61 | MULTIGUAL
62 | DIVIGUAL
63 | DIVINTIGUAL
64 | MODULOIGUAL
65 | EXPIGUAL
66 | SETA
67 | E
68 | ATRIB
69 | EOF
70 (* Os tokens a seguir são importantes para o pré processador *)
71 | Linha of (int * int * token list)
72 | INDENTA
73 | DEDENTA
74 | NOVALINHA
75
76
77 let nivel_par = ref 0
78
79 let incr_num_linha lexbuf =
80     let pos = lexbuf.lex_curr_p in
81     lexbuf.lex_curr_p <- { pos with
82         pos_lnum = pos.pos_lnum + 1;
83         pos_bol = pos.pos_cnum;
84     }
85
86 let msg_erro lexbuf c =
87     let pos = lexbuf.lex_curr_p in
88     let lin = pos.pos_lnum
89     and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
90     sprintf "%d-%d: caracter desconhecido %c" lin col c
91
92 }
93
94 let digito = ['0' - '9']
95 let int = digito+
96
97 let comentario = "#"[ ^ '\n' ]*
98
99 let linha_em_branco = [' ' '\t']* comentario
100 let restante = [^ ' ' '\t' '\n' ] [^ '\n']+
101 let brancos = [' ' '\t']+
102 let novalinha = '\r' | '\n' | "\r\n"
103
104 let letra = [ 'a'-'z' 'A' - 'Z' ]
105 let identificador = letra ( letra | digito | '_' )*
106
107 (* O pré processador necessário para contabilizar a indentação *)
108 rule preprocessador indentacao = parse
109     linha_em_branco          { preprocessador 0 lexbuf } (* ignora brancos *)
110 | [' ' '\t' ]+ '\n'        { incr_num_linha lexbuf;
                             preprocessador 0 lexbuf } (* ignora brancos *)

```

```

112 | ' ' { preprocessador (indentacao + 1) lexbuf }
113 | '\t' { let nova_ind = indentacao + 8 - (indentacao
      mod 8)
114 | in preprocessador nova_ind lexbuf }
115 | novalinha { incr_num_linha lexbuf;
116 | preprocessador 0 lexbuf }
117 | restante as linha {
118 | let rec tokenize lexbuf =
119 | let tok = token lexbuf in
120 | match tok with
121 | EOF -> []
122 | _ -> tok :: tokenize lexbuf in
123 | let toks = tokenize (Lexing.from_string linha) in
124 | (* A impressão a seguir serve apenas para depuração. Retirar depois!
      *)
125 | printf "Linha(indentacao=%d,nivel_par=%d)\n" indentacao (!nivel_par);
126 | Linha(indentacao,!nivel_par, toks)
127 | }
128 | eof { nivel_par := 0; EOF }
129 |
130 | (* O analisador léxico a ser chamado após o pré processador *)
131 | and token = parse
132 | brancos { token lexbuf }
133 | "False" { FALSE }
134 | "None" { NONE }
135 | "True" { TRUE }
136 | "and" { AND }
137 | "as" { AS }
138 | "break" { BREAK }
139 | "continue" { CONTINUE }
140 | "def" { DEF }
141 | "del" { DEL }
142 | "elif" { ELIF }
143 | "else" { ELSE }
144 | "except" { EXCEPT }
145 | "for" { FOR }
146 | "from" { FROM }
147 | "if" { IF }
148 | "import" { IMPORT }
149 | "in" { IN }
150 | "is" { IS }
151 | "not" { NOT }
152 | "or" { OR }
153 | "return" { RETURN }
154 | "while" { WHILE }
155 | "with" { WITH }
156 | "+" { SOMA }
157 | "-" { SUB }
158 | "*" { MULT }
159 | "/" { DIV }
160 | "//" { DIVINT }
161 | "%" { MODULO }
162 | "*" { EXP }
163 | "==" { EQUIVALENTE }
164 | "!=" { NAOEQUIVALENTE }
165 | "<" { MENOR }
166 | ">" { MAIOR }
167 | "<=" { MENORIGUAL }
168 | ">=" { MAIORIGUAL }

```



```

169 | "="                { IGUAL }
170 | "("                { APAR }
171 | ")"                { FPAR }
172 | "["                { ACOLCHETE }
173 | "]"                { FCOLCHETE }
174 | "{"                { ACHAVE }
175 | "}"                { FCHAVE }
176 | "."                { PONTO }
177 | ","                { VIRG }
178 | ":"                { DPONTOS }
179 | ";"                { PVIRG }
180 | "@"                { ARROBA }
181 | "+="               { SOMAIGUAL }
182 | "-="               { SUBIGUAL }
183 | "*="               { MULTIGUAL }
184 | "/="               { DIVIGUAL }
185 | "//="              { DIVINTIGUAL }
186 | "%="               { MODULOIGUAL }
187 | "**/"              { EXPIGUAL }
188 | comentario        { token lexbuf }
189 | "'''"              { comentario_bloco 0 lexbuf }
190
191 | int as num          { let numero = int_of_string num in
192 |                       LITINT numero }
193
194 | '""'                { let buffer = Buffer.create 1 in
195 |                       let str = leia_string buffer lexbuf in
196 |                       LITSTRING str }
197
198 | identificador as id { ID id }
199 | _ as c              { failwith (msg_erro lexbuf c); }
200 | eof                 { EOF }
201
202 and comentario_bloco n = parse
203     "'''" { if n=0 then token lexbuf
204             else comentario_bloco (n - 1) lexbuf }
205     | "'''" { comentario_bloco (n + 1) lexbuf; }
206     | _     { comentario_bloco n lexbuf }
207     | eof   { failwith "Comentário não fechado "}
208
209 and leia_string buffer = parse
210     | '""'      { Buffer.contents buffer }
211     | "\\t"     { Buffer.add_char buffer '\t'; leia_string buffer lexbuf }
212     | "\\n"     { Buffer.add_char buffer '\n'; leia_string buffer lexbuf }
213     | '\\\'' '\\\'' { Buffer.add_char buffer '\\\''; leia_string buffer lexbuf }
214     | '\\\'' '\\\'' { Buffer.add_char buffer '\\\''; leia_string buffer lexbuf }
215     | _ as c    { Buffer.add_char buffer c; leia_string buffer lexbuf }
216     | eof       { failwith "A string não foi fechada." }

```

Listagem 4.2: pre-processador.ml

```

1 open Lexico
2 open Printf
3
4 (* Pré processa o arquivo gerando os tokens de indenta e dedenta *)
5
6 let preprocessa lexbuf =
7     let pilha = Stack.create ()
8     and npar = ref 0 in

```

```

9      let _ = Stack.push 0 pilha in
10     let off_side toks nivel =
11     let _ = printf "Nivel: %d\n" nivel in
12     if !npar != 0 (* nova linha entre parenteses *)
13     then toks      (* nao faz nada *)
14     else if nivel > Stack.top pilha
15         then begin
16             Stack.push nivel pilha;
17             INDENTA :: toks
18         end
19     else if nivel = Stack.top pilha
20         then toks
21     else begin
22         let prefixo = ref toks in
23         while nivel < Stack.top pilha do
24             ignore (Stack.pop pilha);
25             if nivel > Stack.top pilha
26                 then failwith "Erro de indentacao"
27             else prefixo := DEDENTA :: !prefixo
28         done;
29         !prefixo
30     end
31 in
32
33 let rec dedenta sufixo =
34     if Stack.top pilha != 0
35     then let _ = Stack.pop pilha in
36         dedenta (DEDENTA :: sufixo)
37     else sufixo
38 in
39 let rec get_tokens () =
40     let tok = Lexico.preprocessador 0 lexbuf in
41     match tok with
42     | Linha(nivel,npars,toks) ->
43         let new_toks = off_side toks nivel in
44         npar := npars;
45         new_toks @ (if npars = 0
46                     then NOVALINHA :: get_tokens ()
47                     else get_tokens ())
48     | _ -> dedenta []
49 in get_tokens ()
50
51
52 (* Chama o analisador léxico *)
53 let lexico =
54     let tokbuf = ref None in
55     let carrega lexbuf =
56         let toks = preprocessa lexbuf in
57         (match toks with
58          | tok::toks ->
59              tokbuf := Some toks;
60              tok
61          | [] -> print_endline "EOF";
62              EOF)
63     in
64     fun lexbuf ->
65     match !tokbuf with
66     | Some tokens ->
67         (match tokens with

```

4.2

```
68         tok::toks ->
69         tokbuf := Some toks;
70         tok
71     | [] -> carrega lexbuf)
72 | None -> carrega lexbuf
```

Listagem 4.3: carregador.ml

```

1 #load "lexico.cmo"
2 #load "pre_processador.cmo"
3
4 type nome_arq = string
5 type tokens = Lexico.token list
6
7 let rec tokens lexbuf =
8   let tok = Pre_processador.lexico lexbuf in
9   match tok with
10  | Lexico.EOF -> (|Lexico.EOF):tokens)
11  | _ -> tok :: tokens lexbuf
12 ;;
13
14 let lexico str =
15   let lexbuf = Lexing.from_string str in
16   tokens lexbuf
17 ;;
18
19 let lex (arq:nome_arq)=
20   let ic = open_in arq in
21   let lexbuf = Lexing.from_channel ic in
22   let toks = tokens lexbuf in
23   let _ = close_in ic in
24   toks

```

4.3 Compilação e execução

Para compilar navegue pelo terminal ate o diretório dos arquivos e execute os comandos:

```

>ocamllex lexico.mll
>ocamlc -c lexico.ml
>ocamlc -c pre_processador.ml

```

Após a compilação execute:

```
>lrwrap ocaml
```

Dentro do *O caml* execute os comandos:

```

# #use "carregador.ml";;
# lex "codigo.py";;

```

Um exemplo com o arquivo teste.py com o código:

Listagem 4.4: teste.py

```

1 def paco(x):
2   x = x + 1
3   y = x + 2
4   y = x + 3 + ( 4 + 5)
5   return x

```

A saída do analisador léxico:

```
- : tokens =
  [Lexico.DEF; Lexico.ID "paco"; Lexico.APAR; Lexico.ID "x"; Lexico.FPAR;
  Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.INDENTA; Lexico.ID "x";
  Lexico.IGUAL; Lexico.ID "x"; Lexico.SOMA; Lexico.LITINT 1; Lexico.
    NOVALINHA;
  Lexico.ID "y"; Lexico.IGUAL; Lexico.ID "x"; Lexico.SOMA; Lexico.LITINT
    2;
  Lexico.NOVALINHA; Lexico.ID "y"; Lexico.IGUAL; Lexico.ID "x"; Lexico.
    SOMA;
  Lexico.LITINT 3; Lexico.SOMA; Lexico.APAR; Lexico.LITINT 4; Lexico.SOMA;
  Lexico.LITINT 5; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.RETURN;
  Lexico.ID "x"; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA; Lexico.EOF]
```

4.4 Analise léxica Nanos

Analise léxica dos nanos programas em python vistos no capítulo anterior.

Listagem 4.5: nano01.py

```
1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.RETURN; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA; Lexico.EOF]
```

Listagem 4.6: nano02.py

```
1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 0; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA; Lexico.EOF]
```

Listagem 4.7: nano03.py

```
1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 1; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA; Lexico.EOF]
```

Listagem 4.8: nano04.py

```
1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 1; Lexico.SOMA; Lexico.LITINT 2; Lexico.NOVALINHA;
5 Lexico.DEDENTA; Lexico.EOF]
```

Listagem 4.9: nano05.py

```
1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
```

```

3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 2; Lexico.NOVALINHA; Lexico.ID "print"; Lexico.APAR;
5 Lexico.ID "n"; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA;
6 Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.EOF]

```

Listagem 4.10: nano06.py

```

1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 1; Lexico.SUB; Lexico.LITINT 2; Lexico.NOVALINHA;
5 Lexico.ID "print"; Lexico.APAR; Lexico.ID "n"; Lexico.FPAR;
6 Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR;
7 Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.EOF]

```

Listagem 4.11: nano07.py

```

1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.IGUAL; Lexico.LITINT 1; Lexico.NOVALINHA; Lexico.IF
  ;
4 Lexico.ID "n"; Lexico.EQUIVALENTE; Lexico.LITINT 1; Lexico.DPONTOS;
5 Lexico.NOVALINHA; Lexico.INDENTA; Lexico.ID "print"; Lexico.APAR;
6 Lexico.ID "n"; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA;
7 Lexico.DEDENTA; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR;
8 Lexico.NOVALINHA; Lexico.EOF]

```

Listagem 4.12: nano08.py

```

1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 1; Lexico.NOVALINHA; Lexico.IF; Lexico.ID "n";
5 Lexico.EQUIVALENTE; Lexico.LITINT 1; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA;
6 Lexico.INDENTA; Lexico.ID "print"; Lexico.APAR; Lexico.ID "n"; Lexico.
  FPAR;
7 Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA; Lexico.ELSE; Lexico.DPONTOS;
8 Lexico.NOVALINHA; Lexico.INDENTA; Lexico.ID "print"; Lexico.APAR;
9 Lexico.LITINT 0; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA;
10 Lexico.DEDENTA; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR;
11 Lexico.NOVALINHA; Lexico.EOF]

```

Listagem 4.13: nano09.py

```

1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 1; Lexico.SOMA; Lexico.APAR; Lexico.LITINT 1; Lexico.DIV;
5 Lexico.LITINT 2; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.IF; Lexico.ID "n";
6 Lexico.EQUIVALENTE; Lexico.LITINT 1; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA;
7 Lexico.INDENTA; Lexico.ID "print"; Lexico.APAR; Lexico.ID "n"; Lexico.
  FPAR;
8 Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA; Lexico.ELSE; Lexico.DPONTOS;
9 Lexico.NOVALINHA; Lexico.INDENTA; Lexico.ID "print"; Lexico.APAR;

```

4.4

```
10 Lexico.LITINT 0; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA;
11 Lexico.DEDENTA; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR;
12 Lexico.NOVALINHA; Lexico.EOF]
```

Listagem 4.14: nano10.py

```
1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 1; Lexico.NOVALINHA; Lexico.ID "m"; Lexico.DPONTOS;
5 Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL; Lexico.LITINT 2; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  IF;
6 Lexico.ID "n"; Lexico.EQUIVALENTE; Lexico.ID "m"; Lexico.DPONTOS;
7 Lexico.NOVALINHA; Lexico.INDENTA; Lexico.ID "print"; Lexico.APAR;
8 Lexico.ID "n"; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA; Lexico.ELSE
  ;
9 Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.INDENTA; Lexico.ID "print";
10 Lexico.APAR; Lexico.LITINT 0; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  DEDENTA;
11 Lexico.DEDENTA; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR;
12 Lexico.NOVALINHA; Lexico.EOF]
```

Listagem 4.15: nano11.py

```
1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 1; Lexico.NOVALINHA; Lexico.ID "m"; Lexico.DPONTOS;
5 Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL; Lexico.LITINT 2; Lexico.NOVALINHA;
6 Lexico.ID "x"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
7 Lexico.LITINT 5; Lexico.NOVALINHA; Lexico.WHILE; Lexico.ID "x";
8 Lexico.MAIOR; Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA;
9 Lexico.INDENTA; Lexico.ID "n"; Lexico.IGUAL; Lexico.ID "n"; Lexico.SOMA;
10 Lexico.ID "m"; Lexico.NOVALINHA; Lexico.ID "print"; Lexico.APAR;
11 Lexico.ID "n"; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA;
12 Lexico.DEDENTA; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR;
13 Lexico.NOVALINHA; Lexico.EOF]
```

Listagem 4.16: nano12.py

```
1 [Lexico.DEF; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.FPAR; Lexico.SUB;
2 Lexico.MAIOR; Lexico.NONE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.
  INDENTA;
3 Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
4 Lexico.LITINT 1; Lexico.NOVALINHA; Lexico.ID "m"; Lexico.DPONTOS;
5 Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL; Lexico.LITINT 2; Lexico.NOVALINHA;
6 Lexico.ID "x"; Lexico.DPONTOS; Lexico.ID "int"; Lexico.IGUAL;
7 Lexico.LITINT 5; Lexico.NOVALINHA; Lexico.WHILE; Lexico.ID "x";
8 Lexico.MAIOR; Lexico.ID "n"; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA;
9 Lexico.ID "n"; Lexico.INDENTA; Lexico.ID "n"; Lexico.IGUAL; Lexico.ID "n";
  Lexico.EQUIVALENTE; Lexico.ID "m";
10 Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.INDENTA; Lexico.ID "print";
11 Lexico.APAR; Lexico.ID "n"; Lexico.FPAR; Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA
  ;
12 Lexico.ELSE; Lexico.DPONTOS; Lexico.NOVALINHA; Lexico.INDENTA;
13 Lexico.ID "print"; Lexico.APAR; Lexico.LITINT 0; Lexico.FPAR;
```

```
14 Lexico.NOVALINHA; Lexico.DEDENTA; Lexico.ID "x"; Lexico.IGUAL;
15 Lexico.ID "x"; Lexico.SUB; Lexico.LITINT 1; Lexico.NOVALINHA;
16 Lexico.DEDENTA; Lexico.DEDENTA; Lexico.ID "main"; Lexico.APAR; Lexico.
    FPAR;
17 Lexico.NOVALINHA; Lexico.EOF]
```

Capítulo 5

Análise sintática

O processo de ler uma sequência de tokens de entrada e determinar uma estrutura gramatical, definida através de uma gramática, e ainda verificar se esta correta, é uma tarefa para o analisador sintático.

No processo seguinte, o analisador sintático transforma a sequência de tokens em uma árvore sintática.

O analisador sintático preditivo para o reconhecimento da gramática do Python foi construído com o auxílio do Menhir, que é um gerador de parser, que tem suporte para Ocaml.

Para instalar o Menhir digite no terminal:

```
opam menhir
```

5.1 Código

Algumas alterações foram feitas no lexico.mll:

Listagem 5.1: lexico.mll

```
1 {
2   open Lexing
3   open Printf
4   open Sintatico
5
6   exception Erro of string
7
8   let nivel_par = ref 0
9
10  let incr_num_linha lexbuf =
11    let pos = lexbuf.lex_curr_p in
12    lexbuf.lex_curr_p <-
13      { pos with pos_lnum = pos.pos_lnum + 1;
14          pos_bol = pos.pos_cnum
15      }
16
```

```

17 let msg_erro lexbuf c =
18     let pos = lexbuf.lex_curr_p in
19     let lin = pos.pos_lnum
20     and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
21     sprintf "%d-%d: caracter desconhecido %c" lin col c
22
23 }
24
25 let digito = ['0' - '9']
26 let inteiro = '-'? digito+
27 let frac     = '.'digito*
28 let exp      = ['e' 'E'] ['- ' '+']?digito+
29 let float    = digito* frac exp?
30
31 let letra = ['a' - 'z' 'A' - 'Z']
32 let identificador = letra ( letra | digito | '_' ) *
33
34 let restante = [^ ' ' '\t' '\n' ] [^ '\n']+
35 let brancos = [ ' ' '\t' ] +
36 let novalinha = '\r' | '\n' | "\r\n"
37
38 let comentario = "#" [ ^ '\n' ] *
39 let comentario_bloco = "/*" [ ^ "*/" ] *
40 let linha_em_branco = [ ' ' '\t' ] * comentario
41
42 (* O pré processador necessário para contabilizar a indentação *)
43 rule preprocessador indentacao = parse
44     linha_em_branco          { preprocessador 0 lexbuf } (* ignora brancos *)
45 | [ ' ' '\t' ] + '\n'      { incr_num_linha lexbuf;
46                             preprocessador 0 lexbuf } (* ignora brancos *)
47 | ' '                      { preprocessador (indentacao + 1) lexbuf }
48 | '\t'                     { let nova_ind = indentacao + 8 - (indentacao
49                             mod 8)
50                             in preprocessador nova_ind lexbuf }
51 | novalinha                 { incr_num_linha lexbuf;
52                             preprocessador 0 lexbuf }
53 | restante as linha {
54     let rec tokenize lexbuf =
55         let tok = token lexbuf in
56         match tok with
57         | EOF -> []
58         | _ -> tok :: tokenize lexbuf in
59     let toks = tokenize (Lexing.from_string linha) in
60     (* A impressão a seguir serve apenas para depuração. Retirar depois! *)
61     printf "Linha(indentacao=%d,nivel_par=%d)\n" indentacao (!nivel_par);
62     Linha(indentacao,!nivel_par, toks)
63 }
64
65 and token = parse
66 (* PALAVRAS RESERVADAS *)
67     brancos          { token lexbuf }
68 | novalinha         { incr_num_linha lexbuf; token lexbuf }
69 | comentario        { token lexbuf }
70 | comentario_bloco  { comentario_bloco 0 lexbuf }
71 | "not"              { NAO }
72 | "and"              { ANDLOG }
73 | "or"              { ORLOG }

```

```

74 | "def"           { DEF }
75 | "return"        { RETURN }
76 | "while"         { WHILE }
77 | "for"           { FOR }
78 | "in"            { IN }
79 | "range"         { RANGE }
80 | "input"         { INPUT }
81 | "print"         { PRINT }
82 | "str"           { STRING }
83 | "int"           { INTEIRO }
84 | "bool"          { BOOL }
85 | "char"          { CHAR }
86 | "float"         { FLOAT }
87 | "None"          { NONE }
88 | "if"            { IF }
89 | "elif"          { ELIF }
90 | "else"          { ELSE }
91 | "True"          { LITBOOL true }
92 | "False"         { LITBOOL false }
93 (* OPERADORES ARITMETICOS *)
94 (* | "+="        { SOMAIGUAL }
95 | "-="          { SUBIGUAL }
96 | "*="          { MULTIGUAL }
97 | "/="          { DIVIGUAL }
98 | "%="          { MODIGUAL }*)
99 | "++"          { INCREMENTAR }
100 | '+'           { SOMA }
101 | "--"          { MENOS }
102 | '-'           { SUB }
103 | '*'           { MULT }
104 | '/'           { DIV }
105 | '%'           { MOD }
106 (* OPERADORES RELACIONAIS *)
107 | "<="          { MENORIGUAL }
108 | ">="          { MAIORIGUAL }
109 | "=="          { EQUIVALENTE }
110 | "!="          { NAOEQUIVALENTE }
111 | '<'           { MENOR }
112 | '>'           { MAIOR }
113 (* SEPARADORES *)
114 | '('           { incr(nivel_par); APAR }
115 | ')'           { decr(nivel_par); FPAR }
116 | ','           { VIRG }
117 | ':'           { DPONTOS }
118 (* OUTROS *)
119 | '='           { ATRIB }
120 | "->"          { SETA }
121
122 | "'_'_" as s    { let c = String.get s 1 in LITCHAR c }
123 | inteiro as num { let numero = int_of_string num in LITINT numero }
124 | float as num   { let numero = float_of_string num in LITFLOAT numero }
125 | ""            { let buffer = Buffer.create 1 in
126 |                 let str = leia_string buffer lexbuf in
127 |                 LITSTRING str }
128 | identificador as id { ID (id) }
129 | _                  { raise ( Erro ("Caracter desconhecido: " ^ Lexing.
lexeme lexbuf)) }
130 | eof              { EOF }

```

```

131
132 and comentario_bloco n = parse
133     comentario_bloco { token lexbuf }
134     | _ { comentario_bloco n lexbuf }
135     | eof { raise (Erro "Comentário não terminado") }
136
137 and leia_string buffer = parse
138     | '"' { Buffer.contents buffer }
139     | "\\t" { Buffer.add_char buffer '\t'; leia_string buffer lexbuf }
140     | "\\n" { Buffer.add_char buffer '\n'; leia_string buffer lexbuf }
141     | '\\\'' { Buffer.add_char buffer '\''; leia_string buffer lexbuf }
142     | '\\\'' { Buffer.add_char buffer '\\\''; leia_string buffer lexbuf }
143     | _ as c { Buffer.add_char buffer c; leia_string buffer lexbuf }
144     | eof { raise (Erro "A string não foi fechada.") }

```

Código do sintatico.mly:

Listagem 5.2: sintatico.mly

```

1 %{
2 open Ast
3 %}
4 (* literais *)
5 %token <int * int * token list> Linha
6 %token <int> LITINT
7 %token <char> LITCHAR
8 %token <bool> LITBOOL
9 %token <float> LITFLOAT
10 %token <string> LITSTRING
11 %token <string> ID
12 (* palavras reservadas *)
13 %token INTEIRO
14 %token FLOAT
15 %token CHAR
16 %token STRING
17 %token BOOL
18 %token NONE
19 %token DEF
20 %token RETURN
21 %token RANGE
22 %token INPUT
23 %token PRINT
24 %token ATRIB
25 %token EOF
26 %token ORLOG
27 %token ANDLOG
28 %token NAO
29 (* loops *)
30 %token IF
31 %token ELIF
32 %token ELSE
33 %token WHILE
34 %token FOR
35 %token IN
36 (* operadores *)
37 %token SOMA
38 %token MULT
39 %token DIV
40 %token MOD

```

5.1

```
41 %token SUB
42 %token MENOS
43 %token INCREMENTAR
44 (*%token SOMAIGUAL
45 %token SUBIGUAL
46 %token MULTIGUAL
47 %token DIVIGUAL
48 %token MODIGUAL*)
49 (* comparadores *)
50 %token MENOR
51 %token MAIOR
52 %token EQUIVALENTE
53 %token MAIORIGUAL
54 %token MENORIGUAL
55 %token NAOEQUIVALENTE
56 (* simbolos *)
57 %token APAR
58 %token FPAR
59 %token VIRG
60 %token DPONTOS
61 %token SETA
62 (* leiaute *)
63 %token INDENTA
64 %token DEDENTA
65 %token NOVALINHA
66 (* tokens left *)
67 %left ORLOG
68 %left ANDLOG
69 %left EQUIVALENTE
70 %left NAOEQUIVALENTE
71 %left MAIOR
72 %left MENOR
73 %left MAIORIGUAL
74 %left MENORIGUAL
75 %left SOMA
76 %left MENOS
77 %left MULT
78 %left DIV
79 %left MOD
80
81 %start <Ast.programa> programa
82
83 %%
84
85 programa: ins=instrucao*
86           EOF
87           { Programa ins }
88
89 instrucao:
90           func = funcao { func }
91           | cmd = comando { Cmd cmd }
92
93 comandos: cmd = comando+ { cmd }
94
95 funcao:
96         DEF nome=variavel APAR args=separated_list(VIRG, parametro) FPAR SETA
97         retorno=tipo DPONTOS
98         NOVALINHA INDENTA cmd=comandos DEDENTA
99         {
```

```

99         Funcao {
100             fn_nome = nome;
101             fn_tiporet = retorno;
102             fn_formais = args;
103             fn_corpo = cmd
104         }
105     }
106
107 parametro:
108     nome = variavel DPONTOS tp=tipo { (nome, tp) }
109
110 expressoes:
111     exp = separated_list(VIRG, expressao) { exp }
112
113 comando:
114     c=comando_declaracao { c }
115     | c=comando_atribuicao { c }
116     | c=comando_input { c }
117     | c=comando_input_declaracao { c }
118     | c=comando_if { c }
119     | c=comando_if2 { c }
120     | c=comando_while { c }
121     | c=comando_for { c }
122     | c=comando_for_dec { c }
123     | c=comando_print { c }
124     | c=comando_chamada { c }
125     | c=comando_retorno { c }
126     | c=comando_incrementar { c }
127     | c=comando_decrementar { c }
128
129 comando_declaracao:
130     nome = parametro option(ATRIB) exp=option(expressao) NOVALINHA {
131         CmdDeclaracao (nome, exp) }
132
133 comando_atribuicao:
134     nome = variavel ATRIB exp=expressao NOVALINHA { CmdAtrib (nome, exp) }
135
136 comando_input:
137     nome = variavel ATRIB tp = tipo APAR INPUT APAR exp = option(expressao
138         ) FPAR FPAR
139     NOVALINHA { CmdInput (nome, (exp, tp)) }
140
141 comando_input_declaracao:
142     nome=parametro ATRIB tp=tipo APAR INPUT APAR exp=option(expressao)
143     FPAR FPAR
144     NOVALINHA { CmdInputDeclaracao (nome, (exp, tp)) }
145
146 comando_if:
147     IF exp=expressao DPONTOS
148     NOVALINHA INDENTA cmd1=comandos DEDENTA cmd2=option(comando_if2) {
149         CmdIf (exp, cmd1, cmd2) }
150
151 comando_if2:
152     ELSE DPONTOS NOVALINHA INDENTA cmd2=comandos DEDENTA { CmdElse cmd2
153         | ELIF cond1=expressao DPONTOS NOVALINHA INDENTA entao1=
154             comandos DEDENTA cmd1=option(comando_if2) {
155         CmdIf (cond1, entao1, cmd1)
156     }

```

5.1

```
153
154 comando_while:
155     WHILE exp=expressao DPONTOS NOVALINHA INDENTA cmd=comandos DEDENTA {
156         CmdWhile (exp, cmd) }
157
158 comando_for_dec:
159     FOR p=parametro IN RANGE APAR exp1=expressao VIRG exp2=expressao FPAR
160         DPONTOS
161     NOVALINHA INDENTA cmd=comandos DEDENTA { CmdFor_Dec (p, (exp1, exp2),
162         cmd) }
163
164 comando_print:
165     PRINT APAR args=separated_list(VIRG, expressao) FPAR NOVALINHA {
166         CmdPrint args }
167
168 comando_for:
169     FOR v=variavel IN RANGE APAR exp1 = expressao VIRG exp2 = expressao
170         FPAR DPONTOS
171     NOVALINHA INDENTA cmd=comandos DEDENTA { CmdFor (v, (exp1, exp2), cmd)
172         }
173
174 comando_chamada:
175     exp=chamada NOVALINHA { CmdChmd exp }
176
177 comando_incrementar:
178     op=operI exp=expressao { CmdIncr(op, exp) }
179
180 comando_decrementar:
181     op=operM exp=expressao { CmdDecr(op, exp) }
182
183 chamada:
184     nome = variavel APAR args=separated_list(VIRG, expressao) FPAR {
185         ExpChmd (nome, args) }
186
187 comando_retorno: RETURN exp=option(expressao) NOVALINHA { CmdReturn exp }
188
189 tipo:
190     INTEIRO { TipoInt }
191     | STRING { TipoStr }
192     | BOOL { TipoBool }
193     | CHAR { TipoChar }
194     | FLOAT { TipoFloat }
195     | NONE { TipoNone }
196
197 expressao:
198     f=chamada { f }
199     | v=variavel { ExpVar v }
200     | i=LITINT { ExpInt i }
201     | c=LITCHAR { ExpChar c }
202     | f=LITFLOAT { ExpFloat f }
203     | s=LITSTRING { ExpStr s }
204     | b=LITBOOL { ExpBool b }
205     | e1=expressao op=operB e2=expressao { ExpOperB(op,e1,e2) }
206     | APAR exp=expressao FPAR { exp }
207     | e1=expressao op=operC e2=expressao { ExpComp(op,e1,e2) }
208     | n=operN exp=expressao { ExpNot(n,exp) }
209
210 %inline operB:
211     ANDLOG { ANDlog }
```

```

205     | ORLOG { Orlog }
206     | SOMA { Soma }
207     | SUB { Sub }
208     | MULT { Mult }
209     | DIV { Div }
210     | MOD { Mod }
211
212 %inline operC:
213     NAOEQUIVALENTE { NaoEquivalente }
214     | EQUIVALENTE { Equivalente }
215     | MAIOR { Maior }
216     | MENOR { Menor }
217     | MAIORIGUAL { MaiorIgual }
218     | MENORIGUAL { MenorIgual }
219
220 operM:
221     MENOS { Menos }
222
223 operI:
224     INCREMENTAR { Incrementar }
225
226 operN:
227     NAO { Not }
228
229 variavel:
230     | x = ID {VarSimples x}

```

Código da árvore sintática, ast.ml:

Listagem 5.3: ast.ml

```

1 (* The type of the abstract syntax tree (AST). *)
2 type identificador = string
3
4 type programa = Programa of instrucoes
5 and comandos    = comando list
6 and instrucoes = instrucao list
7 and expressoes = expressao list
8 and instrucao  =
9     Funcao of decfn
10    | Cmd    of comando
11
12 and decfn = {
13     fn_nome: variavel;
14     fn_tiporet: tipo;
15     fn_formais: (variavel * tipo) list;
16     fn_corpo: comandos
17 }
18
19 and tipo =
20     TipoInt
21     | TipoStr
22     | TipoBool
23     | TipoChar
24     | TipoFloat
25     | TipoNone
26
27 and comando =
28     CmdDeclaracao of (variavel * tipo) * expressao option

```



```

29 | CmdAtrib  of variavel * expressao
30 | CmdInputDeclaracao of (variavel * tipo) * (expressao option * tipo)
31 | CmdInput  of variavel * (expressao option * tipo)
32 | CmdPrint  of expressao list
33 | CmdIf     of expressao * comandos * (comando option)
34 | CmdElse   of comandos
35 | CmdReturn of expressao option
36 | CmdWhile  of expressao * comandos
37 | CmdFor    of variavel * (expressao * expressao) * comandos
38 | CmdFor_Dec of (variavel * tipo) * (expressao * expressao) * comandos
39 | CmdChmd   of expressao
40 | CmdIncr   of (operador_incr * expressao)
41 | CmdDecr   of (operador_decr * expressao)
42
43 and variaveis = variavel list
44
45 and variavel = VarSimples of identificador
46
47 and expressao =
48     ExpVar of variavel
49 | ExpInt  of int
50 | ExpStr  of string
51 | ExpChar of char
52 | ExpBool of bool
53 | ExpFloat of float
54 | ExpOperB of operador * expressao * expressao
55 | ExpOperU of operador * expressao
56 | ExpChmd  of variavel * expressoes
57 | ExpComp  of (operador_comparacao * expressao * expressao)
58 | ExpNot   of (operador_not * expressao)
59
60 and operador =
61     Soma
62 | Sub
63 | Mult
64 | Div
65 | Mod
66 | ANDlog
67 | Orlog
68
69 and operador_comparacao =
70     Maior
71 | Menor
72 | MaiorIgual
73 | MenorIgual
74 | Equivalente
75 | NaoEquivalente
76
77 and operador_not =
78     Not
79
80 and operador_decr =
81     Menos
82
83 and operador_incr =
84     Incrementar

```

Código do sintático para execução dos arquivos:

Listagem 5.4: sintaticoTest.ml

```

1 open Printf
2 open Lexing
3
4 open Ast
5 open ErroSint (* nome do módulo contendo as mensagens de erro *)
6
7 exception Erro_Sintatico of string
8
9 module S = MenhirLib.General (* Streams *)
10 module I = Sintatico.MenhirInterpreter
11
12 let posicao lexbuf =
13   let pos = lexbuf.lex_curr_p in
14   let lin = pos.pos_lnum
15   and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
16   sprintf "linha %d, coluna %d" lin col
17
18 (* [pilha checkpoint] extrai a pilha do autômato LR(1) contida em
19    checkpoint *)
20 let pilha checkpoint =
21   match checkpoint with
22   | I.HandlingError amb -> I.stack amb
23   | _ -> assert false (* Isso não pode acontecer *)
24
25 let estado checkpoint : int =
26   match Lazy.force (pilha checkpoint) with
27   | S.Nil -> (* O parser está no estado inicial *)
28     0
29   | S.Cons (I.Element (s, _, _, _), _) ->
30     I.number s
31
32 let sucesso v = Some v
33
34 let falha lexbuf (checkpoint : Ast.programa I.checkpoint) =
35   let estado_atual = estado checkpoint in
36   let msg = message estado_atual in
37   raise (Erro_Sintatico (Printf.sprintf "%d - %s.\n"
38                                     (Lexing.lexeme_start lexbuf) msg))
39
40 let loop lexbuf resultado =
41   let fornecedor = I.lexer_lexbuf_to_supplier Pre_processador.lexico
42     lexbuf in
43   I.loop_handle sucesso (falha lexbuf) fornecedor resultado
44
45 let parse_com_erro lexbuf =
46   try
47     Some (loop lexbuf (Sintatico.Incremental.programa lexbuf.lex_curr_p))
48   with
49   | Lexico.Erro msg ->
50     printf "Erro lexico na %s:\n\t%s\n" (posicao lexbuf) msg;
51     None
52   | Erro_Sintatico msg ->
53     printf "Erro sintático na %s %s\n" (posicao lexbuf) msg;
54     None
55
56 let parse s =

```

5.3

```
57 let lexbuf = Lexing.from_string s in
58 let ast = parse_com_erro lexbuf in
59 ast
60
61 let parse_arq nome =
62   let ic = open_in nome in
63   let lexbuf = Lexing.from_channel ic in
64   let result = parse_com_erro lexbuf in
65   let _ = close_in ic in
66   match result with
67   | Some ast -> ast
68   | None -> failwith "A analise sintatica falhou"
```

5.2 Execução

Para compilar os arquivos do projeto, primeiro gere:

```
menhir -v --list-errors sintatico.mly > sintatico.msg
```

Depois modifique o arquivo sintatico.msg com as suas mensagens de erro. Agora basta gerar o arquivo erroSint.ml que contém as mensagens de erro:

```
menhir -v sintatico.mly --compile-errors sintatico.msg > erroSint.ml
```

Para usar o ocamlbuild para compilar todo o projeto, digite:

```
ocamlbuild -use-ocamlfind -use-menhir -menhir "menhir --table" -package
  menhirLib sintaticoTest.byte
```

Entre no Ocaml:

```
rlwrap ocaml
```

Entre com o arquivo e extensao dentro do Ocaml:

```
parse_arq "nome_arquivo.extensao"
```

5.3 Análise sintática dos programas micro

Listagem 5.5: astMicro01

```
1 Ast.programa option =
2 Some
3 (Programa
4   [Funcao
5     {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6     fn_corpo =
7       [CmdDeclaracao ((VarSimples "cel", TipoFloat), Some (ExpFloat 0.));
8       CmdDeclaracao ((VarSimples "far", TipoFloat), Some (ExpFloat 0.));
9       CmdPrint [ExpStr "Tabela de conversao: Celsius -> Fahrenheit\n"];
```

```

10     CmdPrint [ExpStr "Digite a temperatura em Celsius: "];
11     CmdInput (VarSimples "cel", (None, TipoFloat));
12     CmdAtrib (VarSimples "far",
13         ExpOperB (Div,
14             ExpOperB (Soma,
15                 ExpOperB (Mult, ExpFloat 9., ExpVar (VarSimples "cel")),
16                 ExpFloat 160.),
17             ExpFloat 5.));
18     CmdPrint
19         [ExpStr "A nova temperatura e: "; ExpVar (VarSimples "far");
20         ExpStr " F"]];
21     Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", [])))

```

Listagem 5.6: astMicro02

```

1 Ast.programa option =
2 Some
3   (Programa
4     [Funcao
5       {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6       fn_corpo =
7         [CmdPrint [ExpStr "Digite o primeiro numero: "];
8         CmdInputDeclaracao ((VarSimples "num1", TipoInt), (None, TipoInt))
9         ;
10        CmdPrint [ExpStr "Digite o segundo numero: "];
11        CmdInputDeclaracao ((VarSimples "num2", TipoInt), (None, TipoInt))
12        ;
13        CmdIf
14          (ExpComp
15            (Maior, ExpVar (VarSimples "num1"), ExpVar (VarSimples "num2"))
16          ,
17          [CmdPrint
18            [ExpStr "\nO primeiro numero"; ExpVar (VarSimples "num1");
19            ExpStr "e maior que o segundo"; ExpVar (VarSimples "num2")]],
20          Some
21            (CmdElse
22              [CmdPrint
23                [ExpStr "O segundo numero"; ExpVar (VarSimples "num2");
24                ExpStr "e maior que o primeiro"; ExpVar (VarSimples "num1")]
25              ])))]
26        ]))];
27 Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", [])))

```

Listagem 5.7: astMicro03

```

1 Ast.programa option =
2 Some
3   (Programa
4     [Funcao
5       {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6       fn_corpo =
7         [CmdPrint [ExpStr "Digite um numero: "];
8         CmdInputDeclaracao ((VarSimples "numero", TipoInt), (None, TipoInt
9         ));
10        CmdIf
11          (ExpComp (MaiorIgual, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt 100),
12          [CmdIf
13            (ExpComp (MenorIgual, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt 200)
14            ,
15            [CmdPrint [ExpStr "\n numero entre 100 e 200"]],

```

5.3

```
14         Some (CmdElse [CmdPrint [ExpStr "\n numero maior que 200"]]))],
15         Some (CmdElse [CmdPrint [ExpStr "\n numero menor que 100"]]))];
16     CmdReturn None];];
17 Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", []))))]
```

Listagem 5.8: astMicro04

```
1 Ast.programa option =
2 Some
3   (Programa
4     [Funcao
5       {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6        fn_corpo =
7          [CmdDeclaracao ((VarSimples "intervalo", TipoInt), Some (ExpInt 0))
8            ;
9            CmdDeclaracao ((VarSimples "x", TipoInt), None);
10            CmdDeclaracao ((VarSimples "num", TipoInt), None);
11            CmdFor (VarSimples "x", (ExpInt 0, ExpInt 5),
12              [CmdPrint [ExpStr "Digite o numero: "];
13                CmdInput (VarSimples "num", (None, TipoInt));
14                CmdIf (ExpComp (MaiorIgual, ExpVar (VarSimples "num"), ExpInt
15                  10),
16                  [CmdIf
17                    (ExpComp (MenorIgual, ExpVar (VarSimples "num"), ExpInt 150),
18                      [CmdAtrib (VarSimples "intervalo",
19                        ExpOperB (Soma, ExpVar (VarSimples "intervalo"), ExpInt 1))
20                      ],
21                      None)],
22                  None)],
23                CmdPrint
24                  [ExpStr "Ao total, foram digitados ";
25                    ExpVar (VarSimples "intervalo");
26                    ExpStr " numeros no intervalo entre 10 e 150\n"];
27                CmdReturn None];];
28            Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", []))))]
```

Listagem 5.9: astMicro05

```
1 Ast.programa option =
2 Some
3   (Programa
4     [Funcao
5       {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6        fn_corpo =
7          [CmdDeclaracao ((VarSimples "x", TipoInt), None);
8            CmdDeclaracao ((VarSimples "m", TipoInt), Some (ExpInt 0));
9            CmdDeclaracao ((VarSimples "h", TipoInt), Some (ExpInt 0));
10            CmdDeclaracao ((VarSimples "nome", TipoStr), Some (ExpStr ""));
11            CmdDeclaracao ((VarSimples "sexo", TipoStr), Some (ExpStr ""));
12            CmdFor (VarSimples "x", (ExpInt 0, ExpInt 1),
13              [CmdInput (VarSimples "nome",
14                (Some (ExpStr "Digite o nome: "), TipoStr));
15                CmdInput (VarSimples "sexo",
16                  (Some (ExpStr "H - Homem ou M - Mulher: "), TipoStr));
17                CmdIf
18                  (ExpComp (Equivalente, ExpVar (VarSimples "sexo"), ExpChar 'H')
19                    ,
20                  [CmdAtrib (VarSimples "h",
21                    ExpOperB (Soma, ExpVar (VarSimples "h"), ExpInt 1))],
22                  None)],
23                CmdReturn None];];
24            Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", []))))]
```

```

21         Some
22         (CmdIf
23         (ExpComp (Equivalente, ExpVar (VarSimples "sexo"), ExpChar '
24             M'),
25         [CmdAtrib (VarSimples "m",
26             ExpOperB (Soma, ExpVar (VarSimples "m"), ExpInt 1)]),
27         Some (CmdElse [CmdPrint [ExpStr "Sexo so pode ser H ou M!\n"
28             ]]])))]);
29 CmdPrint
30 [ExpStr "\nForam inseridos "; ExpVar (VarSimples "h");
31 ExpStr " homens"];
32 CmdPrint
33 [ExpStr "\nForam inseridas "; ExpVar (VarSimples "m");
34 ExpStr " mulheres"];
35 CmdReturn None];
36 Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", [])))]

```

Listagem 5.10: astMicro06

```

1 Ast.programa option =
2 Some
3 (Programa
4   [Funcao
5     {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6     fn_corpo =
7       [CmdInputDeclaracao ((VarSimples "numero", TipoInt),
8         (Some (ExpStr "Digite um numero de 1 a 5: "), TipoInt));
9       CmdIf (ExpComp (Equivalente, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt
10         1),
11         [CmdPrint [ExpStr "Um"]],
12         Some
13         (CmdIf
14           (ExpComp (Equivalente, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt 2)
15             ,
16           [CmdPrint [ExpStr "Dois"]],
17           Some
18           (CmdIf
19             (ExpComp (Equivalente, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt
20               3),
21             [CmdPrint [ExpStr "Tres"]],
22             Some
23             (CmdIf
24               (ExpComp
25                 (Equivalente, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt 4),
26                 [CmdPrint [ExpStr "Quatro"]],
27                 Some
28                 (CmdIf
29                   (ExpComp
30                     (Equivalente, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt
31                       5),
32                   [CmdPrint [ExpStr "Cinco"]],
33                   Some (CmdElse [CmdPrint [ExpStr "Numero Invalido!!!"
34                     ]]])))])))]);
35 CmdReturn None];
36 Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", [])))]

```

Listagem 5.11: astMicro07

```

1 Ast.programa option =

```

5.3

```

2 Some
3   (Programa
4     [Funcao
5       {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6       fn_corpo =
7         [CmdDeclaracao ((VarSimples "numero", TipoInt), Some (ExpInt 0));
8         CmdDeclaracao ((VarSimples "programa", TipoInt), Some (ExpInt 1));
9         CmdDeclaracao ((VarSimples "opc", TipoStr), Some (ExpStr ""));
10        CmdWhile
11          (ExpComp (Equivalente, ExpVar (VarSimples "programa"), ExpInt 1),
12            [CmdInput (VarSimples "numero",
13              (Some (ExpStr "Digite um numero: "), TipoInt));
14            CmdIf (ExpComp (Maior, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt 0),
15              [CmdPrint [ExpStr "Positivo"]],
16              Some
17                (CmdElse
18                  [CmdIf
19                    (ExpComp
20                      (Equivalente, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt 0),
21                      [CmdPrint [ExpStr "O numero e igual a 0"]],
22                      Some
23                        (CmdIf
24                          (ExpComp (Menor, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt
25                            0),
26                            [CmdPrint [ExpStr "Negativo"]], None)))]));
27            CmdInput (VarSimples "opc",
28              (Some (ExpStr "Deseja Finalizar? (S/N) :"), TipoStr));
29            CmdIf
30              (ExpComp (Equivalente, ExpVar (VarSimples "opc"), ExpStr "S"),
31                [CmdAtrib (VarSimples "programa", ExpInt 0)], None)]);
32            CmdReturn None]);
33        Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", [])))]])

```

Listagem 5.12: astMicro08

```

1 Ast.programa option =
2 Some
3   (Programa
4     [Funcao
5       {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6       fn_corpo =
7         [CmdDeclaracao ((VarSimples "numero", TipoInt), Some (ExpInt 1));
8         CmdWhile
9           (ExpOperB (Orlog,
10             ExpComp (Menor, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt 0),
11             ExpComp (Maior, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt 0)),
12           [CmdInput (VarSimples "numero",
13             (Some (ExpStr "Digite um numero: "), TipoInt));
14           CmdIf (ExpComp (Maior, ExpVar (VarSimples "numero"), ExpInt 10),
15             [CmdPrint [ExpStr "Numero maior que 10"]],
16             Some (CmdElse [CmdPrint [ExpStr "Numero menor que 10"])]));
17           CmdReturn None]);
18        Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", [])))]])

```

Listagem 5.13: astMicro09

```

1 Ast.programa option =
2 Some
3   (Programa

```

```

4  [Funcao
5  {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6  fn_corpo =
7  [CmdDeclaracao ((VarSimples "novopreco", TipoFloat), None);
8  CmdInputDeclaracao ((VarSimples "preco", TipoFloat),
9  (Some (ExpStr "Digite o preco: "), TipoFloat));
10 CmdInput (VarSimples "venda",
11 (Some (ExpStr "Digite a venda: "), TipoFloat));
12 CmdIf
13 (ExpOperB (Orlog,
14 ExpComp (Menor, ExpVar (VarSimples "venda"), ExpInt 500),
15 ExpComp (Menor, ExpVar (VarSimples "preco"), ExpInt 30)),
16 [CmdAtrib (VarSimples "novopreco",
17 ExpOperB (Soma, ExpVar (VarSimples "preco"),
18 ExpOperB (Mult, ExpOperB (Div, ExpInt 10, ExpInt 100),
19 ExpVar (VarSimples "preco")))]],
20 Some
21 (CmdIf
22 (ExpOperB (Orlog,
23 ExpOperB (ANDlog,
24 ExpComp (MaiorIgual, ExpVar (VarSimples "venda"), ExpInt
25 500),
26 ExpComp (Menor, ExpVar (VarSimples "venda"), ExpInt 1200)),
27 ExpOperB (ANDlog,
28 ExpComp (MaiorIgual, ExpVar (VarSimples "preco"), ExpInt
29 30),
30 ExpComp (Menor, ExpVar (VarSimples "preco"), ExpInt 80))),
31 [CmdAtrib (VarSimples "novopreco",
32 ExpOperB (Soma, ExpVar (VarSimples "preco"),
33 ExpOperB (Mult, ExpOperB (Div, ExpInt 15, ExpInt 100),
34 ExpVar (VarSimples "preco")))]],
35 Some
36 (CmdIf
37 (ExpOperB (Orlog,
38 ExpComp
39 (MaiorIgual, ExpVar (VarSimples "venda"), ExpInt 1200),
40 ExpComp (MaiorIgual, ExpVar (VarSimples "preco"), ExpInt
41 80)),
42 [CmdAtrib (VarSimples "novopreco",
43 ExpOperB (Sub, ExpVar (VarSimples "preco"),
44 ExpOperB (Mult, ExpOperB (Div, ExpInt 20, ExpInt 100),
45 ExpVar (VarSimples "preco")))]],
46 None)))]);
47 CmdPrint [ExpStr "O novo preco e: "; ExpVar (VarSimples "novopreco"
48 )];
49 CmdReturn None]};
50 Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", [])))]

```

Listagem 5.14: astMicro10

```

1 Ast.programa option =
2 Some
3 (Programa
4 [Funcao
5 {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6 fn_corpo =
7 [CmdInputDeclaracao ((VarSimples "numero", TipoInt),
8 (Some (ExpStr "Digite um numero: "), TipoInt));
9 CmdDeclaracao ((VarSimples "fat", TipoInt),

```



```

10         Some
11         (ExpChmd (VarSimples "fatorial", [ExpVar (VarSimples "numero")])
12         );
13         CmdPrint [ExpStr "O fatorial eh"; ExpVar (VarSimples "fat")];
14         CmdReturn None];];
15     Funcao
16     {fn_nome = VarSimples "fatorial"; fn_tiporet = TipoInt;
17     fn_formais = [(VarSimples "n", TipoInt)];
18     fn_corpo =
19     [CmdIf (ExpComp (MenorIgual, ExpVar (VarSimples "n"), ExpInt 0),
20     [CmdReturn (Some (ExpInt 1))],
21     Some
22     (CmdElse
23     [CmdReturn
24     (Some
25     (ExpOperB (Mult, ExpVar (VarSimples "n"),
26     ExpChmd (VarSimples "fatorial",
27     [ExpOperB (Sub, ExpVar (VarSimples "n"), ExpInt 1)])))]
28     )))]];];
29     Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", [])))]

```

Listagem 5.15: astMicro11

```

1 Ast.programa option =
2 Some
3 (Programa
4 [Funcao
5 {fn_nome = VarSimples "main"; fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
6 fn_corpo =
7 [CmdInputDeclaracao ((VarSimples "numero", TipoInt),
8 (Some (ExpStr "Digite um numero: "), TipoInt));
9 CmdDeclaracao ((VarSimples "x", TipoInt),
10 Some
11 (ExpChmd (VarSimples "verifica", [ExpVar (VarSimples "numero")])
12 ));
13 CmdIf (ExpComp (Equivalente, ExpVar (VarSimples "x"), ExpInt 1),
14 [CmdPrint [ExpStr "Positivo"]],
15 Some
16 (CmdIf (ExpComp (Equivalente, ExpVar (VarSimples "x"), ExpInt 0)
17 ,
18 [CmdPrint [ExpStr "zero"]],
19 Some (CmdElse [CmdPrint [ExpStr "Negativo"]]))));
20 CmdReturn None];];
21 Funcao
22 {fn_nome = VarSimples "verifica"; fn_tiporet = TipoInt;
23 fn_formais = [(VarSimples "n", TipoInt)];
24 fn_corpo =
25 [CmdDeclaracao ((VarSimples "res", TipoInt), None);
26 CmdIf (ExpComp (Maior, ExpVar (VarSimples "n"), ExpInt 0),
27 [CmdAtrib (VarSimples "res", ExpInt 1)],
28 Some
29 (CmdIf (ExpComp (Menor, ExpVar (VarSimples "n"), ExpInt 0),
30 [CmdAtrib (VarSimples "res", ExpInt (-1))],
31 Some (CmdElse [CmdAtrib (VarSimples "res", ExpInt 0)]))));
32 CmdReturn (Some (ExpVar (VarSimples "res")))]];];
33 Cmd (CmdChmd (ExpChmd (VarSimples "main", [])))]

```

Capítulo 6

Análise semântica

O analisador semântico dará significado as instruções, além de ocorrer a validação de diversas regras da linguagem. A análise semântica percorre a árvore sintática relaciona os identificadores com seus dependentes de acordo com a estrutura hierárquica. Essa etapa também captura informações sobre o programa fonte para que as fases subsequentes gerar o código objeto, um importante componente da análise semântica é a verificação de tipos, nela o compilador verifica se cada operador recebe os operandos permitidos e especificados na linguagem fonte. Outra ação realizada na análise semântica é diferenciar os escopos entre global e local, para utilizar corretamente os elementos no código.

6.1 Execução

Para execução, digite no terminal:

```
ocamlbuild -use-ocamlfind -use-menhir -menhir "menhir --table" -package  
menhirLib sintaticoTeste.byte
```

E então abra o Ocaml:

```
rlwrap ocaml
```

6.2 Codigos

Algumas alterações foram feitas nos arquivos passados:

Listagem 6.1: lexico.mll

```
1 (* Analisador lexical para Mini Python  
2   Referência:  
3   https://docs.python.org/3/reference/lexical\_analysis.html  
4 *)  
5  
6 {  
7   open Lexing
```

```

8  open Printf
9
10 open Sintatico
11
12 let pos_atual lexbuf = lexbuf.lex_start_p
13
14 let linha_coluna_atual pos =
15     let lin = pos.pos_lnum
16     and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol + 1 in
17     (lin, col)
18
19 let msg_erro pos msg =
20     let lin, col = linha_coluna_atual pos in
21     sprintf "%d-%d: %s" lin col msg
22
23 type estado = {
24     mutable indentacao : int;
25     pilha : int Stack.t;
26     mutable ignora_nl : int;
27 }
28
29 let cria_estado () =
30     let pilha = Stack.create () in
31     let _ = Stack.push 0 pilha in
32     { indentacao = 0;
33       pilha = pilha;
34       ignora_nl = 0 }
35
36 let ignore_nl e =
37     e.ignora_nl <- succ e.ignora_nl
38
39 let considere_nl e =
40     e.ignora_nl <- pred e.ignora_nl
41
42 exception Erro_lexico of string
43
44
45 let id_ou_reservada str lexbuf =
46     let pos = pos_atual lexbuf in
47     match str with
48     | "and"      -> ELOG pos
49     | "or"       -> OULOG pos
50     | "def"      -> DEF pos
51     | "return"   -> RETURN pos
52     | "while"    -> WHILE pos
53     | "for"      -> FOR pos
54     | "in"       -> IN pos
55     | "range"    -> RANGE pos
56     | "input"    -> INPUT pos
57     | "print"    -> PRINT pos
58     | "str"      -> STRING pos
59     | "int"      -> INTEIRO pos
60     | "bool"     -> BOOL pos
61     | "char"     -> CHAR pos
62     | "float"    -> FLOAT pos
63     | "None"     -> NONE pos
64     | "if"       -> IF pos
65     | "elif"     -> ELIF pos
66     | "else"     -> ELSE pos

```

```

67 | "True"    -> LITBOOL (true, pos)
68 | "False"   -> LITBOOL (false, pos)
69 | _         -> ID (str, pos)
70
71
72 let conta_linhas s =
73   let n = ref 0 in
74   let _ = String.iter(fun c -> if c = '\n' then incr n) s
75   in !n
76
77 }
78
79
80 (* epsilon *)
81 let vazio = ""
82
83 let fim_de_linha = '\r' | '\n' | "\r\n"
84 let espaco_branco = ' ' | '\t'
85 let comentario = '#' [^ '\n' '\r' ]*
86 let linha_em_branco = espaco_branco* comentario?
87
88 let letra = ['a'-'z' 'A'-'Z' '_' ]
89 let digito = ['0'-'9']
90
91 let inteirodecimal = digito*
92 let parteinteira = digito+
93 let fracao = '.' digito+
94 let pontoflutuante = parteinteira? fracao | parteinteira '.'
95
96 let identificador = letra (letra | digito)*
97
98
99 rule token estado = parse
100 | vazio { let indentacao_atual = estado.indentacao
101           and ultima_indentacao = Stack.top estado.pilha in
102           if indentacao_atual < ultima_indentacao
103           then (* fecha o bloco atual *)
104             let _ = Stack.pop estado.pilha
105             in DEDENTA
106           else if indentacao_atual > ultima_indentacao
107           then (* inicia um novo bloco *)
108             let _ = Stack.push indentacao_atual estado.pilha
109             in INDENTA
110           else (* mesma indentação, continua no mesmo bloco *)
111             prox_token estado lexbuf
112   }
113
114 and prox_token estado = parse
115 | (linha_em_branco fim_de_linha)+
116   { let nlinhas = conta_linhas (lexeme lexbuf) in
117     let pos = lexbuf.lex_curr_p in
118     lexbuf.lex_curr_p <-
119       { pos with
120         pos_lnum = pos.pos_lnum + nlinhas;
121         pos_bol = pos.pos_cnum };
122     if estado.ignora_nl <= 0 then
123       let _ = estado.indentacao <- conta_indentacao 0 lexbuf in
124       NOVALINHA
125     else prox_token estado lexbuf

```

6.2

```

126     }
127 | '\\ ' fim_de_linha espaco_branco*
128     { new_line lexbuf;
129       prox_token estado lexbuf
130     }
131
132 | espaco_branco+
133     { prox_token estado lexbuf }
134
135 (* palavras-chave e identificadores *)
136 | identificador as id
137     { id_ou_reservada id lexbuf}
138
139 (* símbolos *)
140
141 | '(' { ignore_nl estado; APAR (pos_atual lexbuf) }
142 | ')' { considere_nl estado; FPAR (pos_atual lexbuf) }
143 | ">" { SETA (pos_atual lexbuf) }
144 | "<=" { MENORIGUAL (pos_atual lexbuf) }
145 | ">=" { MAIORIGUAL (pos_atual lexbuf) }
146 | "==" { EQUIVALENTE (pos_atual lexbuf) }
147 | "!=" { NAOEQUIVALENTE (pos_atual lexbuf) }
148 | ',' { VIRG (pos_atual lexbuf) }
149 | ':' { DPONTOS (pos_atual lexbuf) }
150 | '+' { SOMA (pos_atual lexbuf) }
151 | '-' { SUB (pos_atual lexbuf) }
152 | '!' { NOT (pos_atual lexbuf) }
153 | '*' { MULT (pos_atual lexbuf) }
154 | '/' { DIV (pos_atual lexbuf) }
155 | '%' { MOD (pos_atual lexbuf) }
156 | '<' { MENOR (pos_atual lexbuf) }
157 | '>' { MAIOR (pos_atual lexbuf) }
158 | '=' { ATRIB (pos_atual lexbuf) }
159
160
161
162 (* literais *)
163 | inteirodecimal as s
164     { try LITINT ((int_of_string s), pos_atual lexbuf)
165       with _ -> raise (Erro_lexico ("constante muito grande: " ^ s)) }
166 | pontoflutuante as s
167     { try LITFLOAT ((float_of_string s), pos_atual lexbuf)
168       with _ -> raise (Erro_lexico ("constante muito grande: " ^ s)) }
169
170 | "\"" as s { let c = String.get s 1 in LITCHAR (c, (pos_atual
171   lexbuf)) }
172 | ""
173     { let buffer = Buffer.create 100 in
174       let str = string_multilinha buffer (pos_atual lexbuf) lexbuf
175       in LITSTRING (str, pos_atual lexbuf) }
176 | "\' "
177     { let buffer = Buffer.create 100 in
178       let str = string_simples false buffer (pos_atual lexbuf) lexbuf
179       in LITSTRING (str, pos_atual lexbuf) }
180 | ""
181     { let buffer = Buffer.create 100 in
182       let str = string_simples true buffer (pos_atual lexbuf) lexbuf
183       in LITSTRING (str, pos_atual lexbuf) }
184 | eof { EOF }

```

```

184
185 (* Erros *)
186 | _ as c
187   { raise
188     (Erro_lexico
189      (msg_erro (pos_atual lexbuf)
190               (sprintf "caracter ilegal: %c" c))) }
191
192
193 and conta_identacao n = parse
194 | vazio { n }
195 | ' '   { conta_identacao (n+1) lexbuf }
196 | '\t'  { let n' = n + 8 - (n mod 8) in conta_identacao n' lexbuf }
197
198 and string_simples aspas buf pos = parse
199 | '\''
200 { if aspas
201   then let _ = Buffer.add_char buf '\'' in
202         string_simples aspas buf pos lexbuf
203   else Buffer.contents buf }
204 | '"'
205 { if aspas
206   then Buffer.contents buf
207   else let _ = Buffer.add_char buf '"' in
208         string_simples aspas buf pos lexbuf
209 }
210 | "\\t"
211   { Buffer.add_char buf '\t'; string_simples aspas buf pos lexbuf }
212 | "\\n"
213   { Buffer.add_char buf '\n'; string_simples aspas buf pos lexbuf }
214 | "\\\""
215 { Buffer.add_char buf '\\'; string_simples aspas buf pos lexbuf }
216 | "\\\\"
217   { Buffer.add_char buf '\\'; string_simples aspas buf pos lexbuf }
218 | "\\\""
219   { Buffer.add_char buf '\\'; string_simples aspas buf pos lexbuf }
220 | [^ '\r' '\n' ] as c
221   { Buffer.add_char buf c; string_simples aspas buf pos lexbuf }
222 | fim_de_linha
223   { raise
224     (Erro_lexico
225      (msg_erro pos "uma string simples deve terminar na mesma linha"
226                ))}
227 | eof
228   { raise (Erro_lexico (msg_erro pos "A string não foi fechada. ")) }
229
230 and string_multilinha buf pos = parse
231 | "'''"
232   { Buffer.contents buf }
233 | "\\t"
234   { Buffer.add_char buf '\t'; string_multilinha buf pos lexbuf }
235 | "\\n"
236   { Buffer.add_char buf '\n'; string_multilinha buf pos lexbuf }
237 | "\\\""
238   { Buffer.add_char buf '\\'; string_multilinha buf pos lexbuf }
239 | "\\\\"
240   { Buffer.add_char buf '\\'; string_multilinha buf pos lexbuf }
241 | fim_de_linha
242   { new_line lexbuf;

```

6.2

```
242     Buffer.add_char buf '\n'; string_multilinha buf pos lexbuf }
243 | _ as c
244     { Buffer.add_char buf c;      string_multilinha buf pos lexbuf }
245 | eof
246     { raise
247         (Erro_lexico
248          (msg_erro pos "A string multilinha não foi fechada.")) }

```

Listagem 6.2: sintatico.mly

```
1 %{
2  open Lexing
3  open Ast
4  open Sast
5  %}
6
7  %token <int * Lexing.position>      LITINT
8  %token <float * Lexing.position>    LITFLOAT
9  %token <char * Lexing.position>     LITCHAR
10 %token <string * Lexing.position>    LITSTRING
11 %token <bool * Lexing.position>     LITBOOL
12 %token <string * Lexing.position>    ID
13
14 /* Tipos */
15 %token <Lexing.position> INTEIRO
16 %token <Lexing.position> FLOAT
17 %token <Lexing.position> CHAR
18 %token <Lexing.position> STRING
19 %token <Lexing.position> BOOL
20 %token <Lexing.position> NONE
21
22 /* símbolos */
23 %token <Lexing.position> VIRG
24 %token <Lexing.position> DPONTOS
25 %token <Lexing.position> SETA
26 %token <Lexing.position> APAR
27 %token <Lexing.position> FPAR
28 %token <Lexing.position> ATRIB
29
30 /* palavras reservadas */
31 %token <Lexing.position> IF
32 %token <Lexing.position> ELIF
33 %token <Lexing.position> ELSE
34 %token <Lexing.position> WHILE
35 %token <Lexing.position> FOR
36 %token <Lexing.position> IN
37 %token <Lexing.position> RANGE
38 %token <Lexing.position> PRINT
39 %token <Lexing.position> INPUT
40 %token <Lexing.position> NOT
41 %token <Lexing.position> ELOG
42 %token <Lexing.position> OULOG
43 %token <Lexing.position> DEF
44 %token <Lexing.position> RETURN
45
46 /* operadores relacionais */
47 %token <Lexing.position> EQUIVALENTE
48 %token <Lexing.position> NAOEQUIVALENTE
49 %token <Lexing.position> MENOR

```

```

50 %token <Lexing.position> MAIOR
51 %token <Lexing.position> MENORIGUAL
52 %token <Lexing.position> MAIORIGUAL
53
54 /* operadores aritmeticos */
55 %token <Lexing.position> SOMA
56 %token <Lexing.position> SUB
57 %token <Lexing.position> MULT
58 %token <Lexing.position> DIV
59 %token <Lexing.position> MOD
60
61 /* leiaute */
62 %token INDENTA
63 %token DEDENTA
64 %token NOVALINHA
65
66 /* eof */
67 %token EOF
68
69 /* DEFINIÇÃO DA ASSOCIATIVIDADE */
70 %left NOT
71 %left ELOG
72 %left OULOG
73
74 %left EQUIVALENTE
75 %left NAOEQUIVALENTE
76 %left MENOR
77 %left MAIOR
78 %left MENORIGUAL
79 %left MAIORIGUAL
80
81 %left SOMA
82 %left SUB
83 %left MULT
84 %left DIV
85 %left MOD
86
87 %start <Sast.expressao Ast.programa> programa
88
89 %%
90
91 programa: ins=instrucao*
92           EOF
93           { Programa ins }
94
95 funcao: DEF nome=variavel
96         APAR args=separated_list(VIRG, parametro) FPAR
97         SETA retorno=tipo DPONTOS NOVALINHA
98         INDENTA
99         cmd=comandos
100        DEDENTA
101        {
102            Funcao {
103                fn_nome      = nome;
104                fn_tiporet    = retorno;
105                fn_formais    = args;
106                fn_corpo      = cmd
107            }
108        }

```


6.2

```
109
110 instracao: func=funcao { func }
111             | cmd=comando { Cmd cmd }
112
113 parametro: nome=variavel DPONTOS t=tipo { (nome, t) }
114
115 comandos: cmd=comando+ { cmd }
116
117 comando: c=comando_instancia      { c }
118           | c=comando_declara      { c }
119           | c=comando_atribuicao    { c }
120           | c=comando_input_dec_atr { c }
121           | c=comando_input_atr    { c }
122           | c=comando_print        { c }
123           | c=comando_se           { c }
124           | c=comando_while        { c }
125           | c=comando_for_dec      { c }
126           | c=comando_for          { c }
127           | c=comando_chamada      { c }
128           | c=comando_retorno      { c }
129
130 comando_instancia: v=parametro NOVALINHA {
131   CmdDeclara (v)
132 }
133
134 comando_declara: p=parametro ATRIB e=expressao NOVALINHA {
135   CmdDeclaraAtrib (p, e)
136 }
137
138 comando_atribuicao: v=variavel ATRIB e=expressao NOVALINHA {
139   CmdAtrib (v, e)
140 }
141
142 comando_input_dec_atr: p=parametro ATRIB t=tipo APAR INPUT APAR e=
   separated_list(VIRG, expressao) FPAR FPAR NOVALINHA {
143   CmdInputDecAtr (p,e,t)
144 }
145
146 comando_input_atr: v=variavel ATRIB t=tipo APAR INPUT APAR e=
   separated_list(VIRG, expressao) FPAR FPAR NOVALINHA {
147   CmdInputAtr (v,e,t)
148 }
149
150 comando_print: PRINT APAR args=separated_list(VIRG, expressao) FPAR
   NOVALINHA {
151   CmdPrint ( args )
152 }
153
154 comando_se: IF cond=expressao DPONTOS NOVALINHA INDENTA entao=comandos
   DEDENTA cmd1=option(comando_se2) {
155   CmdIf (cond, entao, cmd1)
156 }
157
158 comando_se2: ELSE DPONTOS NOVALINHA INDENTA cmd2=comandos DEDENTA { cmd2 }
159             | ELIF cond1=expressao DPONTOS NOVALINHA INDENTA entao1=
   comandos DEDENTA cmd1=option(comando_se2) {
160               [CmdIf (cond1, entao1, cmd1)]
161             }
162
```

```

163 comando_while: WHILE cond=expressao DPONTOS NOVALINHA INDENTA cmd=comandos
    DEDENTA {
164   CmdWhile (cond, cmd)
165 }
166
167 comando_for_dec: FOR p=parametro IN RANGE APAR n1=expressao VIRG n2=
    expressao FPAR DPONTOS NOVALINHA INDENTA cmd=comandos DEDENTA {
168   CmdFor_Dec (p, (n1, n2), cmd)
169 }
170
171 comando_for: FOR v=variavel IN RANGE APAR n1=expressao VIRG n2=expressao
    FPAR DPONTOS NOVALINHA INDENTA cmd=comandos DEDENTA {
172   CmdFor (v, (n1, n2), cmd)
173 }
174
175 comando_chamada: exp=expressao NOVALINHA {
176   CmdExprs exp
177 }
178
179 comando_retorno: RETURN e=option(expressao) NOVALINHA { CmdReturn e }
180
181 chamada : nome=ID APAR args=separated_list(VIRG, expressao) FPAR { ExpChmd
    (nome, args) }
182
183 tipo: INTEIRO { TipoInt }
184      | STRING  { TipoStr }
185      | BOOL    { TipoBool }
186      | CHAR    { TipoChar }
187      | FLOAT   { TipoFloat }
188      | NONE    { TipoNone }
189
190 expressao:
191      f=chamada      { f }
192      | v=variavel   { ExpVar v }
193      | i=LITINT     { ExpInt i }
194      | c=LITCHAR    { ExpChar c }
195      | f=LITFLOAT   { ExpFloat f }
196      | s=LITSTRING  { ExpStr s }
197      | b=LITBOOL    { ExpBool b }
198      | l=expressao op=oper r=expressao { ExpOperB( op,l,r) }
199      | l=expressao op=oper_un { ExpOperU( op,l) }
200      | APAR e=expressao FPAR { e }
201
202 %inline oper:
203      pos = ELOG      { (Elog,pos) }
204      | pos = OULOG   { (Oulog,pos) }
205      | pos = SOMA     { (Mais,pos) }
206      | pos = SUB      { (Sub,pos) }
207      | pos = MULT     { (Mult,pos) }
208      | pos = DIV      { (Div,pos) }
209      | pos = MOD      { (Mod,pos) }
210      | pos = EQUIVALENTE { (Igual, pos) }
211      | pos = NAOEQUIVALENTE { (Difer, pos) }
212      | pos = MENOR    { (Menor, pos) }
213      | pos = MAIOR    { (Maior, pos) }
214      | pos = MENORIGUAL { (MenorIgual, pos) }
215      | pos = MAIORIGUAL { (MaiorIgual, pos) }
216
217 %inline oper_un:

```

```

218     | pos = NOT { ((Not, pos)) }
219
220 variavel:
221     | x = ID {VarSimples x }

```

Listagem 6.3: ast.ml

```

1  (* The type of the abstract syntax tree (AST). *)
2  open Lexing
3
4  type identificador = string
5  type 'a pos = 'a * Lexing.position (* tipo e posição no arquivo fonte *)
6
7  type 'expr programa = Programa of 'expr instrucoes
8  and 'expr comandos = ('expr comando) list
9  and 'expr instrucoes = ('expr instrucao) list
10 and 'expr expressoes = 'expr list
11 and 'expr instrucao =
12     Funcao of ('expr decfn)
13   | Cmd      of ('expr comando)
14
15 and 'expr decfn = {
16     fn_nome:    variavel;
17     fn_tiporet: tipo;
18     fn_formais: (variavel * tipo) list;
19     fn_corpo:   'expr comandos
20 }
21
22 and tipo =
23     TipoInt
24   | TipoStr
25   | TipoBool
26   | TipoChar
27   | TipoFloat
28   | TipoNone
29
30 and 'expr comando =
31     CmdDeclara of parametro
32   | CmdDeclaraAtrib of parametro * ('expr )
33   | CmdAtrib of variavel * ('expr )
34   | CmdInputDecAtr of parametro * ('expr list) * tipo
35   | CmdInputAtr of variavel * ('expr list) * tipo
36   | CmdPrint of ('expr ) list
37   | CmdIf of ('expr ) * ('expr comandos) * (('expr comandos) option)
38   | CmdReturn of ('expr ) option
39   | CmdWhile of ('expr ) * ('expr comandos)
40   | CmdFor of variavel * (('expr ) * ('expr )) * ('expr comandos)
41   | CmdFor_Dec of parametro * (('expr ) * ('expr )) * ('expr comandos)
42   | CmdExprs of ('expr )
43   (* | CmdIncr of (operador_incr * ('expr ))
44   | CmdDecr of (operador_decr * ('expr )) *)
45
46 and variaveis = variavel list
47
48 and parametro = variavel * tipo
49
50 and variavel = VarSimples of identificador pos
51
52 and operador =

```

```

53     Mais
54   | Sub
55   | Mult
56   | Div
57   | Mod
58   | Elog
59   | Oulog
60   | Maior
61   | Menor
62   | MaiorIgual
63   | MenorIgual
64   | Igual
65   | Difer
66
67 and operador_unario =
68     Not

```

Listagem 6.4: sast.ml

```

1 open Ast
2
3 type expressao =
4   | ExpVar    of variavel
5   | ExpInt    of int pos
6   | ExpStr    of string pos
7   | ExpChar   of char pos
8   | ExpBool   of bool pos
9   | ExpFloat  of float pos
10  | ExpOperB   of (operador pos) * expressao * expressao
11  | ExpOperU   of operador_unario pos * expressao
12  | ExpChmd    of identificador pos * (expressao expressoes)

```

Listagem 6.5: tast.ml

```

1 open Ast
2
3 type expressao =
4   | ExpVar    of variavel * tipo
5   | ExpInt    of int * tipo
6   | ExpStr    of string * tipo
7   | ExpChar   of char * tipo
8   | ExpBool   of bool * tipo
9   | ExpFloat  of float * tipo
10  | ExpOperB   of (operador * tipo) * (expressao * tipo) * (expressao *
    tipo)
11  | ExpOperU   of (operador_unario * tipo) * (expressao * tipo)
12  | ExpChmd    of identificador * (expressao expressoes) * tipo

```

Listagem 6.6: semantico.ml

```

1 module Amb = Ambiente
2 module A = Ast
3 module S = Sast
4 module T = Tast
5
6 let posicao exp = let open S in
7   match exp with
8   | ExpVar v -> (match v with

```

6.2

```

9      | A.VarSimples          (_,pos)          -> pos
10    )
11    | ExpInt                 (_,pos)          -> pos
12    | ExpStr                 (_,pos)          -> pos
13    | ExpChar                (_,pos)          -> pos
14    | ExpBool                (_,pos)          -> pos
15    | ExpFloat               (_,pos)          -> pos
16    | ExpOperB               ((_,pos),_,_)    -> pos
17    | ExpChmd                ((_,pos),_,_)    -> pos
18
19 type classe_op = Aritmetico | Relacional | Logico | Cadeia
20
21 let classifica op =
22   let open A in
23   match op with
24     Oulog
25   | Elog -> Logico
26   | Menor
27   | Maior
28   | Igual
29   | MaiorIgual
30   | MenorIgual
31   | Difer -> Relacional
32   | Mais
33   | Sub
34   | Mult
35   | Mod
36   | Div -> Aritmetico
37
38 let msg_erro_pos pos msg =
39   let open Lexing in
40   let lin = pos.pos_lnum
41   and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
42   Printf.sprintf "Semantico -> linha %d, coluna %d: %s" lin col msg
43
44 let msg_erro nome msg =
45   let pos = snd nome in
46   msg_erro_pos pos msg
47
48 let insere_declaracao_var amb dec =
49   let open A in
50   match dec with
51     (nome, tipo) -> Amb.insere_local amb (fst nome) tipo
52
53 let nome_tipo t =
54   let open A in
55   match t with
56     TipoInt      -> "inteiro"
57   | TipoStr      -> "string"
58   | TipoBool     -> "bool"
59   | TipoNone     -> "none"
60   | TipoChar     -> "char"
61   | TipoFloat    -> "float"
62
63 let mesmo_tipo pos msg tinf tdec =
64   if tinf <> tdec
65   then
66     let msg = Printf.sprintf msg (nome_tipo tinf) (nome_tipo tdec) in
67     failwith (msg_erro_pos pos msg)

```

```

68
69 let rec infere_exp amb exp =
70   match exp with
71   | S.ExpInt n      -> (T.ExpInt      (fst n, A.TipoInt),      A.TipoInt)
72   | S.ExpStr s      -> (T.ExpStr      (fst s, A.TipoStr),      A.TipoStr)
73   | S.ExpBool b     -> (T.ExpBool     (fst b, A.TipoBool),     A.TipoBool)
74   | S.ExpChar c     -> (T.ExpChar     (fst c, A.TipoChar),     A.TipoChar)
75   | S.ExpFloat f    -> (T.ExpFloat    (fst f, A.TipoFloat),    A.TipoFloat)
76   | S.ExpVar v      ->
77     (match v with
78      | A.VarSimples nome ->
79        let id = fst nome in
80        (try (match (Amb.busca amb id) with
81         | Amb.EntVar tipo -> (T.ExpVar (A.VarSimples nome, tipo),
82                                tipo)
83         | Amb.EntFun _ ->
84           let msg = "nome de funcao usado como nome de variavel: "
85             ^ id in
86           failwith (msg_erro nome msg)
87         )
88        with Not_found ->
89          let msg = "A variavel " ^ id ^ " nao foi declarada" in
90          failwith (msg_erro nome msg)
91       )
92   | _ -> failwith "infere_exp: não implementado"
93 )
94 (* FAZER ExpOperU e verifica aritmetico operU*)
95 | S.ExpOperB (op, esq, dir) ->
96   let (esq, tesq) = infere_exp amb esq
97   and (dir, tdir) = infere_exp amb dir in
98   let verifica_aritmetico () =
99     (match tesq with
100     | A.TipoFloat
101     | A.TipoInt ->
102       let _ = mesmo_tipo (snd op)
103         "O operando esquerdo eh do tipo %s mas o direito eh
104           do tipo %s"
105         tesq tdir
106       in tesq (* O tipo da expressão aritmética como um todo *)
107     | t -> let msg = "um operador aritmetico nao pode ser usado com o
108         tipo " ^
109         (nome_tipo t)
110         in failwith (msg_erro_pos (snd op) msg)
111     )
112   and verifica_relacional () =
113     (match tesq with
114     | A.TipoInt
115     | A.TipoFloat
116     | A.TipoChar
117     | A.TipoStr ->
118       let _ = mesmo_tipo (snd op)
119         "O operando esquerdo eh do tipo %s mas o direito eh do
120           tipo %s"
121         tesq tdir
122       in A.TipoBool (* O tipo da expressão relacional é sempre booleano
123         *)

```

```

121
122 | t -> let msg = "um operador relacional nao pode ser usado com o
      tipo " ^
123           (nome_tipo t)
124   in failwith (msg_erro_pos (snd op) msg)
125 )
126
127 and verifica_logico () =
128   (match tesq with
129     A.TipoBool ->
130       let _ = mesmo_tipo (snd op)
131         "O operando esquerdo eh do tipo %s mas o direito eh do
          tipo %s"
132       tesq tdir
133     in A.TipoBool (* O tipo da expressão lógica é sempre booleano *)
134
135 | t -> let msg = "um operador logico nao pode ser usado com o tipo
      " ^
136           (nome_tipo t)
137   in failwith (msg_erro_pos (snd op) msg)
138 )
139 and verifica_cadeia () =
140   (match tesq with
141     A.TipoStr ->
142       let _ = mesmo_tipo (snd op)
143         "O operando esquerdo eh do tipo %s mas o direito eh do
          tipo %s"
144       tesq tdir
145     in A.TipoStr (* O tipo da expressão relacional é sempre string *)
146 | A.TipoChar ->
147       let _ = mesmo_tipo (snd op)
148         "O operando esquerdo eh do tipo %s mas o direito eh do
          tipo %s"
149       tesq tdir
150     in A.TipoStr (* O tipo da expressão relacional é sempre string *)
151
152 | t -> let msg = "um operador relacional nao pode ser usado com o
      tipo " ^
153           (nome_tipo t)
154   in failwith (msg_erro_pos (snd op) msg)
155 )
156
157 in
158 let op = fst op in
159 let tinf = (match (classifica op) with
160   Aritmetico -> verifica_aritmetico ()
161   | Relacional -> verifica_relacional ()
162   | Logico -> verifica_logico ()
163   | Cadeia -> verifica_cadeia ()
164 )
165 in
166   (T.ExpOperB ((op,tinf), (esq, tesq), (dir, tdir)), tinf)
167
168 | S.ExpChmd(nome, args) ->
169   let rec verifica_parametros ags ps fs =
170     match (ags, ps, fs) with
171     (a::ags), (p::ps), (f::fs) ->
172       let _ = mesmo_tipo (posicao a)
173         "O parametro eh do tipo %s mas deveria ser do tipo %s

```

```

                                " p f
174         in verifica_parametros ags ps fs
175     | [], [], [] -> ()
176     | _ -> failwith (msg_erro nome "Numero incorreto de parametros")
177 in
178 let id = fst nome in
179 try
180     begin
181         let open Amb in
182
183             match (Amb.busca amb id) with
184             (* verifica se 'nome' está associada a uma função *)
185             Amb.EntFun {tipo_fn; formais} ->
186                 (* Infere o tipo de cada um dos argumentos *)
187                 let argst = List.map (infere_exp amb) args
188                 (* Obtem o tipo de cada parâmetro formal *)
189                 and tipos_formais = List.map snd formais in
190                 (* Verifica se o tipo de cada argumento confere com o tipo
191                 declarado *)
192                 (* do parâmetro formal correspondente.
193                 *)
194                 let _ = verifica_parametros args (List.map snd argst)
195                     tipos_formais
196                 in (T.ExpChmd (id, (List.map fst argst), tipo_fn), tipo_fn)
197 | Amb.EntVar _ -> (* Se estiver associada a uma variável, falhe
198 *)
199 let msg = id ^ " eh uma variavel e nao uma funcao" in
200 failwith (msg_erro nome msg)
201
202 end
203 with Not_found ->
204 let msg = "Nao existe a funcao de nome " ^ id in
205 failwith (msg_erro nome msg)
206
207 (* FAZER função para inferir tipo *)
208
209 let infere_var amb exp =
210     match exp with
211     A.VarSimples nome -> (*MESMA COISA DO INFERE EXP, verificar com
212     professor se é assim que faz*)
213     let id = fst nome in
214         (try (match (Amb.busca amb id) with
215         | Amb.EntVar tipo -> (A.VarSimples nome, tipo)
216         | Amb.EntFun _ ->
217             let msg = "nome de funcao usado como nome de variavel: "
218             ^ id in
219             failwith (msg_erro nome msg)
220         )
221         with Not_found ->
222             let msg = "A variavel " ^ id ^ " nao foi declarada" in
223             failwith (msg_erro nome msg)
224         )
225
226 let rec verifica_cmd amb tiporet cmd =
227     let open A in
228     match cmd with
229     CmdReturn exp ->
230     (match exp with
231     (* Se a função não retornar nada, verifica se ela foi declarada como
232     void *)

```



```

225     None ->
226     let _ = mesmo_tipo (Lexing.dummy_pos)
227           "O tipo retornado eh %s mas foi declarado como %s"
228           TipoNone tiporet
229     in CmdReturn None
230 | Some e ->
231     (* Verifica se o tipo inferido para a expressão de retorno confere
232       com o *)
233     (* tipo declarado para a função. *)
234     let (el,tinf) = infere_exp amb e in
235     let _ = mesmo_tipo (posicao e)
236           "O tipo retornado eh %s mas foi declarado
237           como %s"
238           tinf tiporet
239     in CmdReturn (Some el)
240 )
241 | CmdIf (teste, entao, senao) ->
242     let (testel,tinf) = infere_exp amb teste in
243     (* O tipo inferido para a expressão 'teste' do condicional deve ser
244       booleano *)
245     let _ = mesmo_tipo (posicao teste)
246           "O teste do if deveria ser do tipo %s e nao %s"
247           TipoBool tinf in
248     (* Verifica a validade de cada comando do bloco 'então' *)
249     let entao1 = List.map (verifica_cmd amb tiporet) entao in
250     (* Verifica a validade de cada comando do bloco 'senão', se houver *)
251     let senao1 =
252         match senao with
253         None -> None
254         | Some bloco -> Some (List.map (verifica_cmd amb tiporet) bloco)
255     in
256     CmdIf (testel, entao1, senao1)
257 )
258 | CmdAtrib (elem, exp) ->
259     (* Infere o tipo da expressão no lado direito da atribuição *)
260     let (exp, tdir) = infere_exp amb exp
261     (* Faz o mesmo para o lado esquerdo *)
262     and (elem1, tesq) = infere_var amb elem in
263     (* Os dois tipos devem ser iguais *)
264     let nome_elem = match elem with A.VarSimples a -> a in
265     let _ = mesmo_tipo (snd nome_elem)
266           "Atribuicao com tipos diferentes: %s = %s" tesq
267           tdir
268     in CmdAtrib (elem1, exp)
269 )
270 | CmdExprs exp ->
271     let (exp,tinf) = infere_exp amb exp in
272     CmdExprs exp
273 )
274 | CmdDeclaraAtrib((elem,tipo), exp) ->
275     let var = match elem with A.VarSimples a -> a in
276     let _ = insere_declaracao_var amb (var,tipo) in
277     (* Infere o tipo da expressão no lado direito da atribuição *)
278     let (exp, tdir) = infere_exp amb exp
279     (* Faz o mesmo para o lado esquerdo *)
280     and (elem1, tesq) = infere_var amb elem in
281     (* Os dois tipos devem ser iguais *)
282     let nome_elem = match elem with A.VarSimples a -> a in

```

```

279     let _ = mesmo_tipo (snd nome_elem)
280         "Atribuicao com tipos diferentes: %s = %s" tesq
281         tdir
282   in CmdDeclaraAtrib ((elem1,tipo), exp)
283
284 | CmdPrint exps ->
285   (* Verifica o tipo de cada argumento da função 'entrada' *)
286   let exps = List.map (infern_exp amb) exps in
287   CmdPrint (List.map fst exps)
288
289 | CmdDeclara(elem,tipo) ->
290   let var = match elem with A.VarSimples a -> a in
291   let _ = insere_declaracao_var amb (var,tipo) in
292   CmdDeclara (elem,tipo)
293
294 | CmdInputDecAtr ((elem,tipo), exps, tipof) ->
295   let var = match elem with A.VarSimples a -> a in
296   let _ = insere_declaracao_var amb (var,tipo) in
297   (* Inferir o tipo da expressão no lado direito da atribuição *)
298   let exps = List.map (infern_exp amb) exps in
299   let exps = List.map (fst) exps in
300   (* Faz o mesmo para o lado esquerdo *)
301   let (elem1, tesq) = infern_var amb elem in
302   (* Os dois tipos devem ser iguais *)
303   let _ = mesmo_tipo (snd var)
304       "Atribuicao com tipos diferentes: %s = %s" tipo
305       tipof
306   in CmdInputDecAtr ((elem1,tipo), exps, tipof)
307
308 | CmdInputAtr (elem, exps, tipof) ->
309   let var = match elem with A.VarSimples a -> a in
310   (* Inferir o tipo da expressão no lado direito da atribuição *)
311   let exps = List.map (infern_exp amb) exps in
312   let exps = List.map (fst) exps in
313   (* Faz o mesmo para o lado esquerdo *)
314   let (elem1, tesq) = infern_var amb elem in
315   (* Os dois tipos devem ser iguais *)
316   let _ = mesmo_tipo (snd var)
317       "Atribuicao com tipos diferentes: %s = %s" tesq
318       tipof
319   in CmdInputAtr (elem1, exps, tipof)
320
321 | CmdWhile (teste, entao) ->
322   let (testel,tinf) = infern_exp amb teste in
323   (* O tipo inferido para a expressão 'teste' do condicional deve ser
324     booleano *)
325   let _ = mesmo_tipo (posicao teste)
326       "O teste do while deveria ser do tipo %s e nao %s"
327       TipoBool tinf in
328   (* Verifica a validade de cada comando do bloco 'então' *)
329   let entao1 = List.map (verifica_cmd amb tiporet) entao in
330   CmdWhile (testel, entao1)
331
332 | CmdFor (variavel, (de, para), entao) ->
333   let (var1, tesq) = infern_var amb variavel in
334   let pos = posicao (ExpVar variavel) in
335   let (del,tde) = infern_exp amb de and
336   (paral,tpara) = infern_exp amb para in
337   (* O tipo inferido para a expressão 'teste' do condicional deve ser

```

```

    booleano *)
334 let _ = mesmo_tipo (pos)
335     "A variavel do for deveria ser do tipo %s e nao %s"
336     TipoInt tesq in
337 let _ = mesmo_tipo (pos)
338     "A inicializacao do for deveria ser do tipo %s e nao %s"
339     TipoInt tde in
340 let _ = mesmo_tipo (pos)
341     "A finalizacao do for deveria ser do tipo %s e nao %s"
342     TipoInt tpara in
343 (* Verifica a validade de cada comando do bloco 'então' *)
344 let entao1 = List.map (verifica_cmd amb tiporet) entao in
345     CmdFor (var1, (del, para1), entao1)
346
347 | CmdFor_Dec ((variavel,tipo), (de, para), entao) ->
348 let var = match variavel with A.VarSimples a -> a in
349 let _ = insere_declaracao_var amb (var,tipo) in
350 let (var1, tesq) = infere_var amb variavel in
351 let pos = posicao (ExpVar variavel) in
352 let (del,tde) = infere_exp amb de and
353 (para1,tpara) = infere_exp amb para in
354 (* O tipo inferido para a expressão 'teste' do condicional deve ser
    booleano *)
355 let _ = mesmo_tipo (pos)
356     "A variavel do for deveria ser do tipo %s e nao %s"
357     TipoInt tesq in
358 let _ = mesmo_tipo (pos)
359     "A inicializacao do for deveria ser do tipo %s e nao %s"
360     TipoInt tde in
361 let _ = mesmo_tipo (pos)
362     "A finalizacao do for deveria ser do tipo %s e nao %s"
363     TipoInt tpara in
364 (* Verifica a validade de cada comando do bloco 'então' *)
365 let entao1 = List.map (verifica_cmd amb tiporet) entao in
366     CmdFor_Dec ((var1,tipo), (del, para1), entao1)
367
368 (*and verifica_fun amb ast =
369 let open A in
370 match ast with
371 | Funcao {fn_nome; fn_tiporet; fn_formais; fn_corpo} ->
372 (* Estende o ambiente global, adicionando um ambiente local *)
373 let ambfn = Amb.novo_escopo amb in
374 (* Insere os parâmetros no novo ambiente *)
375 let insere_parametro (v,t) = Amb.insere_param ambfn (fst v) t in
376 let _ = List.iter insere_parametro fn_formais in
377 (* Insere as variáveis locais no novo ambiente *)
378 let insere_local = function
379     (DecVar (v,t)) -> Amb.insere_local ambfn (fst v) t in
380 let _ = List.iter insere_local fn_locais in
381 (* Verifica cada comando presente no corpo da função usando o novo
    ambiente *)
382 let corpo_tipado = List.map (verifica_cmd ambfn fn_tiporet) fn_corpo
    in
383     Funcao {fn_nome; fn_tiporet; fn_formais; fn_corpo = corpo_tipado}
384 | Cmd _ -> failwith "Instrucao invalida"*)
385
386 and verifica_fun amb ast =
387 let open A in
388 match ast with

```

```

389 | Funcao {fn_nome; fn_tiporet; fn_formais; fn_corpo} ->
390   (* Estende o ambiente global, adicionando um ambiente local *)
391   let ambfn = Amb.novo_escopo amb in
392   (* Insere os parâmetros no novo ambiente *)
393   let insere_parametro (v,t) = Amb.insere_param ambfn (fst v) t in
394   let fn_formaisn = (List.map
395     (fun fn_formal -> (match fn_formal with (A.VarSimples a, tipo) -> (a,
396       tipo)) )
397     fn_formais) in
398   let _ = List.iter insere_parametro fn_formaisn in
399   (* Verifica cada comando presente no corpo da função usando o novo
400     ambiente *)
401   let corpo_tipado = List.map (verifica_cmd ambfn fn_tiporet) fn_corpo
402   in
403   Funcao {fn_nome; fn_tiporet; fn_formais; fn_corpo = corpo_tipado}
404 | Cmd _ -> failwith "Instrucao invalida"
405
406 let rec verifica_dup xs =
407   match xs with
408   [] -> []
409 | (nome,t)::xs ->
410   let id = fst nome in
411   if (List.for_all (fun (n,t) -> (fst n) <> id) xs)
412   then (id, t) :: verifica_dup xs
413   else let msg = "Parametro duplicado " ^ id in
414     failwith (msg_erro nome msg)
415
416 let insere_declaracao_fun amb dec =
417   let open A in
418   match dec with
419   | Funcao {fn_nome; fn_tiporet; fn_formais; fn_corpo} ->
420     (* Verifica se não há parâmetros duplicados *)
421     let fn_formaisn = (List.map
422       (fun fn_formal -> (match fn_formal with (A.VarSimples a, tipo) -> (a,
423         tipo)) )
424       fn_formais) in
425     let formais = verifica_dup fn_formaisn in
426     let fn_nome = (match fn_nome with (A.VarSimples (a, tipo)) -> (a,
427       tipo)) in
428     let nome = fst fn_nome in
429     Amb.insere_fun amb nome formais fn_tiporet
430 | Cmd _ -> failwith "Instrucao invalida"
431
432 (* Lista de cabeçalhos das funções pré definidas *)
433 let fn_predefs = let open A in [
434   ("entrada", [("x", TipoInt); ("y", TipoInt)], TipoNone);
435   ("saida",   [("x", TipoInt); ("y", TipoInt)], TipoNone)
436 ]
437
438 (* insere as funções pré definidas no ambiente global *)
439 let declara_predefinidas amb =
440   List.iter (fun (n,ps,tr) -> Amb.insere_fun amb n ps tr) fn_predefs
441
442 let semantico ast =
443   let amb_global = Amb.novo_amb [] in
444   let _ = declara_predefinidas amb_global in
445   let A.Programa instr = ast in
446   let decs_funs = List.filter(fun x ->

```

```

443     (match x with
444     | A.Funcao _ -> true
445     | _         -> false)) instr in
446     let _ = List.iter (insere_declaracao_fun amb_global) decs_funs in
447     let decs_funs = List.map (verifica_fun amb_global) decs_funs in
448     (A.Programa decs_funs, amb_global)

```

Listagem 6.7: .ocamlinit

```

1 let () =
2   try Topdirs.dir_directory (Sys.getenv "OCAML_TOPLEVEL_PATH")
3   with Not_found -> ()
4 ;;
5
6 #use "topfind";;
7 #require "menhirLib";;
8 #directory "_build";;
9 #load "sintatico.cmo";;
10 #load "lexico.cmo";;
11 #load "ast.cmo";;
12 #load "sast.cmo";;
13 #load "tast.cmo";;
14 #load "tabsimb.cmo";;
15 #load "ambiente.cmo";;
16 #load "semantico.cmo";;
17 #load "semanticoTest.cmo";;
18
19 open Ast
20 open Ambiente
21 open SemanticoTest

```

6.3 Compilação e execução

Gerando mensagens de erro:

```

menhir -v --list-errors sintatico.mly > sintatico.messages
menhir -v --list-errors sintatico.mly --compile-errors sintatico.messages
> fnmes.ml

```

Compilando o arquivo de teste, digite no terminal:

```

ocamlbuild -use-ocamlfind -use-menhir -menhir "menhir --table" -package
menhirLib semanticoTest.byte

```

Enfim entre no ocaml e chame o verificador de tipos para obter árvore anotada com os tipos, digite:

```

# verifica_tipos "exemplos/micro10.py";;

```

6.4 Código teste

Usado o código `micro10.py` para teste do semântico.

Listagem 6.8: `micro10.txt`

```

1 # verifica_tipos "micro10.py";
2 - : Tast.expressao Ast.programa * Ambiente.t =
3 (Programa
4   [Funcao
5     {fn_nome =
6       VarSimples
7       ("main",
8         {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 1; pos_bol = 0; pos_cnum = 4});
9     fn_tiporet = TipoNone; fn_formais = [];
10    fn_corpo =
11      [CmdInputDecAtr
12        ((VarSimples
13          ("numero",
14            {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 2; pos_bol = 20;
15              pos_cnum = 24}),
16          TipoInt),
17        [Tast.ExpStr ("Digite um numero: ", TipoStr)], TipoInt);
18      CmdDeclaraAtrib
19        ((VarSimples
20          ("fat",
21            {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 3; pos_bol = 70;
22              pos_cnum = 74}),
23          TipoInt),
24        Tast.ExpChmd ("fatorial",
25          [Tast.ExpVar
26            (VarSimples
27              ("numero",
28                {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 3; pos_bol = 70;
29                  pos_cnum = 93}),
30              TipoInt)],
31          TipoInt));
32      CmdPrint
33        [Tast.ExpStr ("O fatorial eh", TipoStr);
34        Tast.ExpVar
35          (VarSimples
36            ("fat",
37              {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 4; pos_bol = 101;
38                pos_cnum = 128}),
39            TipoInt)];
40      CmdReturn None];
41  Funcao
42    {fn_nome =
43      VarSimples
44      ("fatorial",
45        {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 7; pos_bol = 145; pos_cnum =
46          149});
47    fn_tiporet = TipoInt;
48    fn_formais =
49      [(VarSimples
50        ("n",
51          {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 7; pos_bol = 145;
52            pos_cnum = 158}),
53        TipoInt)];

```

```

53 fn_corpo =
54   [CmdIf
55     (Tast.ExpOperB ((MenorIgual, TipoBool),
56       (Tast.ExpVar
57         (VarSimples
58           ("n",
59             {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 8; pos_bol = 174;
60               pos_cnum = 181})),
61           TipoInt),
62           TipoInt),
63     (Tast.ExpInt (0, TipoInt), TipoInt)),
64   [CmdReturn (Some (Tast.ExpInt (1, TipoInt)))],
65   Some
66     [CmdReturn
67       (Some
68         (Tast.ExpOperB ((Mult, TipoInt),
69           (Tast.ExpVar
70             (VarSimples
71               ("n",
72                 {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 11; pos_bol = 216;
73                   pos_cnum = 231})),
74               TipoInt),
75               TipoInt),
76         (Tast.ExpChmd ("fatorial",
77           [Tast.ExpOperB ((Sub, TipoInt),
78             (Tast.ExpVar
79               (VarSimples
80                 ("n",
81                   {Lexing.pos_fname = ""; pos_lnum = 11; pos_bol =
82                     216;
83                     pos_cnum = 244})),
84                   TipoInt),
85                   TipoInt),
86                 (Tast.ExpInt (1, TipoInt), TipoInt))],
87                 TipoInt),
88                 TipoInt)))]))]]],
89   <abstr>)

```

Capítulo 7

Interprete

Os nano e micro-programas podem ser executados sem a necessidade de gerar um código de máquina, para isso é necessário o interpretador.

7.1 Códigos

Listagem 7.1: ambInterp.ml

```
1 module Tab = Tabsimb
2 module A = Ast
3 module T = Tast
4
5 type entrada_fn = {
6   tipo_fn: A.tipo;
7   formais: (string * A.tipo) list;
8   corpo: T.expressao A.comandos
9 }
10
11 type entrada = EntFun of entrada_fn
12             | EntVar of A.tipo * (T.expressao option)
13
14 type t = {
15   ambv : entrada Tab.tabela
16 }
17
18 let novo_amb xs = { ambv = Tab.cria xs }
19
20 let novo_escopo amb = { ambv = Tab.novo_escopo amb.ambv }
21
22 let busca amb ch = Tab.busca amb.ambv ch
23
24 let atualiza_var amb ch t v =
25   Tab.atualiza amb.ambv ch (EntVar (t,v))
26
27 let insere_local amb nome t v =
28   Tab.insere amb.ambv nome (EntVar (t,v))
29
30 let insere_param amb nome t v =
31   Tab.insere amb.ambv nome (EntVar (t,v))
```



```

32
33 let insere_fun amb nome params resultado corpo =
34   let ef = EntFun { tipo_fn = resultado;
35                     formais = params;
36                     corpo = corpo }
37   in Tab.insere amb.ambv nome ef

```

Listagem 7.2: interprete.ml

```

1 module Amb = AmbInterp
2 module A = Ast
3 module S = Sast
4 module T = Tast
5
6 exception Valor_de_retorno of T.expressao
7
8 (* ExpVar - (VarSimples, identificador) *)
9 let obtem_nome_tipo_var exp amb = let open T in
10   match exp with
11   | A.VarSimples (nome,_) ->
12     let tipo = (match (Amb.busca amb nome) with
13                 | Amb.EntVar (tipo, v) -> tipo
14                 | _ -> failwith "obtem_nome_tipo_var: nao eh variavel"
15                 ) in
16     (nome,tipo)
17
18 (* ExpInt *)
19 let pega_int exp =
20   match exp with
21   | T.ExpInt (i,_) -> i
22   | _ -> failwith "pega_int: nao eh inteiro"
23
24 (* ExpStr *)
25 let pega_string exp =
26   match exp with
27   | T.ExpStr (s,_) -> s
28   | _ -> failwith "pega_string: nao eh string"
29
30 (* ExpChar *)
31 let pega_char exp =
32   match exp with
33   | T.ExpChar (i,_) -> i
34   | _ -> failwith "pega_char: nao eh caracter"
35
36 (* ExpBool *)
37 let pega_bool exp =
38   match exp with
39   | T.ExpBool (b,_) -> b
40   | _ -> failwith "pega_bool: nao eh booleano"
41
42 (* ExpFloat *)
43 let pega_float exp =
44   match exp with
45   | T.ExpFloat (i,_) -> i
46   | _ -> failwith "pega_float: nao eh float"
47
48 type classe_op = Aritmetico | Relacional | Logico
49
50 (* operador *)
51 let classifica op =

```

```

51  let open A in
52  match op with
53    Oulog
54    | Elog -> Logico
55    | Menor
56    | Maior
57    | MenorIgual
58    | MaiorIgual
59    | Igual
60    | Difer -> Relacional
61    | Mais
62    | Sub
63    | Mult
64    | Mod
65    | Div -> Aritmetico
66
67  (* operador_unario *)
68  let classificaun op =
69    let open A in
70    match op with
71      | Not -> Logico
72
73  let rec interpreta_exp amb exp =
74  let open A in
75  let open T in
76
77  match exp with
78  | ExpNone
79  | ExpInt _
80  | ExpStr _
81  | ExpChar _
82  | ExpFloat _
83  | ExpBool _ -> exp
84  | ExpVar (v,t) ->
85    let (id, tipo) = obtem_nome_tipo_var v amb in
86    (match (Amb.busca amb id) with
87      | Amb.EntVar (tipo, v) ->
88        (match v with
89          | None -> failwith ("variável nao inicializada: " ^ id)
90          | Some valor -> valor
91        )
92      | _ -> failwith "interpreta_exp: expvar"
93    )
94  | ExpOperB ((op,top), (esq, tesq), (dir,tdir)) ->
95    let vesq = interpreta_exp amb esq
96    and vdir = interpreta_exp amb dir in
97
98    let interpreta_aritmetico () =
99      (match tesq with
100      | TipoInt ->
101        (match op with
102          | Mais -> ExpInt (pega_int vesq + pega_int vdir, top)
103          | Sub -> ExpInt (pega_int vesq - pega_int vdir, top)
104          | Mult -> ExpInt (pega_int vesq * pega_int vdir, top)
105          | Div -> ExpInt (pega_int vesq / pega_int vdir, top)
106          | Mod -> ExpInt (pega_int vesq mod pega_int vdir, top)
107          | _ -> failwith "interpreta_aritmetico"
108        )
109      | TipoFloat ->

```

```

110     (match op with
111     | Mais -> ExpFloat (pega_float vesq +. pega_float vdir, top)
112     | Sub -> ExpFloat (pega_float vesq -. pega_float vdir, top)
113     | Mult -> ExpFloat (pega_float vesq *. pega_float vdir, top)
114     | Div -> ExpFloat (pega_float vesq /. pega_float vdir, top)
115     | _ -> failwith "interpreta_aritmetico"
116     )
117 | _ -> failwith "interpreta_aritmetico"
118 )
119
120 and interpreta_relacional () =
121 (match tesq with
122 | TipoInt ->
123     (match op with
124     | Menor -> ExpBool (pega_int vesq < pega_int vdir, top)
125     | MenorIgual -> ExpBool (pega_int vesq <= pega_int vdir, top)
126     | Maior -> ExpBool (pega_int vesq > pega_int vdir, top)
127     | MaiorIgual -> ExpBool (pega_int vesq >= pega_int vdir, top)
128     | Igual -> ExpBool (pega_int vesq == pega_int vdir, top)
129     | Difer -> ExpBool (pega_int vesq != pega_int vdir, top)
130     | _ -> failwith "interpreta_relacional int"
131     )
132 | TipoFloat ->
133     (match op with
134     | Menor -> ExpBool (pega_float vesq < pega_float vdir, top)
135     | MenorIgual -> ExpBool (pega_float vesq <= pega_float vdir, top)
136     | Maior -> ExpBool (pega_float vesq > pega_float vdir, top)
137     | MaiorIgual -> ExpBool (pega_float vesq >= pega_float vdir,
138                             top)
139     | Igual -> ExpBool (pega_float vesq == pega_float vdir, top)
140     | Difer -> ExpBool (pega_float vesq != pega_float vdir, top)
141     | _ -> failwith "interpreta_relacional float"
142     )
143 | TipoStr ->
144     (match op with
145     | Menor -> ExpBool (pega_string vesq < pega_string vdir, top)
146     | Maior -> ExpBool (pega_string vesq > pega_string vdir, top)
147     | MenorIgual -> ExpBool ((pega_string vesq < pega_string vdir)
148                             || not(pega_string vesq <> pega_string vdir), top)
149     | MaiorIgual -> ExpBool ((pega_string vesq > pega_string vdir)
150                             || not(pega_string vesq <> pega_string vdir), top)
151     | Igual -> ExpBool (not(pega_string vesq <> pega_string vdir),
152                         top)
153     | Difer -> ExpBool (pega_string vesq <> pega_string vdir, top)
154     | _ -> failwith "interpreta_relacional string"
155     )
156 | TipoChar ->
157     (match op with
158     | Menor -> ExpBool (pega_char vesq < pega_char vdir, top)
159     | Maior -> ExpBool (pega_char vesq > pega_char vdir, top)
160     | MenorIgual -> ExpBool ((pega_char vesq < pega_char vdir) ||
161                             not(pega_char vesq <> pega_char vdir), top)
162     | MaiorIgual -> ExpBool ((pega_char vesq > pega_char vdir) ||
163                             not(pega_char vesq <> pega_char vdir), top)
164     | Igual -> ExpBool (not(pega_char vesq <> pega_char vdir), top)
165     | Difer -> ExpBool (pega_char vesq <> pega_char vdir, top)
166     | _ -> failwith "interpreta_relacional char"

```

```

161     )
162     | _ -> failwith "interpreta_relacion| ExpVar (v, tipo) -> al"
163 )
164
165 and interpreta_logico () =
166   (match tesq with
167   | TipoBool ->
168     (match op with
169     | Oulog -> ExpBool (pega_bool vesq || pega_bool vdir, top)
170     | Elog -> ExpBool (pega_bool vesq && pega_bool vdir, top)
171     | _ -> failwith "interpreta_logico bool"
172     )
173   | _ -> failwith "interpreta_logico"
174   )
175   in
176   let valor = (match (classifica op) with
177               Aritmetico -> interpreta_aritmetico ()
178               | Logico -> interpreta_logico ()
179               | Relacional -> interpreta_relacional ()
180               )
181   in
182   valor
183 | ExpOperU ((op, top), (esq, tesq)) ->
184   let vesq = interpreta_exp amb esq in
185
186   let interpreta_logico () =
187     (match tesq with
188     | TipoBool ->
189       (match op with
190       | Not -> let vvesq = pega_bool vesq in
191         if vvesq then ExpBool (false, top)
192         else
193           ExpBool (true, top)
194       | _ -> failwith "interpreta_logico bool"
195       )
196     | _ -> failwith "interpreta_logico"
197     )
198
199   in
200   let valor = (match (classificaun op) with
201               Logico -> interpreta_logico ()
202               | _ -> failwith "Classifica unário: não implementado"
203               )
204   in
205   valor
206
207 | ExpChmd (id, args, tipo) ->
208   let open Amb in
209   ( match (Amb.busca amb id) with
210   | Amb.EntFun {tipo_fn; formais; corpo} ->
211     (* Interpreta cada um dos argumentos *)
212     let vargs = List.map (interpreta_exp amb) args in
213     (* Associa os argumentos aos parâmetros formais *)
214     let vformais = List.map2 (fun (n,t) v -> (n, t, Some v))
215                               formais vargs
216     in interpreta_fun amb id vformais corpo
217   | _ -> failwith "interpreta_exp: expchamada"
218   )

```

```

219 and interpreta_fun amb fn_nome fn_formais fn_corpo =
220   let open A in
221   (* Estende o ambiente global, adicionando um ambiente local *)
222   let ambfn = Amb.novo_escopo amb
223   in
224   (* Associa os argumentos aos parâmetros e insere no novo ambiente *)
225   let insere_parametro (n,t,v) = Amb.insere_param ambfn n t v in
226   let _ = List.iter insere_parametro fn_formais in
227   (* Interpreta cada comando presente no corpo da função usando o novo
228     ambiente *)
229   try
230     let _ = List.iter (interpreta_cmd ambfn) fn_corpo in T.ExpNone
231   with
232     Valor_de_retorno expret -> expret
233
234 and interpreta_cmd amb cmd =
235   let open A in
236   let open T in
237   match cmd with
238   | CmdReturn exp ->
239     (* Levantar uma exceção foi necessária pois, pela semântica do comando
240       de
241       retorno, sempre que ele for encontrado em uma função, a computação
242       deve parar retornando o valor indicado, sem realizar os demais
243       comandos.
244     *)
245     (match exp with
246     | Some e ->
247       (* Avalia a expressão e retorne o resultado *)
248       let e1 = interpreta_exp amb e in
249       raise (Valor_de_retorno e1)
250     | CmdIf (teste, entao, senao) ->
251       let testel = interpreta_exp amb teste in
252       (match testel with
253       | ExpBool (true, _) ->
254         (* Interpreta cada comando do bloco 'então' *)
255         List.iter (interpreta_cmd amb) entao
256       | _ ->
257         (* Interpreta cada comando do bloco 'senão', se houver *)
258         (match senao with
259         | None -> ()
260         | Some bloco -> List.iter (interpreta_cmd amb) bloco
261         )
262       )
263     )
264
265   | CmdAtrib (elem, exp) ->
266     (* Interpreta o lado direito da atribuição *)
267     let exp = interpreta_exp amb exp
268     (* Faz o mesmo para o lado esquerdo *)
269     and (elem1, tipo) = obtem_nome_tipo_var elem amb in
270     Amb.atualiza_var amb elem1 tipo (Some exp)
271
272   | CmdDeclaraAtrib((elem, tipo), exp) ->
273     let var = match elem with A.VarSimples a -> fst a in
274     let exp = interpreta_exp amb exp in

```

```

275     Amb.insere_local amb var tipo (Some exp)
276
277 | CmdDeclara(elem,tipo) ->
278     let var = match elem with A.VarSimples a -> fst a in
279     Amb.insere_local amb var tipo None
280
281 | CmdExprs exp -> ignore( interpreta_exp amb exp)
282
283 | CmdInputAtr (elem, exps, tipo) ->
284     let _ = interpreta_cmd amb (CmdPrint exps) in
285     let nome = match elem with A.VarSimples var -> fst var in
286     let valor =
287         (match tipo with
288         | A.TipoInt -> T.ExpInt (read_int (), tipo)
289         | A.TipoStr -> T.ExpStr (read_line (), tipo)
290         | A.TipoFloat -> T.ExpFloat (read_float (), tipo)
291         | A.TipoChar -> let str = (read_line ()).[0] in T.ExpChar (str
292             , tipo)
293         | _ -> failwith "leia_var: nao implementado"
294         )
295     in Amb.atualiza_var amb nome tipo (Some valor)
296
297 | CmdInputDecAtr ((elem,_), exps, tipo) ->
298     let _ = interpreta_cmd amb (CmdPrint exps) in
299     let nome = match elem with A.VarSimples var -> fst var in
300     let valor =
301         (match tipo with
302         | A.TipoInt -> T.ExpInt (read_int (), tipo)
303         | A.TipoStr -> T.ExpStr (read_line (), tipo)
304         | A.TipoFloat -> T.ExpFloat (read_float (), tipo)
305         | A.TipoChar -> let str = (read_line ()).[0] in T.ExpChar (str
306             , tipo)
307         | _ -> failwith "leia_var: nao implementado"
308         )
309     in Amb.insere_local amb nome tipo (Some valor)
310
311 | CmdPrint exps ->
312     (* Interpreta cada argumento da função 'saida' *)
313     let exps = List.map (interpreta_exp amb) exps in
314     let imprima exp =
315         (match exp with
316         | T.ExpInt (n,_) -> let _ = print_int n in print_string " "
317         | T.ExpStr (s,_) -> let _ = print_string s in print_string " "
318         | T.ExpFloat (f,_) -> let _ = print_float f in print_string " "
319         | T.ExpChar (c,_) -> let _ = print_char c in print_string " "
320         | T.ExpBool (b,_) ->
321             let _ = print_string (if b then "true" else "false")
322             in print_string " "
323         | _ -> failwith "imprima: nao implementado"
324         ) in
325     let _ = List.iter imprima exps in
326     print_newline ()
327
328 | CmdWhile (teste, doit) ->
329     let testel = interpreta_exp amb teste in
330     (match testel with
331     ExpBool (true,_) ->
332         (* Interpreta uma iteração comando do corpo do while *)

```

```

332     let _ = List.iter (interpreta_cmd amb) doit in
333     (* interpreta recursivamente as possíveis demais iterações do
        comando *)
334     interpreta_cmd amb (CmdWhile (teste, doit))
335     | _ -> ()
336 )
337
338 | CmdFor (variavel, (inicio, fim), doit) ->
339 (* Interpreta o For como uma atribuição seguida de um while,
340  que ao final do corpo tem uma operação de incremento na variável de
    iteração *)
341
342     (* inicializa variável de iteração *)
343     let _ = interpreta_cmd amb (CmdAtrib (variavel, inicio)) in
344
345     (* monta artificialmente o comando de incremento *)
346     let inc = CmdAtrib (variavel, (ExpOperB((Mais, TipoInt ),
347     (ExpVar (variavel, TipoInt),TipoInt), (ExpInt (1, TipoInt),TipoInt) ))
        ) in
348
349     (* adiciona esse incremento ao final do corpo *)
350     let novocorpo = List.append doit [inc] in
351
352     (* cria o teste (variavel_de_iteração < fim) *)
353     let teste = (ExpOperB((Menor, TipoInt ), (ExpVar (variavel, TipoInt),
        TipoInt), (fim,TipoInt) )) in
354
355     (* relança o comando while para a função interpretá-lo*)
356     interpreta_cmd amb (CmdWhile (teste, novocorpo))
357
358 | CmdFor_Dec ((variavel,tipo), (inicio, fim), doit) ->
359 (* Interpreta o For como uma atribuição seguida de um while,
360  que ao final do corpo tem uma operação de incremento na variável de
    iteração *)
361
362     (* inicializa variável de iteração *)
363     let _ = interpreta_cmd amb (CmdAtrib (variavel, inicio)) in
364
365     (* monta artificialmente o comando de incremento *)
366     let inc = CmdAtrib (variavel, (ExpOperB((Mais, TipoInt ),
367     (ExpVar (variavel, TipoInt),TipoInt), (ExpInt (1, TipoInt),TipoInt) ))
        ) in
368
369     (* adiciona esse incremento ao final do corpo *)
370     let novocorpo = List.append doit [inc] in
371
372     (* cria o teste (variavel_de_iteração < fim) *)
373     let teste = (ExpOperB((Menor, TipoInt ), (ExpVar (variavel, TipoInt),
        TipoInt), (fim,TipoInt) )) in
374
375     (* relança o comando while para a função interpretá-lo*)
376     interpreta_cmd amb (CmdWhile (teste, novocorpo))
377
378 let insere_declaracao_fun amb dec =
379 let open A in
380 match dec with
381   {fn_nome; fn_tiporet; fn_formais; fn_corpo} ->
382     let nome = match fn_nome with A.VarSimples nome -> fst nome in
383     let formais = List.map (fun (A.VarSimples n,t) -> ((fst n), t))

```

```

fn_formais in
384   Amb.insere_fun amb nome formais fn_tiporet fn_corpo
385
386
387 (* Lista de cabeçalhos das funções pré definidas *)
388 let fn_predefs = let open A in [
389   ("entrada", [("x", TipoInt); ("y", TipoInt)], TipoNone);
390   (* ("entradaln", [("x", TipoInt); ("y", TipoInt)], TipoVoid); *)
391   ("saida",   [("x", TipoInt); ("y", TipoInt)], TipoNone);
392   (* ("saidaln",   [("x", TipoInt); ("y", TipoInt)], TipoVoid) *)
393 ]
394
395 (* insere as funções pré definidas no ambiente global *)
396 let declara_predefinidas amb =
397   List.iter (fun (n,ps,c) -> Amb.insere_fun amb n ps c []) fn_predefs
398
399 let interprete ast =
400   (* cria ambiente global inicialmente vazio *)
401   let amb_global = Amb.novo_amb [] in
402   let _ = declara_predefinidas amb_global in
403   let (A.Programa corpo) = ast in
404   (* Interpreta a função principal *)
405   let resultado = List.iter (
406     fun instr -> (match instr with
407       A.Funcao f -> insere_declaracao_fun amb_global f
408       | A.Cmd c -> interpreta_cmd amb_global c
409     )
410   ) corpo in
411   resultado

```

Listagem 7.3: .ocamlinit

```

1 let () =
2   try Topdirs.dir_directory (Sys.getenv "OCAML_TOPLEVEL_PATH")
3   with Not_found -> ()
4 ;;
5
6 #use "topfind";;
7 #require "menhirLib";;
8 #directory "_build";;
9 #load "sintatico.cmo";;
10 #load "lexico.cmo";;
11 #load "ast.cmo";;
12 #load "sast.cmo";;
13 #load "tast.cmo";;
14 #load "tabsimb.cmo";;
15 #load "ambiente.cmo";;
16 #load "semantico.cmo";;
17 #load "ambInterp.cmo";;
18 #load "interprete.cmo";;
19 #load "interpreteTest.cmo";;
20
21 open Ast
22 open AmbInterp
23 open InterpreteTest

```


7.2 Compilação e execução

Para gerar as mensagens de erro, digite:

```
> menhir -v --list-errors sintatico.mly > sintatico.messages  
> menhir -v --list-errors sintatico.mly --compile-errors sintatico.  
messages > fnmes.ml
```

Para compilar o arquivo de teste, digite no terminal:

```
ocamlbuild -use-ocamlfind -use-menhir -menhir "menhir --table" -package  
menhirLib interpreteTest.byte
```

Enfim, dentro do ocaml, para chamar o interprete digite:

```
# interprete "exemplos/micro10.py";;
```

Capítulo 8

Representação intermediária

A linguagem intermediária, comumente usada em compiladores comerciais, utilizam uma representação intermediária entre o código fonte e código de máquina. Com o objetivo de facilitar a implementação de otimizações do código, dado que ela é independente da máquina que está efetuando o processo de compilação.

Um tipo popular de linguagem intermediária é conhecido como código de três endereços. Neste tipo de código uma sentença típica tem a forma $X := A \text{ op } B$, onde X , A e B são operandos e op uma operação qualquer. O nome é relativo ao fato de, para cada instrução, ser possível utilizar no máximo 3 operandos.

8.1 Codigos

Listagem 8.1: Codigo.ml

```
1 open Ast
2 open Tact
3
4 type endereco =
5     Nome of string
6   | ConstInt of int
7   | ConstFloat of float
8   | ConstStr of string
9   | ConstChar of char
10  | ConstBool of bool
11  | Temp of int
12
13 and instrucao =
14     AtribBin of endereco * endereco * opBin * endereco (* x = y op z *)
15   | Copia of endereco * endereco (* x = y *)
16   | Goto of instrucao (* goto L *)
17   | If of endereco * instrucao (* if x goto L *)
18   | IfFalse of endereco * instrucao (* ifFalse x goto
19     L *)
20   | IfRelgoto of endereco * opRel * endereco * instrucao (* if x oprel y goto
21     L *)
22   | Call of string * (endereco * Ast.tipo) list * Ast.tipo (* call p, [(x,
```

```

        t)],t *)
22 | Recebe of string * Ast.tipo
23 | Local of string * Ast.tipo
24 | Global of string * Ast.tipo
25 | CallFn of endereco * string * (endereco * Ast.tipo) list * Ast.tipo
        (* x = call p,n,t *)
26 | Return of endereco option
27 | BeginFun of string * int * int (* beginFun p,nparam, nlocais *)
28 | EndFun
29 | Rotulo of string
30
31 and opBin = Ast.operador * Ast.tipo
32
33 and opRel = Ast.operador * Ast.tipo

```

Listagem 8.2: Cod3End.ml

```

1 open Printf
2
3 open Ast
4 open Tast
5 open Codigo
6
7 let conta_temp = ref 0
8 let conta_rotulos = ref (Hashtbl.create 5)
9
10 let zera_contadores () =
11   begin
12     conta_temp := 0;
13     conta_rotulos := Hashtbl.create 5
14   end
15
16 let novo_temp () =
17   let numero = !conta_temp in
18   let _ = incr conta_temp in
19   Temp numero
20
21 let novo_rotulo prefixo =
22   if Hashtbl.mem !conta_rotulos prefixo
23   then
24     let numero = Hashtbl.find !conta_rotulos prefixo in
25     let _ = Hashtbl.replace !conta_rotulos prefixo (numero + 1) in
26     Rotulo (prefixo ^ (string_of_int numero))
27   else
28     let _ = Hashtbl.add !conta_rotulos prefixo 1 in
29     Rotulo (prefixo ^ "0")
30
31 let endr_to_str = function
32 | Nome s -> s
33 | ConstInt n -> string_of_int n
34 | ConstStr n -> n
35 | ConstChar n -> String.make 1 n
36 | ConstFloat n -> string_of_float n
37 | ConstBool b -> string_of_bool b
38 | Temp n -> "t" ^ string_of_int n
39
40 let tipo_to_str t =
41   match t with
42   | TipoInt -> "inteiro"

```

```

43     | TipoFloat -> "float"
44     | TipoStr  -> "string"
45     | TipoChar -> "char"
46     | TipoBool -> "bool"
47     | TipoNone -> "void"
48
49 let op_to_str op =
50     match op with
51     | Mais  -> "+"
52     | Sub   -> "-"
53     | Mult  -> "*"
54     | Div   -> "/"
55     | Mod   -> "%"
56     | Menor -> "<"
57     | Maior -> ">"
58     | MaiorIgual -> ">="
59     | MenorIgual -> "<="
60     | Igual  -> "="
61     | Difer  -> "!="
62     | Elog   -> "&&"
63     | Oulog  -> "||"
64
65 let rec args_to_str ats =
66     match ats with
67     | [] -> ""
68     | [(a,t)] ->
69         let str = sprintf "(%s,%s)" (endr_to_str a) (tipo_to_str t) in
70         str
71     | (a,t) :: ats ->
72         let str = sprintf "(%s,%s)" (endr_to_str a) (tipo_to_str t) in
73         str ^ ", " ^ args_to_str ats
74
75 let rec escreve_cod3 c =
76     match c with
77     | AtribBin (x,y,op,z) ->
78         sprintf "%s := %s %s %s\n" (endr_to_str x)
79                                     (endr_to_str y) (op_to_str (fst op)) (
80                                         endr_to_str z)
81     | Copia (x,y) ->
82         sprintf "%s := %s\n" (endr_to_str x) (endr_to_str y)
83     | Goto l ->
84         sprintf "goto %s\n" (escreve_cod3 l)
85     | If (x,l) ->
86         sprintf "if %s goto %s\n" (endr_to_str x) (escreve_cod3 l)
87     | IfFalse (x,l) ->
88         sprintf "ifFalse %s goto %s\n" (endr_to_str x) (escreve_cod3 l)
89     | IfRelgoto (x,oprel,y,l) ->
90         sprintf "if %s %s %s goto %s\n" (endr_to_str x) (op_to_str (fst
91                                     oprel))
92                                     (endr_to_str y) (escreve_cod3 l)
93     | Call (p,ats,t) -> sprintf "call %s(%s): %s\n" p (args_to_str ats) (
94         tipo_to_str t)
95     | Recebe (x,t) -> sprintf "recebe %s,%s\n" x (tipo_to_str t)
96     | Local (x,t) -> sprintf "local %s,%s\n" x (tipo_to_str t)
97     | Global (x,t) -> sprintf "global %s,%s\n" x (tipo_to_str t)
98     | CallFn (x,p,ats,t) ->
99         sprintf "%s := call %s(%s): %s\n" (endr_to_str x) p (args_to_str ats
100                                     ) (tipo_to_str t)
101     | Return x ->

```

```

98     (match x with
99       None    -> "return\n"
100      | Some x -> sprintf "return %s\n" (endr_to_str x) )
101  | BeginFun (id,np,nl) -> sprintf "beginFun %s(%d,%d)\n" id np nl
102  | EndFun -> "endFun\n\n"
103  | Rotulo r -> sprintf "%s: " r
104
105
106  let rec escreve_codigo cod =
107    match cod with
108    | [] -> printf "\n"
109    | c::cs -> printf "%s" (escreve_cod3 c);
110               escreve_codigo cs
111
112  let pega_tipo exp =
113    match exp with
114    | ExpInt (n, t) -> t
115    | ExpVar (v, t) -> t
116    | ExpStr (s, t) -> t
117    | ExpBool (b, t) -> t
118    | ExpFloat (f, t) -> t
119    | ExpOperB ((op,t),_,_) -> t
120    | ExpChmd (id, args, t) -> t
121    | _ -> failwith "pega_tipo: não implementado"
122
123  let rec traduz_exp exp =
124    match exp with
125    | ExpInt (n, TipoInt) ->
126      let t = novo_temp () in
127      (t, [Copia (t, ConstInt n)])
128
129    | ExpVar (v, tipo) ->
130      (match v with
131       VarSimples nome ->
132         let id = fst nome in
133         ((Nome id), [])
134      )
135
136    | ExpStr (n, TipoStr) ->
137      let t = novo_temp () in
138      (t, [Copia (t, ConstStr n)])
139
140    | ExpOperB (op, exp1, exp2) ->
141      let (endr1, codigo1) = let (e1,t1) = exp1 in traduz_exp e1
142      and (endr2, codigo2) = let (e2,t2) = exp2 in traduz_exp e2
143      and t = novo_temp () in
144      let codigo = codigo1 @ codigo2 @ [AtribBin (t, endr1, op, endr2)] in
145      (t, codigo)
146
147    | ExpChmd (id, args, tipo_fn) ->
148      let (enderecos, codigos) = List.split (List.map traduz_exp args) in
149      let tipos = List.map pega_tipo args in
150      let endr_tipos = List.combine enderecos tipos
151      and t = novo_temp () in
152      let codigo = (List.concat codigos) @
153                  [CallFn (t, id, endr_tipos, tipo_fn)]
154      in
155      (t, codigo)
156    | _ -> failwith "traduz_exp: não implementado"

```

```

157
158
159 let rec traduz_cmd cmd isInFun =
160
161   match cmd with
162
163   | CmdReturn exp ->
164     (match exp with
165      | None -> [Return None]
166      | Some e ->
167        let (endr_exp, codigo_exp) = traduz_exp e in
168        codigo_exp @ [Return (Some endr_exp)]
169     )
170
171   | CmdAtrib (elem, ExpInt (n, TipoInt)) ->
172     let (endr_elem, codigo_elem) = traduz_exp (ExpVar (elem, TipoInt))
173     in codigo_elem @ [Copia (endr_elem, ConstInt n)]
174
175   | CmdAtrib (elem, ExpStr (n, TipoStr)) ->
176     let (endr_elem, codigo_elem) = traduz_exp (ExpVar (elem, TipoStr))
177     in codigo_elem @ [Copia (endr_elem, ConstStr n)]
178
179   | CmdAtrib (elem, ExpFloat (n, TipoFloat)) ->
180     let (endr_elem, codigo_elem) = traduz_exp (ExpVar (elem, TipoFloat))
181     in codigo_elem @ [Copia (endr_elem, ConstFloat n)]
182
183   | CmdAtrib (elem, ExpChar (n, TipoChar)) ->
184     let (endr_elem, codigo_elem) = traduz_exp (ExpVar (elem, TipoChar))
185     in codigo_elem @ [Copia (endr_elem, ConstChar n)]
186
187   | CmdAtrib (elem, exp) ->
188     let (endr_exp, codigo_exp) = traduz_exp exp
189     and (endr_elem, codigo_elem) = traduz_exp (ExpVar (elem, TipoNone))
190     in
191     let codigo = codigo_exp @ codigo_elem @ [Copia (endr_elem, endr_exp)]
192     in codigo
193
194   | CmdDeclara (var, tipo) -> let id = match var with Ast.VarSimples id ->
195     fst id in
196     if isInFun then
197       [Local (id, tipo)]
198     else [Global (id, tipo)]
199
200   | CmdDeclaraAtrib ((var, tipo), exp) ->
201     let id = match var with Ast.VarSimples id -> fst id in let dec = if
202     isInFun then
203       [Local (id, tipo)]
204     else [Global (id, tipo)] in
205     let (endr_exp, codigo_exp) = traduz_exp exp
206     and (endr_elem, codigo_elem) = traduz_exp (ExpVar (var, TipoNone)) in
207     let codigo = dec @ codigo_exp @ codigo_elem @ [Copia (endr_elem,
208     endr_exp)]
209     in codigo
210
211   | CmdInputAtr (arg, saida, tipo) ->
212     let (endrecosp, codigosp) = List.split (List.map traduz_exp saida)
213     in
214     let tipos = List.map pega_tipo saida in
215     let endr_tipos = List.combine endrecosp tipos in

```

```

211     let (enderecos, codigos) = traduz_exp (ExpVar (arg, TipoNone)) in
212       (List.concat codigosp) @
213       [Call ("print", endr_tipos, TipoNone)] @
214       codigos @
215       [Call ("read", [(enderecos, tipo)], TipoNone)]
216
217 | CmdInputDecAtr ((arg, tipo), saida, tipof) ->
218     let id = match arg with Ast.VarSimples id -> fst id in
219     let dec = if isInFun then
220       [Local (id, tipo)]
221     else [Global (id, tipo)] in
222     let (enderecosp, codigosp) = List.split (List.map traduz_exp saida)
223       in
224     let tipos = List.map pega_tipo saida in
225     let endr_tipos = List.combine enderecosp tipos in
226     let (enderecos, codigos) = traduz_exp (ExpVar (arg, TipoNone)) in
227       dec @
228       (List.concat codigosp) @
229       [Call ("print", endr_tipos, TipoNone)] @
230       codigos @
231       [Call ("read", [(enderecos, tipo)], TipoNone)]
232
233 | CmdIf (teste, entao, senao) ->
234     let (endr_teste, codigo_teste) = traduz_exp teste
235     and codigo_entao = traduz_cmds entao isInFun
236     and rotulo_falso = novo_rotulo "L" in
237     (match senao with
238     | None -> codigo_teste @
239       [IfFalse (endr_teste, rotulo_falso)] @
240       codigo_entao @
241       [rotulo_falso]
242     | Some cmds ->
243       let codigo_senao = traduz_cmds cmds isInFun
244       and rotulo_fim = novo_rotulo "L" in
245       codigo_teste @
246       [IfFalse (endr_teste, rotulo_falso)] @
247       codigo_entao @
248       [Goto rotulo_fim] @
249       [rotulo_falso] @ codigo_senao @
250       [rotulo_fim]
251     )
252
253 | CmdWhile (teste, doit) ->
254     let (endr_teste, codigo_teste) = traduz_exp teste
255     and codigo_doit = traduz_cmds doit isInFun
256     and rotulo_inicio = novo_rotulo "W"
257     and rotulo_fim = novo_rotulo "W" in
258     [rotulo_inicio] @
259     codigo_teste @
260     [IfFalse (endr_teste, rotulo_fim)] @
261     codigo_doit @
262     [Goto rotulo_inicio] @
263     [rotulo_fim]
264
265 | CmdFor_Dec ((v, tipo), (inicio, fim), doit) ->
266     let id = match v with Ast.VarSimples id -> fst id in
267     let dec = if isInFun then [Local (id, tipo)]
268     else [Global (id, tipo)] in
269     let (endr_teste, codigo_teste) = traduz_exp (ExpOperB ((Menor, TipoInt

```

```

    ),
269     (ExpVar (v,TipoInt),TipoInt), (fim,TipoInt))) in
270   let codigo_atrib = traduz_cmds [(CmdAtrib (v, inicio))] isInFun
271   and codigo_inc = traduz_cmds [(CmdAtrib (v, (ExpOperB ((Mais, TipoInt)
    ,
272     (ExpVar (v,TipoInt),TipoInt), (ExpInt (1, TipoInt),TipoInt))))))]
    isInFun
273   and codigo_doit = traduz_cmds doit isInFun
274   and rotulo_inicio = novo_rotulo "W"
275   and rotulo_fim = novo_rotulo "W" in
276     dec @
277     codigo_atrib @
278     [rotulo_inicio] @
279     codigo_teste @
280     [IfFalse (endr_teste, rotulo_fim)] @
281     codigo_doit @
282     codigo_inc @
283     [Goto rotulo_inicio] @
284     [rotulo_fim]
285
286 | CmdFor (v, (inicio, fim), doit) ->
287   let (endr_teste, codigo_teste) = traduz_exp (ExpOperB ((Menor, TipoInt)
    ),
288     (ExpVar (v,TipoInt),TipoInt), (fim,TipoInt))) in
289   let codigo_atrib = traduz_cmds [(CmdAtrib (v, inicio))] isInFun
290   and codigo_inc = traduz_cmds [(CmdAtrib (v, (ExpOperB ((Mais, TipoInt)
    ,
291     (ExpVar (v,TipoInt),TipoInt), (ExpInt (1, TipoInt),TipoInt))))))]
    isInFun
292   and codigo_doit = traduz_cmds doit isInFun
293   and rotulo_inicio = novo_rotulo "W"
294   and rotulo_fim = novo_rotulo "W" in
295     codigo_atrib @
296     [rotulo_inicio] @
297     codigo_teste @
298     [IfFalse (endr_teste, rotulo_fim)] @
299     codigo_doit @
300     codigo_inc @
301     [Goto rotulo_inicio] @
302     [rotulo_fim]
303   | CmdExprs (ExpChmd (id, args, tipo_fn)) ->
304     let (enderecos, codigos) = List.split (List.map traduz_exp args) in
305     let tipos = List.map pega_tipo args in
306     let endr_tipos = List.combine enderecos tipos in
307     (List.concat codigos) @
308     [Call (id, endr_tipos, tipo_fn)]
309
310 | CmdExprs _ -> []
311
312 | CmdPrint args ->
313   let (enderecos, codigos) = List.split (List.map traduz_exp args) in
314   let tipos = List.map pega_tipo args in
315   let endr_tipos = List.combine enderecos tipos in
316   (List.concat codigos) @
317   [Call ("print", endr_tipos, TipoNone)]
318
319 and traduz_cmds cmds isInFun =
320   match cmds with
321   | [] -> []

```


8.1

```

322 | cmd :: cmds ->
323   let codigo = traduz_cmd cmd isInFun in
324   codigo @ traduz_cmds cmds isInFun
325
326 let conta_locais corpo =
327   List.length (List.filter (fun cmd ->
328     match cmd with
329     | Local (_,_) -> true
330     | _ -> false
331   ) corpo )
332
333 let traduz_fun ast isInFun =
334   match ast with
335   Funcao {fn_nome; fn_tiporet; fn_formais; fn_corpo} ->
336     let fn_nome = (match fn_nome with ( VarSimples (a, tipo)) -> (a,tipo))
337       in
338     let nome = fst fn_nome in
339     let formais = List.map (fun ( VarSimples n,t) -> Recebe (fst n, t) )
340       fn_formais in
341     let nformais = List.length fn_formais in
342     let corpo = traduz_cmds fn_corpo isInFun in
343     let nlocais = conta_locais corpo in
344     [BeginFun (nome, nformais, nlocais)] @ formais @ corpo @ [EndFun]
345     | _ -> failwith "traduz_fun: não implementado"
346
347 let tradutor ast_tipada =
348   let _ = zera_contadores () in
349   let (Ast.Programa(instr)) = ast_tipada in
350   let funs_trad = List.map (fun ins -> (match ins with
351     | Funcao _ -> traduz_fun ins true
352     | Cmd cmd -> traduz_cmd cmd false )) instr in
353   (List.concat funs_trad)

```

Listagem 8.3: cod3endTest.ml

```

1 open Printf
2 open Lexing
3
4 open Ast
5 exception Erro_Sintatico of string
6
7 module S = MenhirLib.General (* Streams *)
8 module I = Sintatico.MenhirInterpreter
9
10 open Semantico
11 open Codigo
12 open Cod3End
13
14 let message =
15   fun s ->
16     match s with
17     | 0 ->
18       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
19     | 1 ->
20       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
21     | 34 ->
22       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
23     | 35 ->
24       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"

```

```

25 | 36 ->
26 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
27 | 72 ->
28 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
29 | 47 ->
30 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
31 | 48 ->
32 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
33 | 49 ->
34 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
35 | 51 ->
36 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
37 | 52 ->
38 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
39 | 55 ->
40 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
41 | 56 ->
42 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
43 | 57 ->
44 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
45 | 58 ->
46 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
47 | 61 ->
48 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
49 | 62 ->
50 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
51 | 63 ->
52 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
53 | 64 ->
54 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
55 | 73 ->
56 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
57 | 74 ->
58 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
59 | 95 ->
60 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
61 | 89 ->
62 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
63 | 97 ->
64 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
65 | 98 ->
66 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
67 | 99 ->
68 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
69 | 65 ->
70 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
71 | 66 ->
72 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
73 | 53 ->
74 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
75 | 67 ->
76 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
77 | 68 ->
78 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
79 | 59 ->
80 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
81 | 60 ->
82 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
83 | 42 ->

```

```

84         "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
85 | 41 ->
86         "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
87 | 70 ->
88         "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
89 | 75 ->
90         "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
91 | 77 ->
92         "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
93 | 76 ->
94         "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
95 | 105 ->
96         "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
97 | 84 ->
98         "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
99 | 43 ->
100        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
101 | 85 ->
102        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
103 | 86 ->
104        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
105 | 45 ->
106        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
107 | 46 ->
108        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
109 | 102 ->
110        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
111 | 103 ->
112        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
113 | 81 ->
114        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
115 | 3 ->
116        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
117 | 2 ->
118        "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
119 | 6 ->
120        "estado 6: esperava um tipo. Exemplo:\n    x : inteiro;\n"
121 | 7 ->
122        "estado 7: esperava a definicao de um campo. Exemplo:\n    i:
           registro\n           parte_real: inteiro;\n           parte_imag:
           inteiro;\n           fim registro;\n           "
123 | 8 ->
124        "estado 8: esperava ':'. Exemplo:\n    x: inteiro;\n    "
125 | 9 ->
126        "estado 9: esperava um tipo. Exemplo:\n    x: inteiro;\n"
127 | 25 ->
128        "estado 25: esperva um ';'. \n"
129 | 26 ->
130        "estado 26: uma declaracao foi encontrada. Para continuar era\n
           esperado uma outra declara\n195\n167\n195\n163o ou a palavra '
           inicio'. \n"
131 | 29 ->
132        "estado 29: espera a palavra 'registro'. Exemplo:\n    i: registro\n
           n           parte_real: inteiro;\n           parte_imag: inteiro;\n
           fim registro;\n"
133 | 31 ->
134        "estado 31: esperava um ';'. \n"
135 | 107 ->
136        "estado 107: uma declaracao foi encontrada. Para continuar era\n

```

```

        esperado uma outra declara\195\167\195\163o ou a palavra '
        inicio'.\n"
137 | 13 ->
138     "estado 13: esperava um '['. Exemplo:\n    arranjo [1..10] de
        inteiro;\n"
139 | 14 ->
140     "estado 14: esperava os limites do vetor. Exemplo:\n    arranjo
        [1..10] de inteiro;\n"
141 | 15 ->
142     "estado 15: esperava '..'. Exemplo:\n    1 .. 10\n"
143 | 16 ->
144     "estado 16: esperava um numero inteiro. Exemplo:\n    1 .. 10\n"
145 | 18 ->
146     "estado 18: esperava um ']'. Exemplo\n    arranjo [1..10] de
        inteiro;\n"
147 | 19 ->
148     "estado 19: esperava a palavra reservada 'de'. Exemplo:\n
        arranjo [1..10] de inteiro;\n"
149 | 20 ->
150     "estado 20: esperava um tipo. Exemplo\n    arranjo [1..10] de
        inteiro;\n"
151 | _ ->
152     raise Not_found
153
154 let posicao lexbuf =
155     let pos = lexbuf.lex_curr_p in
156     let lin = pos.pos_lnum
157     and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
158     sprintf "linha %d, coluna %d" lin col
159
160 (* [pilha checkpoint] extrai a pilha do autômato LR(1) contida em
    checkpoint *)
161
162 let pilha checkpoint =
163     match checkpoint with
164     | I.HandlingError amb -> I.stack amb
165     | _ -> assert false (* Isso não pode acontecer *)
166
167 let estado checkpoint : int =
168     match Lazy.force (pilha checkpoint) with
169     | S.Nil -> (* O parser está no estado inicial *)
170         0
171     | S.Cons (I.Element (s, _, _, _), _) ->
172         I.number s
173
174 let sucesso v = Some v
175
176 let falha lexbuf (checkpoint : (Sast.expressao Ast.programa) I.checkpoint)
    =
177     let estado_atual = estado checkpoint in
178     let msg = message estado_atual in
179     raise (Erro_Sintatico (Printf.sprintf "%d - %s.\n"
180                                     (Lexing.lexeme_start lexbuf) msg))
181
182 let loop lexbuf resultado =
183     let fornecedor = I.lexer_lexbuf_to_supplier (Lexico.token (Lexico.
        cria_estado ())) lexbuf in
184     I.loop_handle sucesso (falha lexbuf) fornecedor resultado
185

```

8.1

```

186
187 let parse_com_erro lexbuf =
188   try
189     Some (loop lexbuf (Sintatico.Incremental.programa lexbuf.lex_curr_p))
190   with
191   | Lexico.Erro_lexico msg ->
192     printf "Erro lexico na %s:\n\t%s\n" (posicao lexbuf) msg;
193     None
194   | Erro_Sintatico msg ->
195     printf "Erro sintático na %s %s\n" (posicao lexbuf) msg;
196     None
197
198 let parse s =
199   let lexbuf = Lexing.from_string s in
200   let ast = parse_com_erro lexbuf in
201   ast
202
203 let parse_arq nome =
204   let ic = open_in nome in
205   let lexbuf = Lexing.from_channel ic in
206   let ast = parse_com_erro lexbuf in
207   let _ = close_in ic in
208   ast
209
210 let verifica_tipos nome =
211   let ast = parse_arq nome in
212   match ast with
213   | Some (Some ast) -> semantico ast
214   | _ -> failwith "Nada a fazer!\n"
215
216 let traduz nome =
217   let (arv,tab) = verifica_tipos nome in
218   tradutor arv
219
220 let imprime_traducao cod =
221   let _ = printf "\n" in
222   escreve_codigo cod
223
224 let gera_nano num =
225   let cod = traduz ("exemplos/nano" ^ string_of_int(num) ^ ".py")
226   in imprime_traducao cod
227
228 let gera_micro num =
229   let cod = traduz ("exemplos/micro" ^ string_of_int(num) ^ ".py")
230   in imprime_traducao cod
231
232
233 (* Para compilar:
234    ocamlbuild -use-ocamlfind -use-menhir -menhir "menhir --table" -
235    package menhirLib cod3endTest.byte
236
237    Para usar, entre no ocaml
238
239    rlwrap ocaml
240
241    e se desejar ver apenas a árvore sintática que sai do analisador sintá
242    tico, digite
243
244    parse_arq "exemplos/Tipos/ex8.tip";;
```

```

243
244     Depois, para ver a saída do analisador semântico já com a árvore
245     anotada com
246     o tipos, digite:
247
248     verifica_tipos "exemplos/Tipos/ex8.tip";;
249
250     Note que o analisador semântico está retornando também o ambiente
251     global. Se
252     quiser separá-los, digite:
253
254     let (arv, amb) = verifica_tipos "exemplos/Tipos/ex8.tip";;
255
256     Para ver o código de 3 endereços:
257     traduz "exemplos/Tipos/ex8.tip";;
258
259     ou se quiser ver em um formato mais legível:
260
261     let cod = traduz "exemplos/Tipos/ex8.tip" in imprime_traducao cod;;
262
263
264     *)

```

Listagem 8.4: .ocamlinit

```

1 let () =
2   try Topdirs.dir_directory (Sys.getenv "OCAML_TOPLEVEL_PATH")
3   with Not_found -> ()
4 ;;
5
6 #use "topfind";;
7 #require "menhirLib";;
8 #directory "_build";;
9 #load "sintatico.cmo";;
10 #load "lexico.cmo";;
11 #load "ast.cmo";;
12 #load "sast.cmo";;
13 #load "tast.cmo";;
14 #load "tabsimb.cmo";;
15 #load "ambiente.cmo";;
16 #load "semantico.cmo";;
17 #load "Codigo.cmo";;
18 #load "Cod3End.cmo";;
19 #load "cod3endTest.cmo";;
20
21 open Ast
22 open Ambiente
23 open Codigo
24 open Cod3End
25 open Cod3endTest

```

8.2 Compilação e execução

Para compilar, digite no terminal:

```
ocamlbuild -use-ocamlfind -use-menhir -menhir "menhir --table" -package
menhirLib cod3endTest.byte
```

Para usar, entre no ocaml: `rlwrap ocaml` Para gerar a representação intermediária de um programa, entre no ocaml e digite:

```
# traduz "exemplos/micro10.py";;
```

Se quiser ver em um formato mais legível:

```
# let cod = traduz "exemplos/micro10.py" in imprime_tradacao cod;;
```

8.3 Exemplos

O exemplo usado foi o `micro10.py`:

Listagem 8.5: `micro10.py`

```
1 def fatorial(n: int) -> int:
2     if n <= 0:
3         return 1
4     else:
5         return n * fatorial(n - 1)
6
7 def main() -> None:
8     numero:int = int(input("Digite um numero: "))
9     fat:int = fatorial(numero)
10    print("O fatorial eh", fat)
11    return
12
13 main()
```

Usando o modo:

```
# traduz "exemplos/micro10.py";;
```

Listagem 8.6: `micro10.py`

```
1 [BeginFun ("fatorial", 1, 0); Recebe ("n", TipoInt);
2  Copia (Temp 0, ConstInt 0);
3  AtribBin (Temp 1, Nome "n", (MenorIgual, TipoBool), Temp 0);
4  IfFalse (Temp 1, Rotulo "L0"); Copia (Temp 2, ConstInt 1);
5  Return (Some (Temp 2)); Goto (Rotulo "L1"); Rotulo "L0";
6  Copia (Temp 3, ConstInt 1);
7  AtribBin (Temp 4, Nome "n", (Sub, TipoInt), Temp 3);
8  CallFn (Temp 5, "fatorial", [(Temp 4, TipoInt)], TipoInt);
9  AtribBin (Temp 6, Nome "n", (Mult, TipoInt), Temp 5);
10 Return (Some (Temp 6)); Rotulo "L1"; EndFun; BeginFun ("main", 0, 2);
11 Local ("numero", TipoInt); Copia (Temp 7, ConstStr "Digite um numero: ");
12 Call ("print", [(Temp 7, TipoStr)], TipoNone);
13 Call ("read", [(Nome "numero", TipoInt)], TipoNone); Local ("fat",
    TipoInt);
14 CallFn (Temp 8, "fatorial", [(Nome "numero", TipoInt)], TipoInt);
```

```

15 Copia (Nome "fat", Temp 8); Copia (Temp 9, ConstStr "O fatorial eh");
16 Call ("print", [(Temp 9, TipoStr); (Nome "fat", TipoInt)], TipoNone);
17 Return None; EndFun; Call ("main", [], TipoNone)

```

Usando o modo mais legível:

```
# let cod = traduz "exemplos/micro10.py" in imprime_traducao cod;;
```

Listagem 8.7: micro10.py

```

1 beginFun fatorial(1,0)
2 recebe n,inteiro
3 t0 := 0
4 t1 := n <= t0
5 ifFalse t1 goto L0:
6 t2 := 1
7 return t2
8 goto L1:
9 L0: t3 := 1
10 t4 := n - t3
11 t5 := call fatorial((t4,inteiro)): inteiro
12 t6 := n * t5
13 return t6
14 L1: endFun
15
16 beginFun main(0,2)
17 local numero,inteiro
18 t7 := Digite um numero:
19 call print((t7,string)): void
20 call read((numero,inteiro)): void
21 local fat,inteiro
22 t8 := call fatorial((numero,inteiro)): inteiro
23 fat := t8
24 t9 := O fatorial eh
25 call print((t9,string), (fat,inteiro)): void
26 return
27 endFun
28
29 call main(): void
30
31 - : unit = ()

```

Capítulo 9

Referências

Python

Dalvik

Smali

OCaml