

UNIVERSIDADE TUIUTI DO PARANÁ

GABRIEL PINTO RIBEIRO DA FONSECA

INTERPRETADOR DA LINGUAGEM D+

CURITIBA

2019

GABRIEL PINTO RIBEIRO DA FONSECA

INTERPRETADOR DA LINGUAGEM D+

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Faculdade de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Tuiuti do Paraná, como requisito à obtenção ao grau de Bacharel.

Orientador: Prof. Diógenes Cogo Furlan

CURITIBA

2019

RESUMO

Dentro do curso de bacharelado em ciências da computação, a disciplina de compiladores possui uma dificuldade considerável no seu aprendizado, portanto, torna-se importante, ferramentas que auxiliem na compreensão do conteúdo da disciplina. O desenvolvimento do interpretador D+ possibilitou abordar o ensino da matéria de compiladores de forma mais ilustrativa, ilustrando para os estudantes de forma mais clara o processo de compilação. A implementação da framework foi feita utilizando do software QT Creator, e criação de um compilador D+ modificado para se tornar um Interpretador. Para obtenção de dados de aprendizado utilizando o Interpretador D+ foi disponibilizado para os estudantes e solicitado que respondessem a um questionário. A partir destes questionários podemos concluir que o interpretador auxiliou os alunos a compreenderem melhor a disciplina mostrando de forma mais ilustrativa a compilação do código.

Palavras-chave: Interpretador, Compilador, Autômatos, Árvore Sintática.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – A programação antes dos compiladores.	11
FIGURA 2 – A programação com compiladores.	12
FIGURA 3 – Exemplo do Funcionamento de um Compilador.	12
FIGURA 4 – Exemplo dos passos presentes em um compilador.	13
FIGURA 5 – Comparação Compilador x Interpretador.	14
FIGURA 6 – Código de exemplo para Análise Léxica.	15
FIGURA 7 – Autômato Finito.	16
FIGURA 8 – Autômato Finito determinístico.	17
FIGURA 9 – Autômato Finito não determinístico.	17
FIGURA 10 – Código de exemplo para Análise Sintática.	18
FIGURA 11 – Árvore Sintática.	19
FIGURA 12 – Código de exemplo para Análise Semântica.	20
FIGURA 13 – Código de exemplo para Tabela de Símbolos.	21
FIGURA 14 – Geração de código intermediário.	22
FIGURA 15 – Gerador de código.	23
FIGURA 16 – Regras de gramáticas D+.	25
FIGURA 17 – Interação Humano Computador.	26
FIGURA 18 – Interação Humano-computador Adaptada da Descrição do comitê SIGCHI 1992.	27
FIGURA 19 – Comparação do notepad e notepad++.	28
FIGURA 20 – Exemplo de fluxo com o código gerado.	30
FIGURA 21 – Árvore de símbolos.	32
FIGURA 22 – Interpretação da Arquitetura Python.	33
FIGURA 23 – Função do código de validação de caractere.	35
FIGURA 24 – Interface de código do Qt Creator.	36
FIGURA 25 – Interface de design do Qt Creator.	37
FIGURA 26 – Autômato do estado 2 ativo.	37
FIGURA 27 – Autômato do estado 2 desativado.	38
FIGURA 28 – Menu JFLAP.	38
FIGURA 29 – Janela de criação de autômatos.	39
FIGURA 30 – Autômato de validação de caractere.	39
FIGURA 31 – Fluxo de sequência.	40
FIGURA 32 – Exemplo de seleção.	40
FIGURA 33 – Exemplo de iteração usando o comando while.	41
FIGURA 34 – Função state00.	42
FIGURA 35 – Função reservWorks.	43
FIGURA 36 – Saída da análise léxica.	43

FIGURA 37 – Verificação do autômato a ser carregado.	44
FIGURA 38 – Interface com os autômatos.	44
FIGURA 39 – Função DV.	46
FIGURA 40 – Log análise sintática.	48
FIGURA 41 – Função treeSintatico.	49
FIGURA 42 – Árvore Sintática montada.	49
FIGURA 43 – Gramática utilizada.	50
FIGURA 44 – Tabela de Símbolos.	50
FIGURA 45 – Log Análise Semântica.	51
FIGURA 46 – Barra de funcionalidade.	52
FIGURA 47 – Interface do editor.	52
FIGURA 48 – Interface do interpretador.	53
FIGURA 49 – Autômato ativo estado 1.	63
FIGURA 50 – Autômato ativo estado 2.	63
FIGURA 51 – Autômato ativo estado 3.	63
FIGURA 52 – Autômato ativo estado 4.	64
FIGURA 53 – Autômato ativo estado 5.	64
FIGURA 54 – Autômato ativo estado 6.	64
FIGURA 55 – Autômato ativo estado 7.	65
FIGURA 56 – Autômato ativo estado 8.	65
FIGURA 57 – Autômato ativo estado 9.	65
FIGURA 58 – Autômato ativo estado 10.	66
FIGURA 59 – Autômato ativo estado 11.	66
FIGURA 60 – Autômato ativo estado 12.	66
FIGURA 61 – Autômato ativo estado 13.	67
FIGURA 62 – Autômato ativo estado 14.	67
FIGURA 63 – Autômato ativo estado 15.	67
FIGURA 64 – Autômato desabilitado estado 1.	68
FIGURA 65 – Autômato desabilitado estado 2.	68
FIGURA 66 – Autômato desabilitado estado 3.	68
FIGURA 67 – Autômato desabilitado estado 4.	69
FIGURA 68 – Autômato desabilitado estado 5.	69
FIGURA 69 – Autômato desabilitado estado 6.	69
FIGURA 70 – Autômato desabilitado estado 7.	70
FIGURA 71 – Autômato desabilitado estado 8.	70
FIGURA 72 – Autômato desabilitado estado 9.	70
FIGURA 73 – Autômato desabilitado estado 10.	71
FIGURA 74 – Autômato desabilitado estado 11.	71
FIGURA 75 – Autômato desabilitado estado 12.	71

FIGURA 76 – Autômato desabilitado estado 13.	72
FIGURA 77 – Autômato desabilitado estado 14.	72
FIGURA 78 – Autômato desabilitado estado 15.	72
FIGURA 79 – Código 1 da gramática D+.	77
FIGURA 80 – Código 2 da gramática D+.	78
FIGURA 81 – Código 3 da gramática D+.	78
FIGURA 82 – Código 4 da gramática D+.	79
FIGURA 83 – Janela de instalação 1.	80
FIGURA 84 – Janela de instalação 2.	81
FIGURA 85 – Janela de instalação 3.	81
FIGURA 86 – Janela de instalação 4.	82
FIGURA 87 – Janela de instalação 5.	82
FIGURA 88 – Janela de instalação 6.	83
FIGURA 89 – Fluxograma do Interpretador D+.	84
FIGURA 90 – Aba Editor e Código Numerado.	85
FIGURA 91 – Barra de ferramentas.	85
FIGURA 92 – Abas centrais.	86
FIGURA 93 – Abas do canto superior direito.	86
FIGURA 94 – Aba Análise Léxica.	86
FIGURA 95 – Aba Análise Sintática.	87
FIGURA 96 – Erro Sintático.	87
FIGURA 97 – Aba Análise Semântica.	88
FIGURA 98 – Aba "Tabela de Símbolos".	88
FIGURA 99 – Aba "Autômatos".	89
FIGURA 100–Aba "Árvore Sintática".	89
FIGURA 101–Aba "Gramática D+".	90

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Gráfico de desenvolvimento.	54
GRÁFICO 2 – Gráfico de dificuldade.	55
GRÁFICO 3 – Gráfico de auxílio do interpretador.	55
GRÁFICO 4 – Gráfico da parte mais relevante do software.	56
GRÁFICO 5 – Gráfico de indicação.	56

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Tabela de Símbolos	22
QUADRO 2 – Comparação dos trabalhos relacionados.	34
QUADRO 3 – Declarações.	45
QUADRO 4 – Comandos.	46
QUADRO 5 – Expressões.	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	TEORIA DA COMPILAÇÃO	11
2.1	COMPILADORES	12
2.2	INTERPRETADORES	13
2.3	ANÁLISE LÉXICA	14
2.3.1	Autômatos	16
2.4	ANÁLISE SINTÁTICA	17
2.5	ÁRVORE SINTÁTICA	18
2.6	ANÁLISE SEMÂNTICA	19
2.7	TABELA DE SÍMBOLOS	20
2.8	GERAÇÃO DE CÓDIGO INTERMEDIÁRIA	21
2.9	GERAÇÃO DE CÓDIGO	22
2.10	LINGUAGEM D+	23
3	INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR(IHC)	26
3.1	OS SEIS PRINCÍPIOS DE DESIGN	27
3.1.1	Visibilidade	27
3.1.2	Feedback	28
3.1.3	Restrições	28
3.1.4	Mapeamento	28
3.1.5	Consistência	29
3.1.6	Affordance	29
4	TRABALHOS RELACIONADOS	30
4.1	AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO VISUAL BASEADO EM COMPONENTES	30
4.2	SCC: UM COMPILADOR C COMO FERRAMENTA DE ENSINO DE COM- PILADORES	31
4.3	COMPILER BASIC DESIGN AND CONSTRUCTION	31
4.4	INTERPRETADOR/COMPILADOR PYTHON	31
4.5	COMPILER CONSTRUCTION	33
5	METODOLOGIA	35
5.1	LINGUAGEM C++	35
5.2	QT CREATOR	35
5.3	JFLAP	36
5.4	AUTÔMATOS	38
5.5	ESTRUTURAS ADOTADAS NO DESENVOLVIMENTO	39
5.5.1	Programação Estruturada	40
5.5.2	Análise Léxica	42
5.5.3	Análise Sintática	44

5.5.4	Árvore Sintática	48
5.5.5	Gramática	49
5.5.6	Tabela de Símbolos	50
5.5.7	Análise Semântica	51
5.6	INTERFACE	51
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
6.1	RESULTADOS OBTIDOS	54
7	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	58
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE UTILIZAÇÃO DO INTERPRETADOR IN-	
	TEGRADO A UMA INTERFACE DA LINGUAGEM D+	60
	APÊNDICE B – Autômatos Ativos	63
	APÊNDICE C – Autômatos Desabilitados	68
	APÊNDICE D – Dados obtidos	73
	APÊNDICE E – Códigos de Exemplo	77
	APÊNDICE F – Instalação do Interpretador D+	80
	APÊNDICE G – Fluxograma	84
	APÊNDICE H – Manual do Software	85

1 INTRODUÇÃO

Dentro do curso de bacharelado em ciências da computação, a disciplina de compiladores é responsável por apresentar ao aluno a forma e os significados contidos na construção de um compilador. Um compilador da forma convencional apresenta fases, análises, em que efetua os processos necessários para transformar o código da linguagem de alto nível para código de máquina. A disciplina de compiladores apresenta uma considerável dificuldade no seu aprendizado, uma vez que é uma disciplina muito abrangente e muito profunda. Ela faz uma síntese de todo curso de bacharelado em ciências da computação, uma vez que exige conhecimentos em algoritmos, programação estruturada e orientado a objetos, estrutura de dados, métodos de autômatos, gramáticas e ainda conhecimento de assembly.

O presente projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um interpretador da linguagem D+, para auxiliar os alunos na absorção do conteúdo, ajudando-os a fixar melhor os conceitos. O interpretador compila linha por linha e mostra visualmente em uma interface o programa já compilado. Neste software vai aplicar conteúdos visto em sala de aula, na prática, proporcionando ao aluno entender como eles são elaborados dentro dos processos de análise léxica e sintática.

Para desenvolver este software, é implementado um compilador D+, linguagem elaborada pelo mestre Diógenes Cogo Furlan. Este compilador terá modificações para se tornar um interpretador. Para o desenvolvimento deste software, é utilizado o editor QT Creator com a linguagem C++, pelo fato de que este editor juntamente com a linguagem, disponibiliza ferramentas que facilitam a sua criação.

Com este projeto, os alunos da disciplina de compiladores, terão ao seu alcance uma ferramenta (software) que os auxiliará no aprendizado da disciplina. Podendo criar códigos, e ver a transformação que passa pelo compilador, passando pela análise léxica, análise sintática e análise semântica. Os alunos que utilizarem este software, terão exemplos de árvores sintáticas no código escrito na interface. Com toda a informação apresentada para os estudantes da disciplina, é facilitado a compreensão da lógica de compiladores.

2 TEORIA DA COMPILAÇÃO

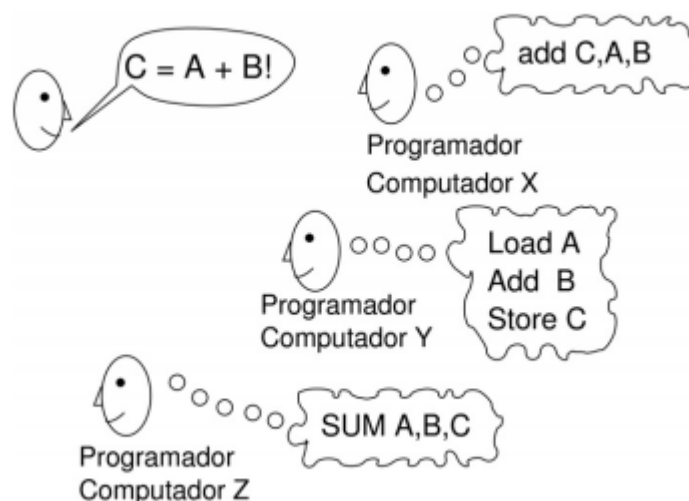
Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos envolvendo a compilação, técnicas encontradas nela, razão pelo qual foi criado, seu funcionamento e sua estrutura, como análise léxica, análise sintática e análise semântica, também explicando o funcionamento de um compilador e um interpretador, dando ênfase em suas diferenças.

Um processo de compilação designa o conjunto de tarefas que o compilador deve realizar para poder gerar uma descrição em uma linguagem a partir de outra (SANTOS, 2018). No começo da compilação, o compilador deve garantir que a tradução efetuada do código inserido seja correta, para que a execução dos comandos seja feita sem nenhum erro.

O motivo que influenciou o desenvolvimento dos compiladores se deve ao fato de se obter uma maior eficiência de programação. No princípio os computadores possuíam arquiteturas distintas entre eles, tornando assim a mesma instrução diferente para todas. Este mesmo problema era encontrado na representação de dados (RICARTE, 2008).

Na figura 1 é ilustrado uma situação em que se utiliza uma instrução de soma, nesta imagem pode se observar a complexidade que a comunicação atingia ao transmitir para outra máquina a instrução. Devido a este empecilho, era necessária uma intervenção humana, ocasionando em contratar um especialista para resolver este problema, para cada plataforma. Uma situação pouco eficiente e de alto custo para as empresas (RICARTE, 2008).

FIGURA 1 – A programação antes dos compiladores.

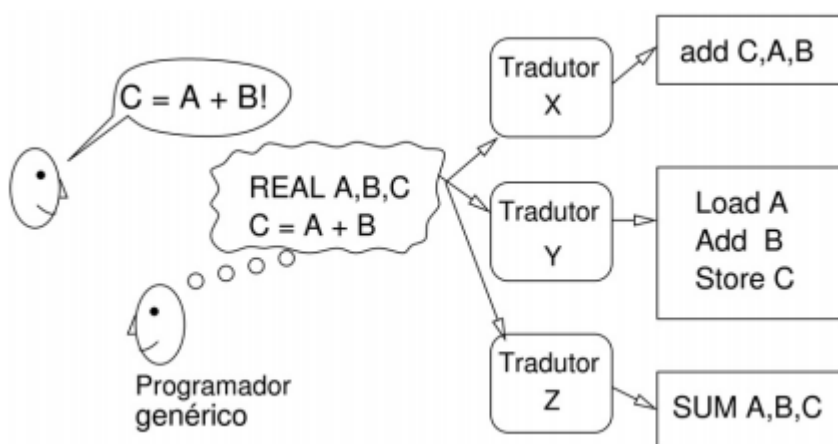


FONTE: (RICARTE, 2008).

Para solucionar este problema era necessário a criação de mecanismos que tornaria a programação dinâmica(automática), isto é, traduzisse comandos genéricos que pudessem ser executados em diferentes máquinas (RICARTE, 2008).

A figura 2 ilustra o processo já incluindo os compiladores. Com essa automação na tradução do código, se obteve economia pelo fato de não ser necessário a contratação de um especialista para esta tarefa, e aumento de produtividade por ter retirado a intervenção humana em uma parte do processo.

FIGURA 2 – A programação com compiladores.

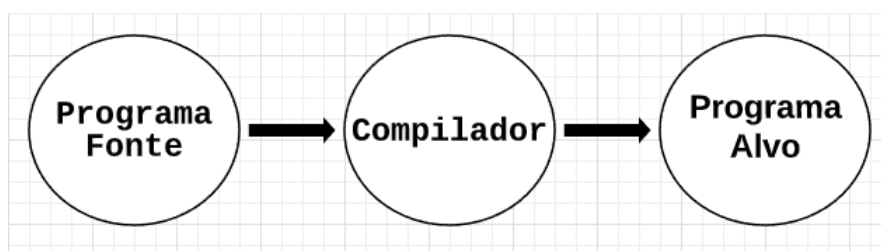


FONTE: (RICARTE, 2008).

2.1 COMPILADORES

Para se conceituar um compilador de forma simples, o compilador é um programa responsável por traduzir outro programa de uma linguagem fonte para outra linguagem alvo (AHO RAVI SETHI, 1995). Na figura 3 é ilustrado a forma do funcionamento dos compiladores como descrito acima, ilustrando os passos internos de um compilador, e o que é gerado em cada passo, como os tokens na análise léxica, árvore sintática na análise sintática e a tabela de símbolos.

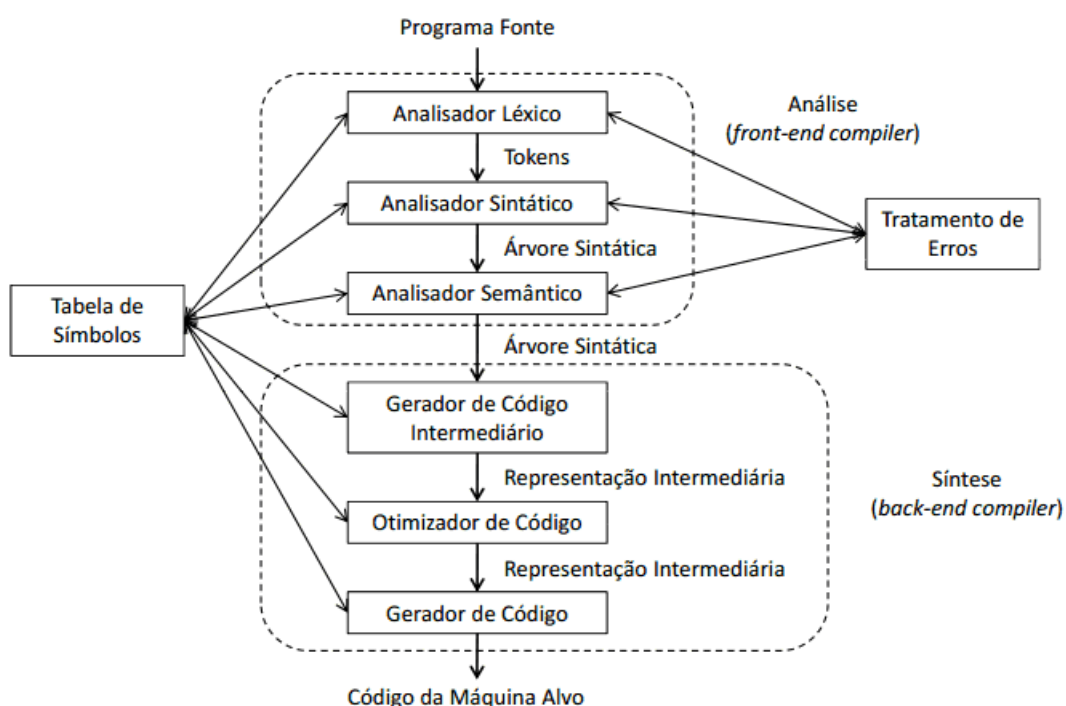
FIGURA 3 – Exemplo do Funcionamento de um Compilador.



FONTE: O próprio autor.

O compilador segue passos para a tradução correta do código fonte para o código de saída. Os passos de análises são: análise léxica (AL), análise sintática (AS) e análise semântica (ASE). Os passos de tradução, são a Geração de código intermediário, a otimização de código, a geração de código final e a otimização de código final. Na figura 4 é ilustrado os passos seguidos dentro de um compilador, quando um código entra em seu processo, e é finalizado como o código de máquina alvo.

FIGURA 4 – Exemplo dos passos presentes em um compilador.



FONTE: (MARANGON, 2015).

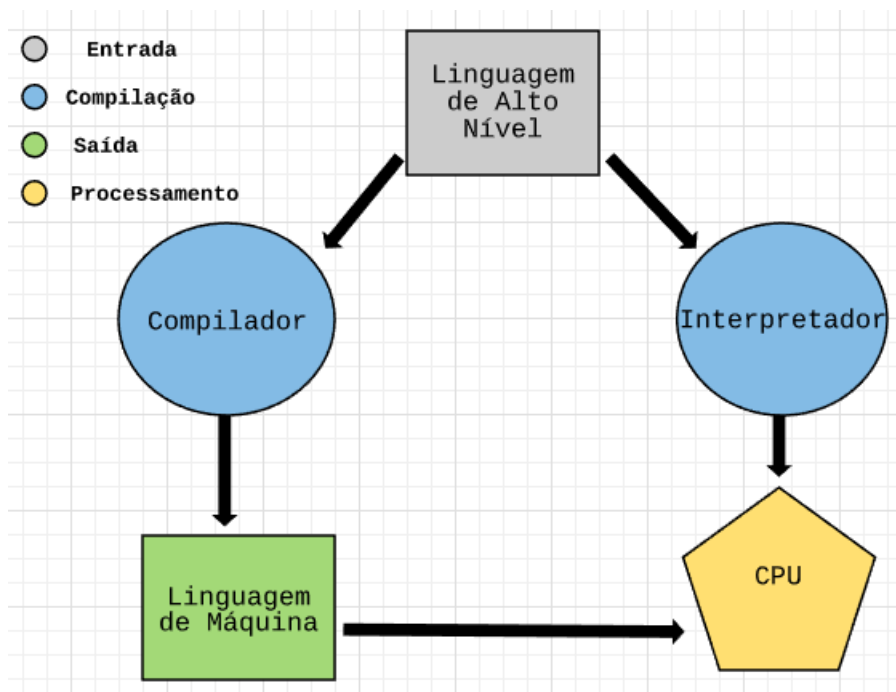
2.2 INTERPRETADORES

O interpretador é o programa que converte a linguagem atual para uma específica, mas ao contrário do compilador, ele não converte o código todo para linguagem de máquina de uma vez. Ele executa diretamente cada instrução, passo a passo. MATLAB, LISP, Perl e PHP são apontadas como interpretadas (VICTORIA, 2019). O interpretador efetua a tradução em operações especificadas, dependendo de como foi construído, podendo percorrer o código e ao decorrer desta análise, efetuar as operações necessárias.

Na figura 5 é ilustrado um fluxo geral de como é convertido o código, comparando o compilador ao interpretador. O que difere entre ambos é em qual momento ocorre a inserção de dados, tempo de execução e a diferença na saída de arquivos após os processos, o compilador gera um arquivo com a linguagem alvo (neste caso linguagem

de máquina), e o interpretador executa diretamente a instrução, sem criar um arquivo fonte.

FIGURA 5 – Comparação Compilador x Interpretador.



FONTE: O próprio autor.

Caso o código seja executado uma segunda vez, ocorrerá uma nova tradução, pois a tradução ocorrida anteriormente não fica armazenada para futuras execuções. Compiladores e interpretadores utilizam as análises léxica, análise sintática e análise semântica.

2.3 ANÁLISE LÉXICA

A análise Léxica, também chamada de análise *scanning*, é responsável por analisar os caracteres no programa da esquerda para a direita, e agrupa-os para a formação de tokens. Tokens são sequências de caracteres que possuem um significado coletivo (AHO RAVI SETHI, 1995).

Um exemplo que pode ser dado, é analisando um programa na linguagem C como ilustrado na figura 6.

Efetuada uma análise léxica no código da linguagem C++ ilustrado na figura 6, é possível apontar os tokens criados e os erros encontrados neste passo.

Descrevendo as linhas corretas e os tokens retirados dela.

a) Identificador X

FIGURA 6 – Código de exemplo para Análise Léxica.

```
1  #include <iostream>
2  #include <string>
3
4  using namespace std;
5
6  int main(){
7      int x, y = 6;
8      x = 10 * y; #
9      int i = 15x;
10     string nome("Fulano");
11     /*
12 }
```

FONTE: O próprio autor.

- b) Atribuição =
- c) Número 6
- d) Identificador Y

Estes tokens citados acima, são os gerados na análise léxica, atribuídos e guardados para a próxima análise. Porém o código da figura 6 contém erros, impedindo de avançar para o próximo etapa.

Os erros encontrados na análise léxica são:

- a) Linha 8, o analisador léxico não conhece o caractere (#) como algo valido;
- b) Linha 9, 15x não é reconhecido como número e nem como um identificador;
- c) Linha 11, é iniciado um comando de bloco de comentário (/*), mas não é fechado com (*).

Na figura 5 ocorrem erros de análise sintática, que é o passo que abordaremos no capítulo 2.4.

2.3.1 Autômatos

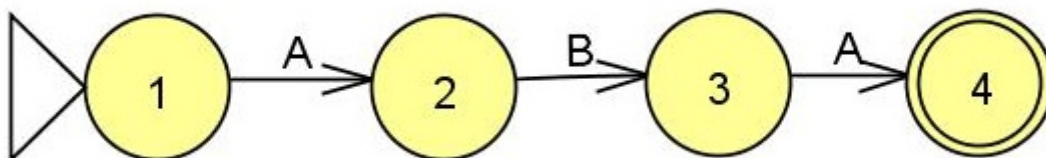
Os autômatos finitos são conjuntos de estados e por transições dirigidas e rotuladas entre esses estados (SANTOS, 2018). Estes autômatos ilustram a expressão regular da gramática, e é através de seus passos que são verificados se uma cadeia de caracteres X faz parte da linguagem analisada ou não (AHO RAVI SETHI, 1995).

A representação de um autômato utiliza de:

- Triângulo em 90 ° seguido de uma esfera: Indica o início do autômato;
- Esferas: Para representar estados;
- Setas: Para representar as ligações e sequência entre os estados;
- Esfera dentro de esfera: Para informar fim do autômato.

Na figura 7 é ilustrado um autômato que reproduz a palavra “ABA”. Este autômato é atendido apenas se a primeira letra da palavra que está sendo verificada ser “A”, em seguida “B” e por fim “A” novamente, percorrendo o caminho ate chegar ao fim no estado 4.

FIGURA 7 – Autômato Finito.

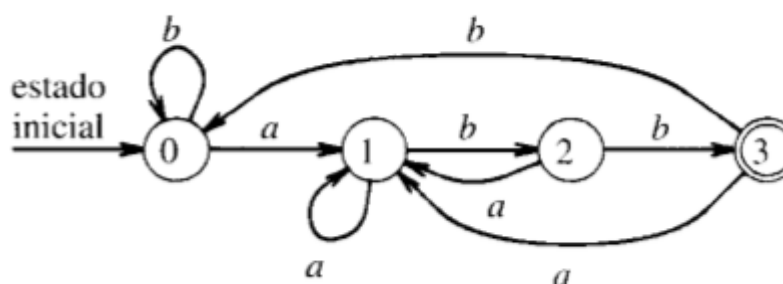


FONTE: O próprio autor.

Os autômatos finitos são classificados em dois, sendo eles: determinísticos e não determinísticos. Os autômatos finitos não determinísticos possuem mais de um caminho que pode ser tomados em um estado para o mesmo caractere analisado, um exemplo de fácil compreensão é de um estado poder ir por um caminho analisando o caractere e para outro caminho com o mesmo caractere, já os autômatos finitos determinísticos seguem apenas um caminho, não dando a opção para mais de um estado (AHO RAVI SETHI, 1995).

Na figura 8 é ilustrado um autômato finito determinístico.

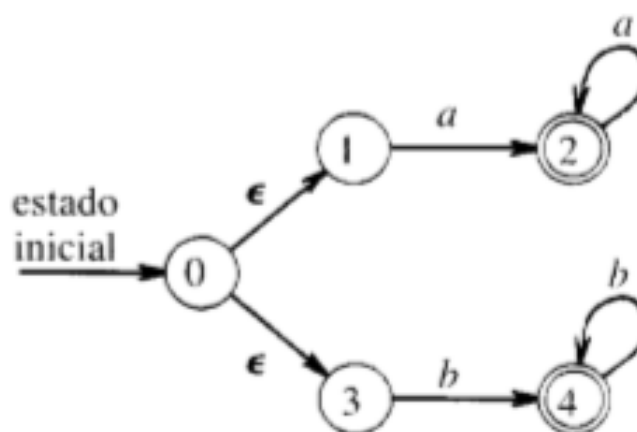
FIGURA 8 – Autômato Finito determinístico.



FONTE: (AHO RAVI SETHI, 1995).

Na figura 9 é ilustrado um autômato finito não determinístico.

FIGURA 9 – Autômato Finito não determinístico.



FONTE: (AHO RAVI SETHI, 1995).

2.4 ANÁLISE SINTÁTICA

Análise Sintática é chamada também de análise hierárquica ou análise gramatical. Este passo utiliza dos tokens criados pela análise léxica, para criar um significado coletivo, obtendo uma ordem sequencial (AHO RAVI SETHI, 1995).

O analisador sintático, é responsável por avaliar se os tokens obtidos pelo passo anterior são válidos para a linguagem de programação em que ele é empregado, validando expressões, funções e métodos. A análise sintática geralmente utiliza de gramática livre de contexto para especificar a sintaxe de uma linguagem de programação (MARANGON, 2015).

Na figura 10 é ilustrado um código em linguagem C++ com alguns erros encontrados na análise sintática, estes erros estão descritos abaixo da figura.

FIGURA 10 – Código de exemplo para Análise Sintática.

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  int soma(int aux);
6
7  int main({
8      int x = 10
9      int y = / 5;
10     int char = soma(x);
11 }
12
13 int int soma(int aux){
14     return aux++;
15 }
```

FONTE: O próprio autor.

- a) Na linha 7, função main não fecha o “{“;
- b) Na linha 8, não foi acrescentado o ; no final da linha, com isso o analisador não consegue distinguir o final da instrução e o começo de outra;
- c) Na linha 9, o operador de divisão /, não consegue montar uma expressão de divisão por faltar o operador da esquerda;
- d) Na linha 13, o tipo da função int int, confunde o analisador por espera o nome do método após declara o seu tipo inteiro(int);
- e) Na linha 15, a função soma, não fecha o }.

Após passar pela análise sintática, é verificado se o código faz sentido para linguagem que foi escrita, este passo é tratado no capítulo 2.6.

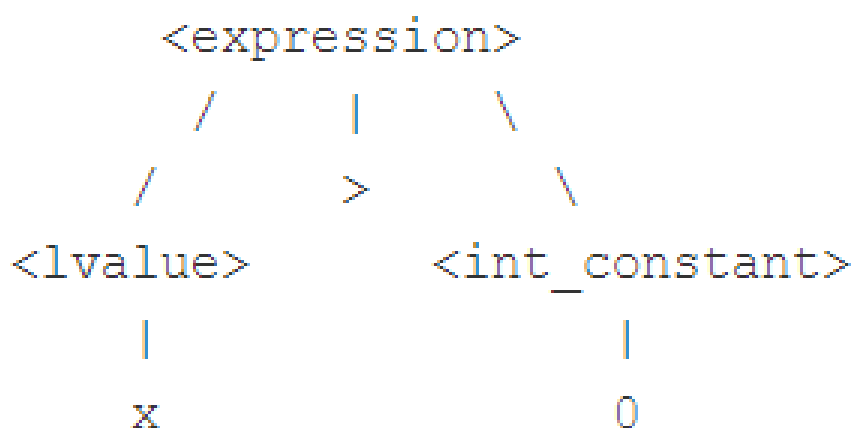
2.5 ÁRVORE SINTÁTICA

Uma árvore sintática tem como princípio ilustrar de forma estrutural o código junto as regras da gramática. A árvore de análise é elaborada conectando os símbolos derivados da regra ao qual pertence (APPEL, 1998). Um exemplo que pode ser usado para melhorar a compreensão, é do seguinte comando:

- $X > 0$

Esta expressão gera uma árvore sintática ilustrada na figura 11. A árvore segue derivando até chegar a um terminal, neste caso os terminais são X, > e 0.

FIGURA 11 – Árvore Sintática.



FONTE: (BARGUIL, 2012).

2.6 ANÁLISE SEMÂNTICA

Até o momento foi abordada as etapas de análise léxica, que quebra o programa fonte em tokens e a análise sintática, que valida as regras e sintaxe da linguagem de programação. Não é possível representar com expressões regulares ou com uma gramática livre de contexto regras como: todo identificador deve ser declarado antes de ser usado. Muitas verificações devem ser realizadas com meta-informações e com elementos que estão presentes em vários pontos do código fonte, distantes uns dos outros. O analisador semântico utiliza a árvore sintática e a tabela de símbolos para fazer a análise semântica.

A análise semântica é responsável por verificar aspectos relacionados ao significado das instruções, essa é a terceira etapa do processo de compilação e nesse momento ocorre a validação de uma série de regras que não podem ser verificadas nas etapas anteriores (MARANGON, 2015).

Na figura 12 é ilustrado um código na linguagem C++ com alguns erros detectados na análise semântica.

FIGURA 12 – Código de exemplo para Análise Semântica.

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  int main(){
6      int y = 10;
7      cout << "Primeiro main" << endl;
8      j = y;
9  }
10
11 int main(){
12     cout << "Segundo main" << endl;
13 }
14
15 class veiculo {
16     bool rodas = true;
17 };
18
19 class carro : public carro{
20 };
```

FONTE: O próprio autor.

Lista dos erros:

- a) Linha 8, variável `j` sendo atribuída igual ao valor da variável `y`, porém a variável `j` não foi declarada;
- b) Linha 5 e 11, duas funções `main` declaradas;
- c) Linha 19, uma classe não pode herdar dela mesma.

2.7 TABELA DE SÍMBOLOS

A tabela de símbolos é uma estrutura auxiliar que tem como função apoiar a análise semântica nas atividades do código (RICARTE, 2008). Este recurso é responsável por armazenar informações de identificadores, como variáveis, tipos de dados, funções e constantes. A estrutura da tabela de símbolos pode ser de uma árvore ou tabela *hash*.

Na figura 13 é ilustrado um código como exemplo para a explicação da tabela de símbolos. No código são encontrados declarações de vários identificadores, sendo eles, soma, x, y, a, b, todos são armazenados em uma tabela com dados daquele identificador.

FIGURA 13 – Código de exemplo para Tabela de Símbolos.

```

1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  int soma(int x, int y);
6
7  int main(){
8      int a = 5, b = 6;
9      cout << soma( a , b ) << endl;
10     return 0;
11 }
12
13 int soma( int x , int y ){
14     return ( x + y );
15 }

```

FONTE: O próprio autor.

- Categoria: a estrutura daquele identificador, podendo ser função, procedure, variável ou constante;
- Tipo: qual o tipo atribuído a ele, podendo ser int, real, char, string ou boolean;
- Valor: o dado gravado;
- Escopo: é o nível que possui, podendo ser local, apenas para aquele bloco de código, ou global, que pode ser acessada em qualquer parte do código.

No quadro 1 é apresentado a tabela de símbolos da figura 13.

2.8 GERAÇÃO DE CÓDIGO INTERMEDIÁRIA

A geração de código intermediário cria uma sequência linear de comandos, instruções, a partir da análise sintática do programa elaborado (SANTOS, 2018). Na figura 14 é ilustrado um fluxo para a geração de código intermediário.

QUADRO 1 – Tabela de Símbolos .

Identificador	Categoria	Tipo	Valor	Escopo
Soma	função	int	-	global
X	variável	int	-	local
Y	variável	int	-	local
A	variável	int	5	local
B	variável	int	6	local

FONTE: próprio autor.

FIGURA 14 – Geração de código intermediário.



FONTE: (AHO RAVI SETHI, 1995).

Apesar de o compilador conseguir gerar, sem problemas, um programa alvo do programa fonte sem a necessidade da geração de código intermediário, efetuar este passo é visto com bons olhos por conta de duas vantagens que ele oferece:

- Redirecionamento facilitado, o código é reaproveitado para outros computadores, necessitando apenas a elaboração a partir da geração de código (AHO RAVI SETHI, 1995);
- Uma otimização pode ser aplicada em qualquer máquina utilizando do código intermediário (AHO RAVI SETHI, 1995).

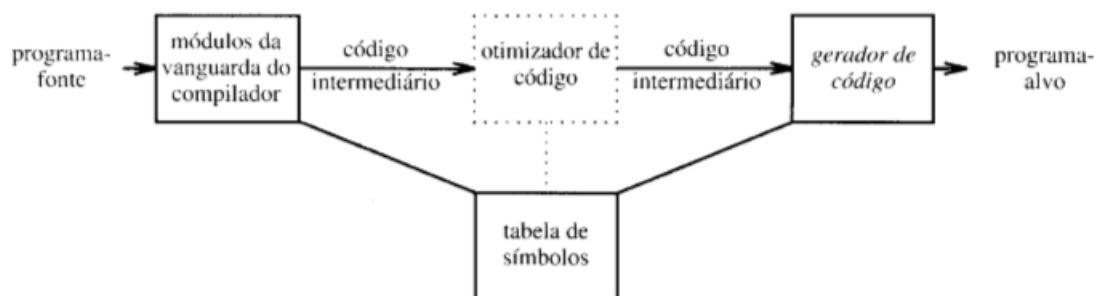
2.9 GERAÇÃO DE CÓDIGO

A fase final do compilador é o gerador de código, esta etapa é responsável por transformar o código de entrada no código objeto (AHO RAVI SETHI, 1995). É imprescindível que execute de maneira correta suas especificações, caso contrário todo o trabalho efetuado até o momento é desperdiçado (AHO RAVI SETHI, 1995).

Na figura 15 é ilustrado um esquema do gerador de código, módulos de vanguarda são os geradores de códigos intermediários.

Os dados utilizados na entrada do gerador de código são, o programa escrito, ou o intermediário criado dele, junto da tabela de símbolos (AHO RAVI SETHI, 1995).

FIGURA 15 – Gerador de código.



FONTE: (AHO RAVI SETHI, 1995).

Com estas informações, é possível passar para a criação do programa na linguagem alvo, sem se preocupar com erros léxicos, sintáticos ou semânticos, pois as análises anteriores efetuaram a validação destes.

A saída obtida do gerador de código é o programa na linguagem alvo. Este programa pode ter três formas, sendo elas linguagem absoluta de máquina, linguagem realocável de máquina e linguagem de montagem (AHO RAVI SETHI, 1995).

Um programa em linguagem absoluta de máquina consegue ser carregado em um local fixo na memória e executado imediatamente (AHO RAVI SETHI, 1995), tornando imediata sua execução.

Um programa em linguagem realocável de máquina separa o resultado da compilação em módulos, permitindo executá-los separadamente, sua execução depende de um carregador ou editor de ligações (AHO RAVI SETHI, 1995). Com esta característica é possível pegar partes do programa alvo, ganhando grande flexibilidade do código compilado.

Um programa em linguagem de montagem(Assembly) é mais fácil gerar sua saída, pois permite criar instruções simbólicas e utilizar de processamento de macros do montador para obter o programa alvo (AHO RAVI SETHI, 1995).

2.10 LINGUAGEM D+

A linguagem a ser utilizada neste trabalho é a D+, criada pelo professor Diógenes Furlan, para que os alunos que integram a disciplina de compiladores, por ele ministrada, utilizem como base para a criação de um compilador. Algumas regras presentes nesta linguagem são apresentadas na figura 16.

As regras da linguagem D+ são responsáveis para verificar se as palavras encontradas no código escrito atendem a gramática e a sequência imposta sobre ela. A seguir são apresentados exemplos destas regras.

- Regra 4 : decl-const -> CONST ID = literal;

Para satisfazer essa regra o código deve possuir uma palavra "CONST" e em seguida encontrar um identificador (nome dado para declarações), após atender estes passos, é verificado se na sequência existe um símbolo de atribuição "=", caso sim, é chamado a regra literal.

- Regra 31: literal -> NUMINT | NUMREAL | CARACTERE | STRING | valor-verdade

Caso a regra literal seja atendida, encontrando um número inteiro, real, caractere, string ou um valor verdade, true ou false, é analisado se a próxima palavra é um ";", se sim, a gramática da linguagem foi aprovada, caso contrário, se qualquer uma das validações não forem atendidas, o código possui palavras ou sequências que não fazem parte da gramática D+. Isso é feito para todas as regras.

FIGURA 16 – Regras de gramáticas D+.

Declarações

1. programa \rightarrow lista-decl
2. lista-decl \rightarrow lista-decl decl | decl
3. decl \rightarrow decl-const | decl-var | decl-proc | decl-func
4. decl-const \rightarrow CONST ID = literal ;
5. decl-var \rightarrow VAR espec-tipo lista-var ;
6. espec-tipo \rightarrow INT | FLOAT | CHAR | BOOL | STRING
7. decl-proc \rightarrow SUB espec-tipo ID (params) bloco END-SUB
8. decl-func \rightarrow FUNCTION espec-tipo ID (params) bloco END-FUNCTION
9. params \rightarrow lista-param | ϵ
10. lista-param \rightarrow lista-param , param | param
11. param \rightarrow VAR espec-tipo lista-var BY mode
12. mode \rightarrow VALUE | REF

Comandos

13. bloco \rightarrow lista-com
14. lista-com \rightarrow comando lista-com | ϵ
15. comando \rightarrow cham-proc | com-atrib | com-selecao | com-repeticao | com-desvio |
com-leitura | com-escrita | decl-var | decl-const
16. com-atrib \rightarrow var = exp ;
17. com-selecao \rightarrow IF exp THEN bloco END-IF | IF exp THEN bloco ELSE bloco END-IF
18. com-repeticao \rightarrow WHILE exp DO bloco LOOP | DO bloco WHILE exp ; |
REPEAT bloco UNTIL exp ; | FOR ID = exp-soma TO exp-soma DO bloco NEXT
19. com-desvio \rightarrow RETURN exp ; | BREAK ; | CONTINUE ;
20. com-leitura \rightarrow SCAN (lista-var) ; | SCANLN (lista-var) ;
21. com-escrita \rightarrow PRINT (lista-exp) ; | PRINTLN (lista-exp) ;
22. cham-proc \rightarrow ID (args) ;

Expressões

23. lista-exp \rightarrow exp , lista-exp | exp
24. exp \rightarrow exp-soma op-relac exp-soma | exp-soma
25. op-relac \rightarrow <= | < | > | >= | == | <>
26. exp-soma \rightarrow exp-mult op-soma exp-soma | exp-mult
27. op-soma \rightarrow + | - | OR
28. exp-mult \rightarrow exp-mult op-mult exp-simples | exp-simples
29. op-mult \rightarrow * | / | DIV | MOD | AND
30. exp-simples \rightarrow (exp) | var | cham-func | literal | op-unario exp
31. literal \rightarrow NUMINT | NUMREAL | CARACTERE | STRING | valor-verdade
32. valor-verdade \rightarrow TRUE | FALSE
33. cham-func \rightarrow ID (args)
34. args \rightarrow lista-exp | ϵ
35. var \rightarrow ID | ID [exp-soma]
36. lista-var \rightarrow var , lista-var | var
37. op-unario \rightarrow + | - | NOT

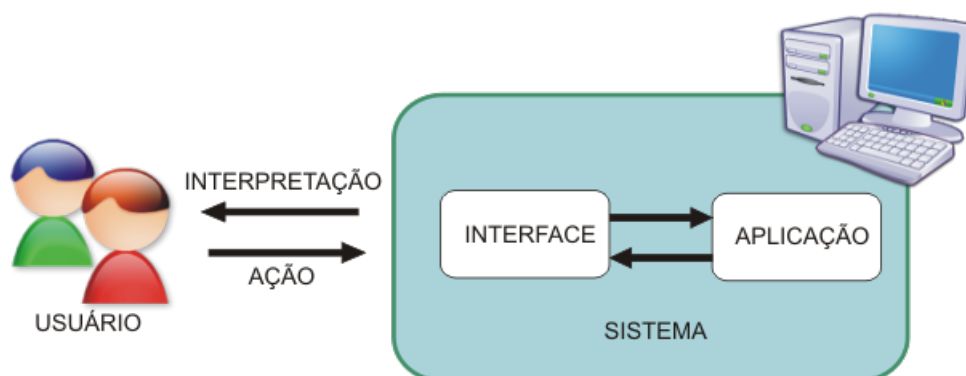
3 INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR(IHC)

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos primordiais da interface, os objetivos dela, história e os ganhos ofertados ao elaborá-la.

O surgimento do conceito da interface no princípio, era compreendido como o hardware e o software com que o homem poderia se comunicar (ROCHA, 2003). Toda a comunicação que teria entre um ser humano e uma máquina, abrangia este conceito, desde uma atividade mais simples como uma leitura em uma tela, a atividades mais complexas como desenvolvimento de um software. A evolução deste conceito levou a inclusão dos aspectos cognitivos e emocionais do usuário durante a comunicação (ROCHA, 2003).

Na figura 17 é ilustrado a comunicação entre uma pessoa e a máquina. O humano é representado pelo usuário, e as ações de comunicação são representadas pelas setas de interpretação e ação, a interface recebe as comunicações dos usuários e se comunica com a parte lógica do software, aplicação.

FIGURA 17 – Interação Humano Computador.



FONTE: (SANTOS., 2012).

A interface pode ser visualizada como um lugar onde ocorre o contato entre duas entidades, homem e máquina, um exemplo é a tela de um computador (ROCHA, 2003). Com este exemplo, pode-se estender a várias situações, como, maçanetas de porta, botões de elevadores, controle de uma televisão, um joystick de um jogo, etc.

Uma definição que englobaria estes casos, seria, que a interface é uma superfície de contato que possui propriedade que alteram o que é visto, ou sentido, e alterando o controle da interação (LAUREL, 1993). Uma interface é responsável por passar em tempo real o estado que se encontra o software, respondendo a cada interação do usuário, um exemplo para melhor compreensão é de um jogo de videogame, se o jogador aperta um botão, o personagem dele pode pular, abaixar ou movimentar-se.

IHC não possui uma definição estabelecida, mas a que mais a representa é,

uma disciplina preocupada com o design, avaliação e implementação de sistemas computacionais interativos para uso humano e com o estudo dos principais fenômenos ao redor deles (ROCHA, 2003). Na figura 18 é ilustrado esta definição.

FIGURA 18 – Interação Humano-computador Adaptada da Descrição do comitê SIG-CHI 1992.



FONTE: (ROCHA, 2003).

3.1 OS SEIS PRINCÍPIOS DE DESIGN

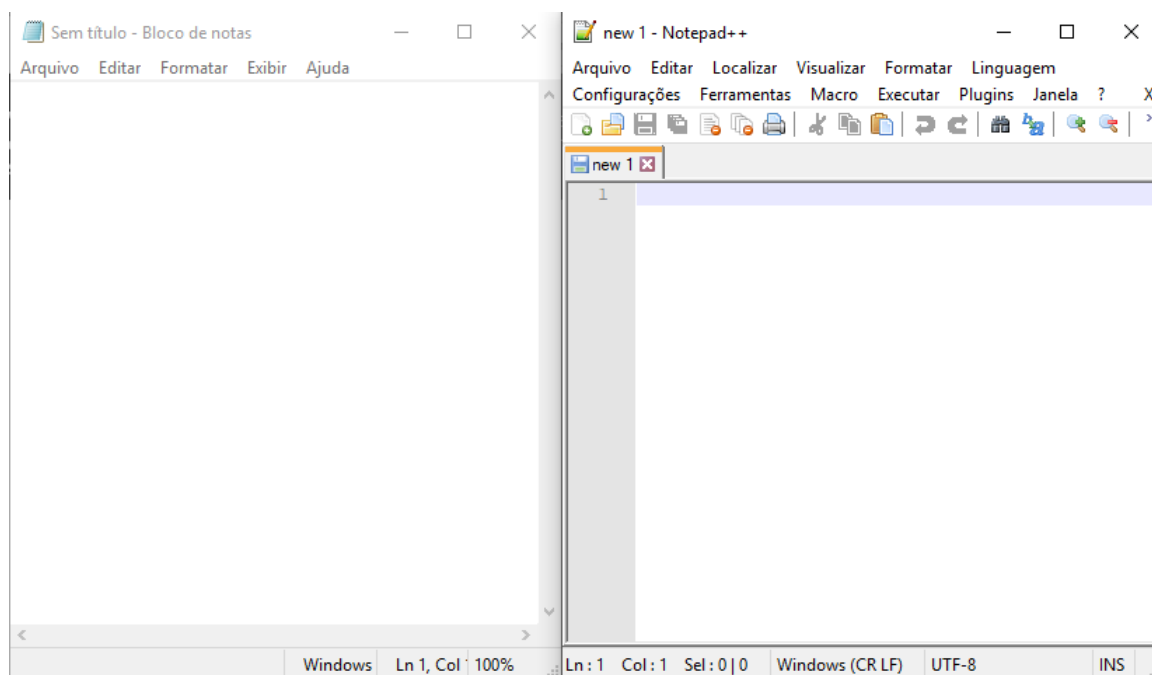
Para a construção e verificação de uma interface que satisfaça o usuário, pode-se seguir seis princípios, sendo eles: visibilidade, feedback, restrições, mapeamento, consistência e *affordance* (NORMAN, 2002).

3.1.1 Visibilidade

A visibilidade age como um bom lembrete, tornando fácil a compreensão das funcionalidades da interface (NORMAN, 2002). Estas funções devem estar visíveis, tornando a experiência do usuário mais fácil, do contrário tornam-se mais difíceis de achá-las e consequentemente entender como utilizá-las (AGNI, 2015). Um exemplo que pode ser ilustrado é a interface de um editor de texto, caso possua ícones na barra de tarefa para funcionalidades simples, como copiar e colar melhoraria a usabilidade do software, porém caso não possua, haveria usuários que não utilizariam estas funções por não terem conhecimento delas.

Na figura 19 é ilustrado o notepad a esquerda, o notepad++ a direita.

FIGURA 19 – Comparação do notepad e notepad++.



FONTE: O próprio autor.

3.1.2 Feedback

O feedback é dar ao usuário um retorno de informação sobre a ação ao qual ele efetuou, apresentando o resultado obtido (NORMAN, 2002). Existem várias categorias de feedback presentes nas interfaces, como áudio, tátil, visual ou a combinação destes (AGNI, 2015). Um exemplo que pode ser dado, é o desenho em um papel, o desenhista não conseguiria elaborar sua arte sem obter o feedback dos traços que ele fez.

3.1.3 Restrições

A restrição tem como objetivo facilitar o uso do objeto da maneira mais simples e compreensível para quem está usando, tentando minimizar os erros e impossibilitando sua utilização de outra forma (NORMAN, 2002). Um exemplo que pode ser dado é o conector de USB, não é possível conectá-lo de maneira errada, se a pessoa não conseguiu encaixá-lo, basta verificar a posição correta junto ao conector.

3.1.4 Mapeamento

O mapeamento é o relacionamento entre duas coisas, como os controles e seus movimentos, e os resultados dessa relação (NORMAN, 2002). Esta ligação entre os objetos pode ser explicada utilizando o exemplo da direção do carro. Quando o

volante do automóvel é girado para a direita, as rodas e o carro seguem mesma direção (NORMAN, 2002). Todas as interfaces possuem este comportamento, como um botão de play em um aplicativo que reproduz música, esta ação tem relação com o som reproduzido.

3.1.5 Consistência

A consistência tem como objetivo ter como apropriada palavra significa, um padrão (coerência), este princípio é responsável por ter operações similares com elementos parecidos para realizar as tarefas semelhantes (AGNI, 2015). Uma interface que segue esta regra, possui um padrão para todas as suas ações, botões com proporções iguais e cores da interface similares.

3.1.6 Affordance

O affordance refere-se ao significado real dos objetos, principalmente aos seus significados e utilidades fundamentais ao qual aquele objeto pode possuir (NORMAN, 2002). Não existe tradução literal desta palavra para o português, seu significado tem como um objeto que as pessoas saibam como usá-los por conta de sua simplicidade, sendo óbvio, podendo se utilizar de seu visual (AGNI, 2015). Um exemplo que pode ser apresentado, é do ícone de disquete, todo usuário de computador ao se deparar com este ícone associa ao comando de salvar.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

4.1 AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO VISUAL BASEADO EM COMPONENTES

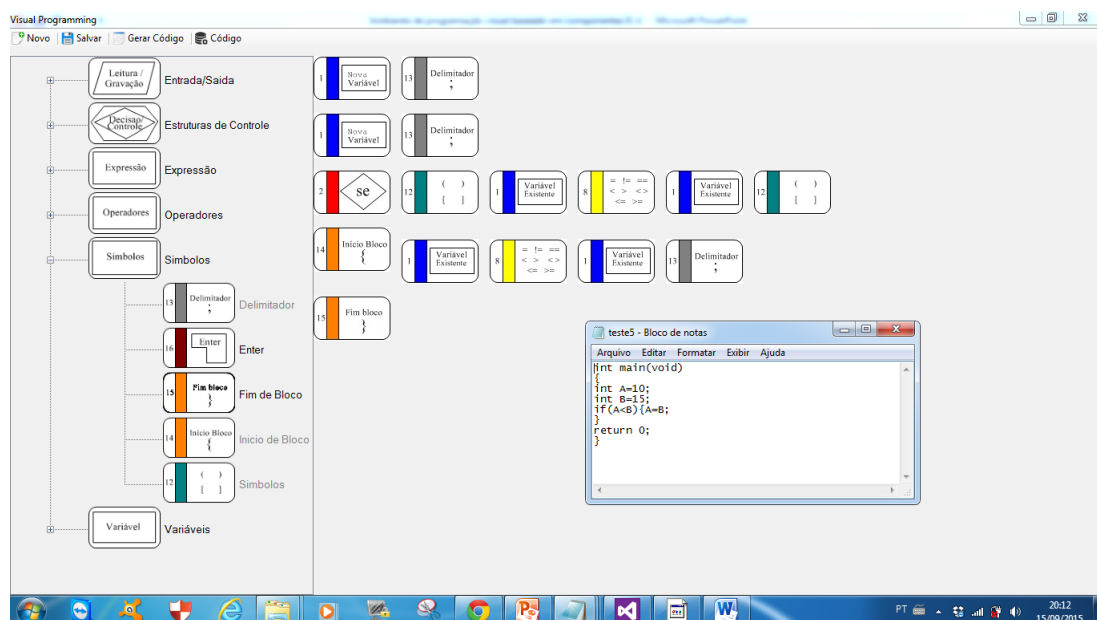
(BURIGO, 2015) apresenta um trabalho sobre a criação de um ambiente de desenvolvimento utilizando componentes vindos de fluxogramas, e transformando-os em código da linguagem C, para que auxilie pessoas que estão iniciando na área de programação, e também pessoas que já tem familiaridade na área, mas que não possuem conhecimento da linguagem ao qual o fluxo é convertido.

Neste trabalho foi utilizada a linguagem C#, fluxogramas e o banco de dados SQL Server. A linguagem C#, foi escolhida devido a sua facilidade em criar um ambiente gráfico e de sua administração com imagens como fluxograma.

A utilização de componentes baseados em fluxogramas auxilia no desenvolvimento de um ambiente de programação visual, possibilitando o usuário criar código através destes componentes.

A figura 20 ilustra a interface criada pelo trabalho, tendo no menu esquerdo as funções possíveis de utilização, e na aba da direita o resultado dos conjuntos escolhidos.

FIGURA 20 – Exemplo de fluxo com o código gerado.



FONTE: (BURIGO, 2015).

SQL Server é um gerenciador de dados. Nele foram armazenados os fluxogramas para facilitar o processo de alocação, controle e manipulação, armazenando no final o código de saída do fluxograma montado. (BURIGO, 2015).

Foram realizados experimentos com 50 alunos, porém apenas 20% responderam

o questionário proposto, e suas respostas informavam que o software chama a atenção para seu uso, porém não era mais simples o seu entendimento, obrigando o usuário a ter um conhecimento de lógica de programação maior do que o desejado, assim não atingindo seu objetivo.

4.2 SCC: UM COMPILADOR C COMO FERRAMENTA DE ENSINO DE COMPILADORES

(FOLEISS GUILHERME P. ASSUNÇÃO, 2009) apresenta um trabalho do desenvolvimento de um compilador que permite criar programas na linguagem C e serem executados com supervisão em tempo real. Estas supervisões funcionam com uma execução detalhada, passo a passo. Com este recurso tem-se um auxílio no aprendizado de compiladores, e suas etapas da geração do código.

Foram utilizadas a linguagem C e Assembly juntamente com a ferramenta SASM, que é um software que gera códigos objetos compatíveis com a arquitetura IA-32.

A maior parte do trabalho foi desenvolvido na linguagem C, porém algumas das rotinas básicas foram desenvolvidas em Assembly para melhorar o desempenho. Utilizando também o SASM, para testar a compatibilidade do compilador com esta ferramenta.

A figura 21 ilustra uma árvore de símbolos como saída de um código escrito para este compilador.

4.3 COMPILER BASIC DESIGN AND CONSTRUCTION

(JAIN NIDHI SEHRAWAT, 2014) apresenta um trabalho com sistema de compilação adaptativa, com o objetivo de fornecer uma documentação sobre o projeto e desenvolvimento do compilador, para auxiliar na compreensão do tema e criar técnicas eficazes para desenvolver.

Neste trabalho foi utilizada a linguagem Scheme para a implementação do compilador, e código de montagem (Assembly) como linguagem alvo. As técnicas implementadas foram análise léxica e análise sintática.

4.4 INTERPRETADOR/COMPILADOR PYTHON

(BASTOS, 2010) apresenta um trabalho sobre o funcionamento da arquitetura do Python, analisando os processos de análise léxica, sintática e a geração de código. Este artigo realiza uma abordagem sobre a estrutura da arquitetura, do interpretador, a gramática da linguagem e as características.

FIGURA 21 – Árvore de símbolos.

-----ÁRVORE DE SÍMBOLOS-----

```

-----
Escopo = global
  Símbolo: main
    Tipo: INT
    Flags: FUNÇÃO
  Símbolo: pot
    Tipo: INT
    Flags: FUNÇÃO
-----

Escopo = pot
  Símbolo: exp
    Tipo: INT
    Flags: PARÂMETRO
  Símbolo: base
    Tipo: INT
    Flags: PARÂMETRO
-----

Escopo = main
  Símbolo: a
    Tipo: INT
    Flags: VARIÁVEL
  Símbolo: b
    Tipo: INT
    Flags: VARIÁVEL
  Símbolo: argc
    Tipo: INT
    Flags: PARÂMETRO
  Símbolo: argv
    Tipo: VOID
    Flags: PARÂMETRO PONTEIRO(Prof = 2)

```

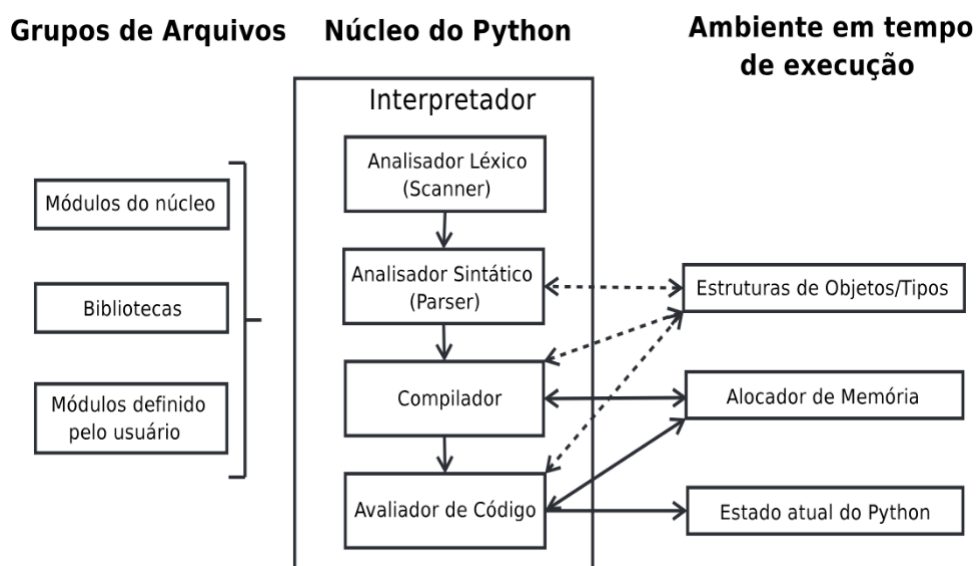
FONTE: (FOLEISS GUILHERME P. ASSUNÇÃO, 2009).

Neste artigo foi utilizada a linguagem Python, uma linguagem de programação interpretada interativa e orientada a objetos, junto com o seu interpretador.

Após os estudos foi verificado que o interpretador obteve uma implementação diferenciada dos demais nos processos de análise léxica e análise sintática. Foi observado também que o Python utiliza máquina virtual para executar os códigos intermediários(bytecodes).

A figura 22 ilustra a arquitetura Python, tendo no centro o interpretador, e nele os passos seguidos para a compilação do código.

FIGURA 22 – Interpretação da Arquitetura Python.



FONTE: (BASTOS, 2010).

4.5 COMPILER CONSTRUCTION

(SINGH SONAM SINHA, 2013) apresenta um artigo informando técnicas e exemplos, que facilitam a implementação de um compilador.

Neste artigo é apresentado exemplos das técnicas de análise léxica e análise semântica, também mostrando trechos de códigos para melhor compreensão.

Foi utilizado a linguagem Scheme para a construção do compilador, e a linguagem de montagem, código de máquina (Uma linguagem composta apenas de números na base binária), como linguagem alvo. Schema é uma linguagem que suporta programação funcional e procedural, facilitando assim a elaboração do compilador. O compilador criado utiliza de um gerenciamento de armazenamento do tipo pilha, essa estrutura tem a característica o manejo do último elemento a entrar nela, é o primeiro a sair.

QUADRO 2 – Comparação dos trabalhos relacionados.

Trabalho	Método	Gera uma saída	Ferramentas utilizaas	Linguagens utilizadas
Trabalho 1	Componentes de fluxogramas; Administração de Imagens.	Código na linguagem C.	SQL Server; Fluxogramas.	C#; SQL
Trabalho 2	Análise sintática recursiva descendente	Árvore sintática; Árvore de Símbolos.	SASM.	C; Assembly
Trabalho 3	Análise Léxica; Análise Sintática.	Código de Montagem (Assembly).	-	Scheme; Assembly.
Trabalho 4	Análise Léxica; Análise Sintática.	-	Interpretador Python.	Python.
Trabalho 5	Análise Léxica; Análise Sintática.	Código de Máquina.	-	Scheme.

FONTE: próprio autor.

5 METODOLOGIA

Neste capítulo são informados quais os métodos e ferramentas que foram utilizados para desenvolver o interpretador e a interface, a forma de abordagem para a coleta de dados, o cenário e os indivíduos participantes.

A metodologia seguida para se obter dados sobre a utilização e a funcionalidades para os alunos e para o professor da matéria de compiladores, é a utilização de um questionário elaborado para ser respondido após o uso do software, este questionário está no apêndice. As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do interpretador, foram: linguagem de programação C++, QT Creator, JFLAP, e as metodologias de criação de um compilador, Análise Léxica, Análise Sintática e tabela de símbolos.

5.1 LINGUAGEM C++

A linguagem utilizada para o desenvolvimento deste software é C++, que é a predominante no programa QT Creator, e por se diferenciar pouco da linguagem C, a base no ensino no curso de ciências da computação. Esta linguagem também possui bibliotecas que auxiliam no desenvolvimento, como o regex, que é utilizado neste trabalho para tratar expressões regulares e assim tornar o código melhor escrito sem necessidade de repetição de regra.

Na figura 23 é ilustrado a função descrita acima, nela é chamada a função `regex_match`, esta função verifica se a letra passada, a variável `line[aux]`, faz parte da gramática enviada junto, `regex("[a-zA-Z_]")`.

FIGURA 23 – Função do código de validação de caractere.

```
625  bool characterValidationFirst() {  
626      return (regex_match(string(1, line[aux]), regex("[a-zA-Z_]")));  
627  }
```

FONTE: O próprio autor.

5.2 QT CREATOR

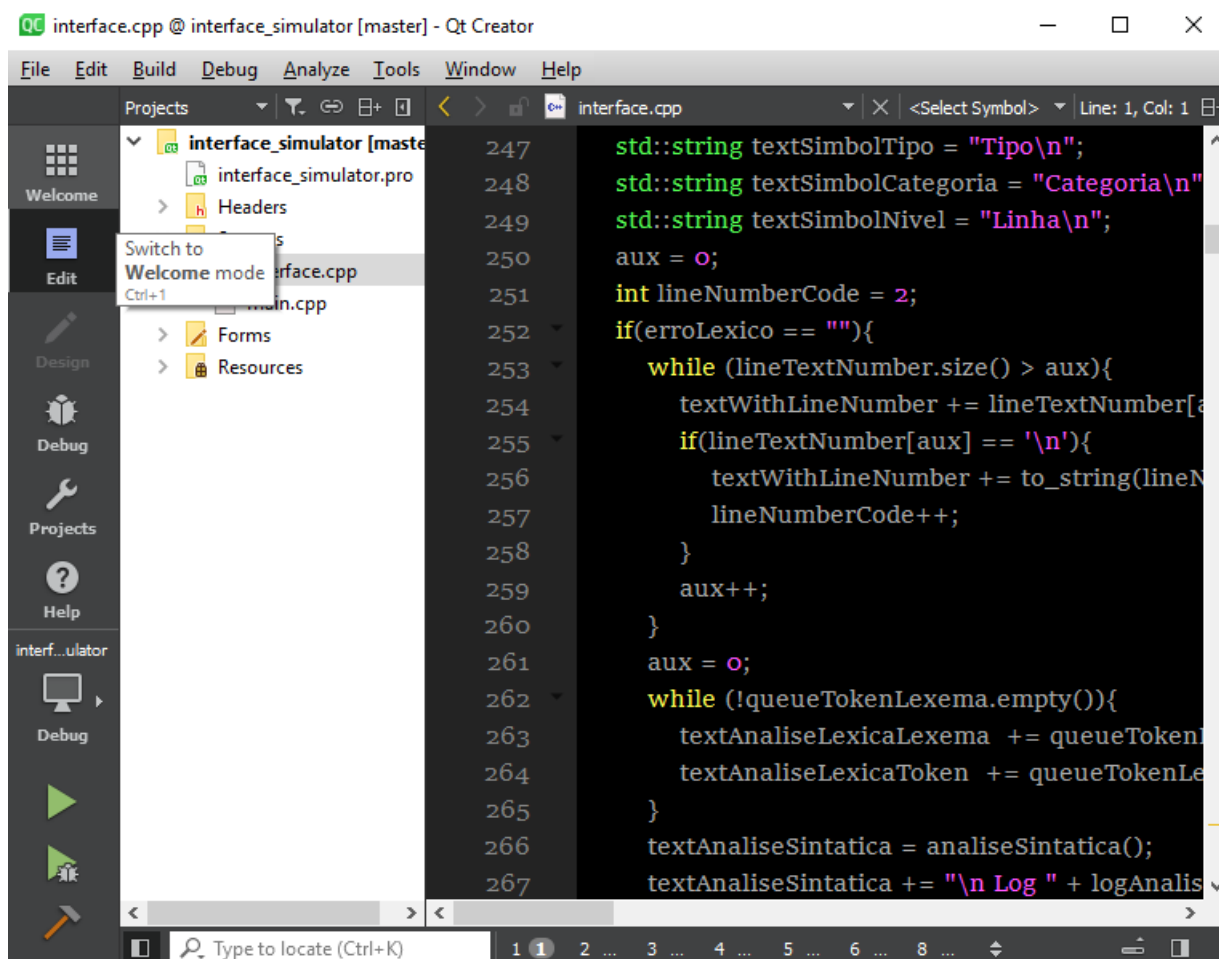
QT Creator é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), criado pela empresa norueguesa Trolltech, que visa facilitar e ajudar no desenvolvimento de softwares, permitindo criar sistemas para plataformas múltiplas. A versão utilizada é a 5.13.1, com o compilador MinGW 7.3.0 32 bits.

A principal razão da escolha desta IDE foi a facilidade de desenvolvimento, devido a possuir um compilador integrado, uma depuração excelente que possibilita que o desenvolvedor encontre o erro no código produzido, e o corrija rapidamente,

além de ter familiaridade com este framework por já tê-lo utilizado em trabalhos da universidade.

Na figura 24 é ilustrado a interface do Qt Creator, e as opções de funcionalidades no lado esquerdo, sendo o ícone de triângulo deitado verde a função de compilação e o ícone de triângulo verde junto a um inseto o de depuração.

FIGURA 24 – Interface de código do Qt Creator.



FONTE: O próprio autor.

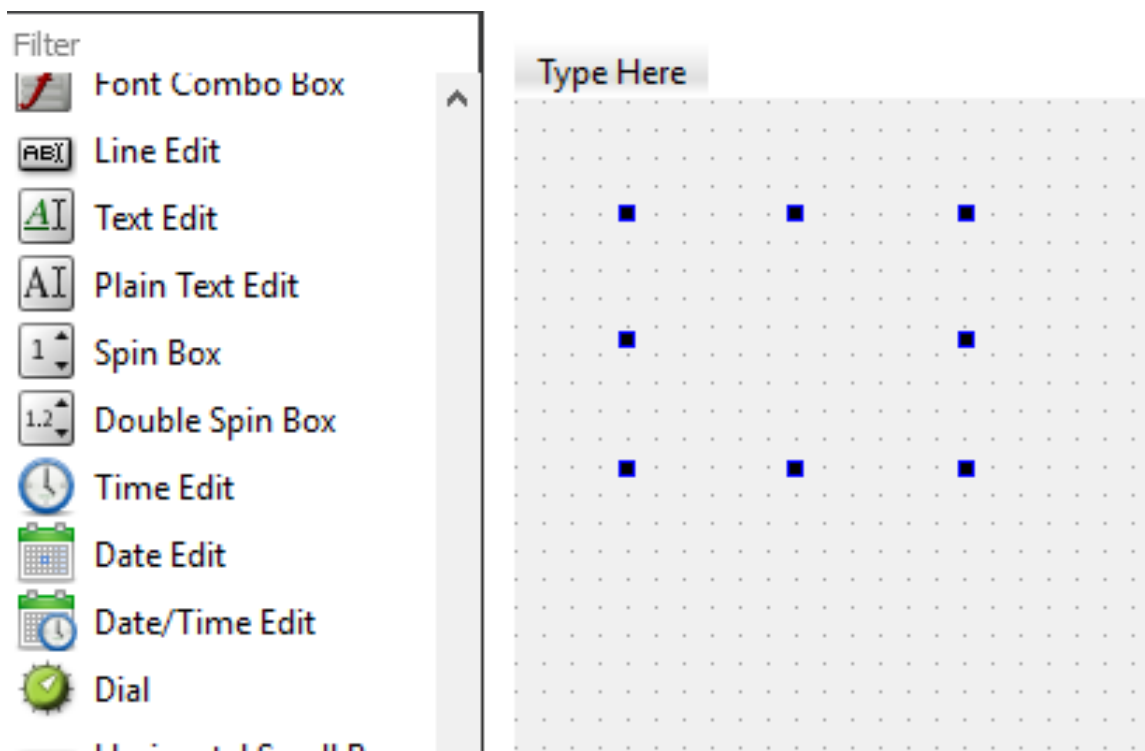
Este software permite elaborar a interface com componentes básicos prontos, necessitando apenas configurá-los, assim centralizando tanto a Back-End (parte lógica do software) como o Front-End (interface).

RESOLVERNa figura 25 é ilustrado a interface do Qt Creator para a criação de interfaces, no lado esquerdo se encontra componentes já criados, sendo necessários apenas selecioná-los e configurá-los.

5.3 JFLAP

JFLAP é um software gratuito educacional desenvolvido na linguagem JAVA por Susan H. Rodger, o principal uso deste framework é na criação de autômatos finitos

FIGURA 25 – Interface de design do Qt Creator.

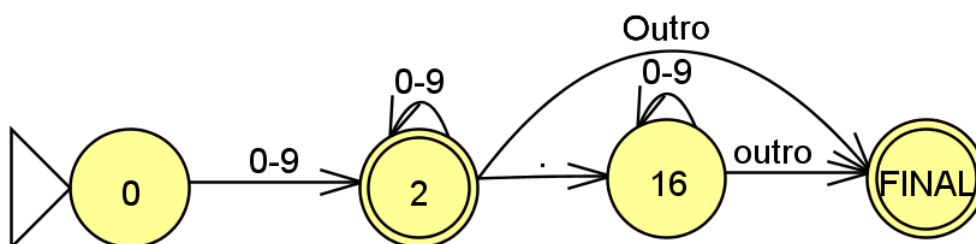


FONTE: O próprio autor.

não determinísticos, máquinas de Turing e vários tipos de gramática (RODGER, 2005).

Este software foi utilizado para criar todos os autômatos da linguagem D+, utilizados para ilustrar na interface do interpretador por onde o código passou. Na figura 26 é ilustrado um autômato criado no JFLAP, ele é apresentado na interface desenvolvida quando aquele caminho de autômato é acessado pela análise léxica.

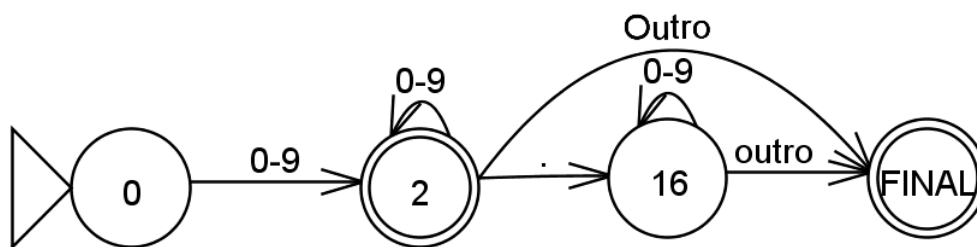
FIGURA 26 – Autômato do estado 2 ativo.



FONTE: O próprio autor.

Na figura 27 é ilustrado um autômato que não foi acessado na análise léxica.

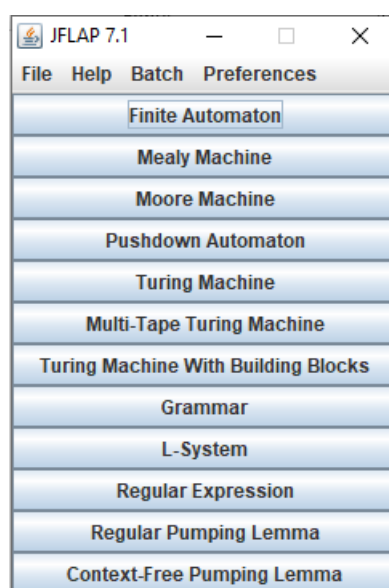
FIGURA 27 – Autômato do estado 2 desativado.



FONTE: O próprio autor.

Na figura 28 são ilustradas as opções que o software oferece ao o usuário, desde autômato finito, gramáticas, máquina de Turing entre outros. Neste trabalho foi utilizado apenas a funcionalidade de autômato finito.

FIGURA 28 – Menu JFLAP.



FONTE: O próprio autor.

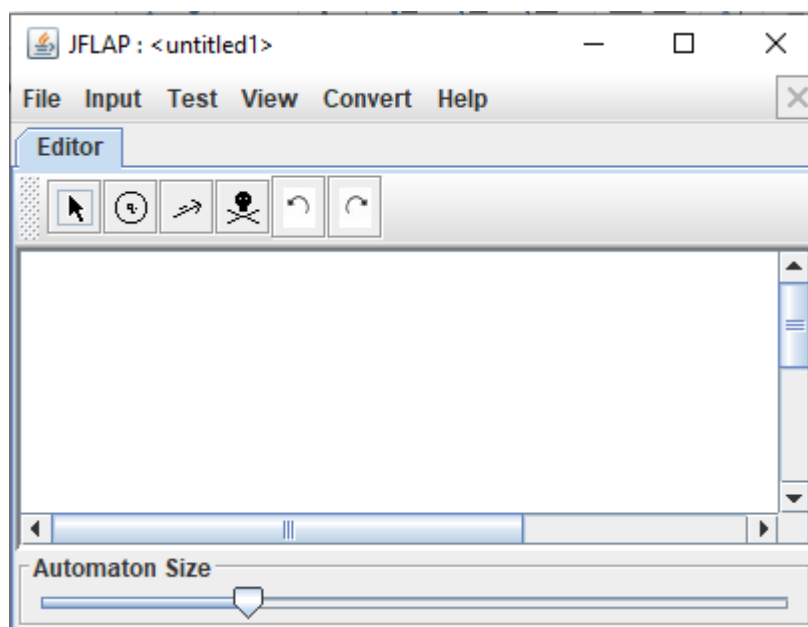
Na figura 29 é ilustrada a janela que a framework abre para a criação dos autômatos.

5.4 AUTÔMATOS

A construção dos autômatos da linguagem D+ foram feitos para facilitar no desenvolvimento da análise léxica e posteriormente para a ilustração do percurso do código escrito. Foi desenvolvido uma função para cada estado do autômato.

Foram criado um total de 20 autômatos, exportados como arquivo de imagem .PNG para utilizá-los na interface, e assim ilustrar para quem estiver utilizando o interpretador.

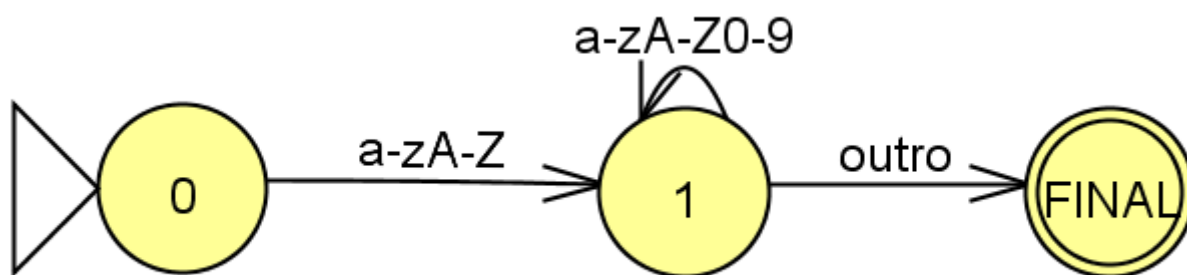
FIGURA 29 – Janela de criação de autômatos.



FONTE: O próprio autor.

Na figura 30 é ilustrado um autômato criado na ferramenta JFLAP. Ele demonstra o caminho de validação de um identificador ou palavra reservada, onde sua gramática permite letras de A à Z tanto minúsculas quanto maiúscula.

FIGURA 30 – Autômato de validação de caractere.



FONTE: O próprio autor.

5.5 ESTRUTURAS ADOTADAS NO DESENVOLVIMENTO

Nesta sessão são tratadas as estruturas utilizadas para o desenvolvimento da lógica da compilação, programação estruturada, Análise léxica, Análise Sintática, e tabela de símbolos.

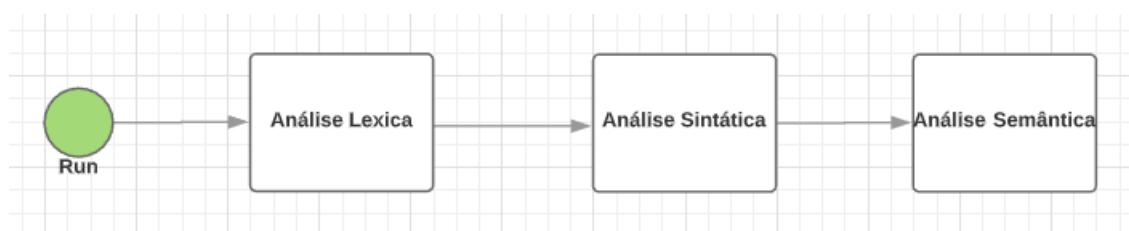
5.5.1 Programação Estruturada

A estrutura de programação estruturada foi a escolhida no desenvolvimento do software, por conta de ser a base ensinada no curso de ciências da computação, e com isso ter maior familiaridade com esta estrutura.

A programação estruturada tem como base três mecanismos em que os blocos de códigos se interligam, os mecanismos são: sequência, seleção e iteração(RICARTE, 2003).

A sequência é o fluxo que o código toma de acordo com a ação(RICARTE, 2003), um exemplo é o fluxo que o interpretador desenvolvido toma quando é clicado no botão de Run, ele carrega o código inserido, efetua a análise léxica em seguida a análise sintática e por fim a análise semântica. Na figura 31 é ilustrado um exemplo de sequência.

FIGURA 31 – Fluxo de sequência.



FONTE: O próprio autor.

A seleção é a verificação do caminho que será tomado com uma verificação do comando IF(RICARTE, 2003), um exemplo encontrado no código, é uma verificação que se faz antes de iniciar a análise sintática, caso haja um erro na análise léxica, ele não prossegue para a análise sintática. Na figura 32 é ilustrado o exemplo de seleção.

FIGURA 32 – Exemplo de seleção.

```

252  if(erroLexico == ""){
253      while (lineTextNumber.size() > aux){
254          textWithLineNumber += lineTextNumber[aux];
255          if(lineTextNumber[aux] == '\n'){
256              textWithLineNumber += to_string(lineNumberCode) + ". ";
257              lineNumberCode++;
258          }
259          aux++;
260      }
261      aux = 0;
262      while (!queueTokenLexema.empty()){
263          textAnaliseLexicaLexema += queueTokenLexema.dequeue() + "\n";
264          textAnaliseLexicaToken += queueTokenLexema.dequeue() + "\n";
265      }
  
```

FONTE: O próprio autor.

A iteração é o mecanismo de repetição, enquanto uma condição for atendida ela é executada (RICARTE, 2003), um exemplo encontrado no código é na função state01, nesta função existe uma estrutura de repetição, while, em que é verificado se a letra de uma variável satisfaz a uma regra, caso sim, refaz os passos contidos dentro desta estrutura, ao contrário segue o código abaixo dela. Na figura 33 é ilustrado um exemplo de iteração.

FIGURA 33 – Exemplo de iteração usando o comando while.

```

765 void state01(){
766     while(caracterValidation()){
767         lexema += line[aux];
768         nextChar();
769     }
770     if(automato1 == false) automato1 = true;
771     reservWorks();
772     queueValue();
773     clear();
774     state = 0;
775 }

```

FONTE: O próprio autor.

O projeto está organizado de acordo com 4 diretórios, headers, sources, forms e resources.

O diretório headers contém todos os arquivos .h produzidos no desenvolvimento, neles estão as declarações de variáveis, constantes e declarações de funções, estes arquivos estão organizados de acordo com suas respectivas análises, o arquivo analex.h contém as funções da análise léxica, o arquivo anasin.h contém as funções da análise sintática, anasem.h contém as funções de análise semântica e o arquivo interface.h contém as funções da interface.

O diretório sources contém os arquivos .cpp, nela são encontradas todas as implementações da lógica do framework, o arquivo main.cpp é o que inicializa o software e o arquivo interface.cpp é onde está a implementação das análises.

O diretório forms contém o arquivo interface.ui, este arquivo abrange todo o código da interface criada para o interpretador.

O diretório resources guarda todas as imagens utilizadas no software, sendo elas os ícones e os autômatos.

5.5.2 Análise Léxica

Para o desenvolvimento da análise léxica, foram utilizados os autômatos criados, em apêndice, como guias, o autômato do estado 0 é o que seleciona o caminho que aquele caractere irá percorrer, o mesmo é feito na função state00, ao encontrar o caminho é atribuído um valor para a variável state sendo o valor o número do próximo estado, e assim prossegue para o estado subsequente.

Na figura 34 é ilustrado um trecho da função state00, nela é verificado a letra que o programa está analisando, caso faça parte da gramática, é direcionada para o caminho correto, do contrário é retornado erro.

FIGURA 34 – Função state00.

```

693   if (line[aux] == '\0' || line[aux] == ' '){
694       nextChar();
695       clear();
696       return;
697   }
698   switch (line[aux]) {
699       case '(':
700         state = 3;
701         break;
702       case ')':
703         state = 4;
704         break;
705       case '>':
706         state = 5;
707         break;

```

FONTE: O próprio autor.

A função reservWorks contém a lógica para verificar se aquele lexema formado é uma palavra reservada, a função possui um laço de repetição, em que percorre uma matriz criada que contém todas as palavras reservadas da linguagem D+, caso seja igual a alguma delas, é atribuído o token da palavra reservada, do contrário o token é atribuído como identificador. Na figura 35 é ilustrado a função reservWorks.

Após a análise obter os valores de lexema e token, é chamada a função queueValue, que atribui os valores do lexema e token em uma estrutura de fila, a fila é utilizada para passar estes valores para uma string que é utilizada para ilustrar em um campo text na interface do software, na figura 36 é ilustrada a saída desta string na aba Análise léxica.

Para identificar por qual autômato o código passou são utilizadas variáveis

FIGURA 35 – Função reservWorks.

```

607 void reservWorks () {
608     lexemaMaiusculo();
609     int i = 0;
610     for (i = 0; i < 45; i++) {
611         if (lexema == tableReservWorks[i][0]){
612             token = tableReservWorks[i][1];
613             return;
614         }
615     }
616     token = "IDENTIFICADOR";
617 }

```

FONTE: O próprio autor.

globais booleanas, em que ao acessar um estado essas funções criadas como state01, state02, são atribuídos true para a variável correspondente aquele estado, como a variável automato1. No fim de toda compilação é selecionada a imagem de todos os autômatos para as labels da interface, caso aquela variável do autômato seja true ele

FIGURA 36 – Saída da análise léxica.

Análise Léxica / Análise Sintática / Tabela de Símbolos	
Lexema	Token
ID_VARIABLE	VAR
ID_INTEGER	INT
IDENTIFICADOR	A
SIGNAL_COMMA	,
IDENTIFICADOR	B
SIGNAL_SEMICOLON	;
ID_CONST	CONST
IDENTIFICADOR	C
OPERATOR_ATRIBUT	=
NUMREAL	93.5
SIGNAL_SEMICOLON	;
ID_SUB	SUB
ID_FLOAT	FLOAT
IDENTIFICADOR	SOMA
ID_BRACKETRIGHT	(
ID_BRACKETLEFT)
IDENTIFICADOR	A
OPERATOR_ATRIBUT	=
NUMINT	5
OPERATOR_PLUS	+
NUMINT	6
SIGNAL_SEMICOLON	;
ID_ENDSUB	END-SUB
ID_FUNCTION	FUNCTION
ID_BOOLEAN	BOOL
IDENTIFICADOR	TESTE
ID_BRACKETRIGHT	(
ID_BRACKETLEFT)
ID_RETURN	RETURN

FONTE: O próprio autor.

troca a imagem preto e branco para a colorida.

Na figura 37 é ilustrado o trecho do código que valida se o que será carregado é o autômato colorido ou o preto e branco.

FIGURA 37 – Verificação do autômato a ser carregado.

```

308     if(automato1){
309         QPixmap automatoState1(":/automatos/state1.png");
310         ui->automato1->setPixmap(automatoState1.scaled(480,150));
311     }else{
312         QPixmap automatoState1(":/automatos/stateDisabled1.png");
313         ui->automato1->setPixmap(automatoState1.scaled(480,150));
314     }

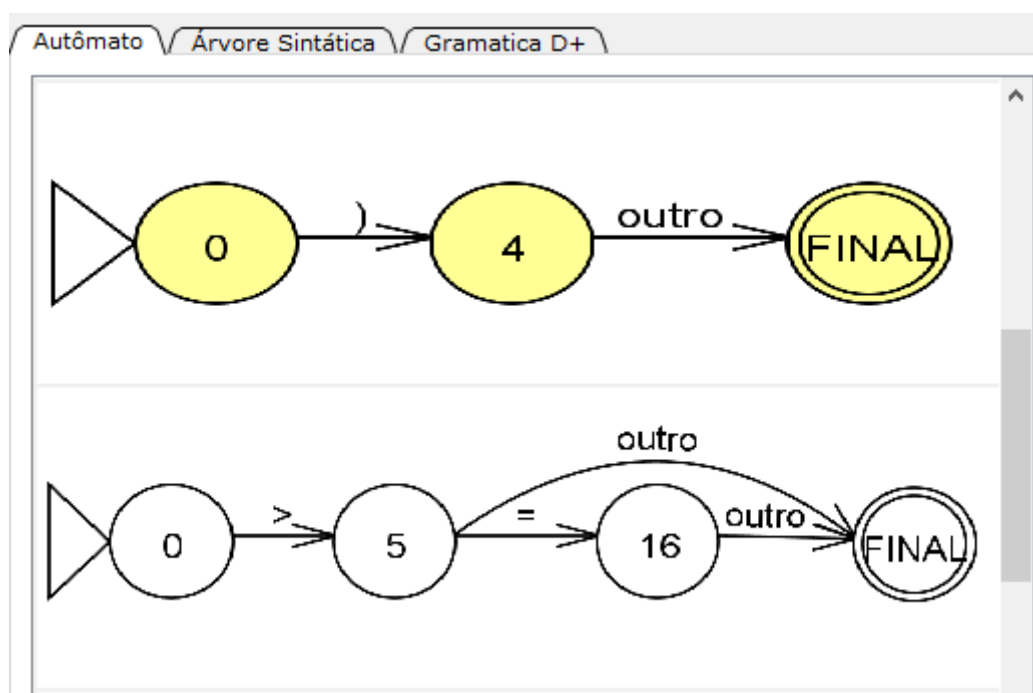
```

FONTE: O próprio autor.

Após validar quais variáveis dos autômatos são true, e atribuir a imagem correta, a interface é carregada.

Na figura 38 é ilustrado os dois casos, um autômato em preto e branco, quando não é acessado e outro colorido, quando é acessado.

FIGURA 38 – Interface com os autômatos.



FONTE: O próprio autor.

5.5.3 Análise Sintática

Para o desenvolvimento da análise sintática, foi utilizado a criação de uma matriz que armazena todos os tokens e lexemas encontrados após a análise léxica, esta matriz é utilizada para verificar a sequencia de tokens, e validá-los se estão na ordem correta.

Após finalizar a análise léxica o software chama em sequência a rotina para a análise sintática, ela inicia a verificação na posição 0 da matriz tokensLexemasTable, e percorre-a validando junto das regras da gramática.

Nos quadros 3, 4 e 5 são ilustradas as funções criadas referentes a cada regra, seguindo uma lógica para verificar se o próximo elemento da matriz corresponde com o elemento esperado.

QUADRO 3 – Declarações.

Regra	Função
programa -> lista-decl	P()
lista-decl -> lista-decl decl decll	LD()
decl -> decl-const decl-var decl-proc decl-func decl-main	D()
decl-const -> CONST ID = literal ;	DC()
decl-var -> VAR espec-tipo lista-var ;	DV()
espec-tipo -> INT FLOAT CHAR BOOL STRING	ET()
decl-proc -> SUB espec-tipo ID (params) bloco END-SUB	DP()
decl-func -> FUNCTION espec-tipo ID (params) bloco END-FUNCTION	DF()
decl-main -> MAIN () bloco END	DM()
params -> lista-param Épsilon	PR()
lista-param -> lista-param , param param	LP()
param -> VAR espec-tipo lista-var BY mode	PM()
mode -> VALUE REF	M()

FONTE: próprio autor.

Todas as funções criadas para satisfazer as regras da gramática possuem uma operação de incremento na variável chamada tamanho, esta variável global tem como função ser o index da matriz que contém todos os lexemas e tokens, tokensLexemasTable, com isto obtém a localização que se encontra o percurso tomado dentro da matriz, o valor daquela posição é comparado com o token esperado na regra que a análise se encontra, caso seja igual é seguido o caminho até finalizar a regra, do contrário é retornado erro.

A figura 39 ilustra a função DV que corresponde a regra decl-var, nela é efetuada uma chamada para função ET e em seguida a função LV, após estas chamadas ocorrerem e não retornarem erro, ele valida se possui o lexema de (;), caso possua,

QUADRO 4 – Comandos.

Regra	Função
bloco -> lista-com	B()
lista-com -> comando lista-com Épsilon	LC()
comando -> cham-proc com-atrib com-selecao com-repeticao com-desvio com-leitura com-escrita decl-var decl-const	C()
com-atrib -> var = exp ;	CA()
com-selecao -> IF exp THEN bloco END-IF IF exp THEN bloco ELSE bloco END-IF	CS()
com-repeticao -> WHILE exp DO bloco LOOP DO bloco AS exp ; REPEAT bloco UNTIL exp ; FOR ID = exp-soma TO exp-soma DO bloco NEXT	CR()
com-desvio -> RETURN exp ; BREAK ; CONTINUE ;	CD()
com-leitura -> SCAN (lista-var) ; SCANLN (lista-var) ;	CL()
com-escrita -> PRINT (lista-exp) ; PRINTLN (lista-exp) ;	CE()
cham-proc -> ID (args) ;	CP()

FONTE: próprio autor.

e retornado uma mensagem de sucesso ao log, ao contrário retorna a mensagem de erro, a variável keySintatico funciona como uma chave, sempre que é encontrado um erro no código, é atribuído o valor 1, assim o software para de efetuar a análise sintática, por já ter encontrado erro.

FIGURA 39 – Função DV.

```

1325 void DV(){
1326     gramatica5 = true;
1327     ET();
1328     if(keySintatico == 1) return;
1329     LV();
1330     if(testValue("SIGNAL_SEMICOLON")){
1331         treeSintatico();
1332         logAnaliseSintatica += "\n Sucesso no VAR(S) : " + tokensLexemasTable[tamanho-1][0];
1333     }else{
1334         logAnaliseSintatica += "\nErro: Erro na declaração de VAR, faltando ( ; )!";
1335         keySintatico = 1;
1336     }
1337 }

```

FONTE: O próprio autor.

No processo de desenvolvimento desta análise, foi identificado um problema na

QUADRO 5 – Expressões.

Regra	Função
lista-exp -> exp , lista-exp exp	LE()
exp -> exp-soma op-relac exp-soma exp-soma	EXP()
op-relac -> <= < > >= == <>	OR()
exp-soma -> exp-mult op-soma exp-soma exp-mult	EXPS()
op-soma -> + - OR	OS()
exp-mult -> exp-mult op-mult exp-simples exp-simples	EXPM()
op-mult -> * / DIV MOD AND	OM()
exp-simples -> (exp) var cham-func literal op-unario exp	EXPSP()
literal -> NUMINT NUMREAL CARACTERE STRING valor-verdade	L()
valor-verdade -> TRUE FALSE	VV()
cham-func -> ID (args)	CF()
args -> lista-exp Épsilon	AR()
var -> ID ID [exp-soma]	VAR()
lista-var -> var , lista-var var	LV()
op-unario -> + - NOT	OU()

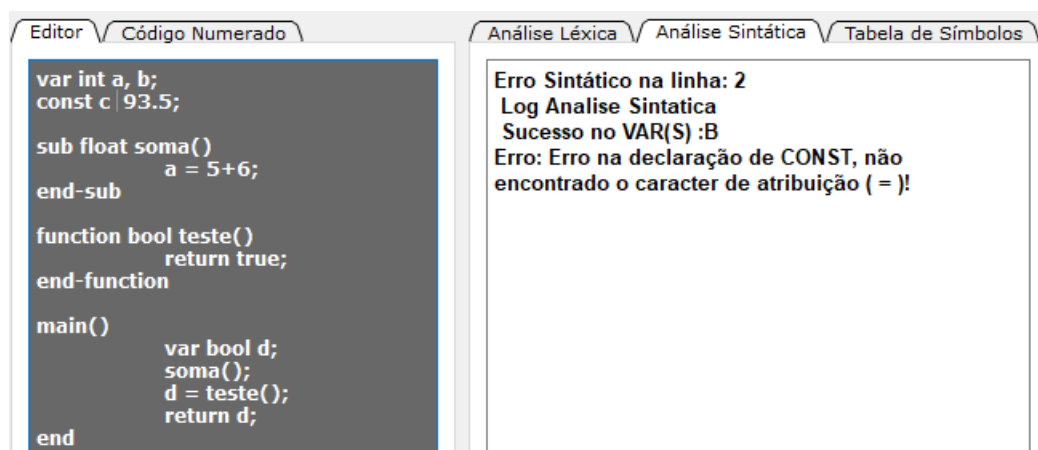
FONTE: próprio autor.

gramática, o comando “ DO B WHILE exp ; ”, da forma que foi desenvolvido a lógica impossibilitava este comando, a implementação seguia o conceito de recursividade, onde uma função é chamada por ela mesma, seguindo este conceito caso existisse no código um comando de bloco, o software chamava novamente a função LV e assim abria opções para chamar novamente comandos de repetição, porem todos as regras que possui o bloco também possuem um token de saída do bloco, como “WHILE exp B LOOP”, o token loop informa que o bloco acabou, mas no comando “ DO B WHILE exp ; ” era confundido como um novo comando de repetição do WHILE, por conta de não conseguir sair do bloco, e não distinguir se o token atual era um token de saída, a palavra desta regra foi alterada para AS, resolvendo a questão.

Após finalizar a análise sintática é exibido na interface um log do percurso tomado, apresentando uma mensagem de sucesso ou erro, e em seguida mensagens de quais regras foram validadas e em qual regra o interpretador encontrou o erro. Na mensagem de erro é apresentado qual foi o erro encontrado, como a falta de um (;) ou de uma palavra reservada como END, e o número da linha que ocorreu o erro.

Na figura 40 é ilustrado a saída da interpretação de um código, é apresentado uma mensagem de sucesso na regra de VAR na linha 1, porém em seguida informado um erro na linha dois e a causa do erro.

FIGURA 40 – Log análise sintática.



FONTE: O próprio autor.

5.5.4 Árvore Sintática

Para a criação da árvore sintática é utilizado o caractere “\t” que implementa um espaçamento fixo. Este espaçamento é utilizado para alinhar os terminais que fazem parte daquele nível da árvore. Sabendo a quantidade de espaçamento que deve possuir cada impressão na árvore para se obter o efeito de ramo é utilizado uma variável global chamada NIVEL.

Todas as funções implementadas na análise sintática incrementam a variável NIVEL, e adicionam uma string da regra que a função corresponde na variável global treeTerminal. Após estes processos é chamada uma função treeSintatica. Este método forma árvore.

Na figura 41 é ilustrada a função treeSintatica, esta função possui uma estrutura de repetição while, que incrementa o caractere “\t” o número de vezes que a variável NIVEL possui como valor. Esta parte da função implementa a estrutura da árvore. Após este passo, é atribuído o caractere “|” para servir como referência a qual palavra pertence ao ramo pai, por fim é atribuído o token a árvore, caso a variável treeTerminal for diferente de vazia, é adicionado aquilo que esta variável possui, do contrário é adicionado o lexema daquela posição.

Na figura 42 é ilustrado a saída da árvore de um código que efetua uma declaração de var, nela é possível ver quais regras foram utilizadas na montagem.

FIGURA 41 – Função treeSintatico.

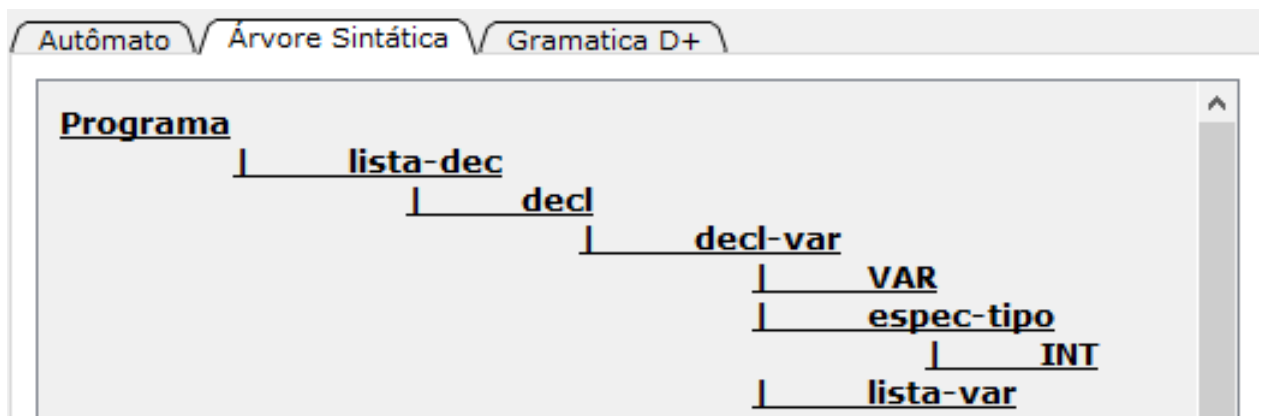
```

1159 void treeSintatico(){
1160     int i = 0;
1161     while(i < nivel){
1162         tree += "\t";
1163         i++;
1164         if(i == nivel){
1165             tree += "|      ";
1166         }
1167     }
1168     if(treeTerminal == ""){
1169         tree += tokensLexemasTable[tamanho][0] + "\n";
1170     }else{
1171         tree += treeTerminal + "\n";
1172         treeTerminal = "";
1173     }
1174 }

```

FONTE: O próprio autor.

FIGURA 42 – Árvore Sintática montada.



FONTE: O próprio autor.

5.5.5 Gramática

A gramática completa é apresentada na interface para que facilite no entendimento da linguagem, assim pode ser usado como consulta ou para retirar dúvidas de uma regra específica.

Após compilar o código inserido na interface é adicionado na aba da gramática as regras que abrange o código escrito. Para desenvolver este comportamento é utilizado uma variável global, similar ao dos autômatos, descrita no capítulo de análise léxica. Quando na análise sintática aquela regra específica é acessada, a variável

global correspondente a regra, atribuída como false, é modificada para true. Após finalizar o processo da análise sintática, é verificado quais variáveis de cada regra possuem o valor true, os que possuem, é adicionado a regra na string que é passada para a interface da aba da gramática.

Na figura 43 é ilustrada a saída da aba gramática, as de cor verde são as regras utilizadas no código inserido no interpretador.

FIGURA 43 – Gramática utilizada.

```
36. var -> ID | ID [ exp-soma ]
37. lista-var -> var , lista-var | var
38. op-unario -> + | - | NOT
```

Regras Utilizadas

```
1. programa -> lista-decl
2. lista-decl -> lista-decl decl | decl -> lista-decl
3. decl -> decl-const | decl-var | decl-proc | decl-func | decl-main
```

FONTE: O próprio autor.

5.5.6 Tabela de Símbolos

A tabela de símbolos tem como objetivo mostrar para o usuário do programa, os identificadores localizados pelo interpretador e trazer informações que auxiliem na compreensão de declaração de variáveis, constantes, procedures e funções.

A criação da tabela de símbolos é feita na análise léxica, nela a função de atribuição `queueValue`, possui uma validação em que, se o token obtido for um IDENTIFICADOR e antes dele ter um token de CONST, VAR, SUB ou FUNCTION, este token e lexema é incrementado em uma matriz chamada `simbolTable`. Após finalizar o processo de análise léxica e análise sintática, são retirados os valores nela obtidos para ilustrar a tabela de símbolos.

Na figura 44 é ilustrado a tabela de símbolos presente na interface após efetuar todo o processo.

FIGURA 44 – Tabela de Símbolos.

Análise Léxica / Análise Sintática / Tabela de Símbolos				
#	Nome	Tipo	Categoria	Linha
0	A	INT	VARIAVEL	1
1	C	CONST	CONSTANTE	2
2	SOMA	FLOAT	PROCEDURE	4
3	TESTE	BOOL	FUNÇÃO	8
4	D	BOOL	VARIAVEL	13

FONTE: O próprio autor.

5.5.7 Análise Semântica

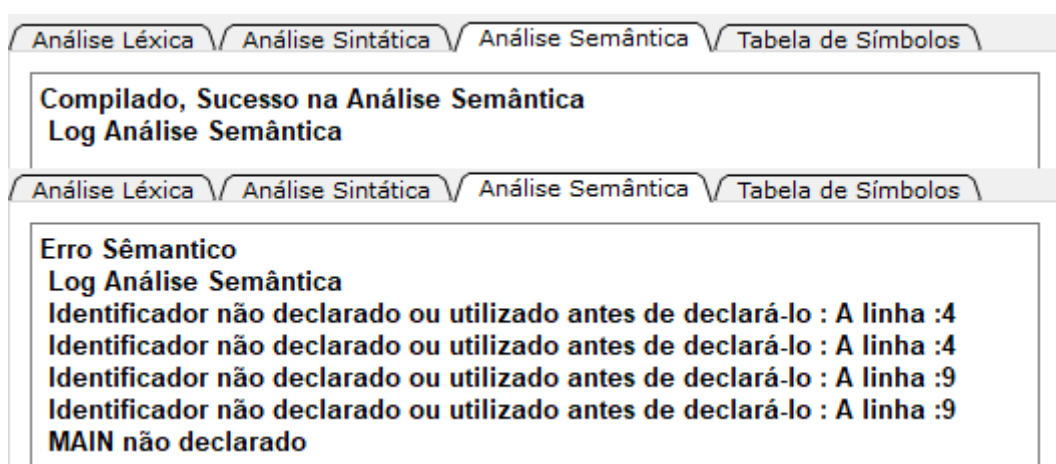
Para a implementação da análise semântica foi utilizado como base a tabela de símbolos e a matriz criada dos lexemas e tokens. A análise semântica efetua uma validação que percorre a matriz procurando identificadores ou o lexema MAIN. Caso encontre o lexema MAIN, é somado + 1 em uma variável, esta variável é verificada no final da análise, se ela tiver 0, é retornado que não foi declarado MAIN, caso seja maior que 1, é retornado que existem múltiplas declarações do MAIN.

Se a validação encontrar um identificador, é efetuada uma chamada da função “validaDeclalIdentificador”, este método percorre a tabela de símbolos comparando o lexema com o campo nome da tabela e se o número da linha que está o lexema é maior ou igual do número da linha que o identificador foi declarado, caso essa validação for verdadeira, continua a análise do contrário retorna erro.

No final da análise semântica a tabela de símbolos é percorrida para verificar se existem identificadores com o mesmo nome declarado, se houver é retornado erro.

Na figura 45 são ilustradas as saídas da análise semântica, no canto superior, um programa que obteve sucesso na análise, no canto inferior um programa que obteve erros.

FIGURA 45 – Log Análise Semântica.



FONTE: O próprio autor.

5.6 INTERFACE

Na criação da interface gráfica foi utilizado como base o editor de texto básico Notepad, e editores de desenvolvimento simples como Code Blocks e Visual Studio Code.

Na barra superior do programa foi incrementando funcionalidades simples mas práticas como, novo, que cria um arquivo novo, abrir, que abre uma janela para que

possa procurar algum arquivo do formato D+ e seja carregado no software, salvar, run, que efetua os passos das análises no código escrito na framework, desfazer e refazer.

Na figura 45 é ilustrado a barra onde se encontra as funcionalidades descritas acima. Todos os ícones utilizados nesta interface são encontrados no site (<https://www.flaticon.com>).

FIGURA 46 – Barra de funcionalidade.



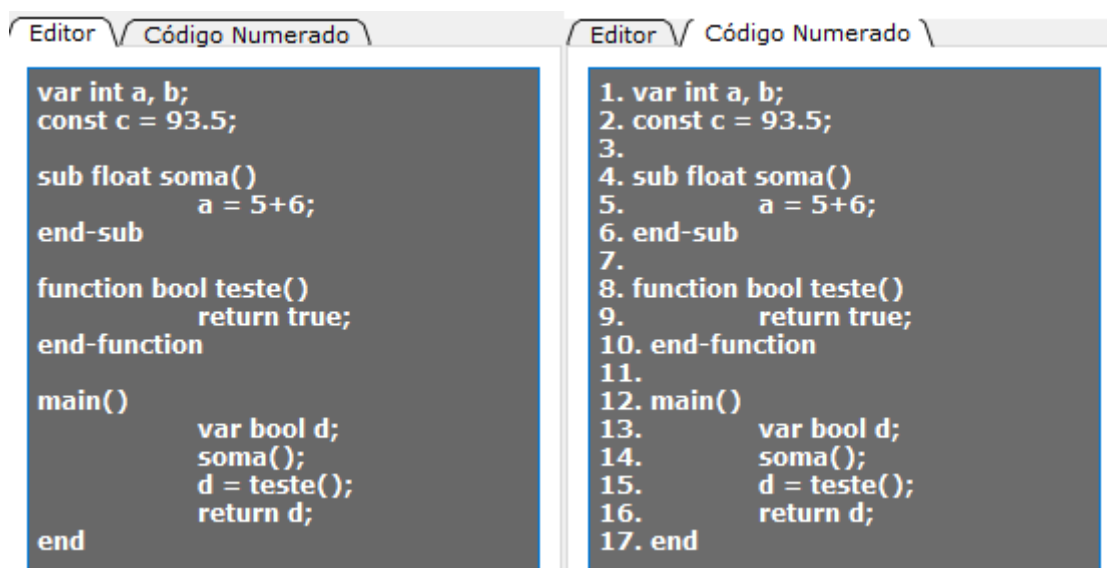
FONTE: O próprio autor.

A interface do software abrange todos os passos e resultados das análises implementadas, para melhor aproveitamento de espaço de tela e organizar de forma funcional, é utilizado de abas, similar ao dos navegadores como Google Chrome e Firefox. O usuário do programa tem a liberdade de selecionar nas abas a informação que deseja que seja apresentada.

Na aba “editor” é o local em que insere o código D+,. Foi deixado um fundo acinzentado para auxiliar e destacar o local de escrita do código, na aba “Código Numerado”, é uma cópia do código inserido, porém numerado, para que assim seja mais fácil encontrar o erro acusado pelo log da análise sintática, esta funcionalidade foi implementada pois no decorrer do desenvolvimento, foi reparado que havia dificuldade para verificar qual linha havia um problema, mesmo passando o número desta.

Na figura 46 é ilustrada as duas abas descritas acima, no canto esquerdo a aba do “Editor” e no canto direito a aba do “Código Numerado”.

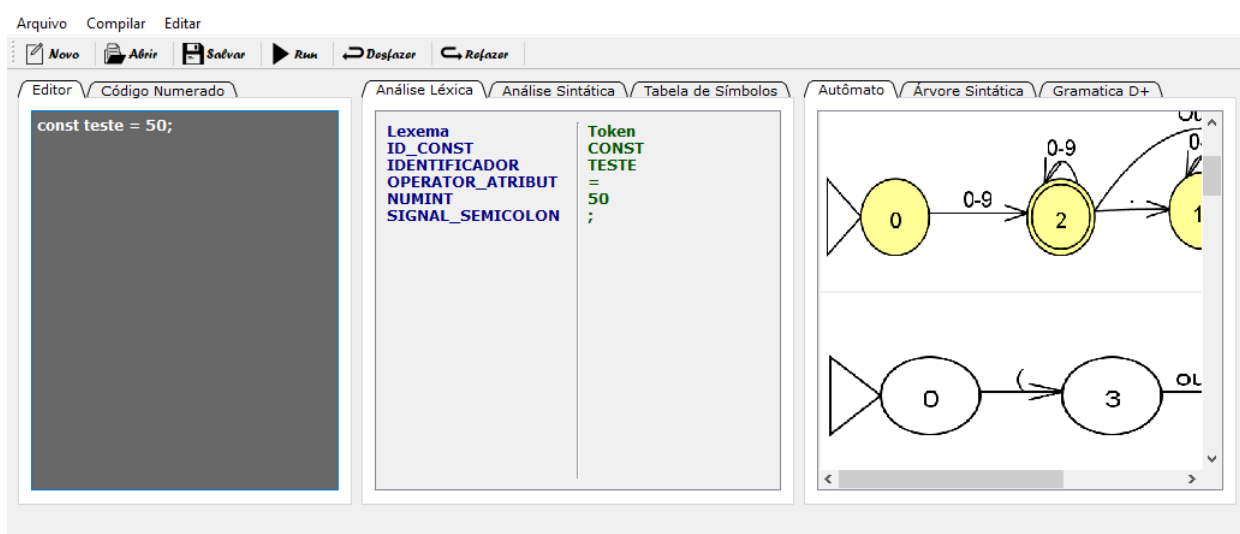
FIGURA 47 – Interface do editor.



FONTE: O próprio autor.

Na figura 47 é ilustrado uma visão geral da interface implementada.

FIGURA 48 – Interface do interpretador.



FONTE: O próprio autor.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para distribuir o interpretador foi criado um arquivo executável simples em que necessitou apenas autorizar o processo de instalação, este método foi efetuado com o objetivo de facilitar na distribuição.

A forma escolhida para a obtenção de dados relativos ao framework, foi a da elaboração de um questionário, em apêndice, com 26 perguntas, em que verificou a praticidade do software, se a informação exposta nele é objetiva e clara, se é possível compreender melhor a matéria de compiladores utilizando o software, se indicaria para algum colega que possui dificuldade de entendimento do conteúdo e por fim qual dado apresentado no interpretador mais chamou a atenção.

6.1 RESULTADOS OBTIDOS

Os alunos selecionados para testar o interpretador são os que cursam a matéria de compiladores do professor Diógenes Cogo Furla. Nesta disciplina sete estudantes a frequentam, aos quais foi solicitado que utilizassem o software e respondessem o questionário elaborado.

No gráfico 1 é ilustrado o nível de experiência profissional que os alunos possuem.

GRÁFICO 1 – Gráfico de desenvolvimento.

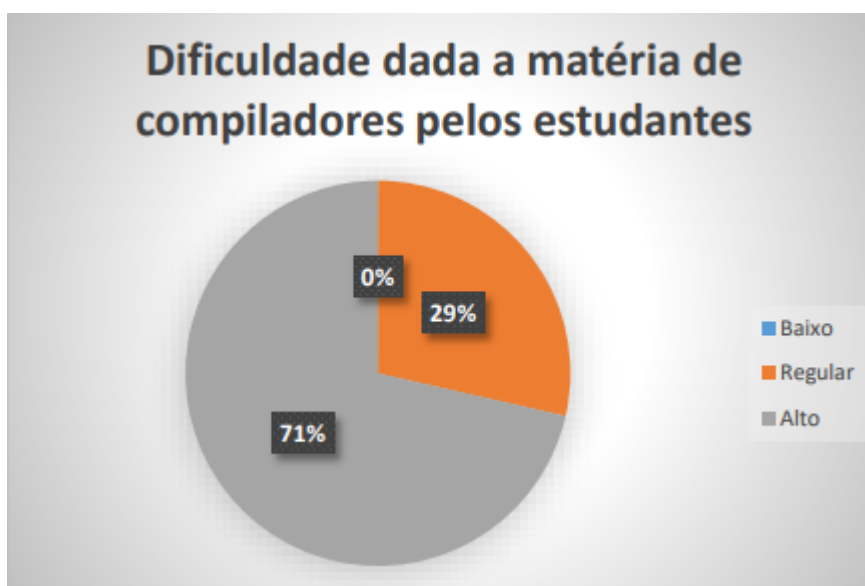


FONTE: O próprio autor.

O gráfico 2 ilustra o nível de dificuldade que os estudantes atribuem a disciplina

de compiladores, podendo optar por baixo, regular ou alto.

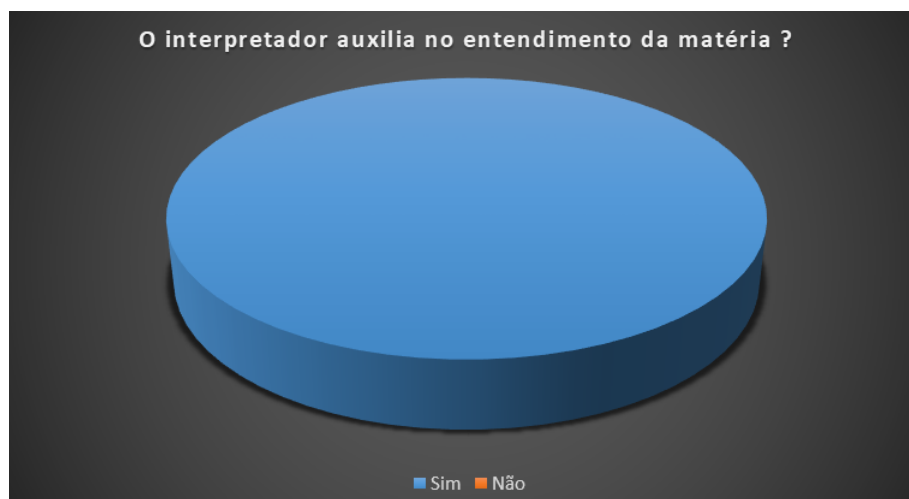
GRÁFICO 2 – Gráfico de dificuldade.



FONTE: O próprio autor.

No gráfico 3 é ilustrado se o interpretador auxiliou no entendimento da disciplina de compiladores.

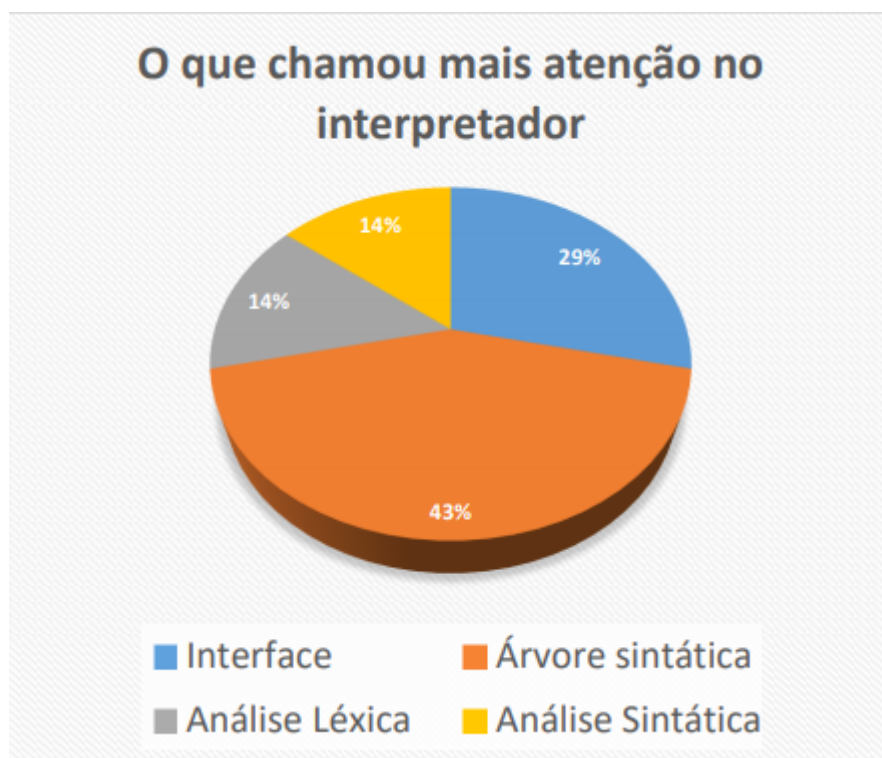
GRÁFICO 3 – Gráfico de auxílio do interpretador.



FONTE: O próprio autor.

O gráfico 4 ilustra o que mais prendeu a atenção dos usuários do interpretador.

GRÁFICO 4 – Gráfico da parte mais relevante do software.



FONTE: O próprio autor.

No gráfico 5 é ilustrado a opinião dos estudantes se o interpretador auxiliaria alunos futuros da disciplina.

GRÁFICO 5 – Gráfico de indicação.



FONTE: O próprio autor.

7 CONCLUSÃO

Conforme abordado neste projeto a disciplina de Compiladores possui uma dificuldade considerável no seu aprendizado, com isso, pôde-se perceber a necessidade de ferramentas que auxiliem na compreensão do conteúdo da disciplina.

O desenvolvimento do interpretador D+ possibilitou abordar o ensino da matéria de compiladores de forma mais ilustrativa, auxiliando os alunos no aprendizado utilizando de figuras e mostrando os passos das análises, como os lexemas e tokens criados do código, e a árvore sintática criada deste. Além disso, também permitiu uma pesquisa de campo para obter dados mais concretos da compreensão dos estudantes após utilizarem a ferramenta.

Para a criação desta ferramenta foi necessário o desenvolvimento de um compilador da linguagem D+, e modificá-lo para se tornar um interpretador. Para todo o desenvolvimento foi utilizado o software QT Creator com a linguagem C++, ambos foram escolhidos por possuírem ferramentas que facilitaram a implementação.

Após distribuir o interpretador D+ para os alunos, foi solicitado que respondessem a um questionário, ao qual se obteve dados promissores, onde todos informaram que o framework ajuda a compreender os passos do compilador, todos os estudantes se impressionaram com as ilustrações destes passos, principalmente com a geração da árvore sintática.

A criação do interpretador mostrou-se uma tarefa com grandes desafios, ao longo do desenvolvimento foi possível perceber inúmeros problemas que tiveram de ser solucionados, como a necessidade de mudança na gramática da linguagem D+ por conta de uma limitação da lógica, e o baixo número de estudantes da disciplina de compiladores, ocasionando assim em uma coleta de dados pequena.

Apesar de o interpretador cumprir o seu objetivo, é possível implementar funcionalidades que melhorariam a experiência do aluno e as informações apresentadas na interface do interpretador, sendo elas:

- Implementação da geração de código máquina;
- Tornar o editor mais dinâmico, reconhecendo as palavras reservadas digitadas e deixá-las de cor diferentes;
- Implementação de tipagem na Análise Semântica.

REFERÊNCIAS

- AGNI, E. *Don Norman e seus princípios de design*. 2015. Uxdesign. Disponível em: <<https://uxdesign.blog.br/don-norman-e-seus-princ%C3%A0dios-de-design-fe063669184d>>. Acesso em: 05 nov 2019.
- AHO RAVI SETHI, J. D. U. A. V. *Compiladores Princípios, Técnicas e Ferramentas*. 1. ed. Rio de Janeiro: Santuário, 1995. Acesso em: 10 mar 2019.
- APPEL, A. W. *Maia Modern Compiler implementation in C*. 1. ed. Madri: United Kingdom: Cambridge University Press, 1998. Acesso em: 14 nov 2019.
- BARGUIL, J. M. de M. *Compilador X++*. 2012. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/2012pcs25086482782/home/a-rvore-sinttica>>. Acesso em: 15 nov 2019.
- BASTOS, J. F. E. *Interpretador/Compilador Python*. 1. ed. Rio Grande do Sul: Universidade Catolica de Pelotas, 2010. Acesso em: 21 mar 2018.
- BURIGO, J. M. *Ambiente de programação visual baseado em componentes*. 1. ed. Curitiba: UTP - Universidade Tuiuti do Paraná, 2015. Acesso em: 10 mar 2018.
- FOLEISS GUILHERME P. ASSUNÇÃO, E. H. M. d. C. J. H. *SCC: Um Compilador C como Ferramenta de Ensino de Compiladores*. 1. ed. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2009. Acesso em: 5 mar 2018.
- FURLAN, D. C. *Regras de gramática D+*. [S.l.]: UTP, 2018.
- JAIN NIDHI SEHRAWAT, N. M. M. *Compiler Basic Design and Construction*. 1. ed. India: Maharshi Dayanand University, 2014. Acesso em: 20 mar 2018.
- LAUREL, B. *Computers as Theatre*. 2. ed. New York: Addison-Wesley, 1993. Acesso em: 9 ago 2019.
- MARANGON, J. D. *Compiladores para Humanos*. 2015. GitBook. Disponível em: <<https://johnidm.gitbooks.io/compiladores-para-humanos/content/>>. Acesso em: 14 jul 2019.
- NORMAN, D. A. *O Design do Dia-a-dia*. 1. ed. Rio de Janeiro: Rocco, 2002. Acesso em: 28 oct 2019.
- RICARTE, I. *Introdução a Compilação*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier - Campus, 2008. Acesso em: 20 mar 2019.
- RICARTE, I. L. M. *Programação estruturada*. 2003. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação FEEC - UNICAMP. Disponível em: <<http://www.dca.fee.unicamp.br/cursos/EA876/apostila/HTML/node7.html>>. Acesso em: 10 nov 2019.
- ROCHA, M. C. B. Heloísa Vieira da. *Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador*. 1. ed. Rio de Janeiro: Unicamp, 2003. Acesso em: 9 ago 2019.
- RODGER, S. H. *JFLAP Version 7.1*. 2005. Jflap. Disponível em: <<http://www.jflap.org/>>. Acesso em: 30 oct 2019.

SANTOS., A. P. *A Importância da Interação Humano-Computador*. 2012. TIQx. Disponível em: <<http://tiqx.blogspot.com/2012/02/compreenda-importancia-da-interacao.html>>. Acesso em: 8 ago 2019.

SANTOS, T. L. P. R. *Compiladores da teoria a pratica*. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. Acesso em: 26 jul 2019.

SINGH SONAM SINHA, A. P. A. *Compiler Construction*. 1. ed. Gorakhpur: Institute of Technology e Management, GIDA Gorakhpur, 2013. Acesso em: 28 mar 2018.

VICTORIA, P. *Métodos de tradução: interpretador x compilador*. 2019. Imasters. Disponível em: <<https://imasters.com.br/desenvolvimento/metodos-de-traducao-interpretador-x-compilador>>. Acesso em: 20 mar 2019.



QUESTIONÁRIO DE UTILIZAÇÃO DO INTERPRETADOR INTEGRADO A UMA INTERFACE DA LINGUAGEM D+

DADOS PESSOAIS:

1. Sexo: () Feminino () Masculino 2. Idade (anos): _____

3. Nome: _____

4. Você possui experiência profissional em programação?

() Sim () Não

Obs.: Se respondeu afirmativo para a "pergunta 8" responder a pergunta da sequência, do contrário siga para a pergunta nº 5.

5. Quanto tempo?

() menos de 6 meses () de 6 meses a 1 ano () de 1 a 2 anos () mais de 2 anos

MATÉRIA COMPILADORES:

6. Qual nível de dificuldade você daria para a disciplina de compiladores?

() Baixo () Regular () Alto

7. Você consegue compreender a matéria sem grandes problemas?

() Sim () Não

8. Um framework que ilustra os passos das análises, facilitaria no aprendizado?

() Sim () Não

UTILIZANDO O INTERPRETADOR:

9. O Interpretador ajudou a compreender a matéria?

() Sim () Não

Obs.: Se respondeu afirmativo para a "pergunta 8" responder a sequência de perguntas, do contrário siga para a pergunta nº 20.

10. Os tokens e lexemas deixaram claro a diferença entre ambos?

() Sim () Não () Talvez

11. Foi possível verificar quais caracteres não fazem parte da linguagem?

() Sim () Não () Talvez

- () Sim () Não () Talvez
13. Os Autômatos ilustrados auxiliaram na compreensão dos passos da Análise Léxica?
() Sim () Não () Talvez
14. Ficou claro com os autômatos coloridos por onde o código percorreu?
() Sim () Não () Talvez
15. A saída da Análise Sintática ficou clara?
() Sim () Não () Talvez
16. Está claro por onde o código passou na Análise Sintática, com o auxílio do log?
() Sim () Não () Talvez
17. Os erros encontrados na Análise Sintática são indicados de forma clara? com a ajuda da numeração das linhas?
() Sim () Não () Talvez
18. A gramática da linguagem D+ auxilia na compreensão?
() Sim () Não () Talvez
19. As regras da gramática adicionadas com a cor verde, ajuda a compreender quais regras foram utilizadas no código?
() Sim () Não () Talvez
20. A árvore sintática gerada do código, facilita na ilustração da análise?
() Sim () Não () Talvez
21. A árvore sintática é fácil de compreender?
() Sim () Não () Talvez
22. A tabela de símbolos ficou clara para compreender os identificadores?
() Sim () Não () Talvez
23. A tabela de símbolos auxiliou na compreensão?
() Sim () Não () Talvez

24. Qual parte do framework você achou mais interessante?

() Sim () Não () Talvez

25. Se você tivesse acesso a esta ferramenta no início da matéria, te ajudaria na compreensão?

() Sim () Não () Talvez

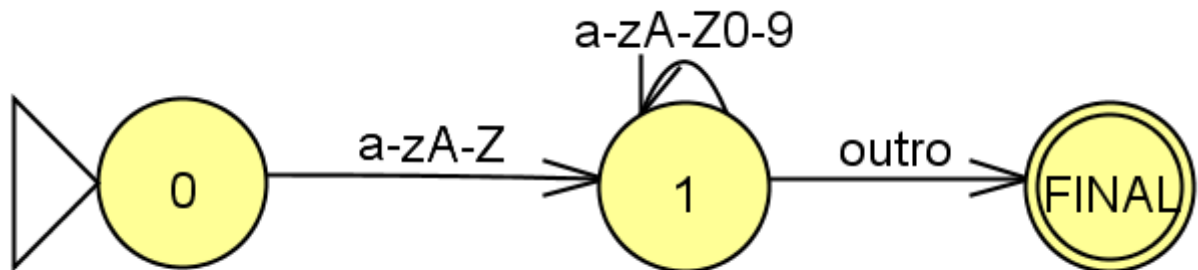
() Sim () Não () Talvez

26. Você indicaria para um colega com dificuldade na matéria?

() Sim () Não () Talvez

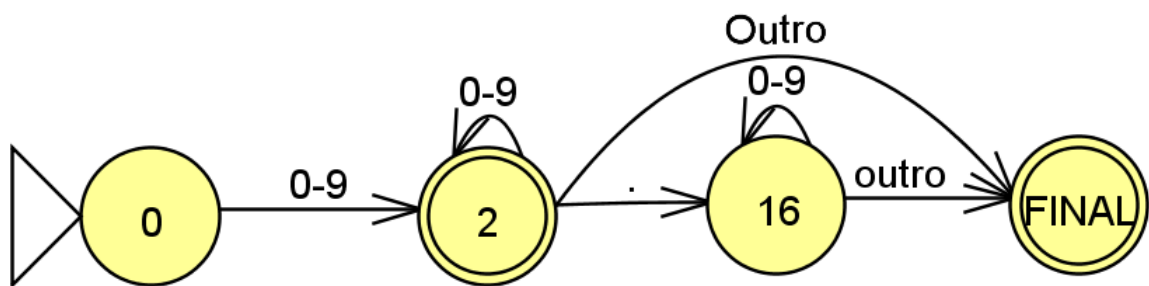
APÊNDICE B – AUTÔMATOS ATIVOS

FIGURA 49 – Autômato ativo estado 1.



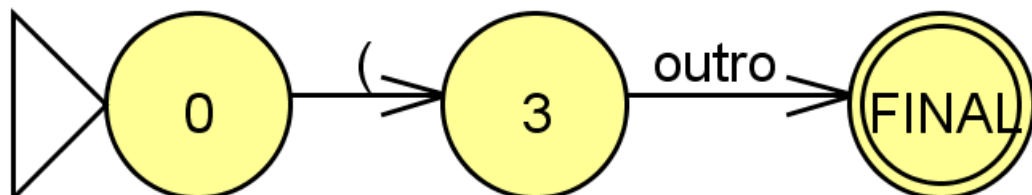
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 50 – Autômato ativo estado 2.



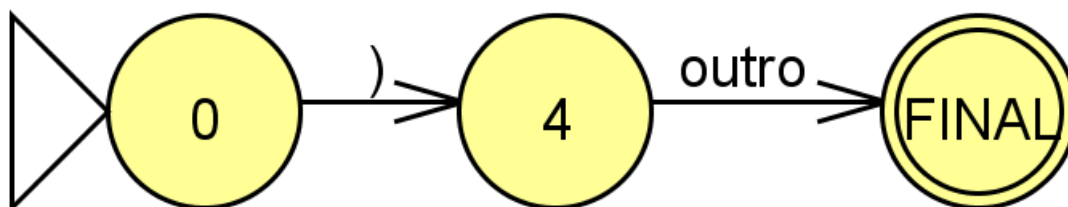
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 51 – Autômato ativo estado 3.



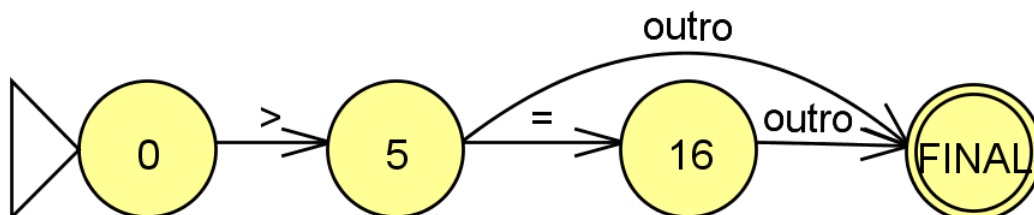
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 52 – Autômato ativo estado 4.



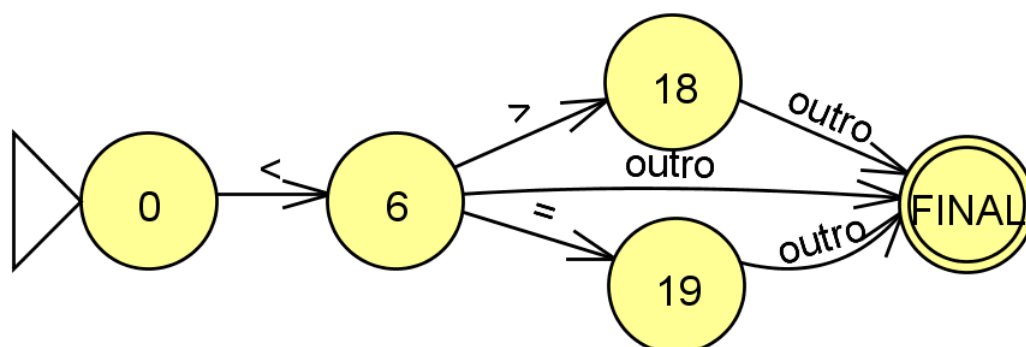
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 53 – Autômato ativo estado 5.



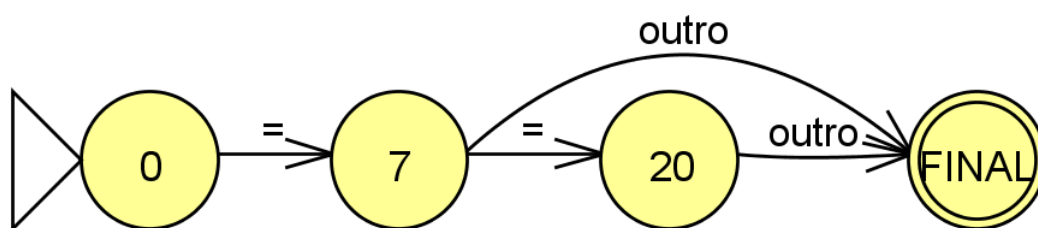
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 54 – Autômato ativo estado 6.



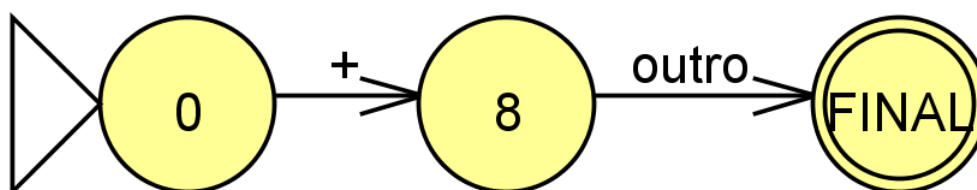
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 55 – Autômato ativo estado 7.



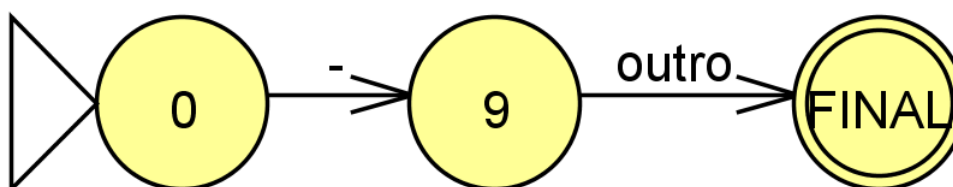
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 56 – Autômato ativo estado 8.



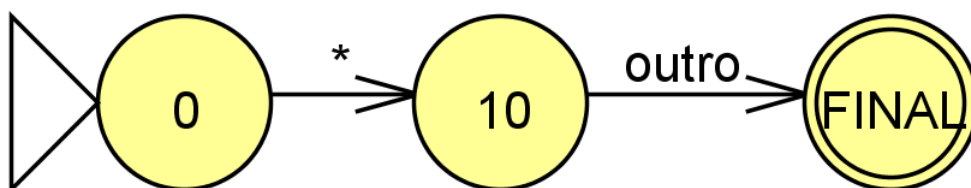
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 57 – Autômato ativo estado 9.



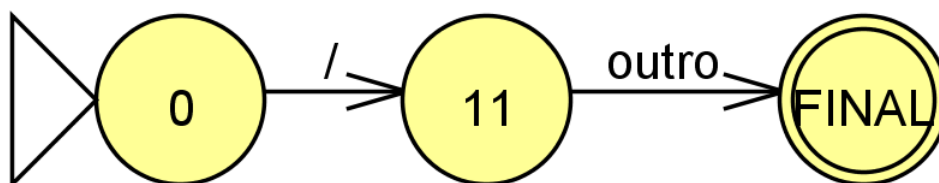
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 58 – Autômato ativo estado 10.



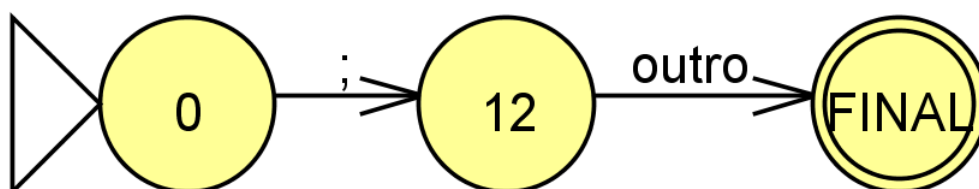
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 59 – Autômato ativo estado 11.



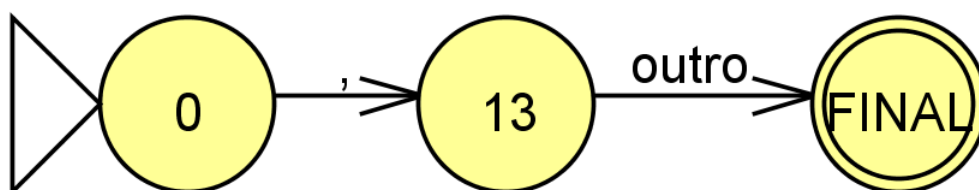
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 60 – Autômato ativo estado 12.



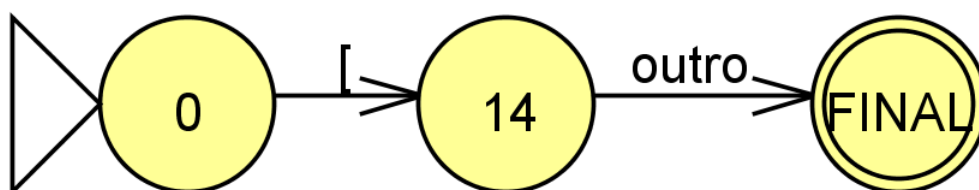
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 61 – Autômato ativo estado 13.



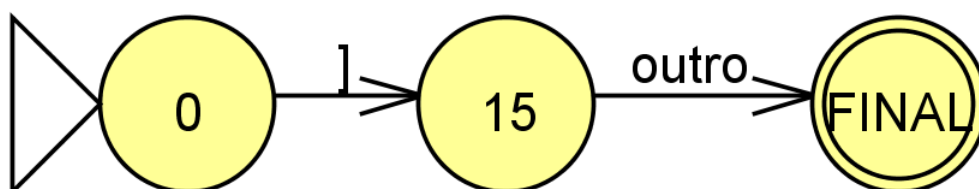
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 62 – Autômato ativo estado 14.



FONTE: O próprio autor.

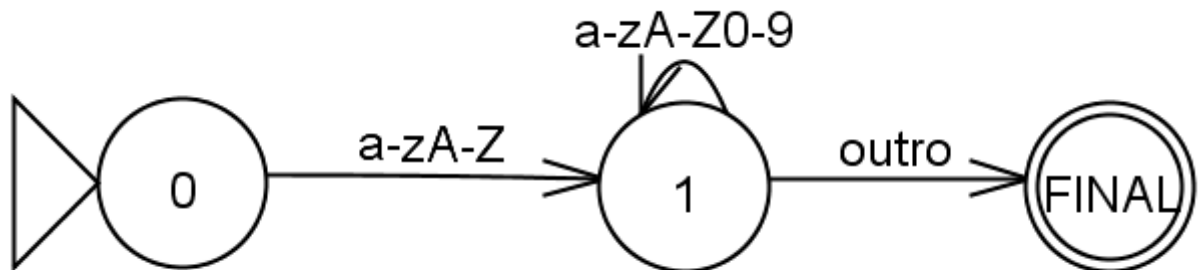
FIGURA 63 – Autômato ativo estado 15.



FONTE: O próprio autor.

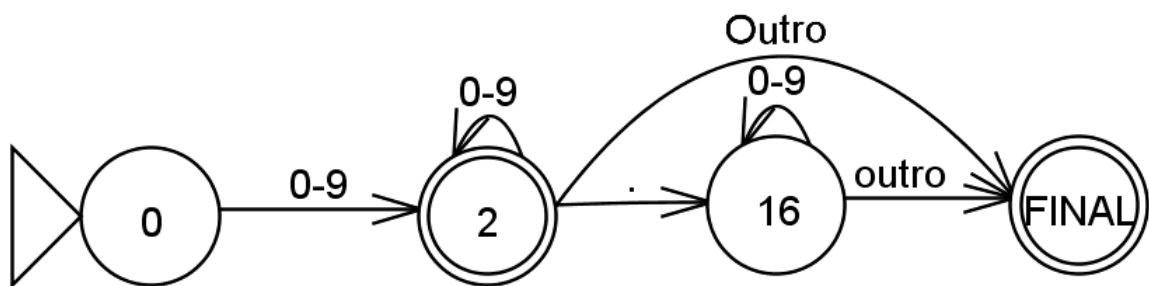
APÊNDICE C – AUTÔMATOS DESABILITADOS

FIGURA 64 – Autômato desabilitado estado 1.



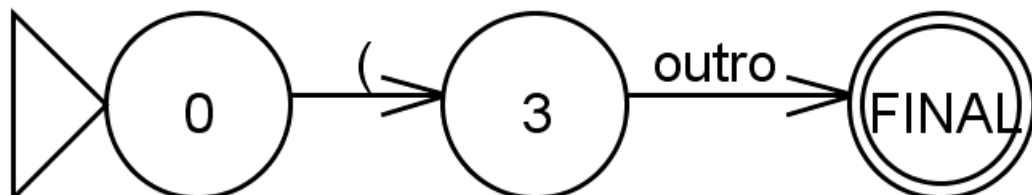
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 65 – Autômato desabilitado estado 2.



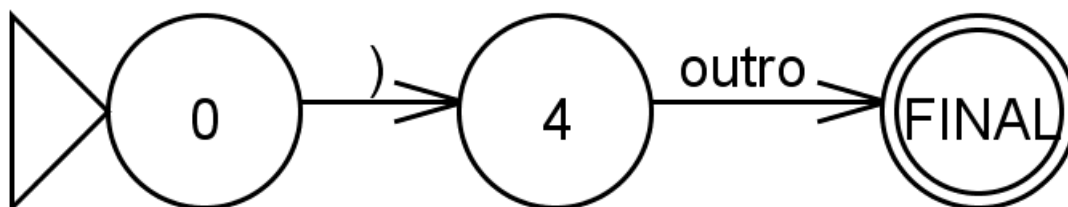
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 66 – Autômato desabilitado estado 3.



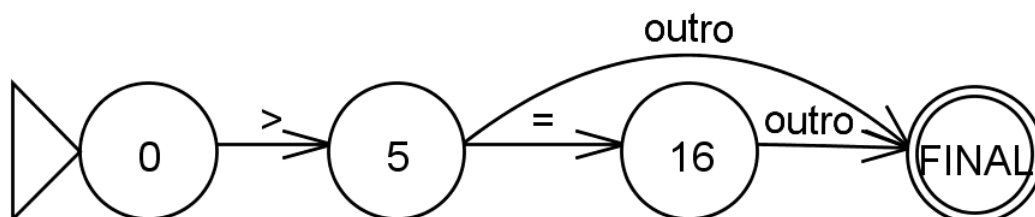
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 67 – Autômato desabilitado estado 4.



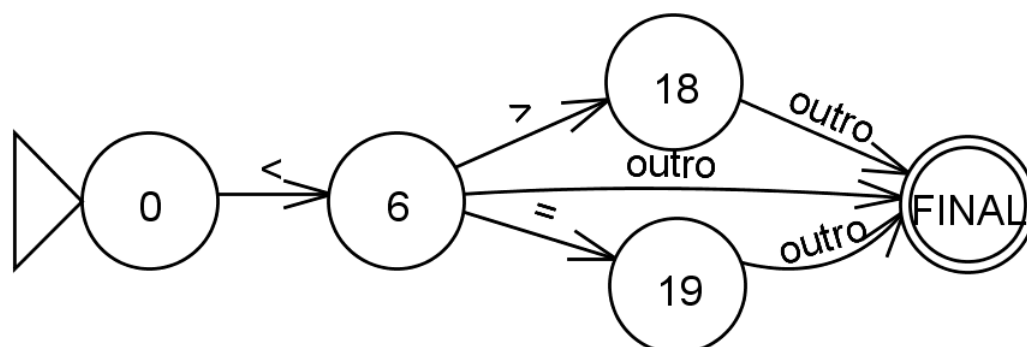
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 68 – Autômato desabilitado estado 5.



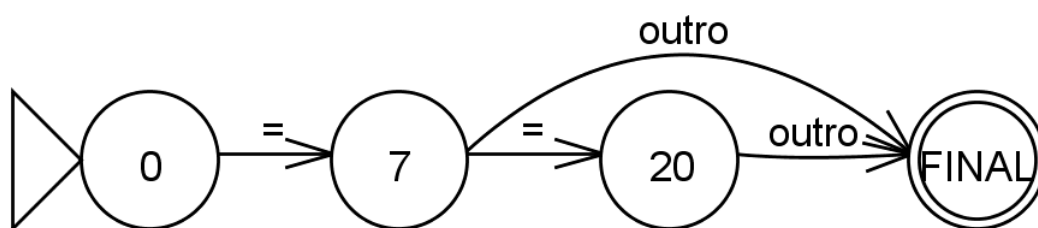
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 69 – Autômato desabilitado estado 6.



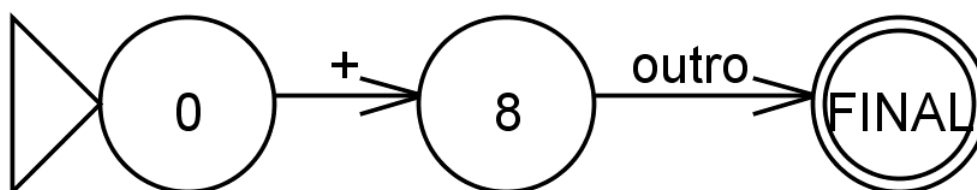
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 70 – Autômato desabilitado estado 7.



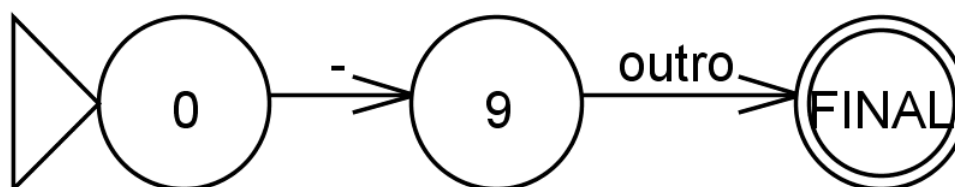
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 71 – Autômato desabilitado estado 8.



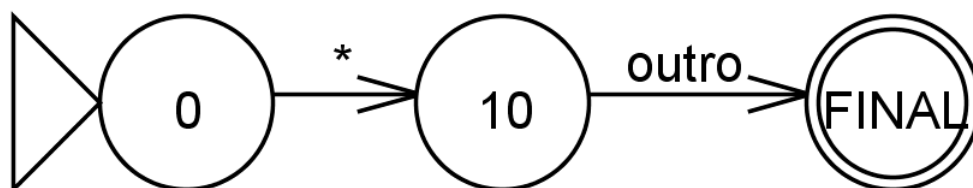
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 72 – Autômato desabilitado estado 9.



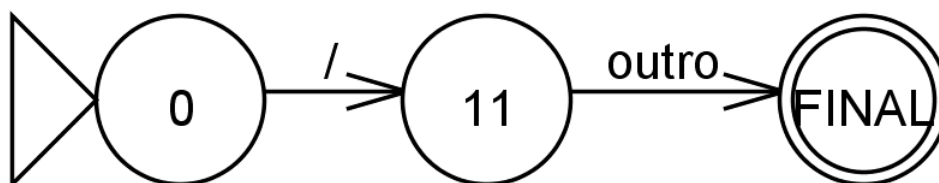
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 73 – Autômato desabilitado estado 10.



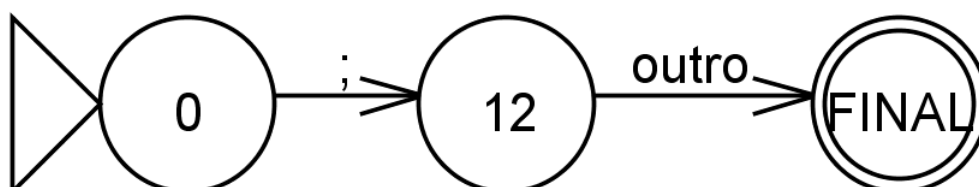
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 74 – Autômato desabilitado estado 11.



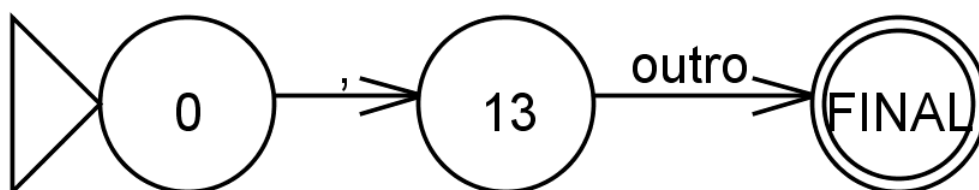
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 75 – Autômato desabilitado estado 12.



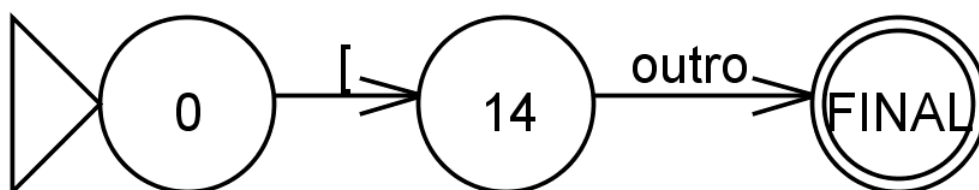
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 76 – Autômato desabilitado estado 13.



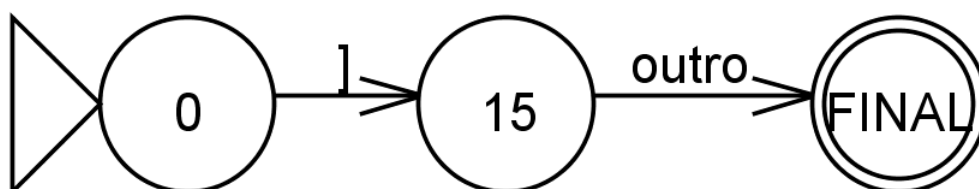
FONTE: O próprio autor.

FIGURA 77 – Autômato desabilitado estado 14.



FONTE: O próprio autor.

FIGURA 78 – Autômato desabilitado estado 15.



FONTE: O próprio autor.

APÊNDICE D – DADOS OBTIDOS

Total	7
-------	---

Feminino	1
Masculino	6

5.Experiência de programação	5
Até 6 meses	2
De 6 meses a 1 Ano	1
De 1 ano a 2 anos	1
Mais de 2 anos	1

Materia COMPILADORES	
6.Nivel de dificuldade da Matéria Compiladores	
Baixo	0
Regular	2
Alto	5
7.Compreender a matéria com facilidade	
Sim	5
Não	2
8.Ajudaria um interpretador que ilustra os passos	
Sim	7
Não	0

Utilizando a Interface - Parte 1	
9.O interpretador ajudou a compreender	
Sim	7
Não	0
10.Distinguiu a diferença entre token e lexema	
Sim	7
Não	0
Talvez	0
11.Identificou os caracteres errados	
Sim	5
Não	0
Talvez	2
12.A mensagem ficou clara	
Sim	6
Não	0
Talvez	1
13.Os autômatos auxiliaram	
Sim	6
Não	0
Talvez	1
14.É claro qual automato foi utilizado	
Sim	7
Não	0
Talvez	1
15.É clara a saída da análise sintática	
Sim	7
Não	0
Talvez	0

Utilizando a interface - Parte 2	
16.O log da análise sintática auxiliou	
Sim	7
Não	0
Talvez	0
17.É indicado os erros no log	
Sim	7
Não	0
Talvez	0
18.A gramática auxilia na compreensão	
Sim	4
Não	0
Talvez	3
19.A gramática utilizada auxilia	
Sim	7
Não	0
Talvez	0
20.A árvore sintática ajuda	
Sim	6
Não	0
Talvez	1
21.A árvore é facil de entender	
Sim	3
Não	0
Talvez	4
22.A tabela de símbolos é clara de compeender	
Sim	7
Não	0
Talvez	0

Utilizando a interface - Parte 3	
23.A tabela de símbolos ajuda	
Sim	6
Não	0
Talvez	1
24.Qual parte da framework chamou mais a atenção	
Interface	2
Árvore sintática	3
Análise Léxica	1
Análise Sintática	1
25.Ele ajudaria futuros alunos	
Sim	7
Não	0
Talvez	0
26.Essa ferramenta te ajudaria no início	
Sim	7
Não	0
Talvez	0
27.Você indicaria esta framework	
Sim	7
Não	0
Talvez	0

APÊNDICE E – CÓDIGOS DE EXEMPLO

As figuras 78, 79, 80, 81 são exemplos de códigos da gramática D+.

FIGURA 79 – Código 1 da gramática D+.

```
const constante = 50;

var int z;

function int testes(var int x by
value)
    var int y;
    y = 25;
    return y;
end-function

main()
    z = 0;
    scanln(z);
    var int w;
    w = z - 1 + ( z * 8);
    return 0;
end
```

FONTE: O próprio autor.

FIGURA 80 – Código 2 da gramática D+.

```
function int fat(var int n by value)
  if(n==0) then
    return 1;
  else
    return fat(n-1)*n;
  end-if
end-function

main()
  var int x;
  x = fat(5,2);
end
```

FONTE: O próprio autor.

FIGURA 81 – Código 3 da gramática D+.

```
var int c;

main()
  var char a,b;
  a=10;
  b=20;
  c=a+b;
  print(c);
end
```

FONTE: O próprio autor.

FIGURA 82 – Código 4 da gramática D+.

```
main()
  var int n;
  scan(n);
  var int p;
  p = 1;
  var int i;
  i = n;
  while i>1 do
    p = p * i;
    i = i-1;
  loop
  println("Fatorial de ",n," = ",p);
end
```

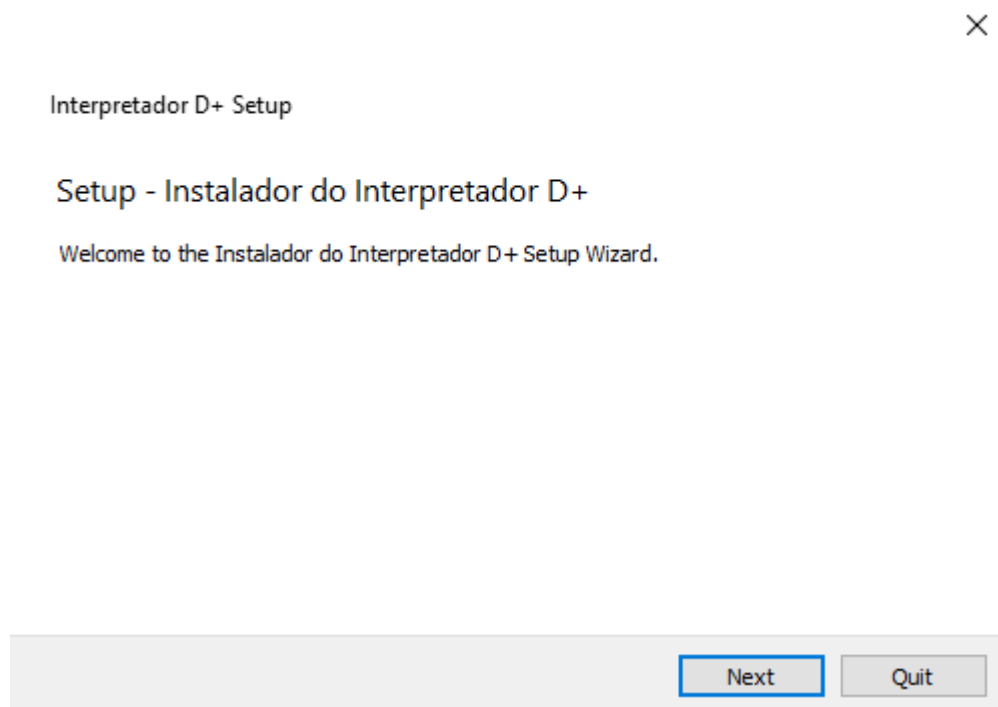
FONTE: O próprio autor.

APÊNDICE F – INSTALAÇÃO DO INTERPRETADOR D+

Para facilitar o acesso a framework, foi efetuado um *deploy* do interpretador D+ e criado um arquivo executável para efetuar a instalação do software, assim não precisando instalar o QtCreator e suas bibliotecas.

Para instalar o Interpretador execute o arquivo "InterpretadorD+", após executá-lo, aparecerá uma janela igual a figura 82, clique em next.

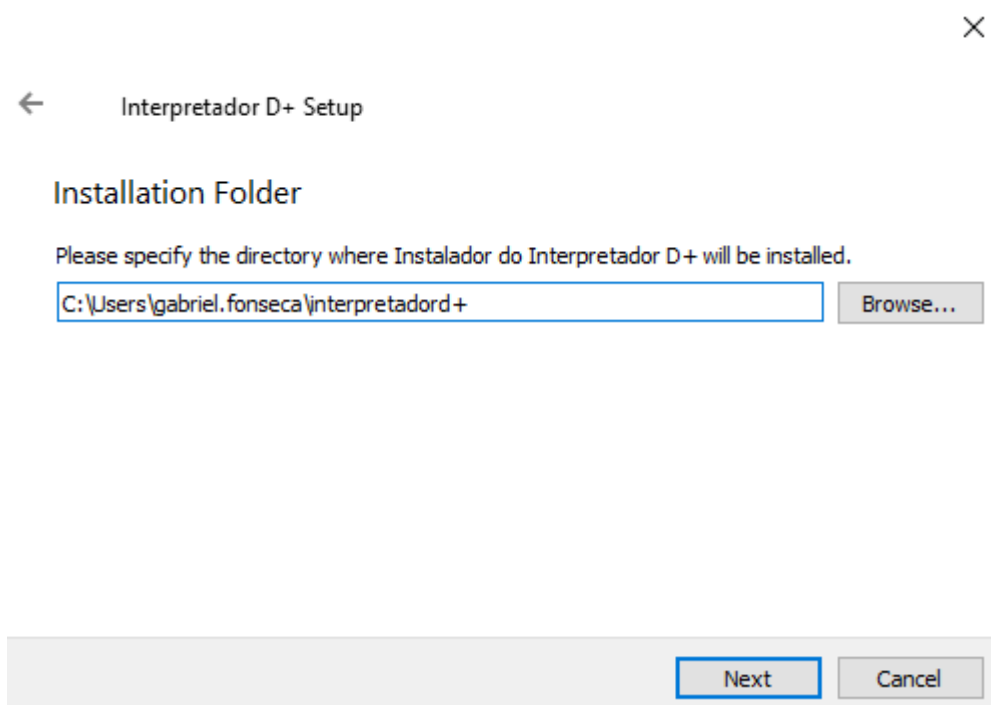
FIGURA 83 – Janela de instalação 1.



FONTE: O próprio autor.

A janela prosseguirá e aparecerá o local que você deseja instalar o software, selecione o local e clique em next, conforma e figura 83.

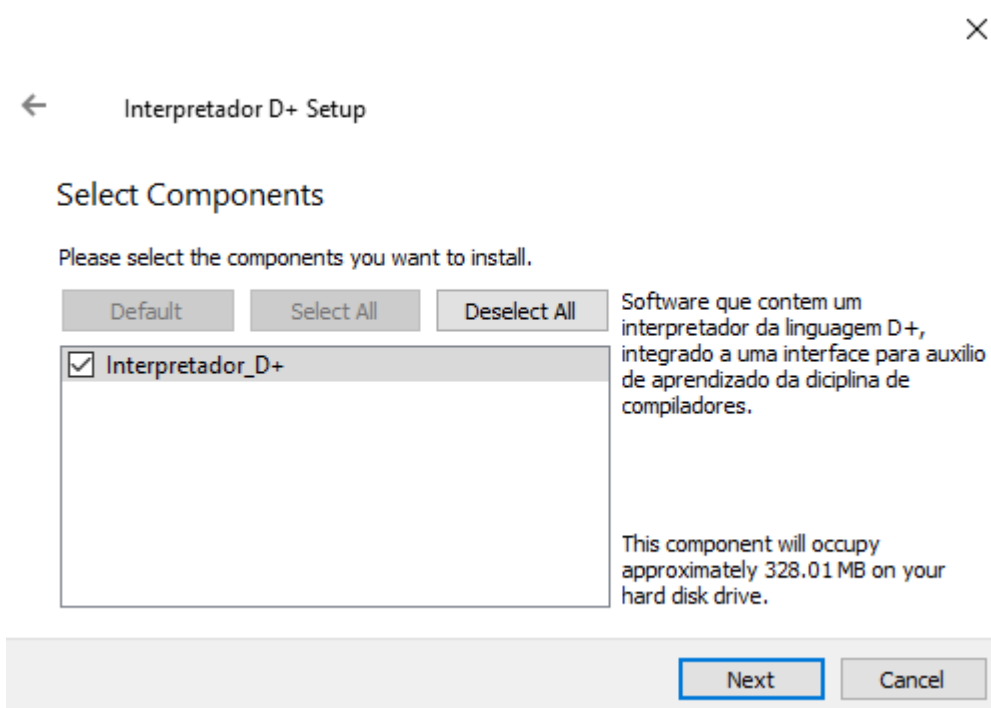
FIGURA 84 – Janela de instalação 2.



FONTE: O próprio autor.

Após prosseguir carregará uma página igual a figura 84, selecione o "Interpretador_D+" e clique em next.

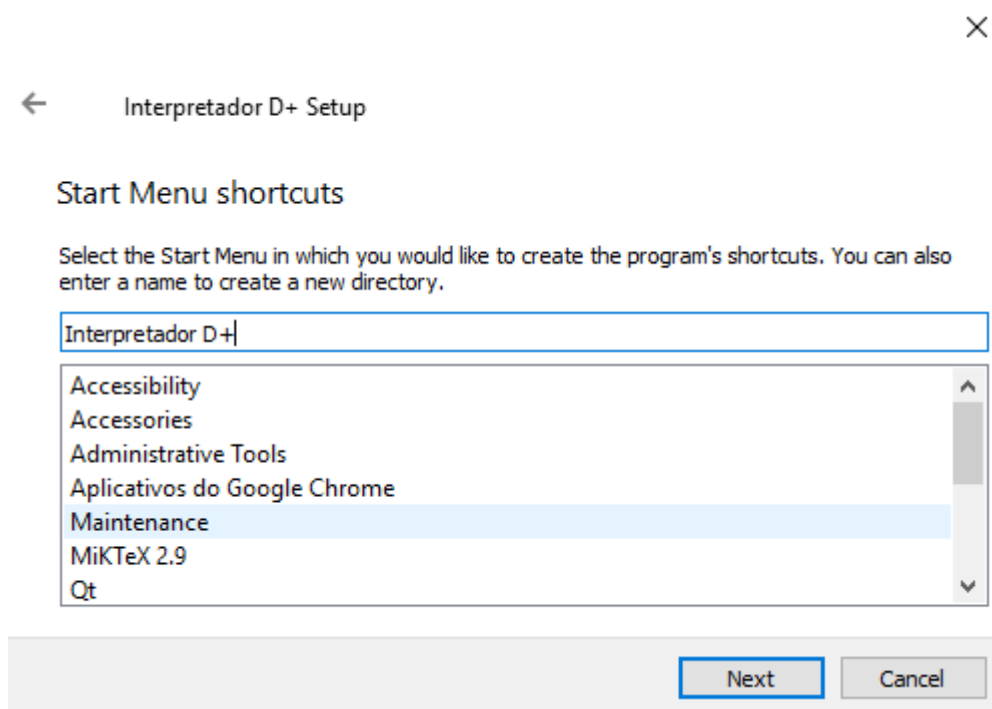
FIGURA 85 – Janela de instalação 3.



FONTE: O próprio autor.

A janela prosseguirá e carregará uma janela igual a figura 85, clique em next.

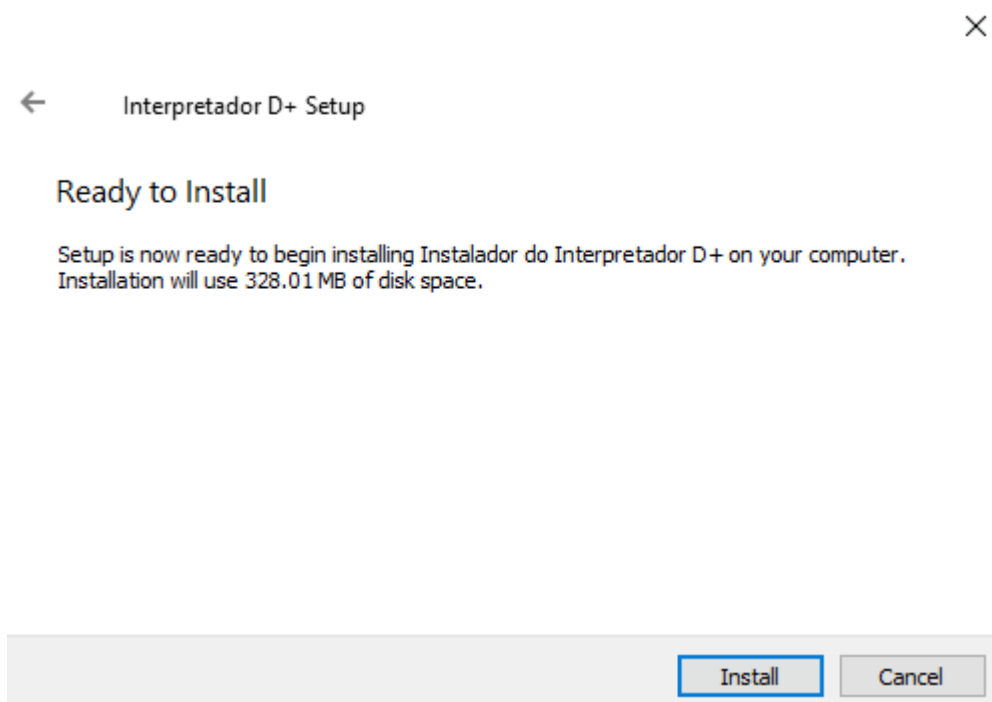
FIGURA 86 – Janela de instalação 4.



FONTE: O próprio autor.

Clique em "Install" conforme a figura 86.

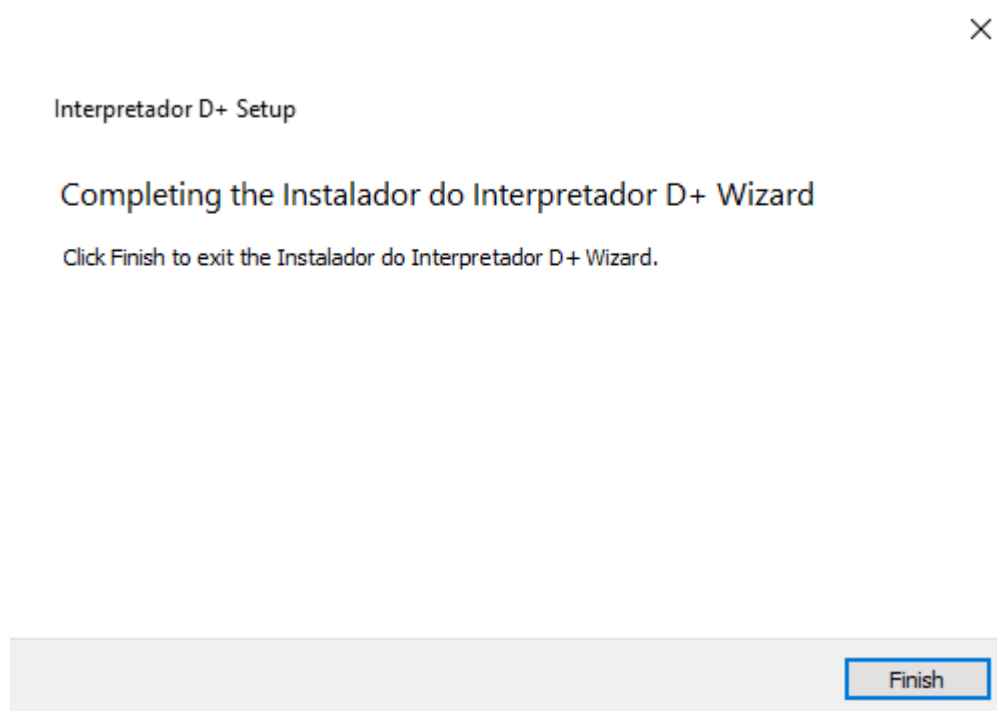
FIGURA 87 – Janela de instalação 5.



FONTE: O próprio autor.

Após a instalação clique em "Finish" igual a figura 87, e o interpretador estará disponível no menu iniciar.

FIGURA 88 – Janela de instalação 6.

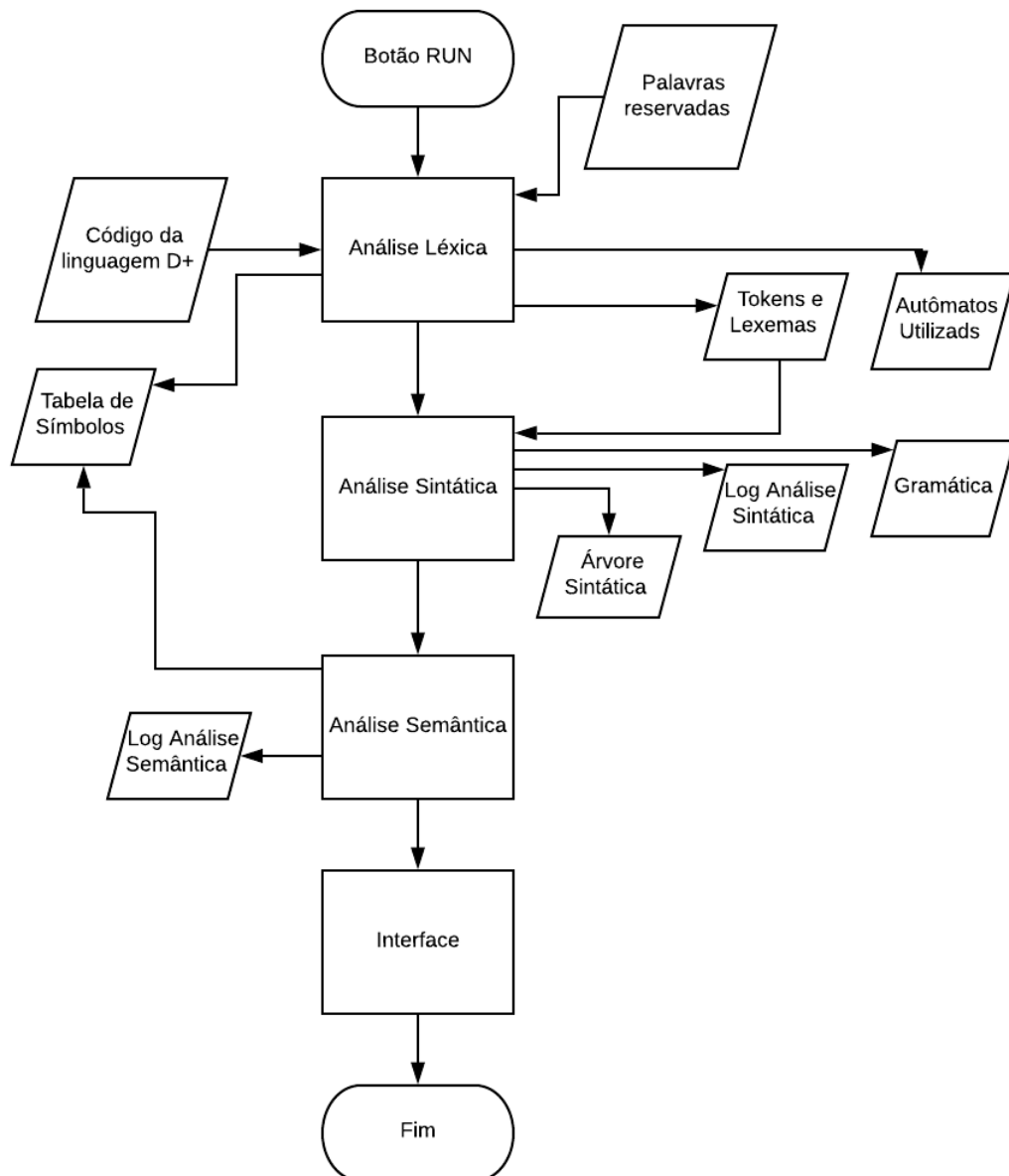


FONTE: O próprio autor.

APÊNDICE G – FLUXOGRAMA

Na figura 88 é ilustrado o fluxograma do código, as análises dentro dele e suas sequências.

FIGURA 89 – Fluxograma do Interpretador D+.



FONTE: O próprio autor.

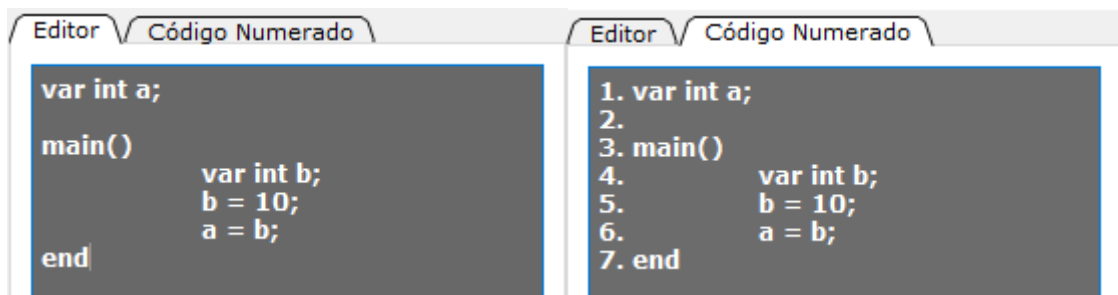
APÊNDICE H – MANUAL DO SOFTWARE

Neste apêndice é explicado como utilizar o interpretador, informando cada funcionalidade na interface e o local dos resultados.

O interpretador contém o editor para inserção do código, a esquerda, e o resultado das análises a direita. Para facilitar o usuário procurar o erro indicado na linha do código, o editor possui uma aba de “Código Numerado”, esta aba replica o código e enumera todas as linhas.

Na figura 89 é ilustrado o Editor. A esquerda a aba “Editor” e a direita a aba “Código Numerado”, ambos com o mesmo código implementado.

FIGURA 90 – Aba Editor e Código Numerado.



FONTE: O próprio autor.

Na figura 90 é ilustrado a barra de ferramentas do software. Esta barra possui funcionalidades básicas para facilitar o usuário do framework, sendo elas:

- Botão Novo: Apaga todos os caracteres do editor de texto e o caminho ao qual o código anterior está associado;
- Botão Abrir: Abre uma janela do Windows para procurar o arquivo que o interpretador deve abrir, após selecionar o arquivo é carregado todo o código no editor.
- Botão Salvar: Abre uma janela do Windows para nomear o código e selecionar o local em que ele deve ser salvo.
- Botão Run: Efetua todo o processo de compilação do interpretador e expõe a saída de cada análise em suas devidas abas.
- Botão Desfazer: Retrocede uma ação efetuada no editor.
- Botão Refazer: Efetua uma ação que foi retrocedida no editor.

FIGURA 91 – Barra de ferramentas.

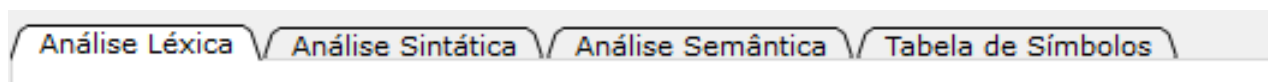


FONTE: O próprio autor.

Para organizar o resultado obtido em cada etapa da compilação, é utilizado abas para selecionar o dado que deve ser apresentado. Cada aba demonstra o resultado obtido referente ao seu respectivo título.

Na figura 91 são ilustradas as abas que se encontram no centro da interface, sendo elas: Análise Léxica, Análise Sintática, Análise Semântica e Tabela de Símbolos.

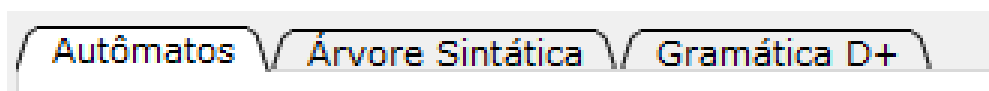
FIGURA 92 – Abas centrais.



FONTE: O próprio autor.

Na figura 92 são ilustradas as abas que localizam se no canto direito do software, sendo elas: Autômatos, Árvore Sintática e Gramática D+.

FIGURA 93 – Abas do canto superior direito.



FONTE: O próprio autor.

Na aba de "Análise Léxica" é ilustrado todos os tokens, a esquerda, e lexemas, a direita, encontrado no código implementado no editor. Tokens são pintados de azuis e Lexemas de verde. Na figura 93 é ilustrado os dados presentes na aba, cada token fica na linha de seu respectivo lexema.

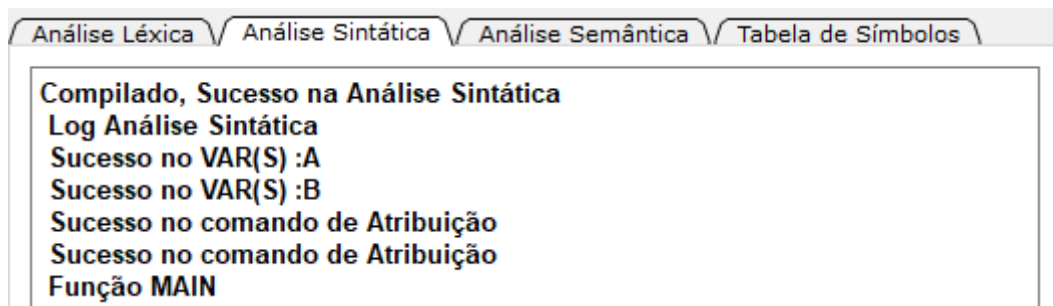
FIGURA 94 – Aba Análise Léxica.

Token	Lexema
ID_VARIABLE	VAR
ID_INTEGER	INT
IDENTIFICADOR	A
SIGNAL_SEMICOLON	;
ID_MAIN	MAIN
ID_BRACKETRIGHT	(
ID_BRACKETLEFT)
ID_VARIABLE	VAR
ID_INTEGER	INT
IDENTIFICADOR	B
SIGNAL_SEMICOLON	;
IDENTIFICADOR	B
OPERATOR_ATRIBUT	=
NUMINT	10
SIGNAL_SEMICOLON	;
IDENTIFICADOR	A
OPERATOR_ATRIBUT	=
IDENTIFICADOR	B
SIGNAL_SEMICOLON	;
ID_END	END

FONTE: O próprio autor.

A aba de “Análise Sintática” é responsável por informar se o código efetuou a análise sintática com sucesso, o log apresenta o caminho que o código percorreu. Na figura 94 é ilustrado os dados apresentados nesta aba, nela é possível ver que foi efetuada com sucesso a análise sintática, e que efetuou comandos de VAR.

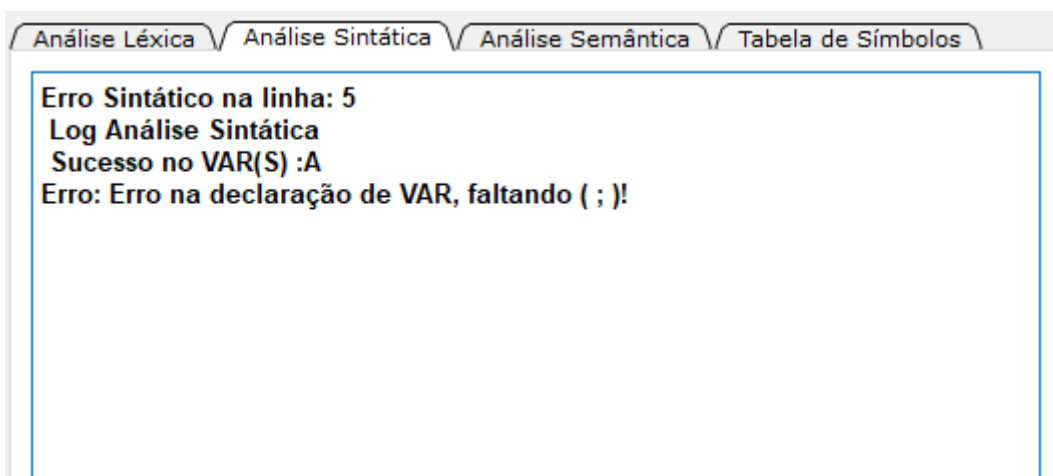
FIGURA 95 – Aba Análise Sintática.



FONTE: O próprio autor.

Se ocorrer algum erro na análise sintática é apresentado através do log o local que ocorreu. Na figura 95 é informado a falta de um “;” na linha 5.

FIGURA 96 – Erro Sintático.

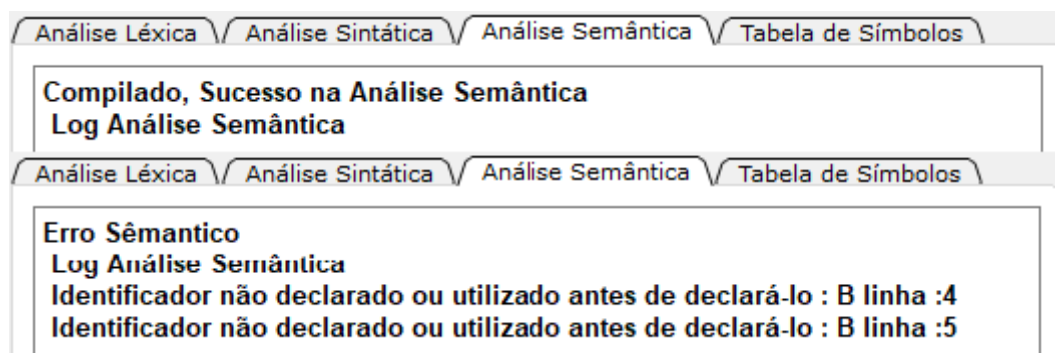


FONTE: O próprio autor.

A aba de “Análise Semântica” informa se o código passou pela análise semântica obtendo sucesso ou erro, caso o resultado seja erro, é apresentado através do log qual erro foi encontrado.

Na figura 96 é ilustrado dois resultados apresentados na aba de “Análise Semântica”. No canto superior um programa que obteve sucesso na análise, no canto inferior um programa que teve um erro semântico encontrado.

FIGURA 97 – Aba Análise Semântica.



FONTE: O próprio autor.

A aba “Tabela de Símbolos” apresenta todos os identificadores encontrados no código na forma de uma tabela. Na figura 98 é ilustrado as informações contidas na aba “Tabela de Símbolos”. Esta tabela possui 5 colunas, sendo elas:

- #: Posição do identificador dentro da tabela de símbolos;
- Nome: Nome atribuído aquele identificador;
- Tipo: Tipo atribuído ao identificador, podendo ser: INT, FLOAT, BOOL, STRING ou CHAR;
- Categoria: Qual categoria o identificador faz parte, podendo ser: PROCEDURE, FUNCTION, VARIÁVEL ou CONSTANTE;
- Linha: Em qual linha o identificador foi declarado.

FIGURA 98 – Aba "Tabela de Símbolos".

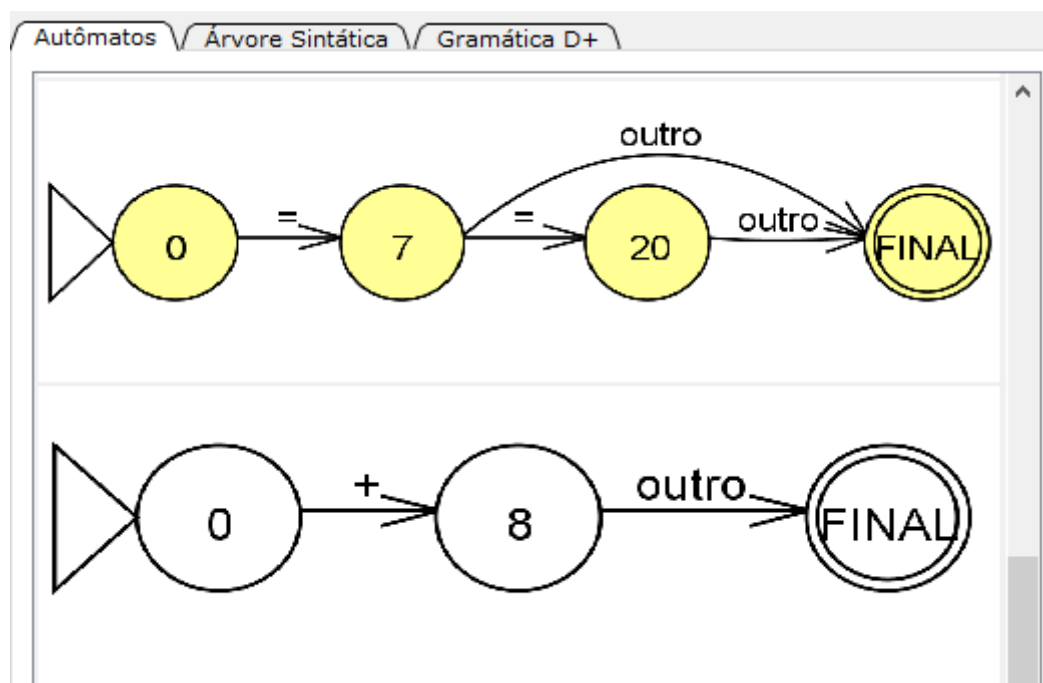
Análise Léxica / Análise Sintática / Análise Semântica / Tabela de Símbolos				
#	Nome	Tipo	Categoria	Linha
0	A	INT	VARIÁVEL	1
1	B	INT	VARIÁVEL	4

FONTE: O próprio autor.

Na aba “Autômatos” contém todos os autômatos da linguagem D+. Após efetuar a compilação é pintado os autômatos que foram utilizados na análise léxica e mantidos em preto e branco quais não foram utilizados.

Na figura 98 é ilustrado a aba de “Autômatos”.

FIGURA 99 – Aba "Autômatos".

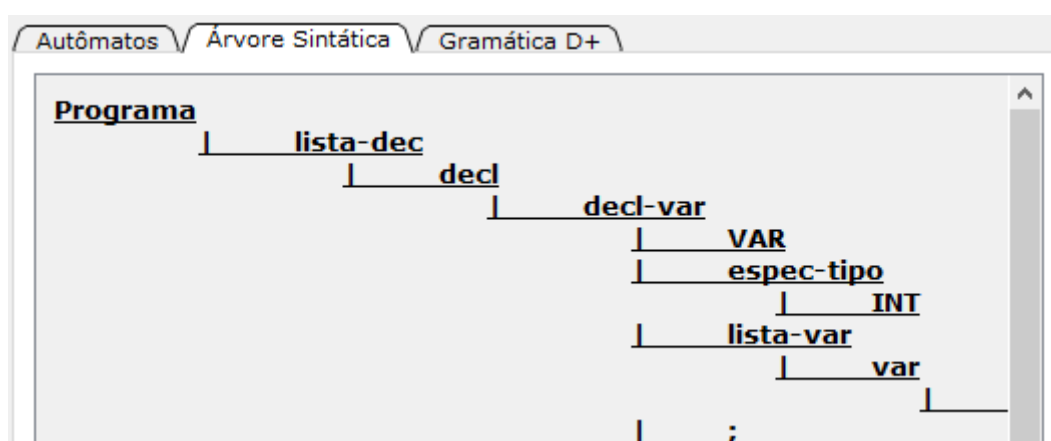


FONTE: O próprio autor.

Na aba “Árvore Sintática” é montado toda a árvore sintática do código escrito no editor. É apresentado uma hierarquia seguindo das regras da gramática até chegar ao terminador, o lexema.

Na figura 99 é ilustrado a árvore sintática montada, seguindo a regra utilizada e derivando até chegar ao lexema “VAR”.

FIGURA 100 – Aba "Árvore Sintática".



FONTE: O próprio autor.

Na aba “Gramática D+” é apresentada todas as regras da linguagem D+ e também as regras pintadas de verde que foram utilizadas para efetuar a compilação.

Na figura 100 é ilustrada as regras da linguagem D+ e as regras utilizadas para compilação do programa.

FIGURA 101 – Aba "Gramática D+".



FONTE: O próprio autor.