



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**FRANCISCO FAGNER FERREIRA MESQUITA**

**UMA FERRAMENTA DE VISUALIZAÇÃO DE ALGORITMOS DE ANÁLISE  
SINTÁTICA**

**QUIXADÁ**

**2024**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fases de um compilador UNIX . . . . .	8
Figura 2 – Imagem da ferramenta de <i>Parser Generator Web Tools</i> . . . . .	18
Figura 3 – Imagem da ferramenta de <i>Parser Generator Web Tools</i> . . . . .	19
Figura 4 – Imagem da ferramenta de LR(1) <i>Parser Generator</i> . . . . .	20
Figura 5 – Imagem da ferramenta de LR(1) <i>Parser Generator</i> . . . . .	21
Figura 6 – Imagem da ferramenta PAVT . . . . .	22
Figura 7 – Imagem da ferramenta JFLAP . . . . .	23
Figura 8 – Imagem da ferramenta JFLAP . . . . .	24
Figura 9 – Caption . . . . .	27
Figura 10 – Caption . . . . .	28

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Cronograma . . . . .	29
---------------------------------	----

## LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1	– First . . . . .	11
Algoritmo 2	– Follow . . . . .	11
Algoritmo 3	– Construção da tabela LL(1) . . . . .	12
Algoritmo 4	– Analise com tabela LL(1) . . . . .	13
Algoritmo 5	– Closure . . . . .	14
Algoritmo 6	– Construção do autômato LR(0) . . . . .	15
Algoritmo 7	– Construção da tabela SLR . . . . .	16
Algoritmo 8	– Analise com tabela SLR . . . . .	16

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Compilador . . . . .</b>	<b>8</b>
2.1.1	Fases do compilador . . . . .	8
2.1.1.1	<i>Análise Léxica . . . . .</i>	<i>8</i>
2.1.1.2	<i>Análise Sintática . . . . .</i>	<i>9</i>
2.1.1.3	<i>Análise semântica . . . . .</i>	<i>9</i>
2.1.1.4	<i>Otimização . . . . .</i>	<i>9</i>
2.1.1.5	<i>Geração de código . . . . .</i>	<i>9</i>
<b>2.2</b>	<b>Analísadores Sintáticos Descendentes . . . . .</b>	<b>9</b>
2.2.1	Descendentes Recursivos . . . . .	10
2.2.2	Analísadores Sintáticos LL(1) . . . . .	10
<b>2.3</b>	<b>Analísadores Sintáticos Ascendentes . . . . .</b>	<b>13</b>
2.3.1	Analísadores Sintáticos SLR . . . . .	13
2.3.2	Analísadores Sintáticos CLR . . . . .	17
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b><i>Parser Generator Web Tools . . . . .</i></b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b><i>LR(1) Parser Generator . . . . .</i></b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>PAVT . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>JFLAP . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>3.5</b>	<b>Considerações . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Definição dos requisitos . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Interface de usuário . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>4.3</b>	<b>Integração dos algoritmos . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>4.4</b>	<b>Animações . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>4.5</b>	<b>Avaliação . . . . .</b>	<b>29</b>

**Referências . . . . . 30**

## 1 INTRODUÇÃO

Um compilador é uma ferramenta usada para compilar código-fonte de uma linguagem de alto nível para código de máquina. Esse processo é feito em várias fases, as três primeiras fases do processo de compilação podem ser definidas como análise léxica, análise sintática e checagem de tipo, elas são chamadas coletivamente de *front-end* do compilador (MOGENSEN, 2024).

A fase de análise léxica gera *tokens* que são usados pela fase de análise sintática para validar que a entrada segue a estrutura da gramática da linguagem alvo e gerar uma árvore sintática para ser usada pelas próximas fases da compilação (THAIN, 2020).

O programa que realiza a análise sintática é chamado de analisador sintático ou *parser*. Os *parsers* podem ser classificados em dois tipos, *bottom-up* (ou ascendente) que funciona reduzindo os *tokens* a produções da gramática e *top-down* (ou descendente) que segue o caminho oposto do *parser bottom-up* tentando encontrar produções correspondentes a estrutura da *string* de entrada comparando-a com as produções da gramática (COOPER; TORCZON, 2022).

A disciplina de compiladores está presente em muitas grades curriculares de cursos de ciência da computação e dentro dessa disciplina são ensinados vários algoritmos de análise sintática, no entanto, aprender o funcionamento desses algoritmos é uma tarefa difícil para os alunos, assim como também é difícil para os professores ensinarem esse assunto (SANGAL; KATARIA; TYAGI *et al.*, 2018).

Ferramentas criadas para o ensino de conteúdos sobre construção de compiladores como análise sintática usando elementos visuais têm uma resposta positiva dos alunos que usaram as ferramentas. Essas ferramentas podem auxiliar na compreensão do conteúdo não só através das instruções mostradas na visualização do funcionamento dos algoritmos, mas também por oferecer respostas instantâneas que podem ser usadas pelos estudantes como correção sobre os resultados dos algoritmos que podem ser difíceis de se construir manualmente (JAIN; GOYAL; CHAKRABORTY, 2017).

A instabilidade na rede disponível no campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará (UFC) é algo recorrente que pode atrapalhar o roteiro normal das aulas e impedir que os alunos concluam tarefas (PEREZ, 2023). O uso de aplicações desenvolvidas para *web* nas aulas é afetado por eventuais falhas na rede local do campus e em relação a isso uma aplicação *offline*

desenvolvida para *desktop* tem a vantagem de poder ser acessada independente do acesso à internet (HOLZER; ONDRUS, 2012).

Muitos alunos entram na vida universitária estando em situação de vulnerabilidade e sem recursos necessários como computadores para acompanhar o conteúdo do curso, por essa razão, a UFC lançou bolsas de inclusão digital para auxiliar na aquisição de computadores (OLIVEIRA, 2020). Assim, a utilização de uma aplicação *mobile* no lugar de uma aplicação *desktop* nas aulas seria mais inclusiva.

Apesar da desvantagem citada nos parágrafos anteriores, uma ferramenta *web* tem outras vantagens notáveis como não haver a necessidade de instalação do *software* para acessá-lo e a facilidade de integração com plataformas como o *Moodle* (DESAI, 2023).

Todas as abordagens de desenvolvimento citadas têm suas vantagens e desvantagens, mas não é preciso escolher uma abordagem em detrimento da outra. *Frameworks* modernos como *Tauri* e *Capacitor* permitem que uma única base de código seja usada para desenvolver software para diferentes plataformas, graças a isso, torna-se possível o desenvolvimento multi-plataforma da ferramenta proposta nesse trabalho (SHEVTSIV; STRIUK, 2021).

## 1.1 Objetivos

O objetivo desse trabalho é criar uma ferramenta multi-plataforma que por meio de elementos visuais ajudem a entender como funcionam os algoritmos de análise sintática e quais os processos necessários para obter a saída de cada passo dos algoritmos.

Esse trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Oferecer uma forma de visualização dos algoritmos CLR, SLR e LL(1).
- Integração da ferramenta com a plataforma *Moodle*.
- Validar a ferramenta fazendo uma avaliação com alunos.
- Oferecer uma versão *web* da ferramenta
- Oferecer uma versão *desktop* da ferramenta
- Oferecer uma versão *mobile* da ferramenta
- Criar a ferramenta usando *svelte*.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

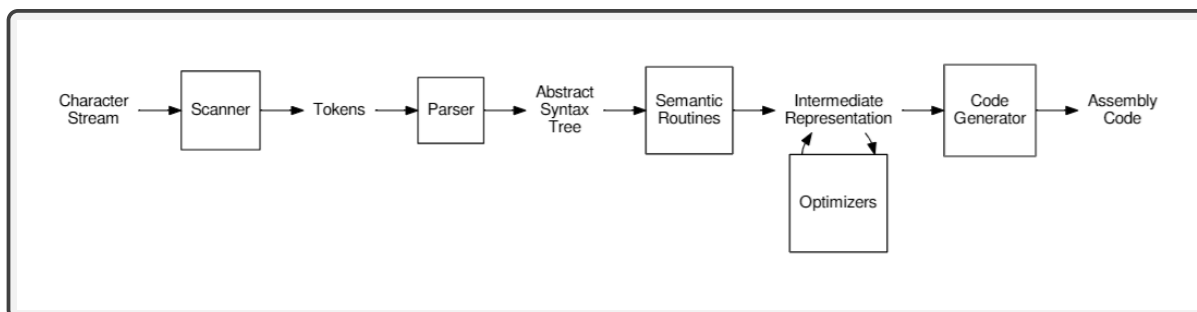
### 2.1 Compilador

Programas que são executados em computadores são escritos no que é chamada de linguagem de máquina que usa comandos simples que são interpretados pela máquina. Escrever em linguagem de máquina é uma tarefa passível de erro e cansativa, e por essa razão foram criados os compiladores. Os compiladores traduzem linguagens de alto nível em linguagem de máquina e indicam erros cometidos pelos programadores no código-fonte (MOGENSEN, 2024).

#### 2.1.1 Fases do compilador

As fases de um compilador podem ser divididas de várias formas, mas para esse trabalho será seguida a definição de Thain (2020).

Figura 1 – Fases de um compilador UNIX



Fonte: adaptada de Thain (2020).

##### 2.1.1.1 Análise Léxica

Na fase de análise léxica, o *scanner*, também chamado de *tokenizer*, consome texto simples de um programa e agrupa os caracteres individuais em sequências chamadas de *tokens*. Esse processo funciona de forma parecida com agrupar letras para formar palavras da linguagem natural.

### 2.1.1.2 *Análise Sintática*

A fase de análise sintática da compilação rearranja os *tokens* gerados pela fase de análise léxica, gerando assim uma estrutura chamada árvore sintática. Árvores sintáticas são estruturas de árvore como diz o nome, as folhas dessa árvore são os *tokens* e a leitura em ordem da árvore dá a sequência de *tokens* do texto de entrada dado ao analisador sintático. Ao construir a árvore sintática, o analisador sintático também checa se há erros de sintaxe no texto de entrada.

### 2.1.1.3 *Análise semântica*

Na fase de análise semântica, as rotinas semânticas percorrem a árvore sintática e buscam significado na entrada a partir das regras da gramática e da relação entre os elementos da entrada. Depois das rotinas semânticas, a árvore de análise sintática é convertida em uma representação intermediária que é uma versão simplificada de *assembly* que permite uma análise detalhada.

### 2.1.1.4 *Otimização*

Na fase de otimização, otimizadores são aplicados na representação intermediária para tornar o programa mais rápido, menor e eficiente. Normalmente os otimizadores recebem uma entrada em formato de representação intermediária e retornam um resultado no mesmo formato para que todos os otimizadores possam ser aplicados de forma independente e em qualquer ordem.

### 2.1.1.5 *Geração de código*

Na fase de geração de código, o gerador de código consome a representação intermediária otimizada e a transforma em um programa em *assembly* concreto. Para otimizar o uso dos registradores físicos limitados e gerar instruções de montagem de maneira eficiente, o gerador de código precisa executar as tarefas de alocação de registradores, seleção de instruções e sequenciamento de instruções.

## 2.2 **Analísadores Sintáticos Descendentes**

Analísadores sintáticos descendentes, também chamados de *parsers top-down*, são métodos de análise sintática que iniciam a análise a partir do símbolo inicial da gramática, eles fazem

comparações entre os *tokens* do texto de entrada e os símbolos da gramática para encontrar a produção que deve ser escrita no lugar dos símbolos da gramática, essas comparações são feitas até sobrar apenas símbolos terminais, esses símbolos terminais devem coincidir com a sequência de *tokens* da entrada caso contrário será considerado um erro.

### 2.2.1 Descendentes Recursivos

O conjunto de gramáticas que pode ser analisados usando algoritmos usando apenas um não terminal e o próximo símbolo da entrada é chamado de gramáticas LL(1). Uma das formas de fazer a análise dessas gramáticas é usando o analisador sintático descendente recursivo que usa funções recursivas para cada não terminal para processar a entrada. É um algoritmo que funciona como uma forma recursiva dos analisadores sintáticos LL(1) além de não seguirem estruturas fixas e determinísticas e por isso não será abordado na ferramenta.

### 2.2.2 Analisadores Sintáticos LL(1)

Analisadores sintáticos LL(1) são um tipo de analisador sintático descendente, esse analisador sintático leva em consideração um *lookahead* que nesse algoritmo é o símbolo inicial do lado direito das produções, o *lookahead* é usado para decidir qual produção deve ser escrita, por essa razão apenas gramáticas não ambíguas podem ser analisadas pelos analisadores sintáticos LL(1).

O conjunto dos símbolos iniciais das produções de uma gramática é chamado conjunto *first*, a construção desse conjunto pode ser feita seguindo o Algoritmo 1. As definições dos algoritmos foram tiradas do trabalho de Thain (2020).

O conjunto *follow* é o conjunto de símbolos terminais da gramática que podem ocorrer depois de qualquer uma das derivações de um não terminal *A*, o conjunto também inclui o símbolo \$ usado para se referir ao fim da *string*. Esse conjunto é usado no analisador LL para lidar com produções que derivam uma *string* vazia. A construção do conjunto *follow* pode ser feita seguindo o Algoritmo 2.

---

**Algoritmo 1: First**


---

**Entrada:** Gramática  $G$ , símbolo  $X$

**Saída:** Conjunto first

first = {}

**início**

**selecionar  $X$  fazer**

**caso Terminal fazer**

            first = { $X$ }

**caso Não terminal fazer**

**repetir**

**para cada regra  $X \rightarrow Y_1Y_2...Y_k$  na Gramática  $G$  fazer**

**se  $a$  está em  $First(Y_1)$  ou  $a$  está em  $First(Y_n)$  e  $Y_1..Y_{n-1} \Rightarrow \varepsilon$  então**

                        Adicionar  $a$  ao first

**fim**

**se  $Y_1...Y_k \Rightarrow \varepsilon$  então**

                        Adicionar  $\varepsilon$  ao first

**fim**

**fim**

**até que não haja mais mudanças;**

**fim**

**fim**

**fim**

---



---

**Algoritmo 2: Follow**


---

**início**

    Follow( $S$ ) = { $\$$ } onde  $S$  é o símbolo inicial.

**repetir**

**se  $A \rightarrow \alpha B \beta$  então**

            adiciona First( $\beta$ ) (exceto  $\varepsilon$ ) ao Follow( $B$ ).

**fim**

**se  $A \rightarrow \alpha B$  ou First( $\beta$ ) contém  $\varepsilon$  então**

            adiciona Follow( $A$ ) ao Follow( $B$ ).

**fim**

**até que até não houver mais mudanças;**

**fim**

---

Uma tabela de análise sintática LL(1) pode ser usada para determinar as regras a serem usadas na análise de uma trada para todas as combinações de não terminais e *tokens* da entrada. A construção dessa tabela pode ser feita usando os conjuntos de *firste follow* usando o Algoritmo 3.

---

**Algoritmo 3:** Construção da tabela LL(1)
 

---

**Entrada:** Grammar  $G$

**Saida:** Parsing table  $M$

**início**

**para cada** regra  $A \rightarrow \alpha$  em  $G$  **fazer**

**para cada** terminal  $a$  (exceto  $\epsilon$ ) em  $First(\alpha)$  **fazer**

      adiciona  $A \rightarrow \alpha$  a  $T[A, a]$ .

**fim**

**se**  $\epsilon$  está em  $First(\alpha)$  **então**

**para cada** terminal  $b$  (incluindo  $\$$ ) em  $Follow(A)$  **fazer**

      adiciona  $A \rightarrow \alpha$  to  $T[A, b]$ .

**fim**

**fim**

**fim**

**fim**

---

Tendo a tabela de análise sintática LL(1) em mãos, é possível fazer a análise de uma sequência de *tokens* usando uma *stack*. O Algoritmo 4 mostra a análise sintática usando a tabela.

---

**Algoritmo 4:** Analise com tabela LL(1)
 

---

**Entrada:** Gramática G com símbolo inicial P, tabela T
 

---

**início**

cria uma stack S.

monta \$ e P em S.

token c = o primeiro token na entrada.

**enquanto** *S não está vazio* **fazer**

token X = o topo de S.

**se** *X faz par com c* **então**

remova X de S.

avança c para o proximo token

repetir.

**fim**
**se** *X é um terminal* **então**

para com um erro.

**fim**
**se** *T[X, c] aponta para a regra  $X \rightarrow \alpha$*  **então**

remova X de S.

 monta os símbolos  $\alpha$  em S.

repetir.

**fim**
**se** *T[X, c] aponta para um estado de erro* **então**

para com um erro.

**fim**
**fim**
**fim**


---

### 2.3 Analisadores Sintáticos Ascendentes

Os analisadores sintáticos ascendentes levam uma abordagem oposta aos analisadores sintáticos descendentes. Ao invés de começar com o símbolo inicial da gramática, os analisadores sintáticos ascendentes procuram sequências de *tokens* que façam par com o lado direito das produções da gramática e substituem as sequências de *tokens* pelo símbolo não terminal do lado esquerdo da produção. Esse processo é repetido até que toda a sequência de *tokens* seja reescrita e apenas reste o símbolo inicial da gramática.

#### 2.3.1 Analisadores Sintáticos SLR

Há um conjunto de gramáticas que podem ser analisadas usando técnicas de *shift-reduce* e um único *lookahead*, esse conjunto de gramáticas pode ser chamado de LR(1). As ações

de *shift-reduce* são usadas para reduzir *tokens* de uma entrada a não terminais, quando uma sequência de *tokens* pode ser reduzida ao símbolo inicial da gramática a análise da entrada teve sucesso, caso contrário há um erro na entrada.

Todas as ações de *shift-reduce* possíveis podem ser calculadas para uma gramática construindo um autômato LR(0), que também pode ser chamado de coleção de itens canônicos. Esse autômato guarda todas as possíveis posições de leitura das produções da gramática representadas por um ponto escrito no lado direito das produções.

As ações de *shift-reduce* são definidas pelas transições do autômato e pela posição de leitura, caso uma transição seja feita com um terminal a ação será de *shift*, caso uma transição seja feita com um não terminal a ação será de *goto*, caso a posição de leitura esteja no fim da produção a ação será de *reduce*.

O Algoritmo 6 mostra como construir o autômato LR(0) com o auxílio do *closure* mostrado no Algoritmo 5.

---

**Algoritmo 5:** Closure

---

**Entrada:** Gramática  $G$ , Estado  $S$

---

**início**

**repetir**

**para cada** item da forma  $A \rightarrow \alpha.X\beta$  em  $S$  com  $X \in NT$  **fazer**

**para cada** produção da forma  $X \rightarrow \gamma$  em  $G$  **fazer**

        adiciona uma produção da forma  $X \rightarrow \gamma$  a  $S$

**fim**

**fim**

**até que** não tenha itens a serem adicionados;

**fim**

---

Quando um símbolo não terminal produz um símbolo terminal, apenas um caminho para derivação é possível, já que um não terminal não pode ser derivado, no entanto, quando um não terminal produz outro não terminal, o não terminal produzido terá outras derivações, por isso é preciso levar em consideração as produções dos não terminais que estão sob a posição de leitura dentro da produção de outro não terminal, *closure* é o nome dado a ação de completar os estados do autômato adicionando essas produções.

---

**Algoritmo 6:** Construção do autômato LR(0)
 

---

**Entrada:** Gramática G**Saida:** Autômato LR(0)**início**

cria um autômato m

  estado  $s_0 = \{P \mid \text{para a produção do símbolo inicial } A \rightarrow \gamma, P \text{ é uma produção da forma } A \rightarrow \cdot \gamma\}$ .  closure( $s_0$ )  adiciona  $s_0$  a m  conjunto de estados newStates = { $s_0$ }  **para cada** estado s em newStates **fazer**

conjunto de estados temp = {}

**para cada** símbolo a em  $T \cup NT$  **fazer**      estado  $s_1 = \{\}$       **para cada** produção da forma  $A \rightarrow \alpha \cdot a \beta$  em s **fazer**        adiciona uma produção da forma  $A \rightarrow \alpha a \cdot \beta$  em  $s_1$       **fim**      closure( $s_1$ )      **se**  $s_1$  não está em m **então**        adiciona  $s_1$  a m        adiciona a transição  $\hat{\delta}(s, a) = \hat{\delta}(s, a) \cup \{s_1\}$  a m        adiciona  $s_1$  a temp      **fim**    **fim**

newStates = temp

**fim**  **retornar** m**fim**


---

Usando o autômato LR(0) podemos construir uma tabela de ações e *goto* para facilitar o acesso a essas informações durante o processo de análise sintática. Essa pode ser calculada usando o Algoritmo 7.

A análise sintática do analisador sintático SLR pode ser feita usando a tabela de ações e *goto* seguindo o Algoritmo 8.



---

**Algoritmo 7:** Construção da tabela SLR
 

---

**Entrada:** Autômato LR(0)

**início**

tabela ACTION

tabela GOTO

**para cada estado  $s$  fazer**
**para cada item da forma  $A \rightarrow \alpha.a\beta$  fazer**

| ACTION[s, a] = shift para o estado t de acordo com o autômato LR(0).

**fim**
**para cada item da forma  $A \rightarrow \alpha.B\beta$  fazer**

| GOTO[s, B] = goto para o estado t de acordo com o autômato LR(0).

**fim**
**para cada item da forma  $A \rightarrow \alpha.$  fazer**
**para cada terminal  $a$  em FOLLOW(A) fazer**

 | ACTION[s, a] = reduce pela regra  $A \rightarrow \alpha$ 
**fim**
**fim**
**fim**

Todos os estados restantes são estados de erro.

**fim**


---



---

**Algoritmo 8:** Analise com tabela SLR
 

---

**Entrada:** Tabela de ações ACTION, Tabela goto GOTO

**início**

stack de estados S.

monta S0 em S.

token a = primeiro token da entrada.

**enquanto verdade fazer**

estado s = topo de S.

**se ACTION[s, a] for aceite então**

| analise completa.

**else if ACTION[s, a] for shift t then**

| monta estado t em S.

| token a = próximo token da entrada.

**else if ACTION[s, a] for reduce  $A \rightarrow \beta$  then**

 | desmonta estados correspondentes a  $\beta$  de S.

| estado t = topo de S.

| monta GOTO[t, A] em S.

**senão**

| para com um erro.

**fim**
**fim**
**fim**


---

### 2.3.2 Analisadores Sintáticos CLR

O analisador sintático *canonical* LR (CLR) é um analisador sintático descendente para gramáticas LR(1). O analisador sintático CLR usa o autômato LR(1) para construção da tabela de ações e *goto*, esse autômato é parecido com o autômato LR(0), o que diferencia os dois é que todos os itens do autômato LR(1) tem uma anotação do conjunto de *tokens* que podem aparecer depois desses itens. Esse conjunto é chamado de *lookahead*.

A construção do autômato LR(1) segue o mesmo algoritmo da construção do autômato LR(0) com algumas modificações. A primeira produção a ser adicionada no primeiro estado do autômato vai ser adicionada com o *lookahead*, esse *lookahead* tem \$ como único elemento. Ao computar o *closure* serão considerados dois casos:

- Para produções da forma  $A \rightarrow \alpha.B$  com *lookahead* de  $\{L\}$ , deverão ser adicionadas novas produções da forma  $B \rightarrow .\gamma$  com *lookahead* de  $\{L\}$
- Para produções da forma  $A \rightarrow \alpha.B\beta$ , com *lookahead* de  $\{L\}$ , deverão ser adicionadas novas produções da forma  $B \rightarrow .\gamma$  com *lookahead* da seguinte forma:
  - Se  $\beta$  não produz  $\varepsilon$ , o *lookahead* é  $First(\beta)$ .
  - Se  $\beta$  produz  $\varepsilon$ , o *lookahead* é  $First(\beta) \cup \{L\}$ .

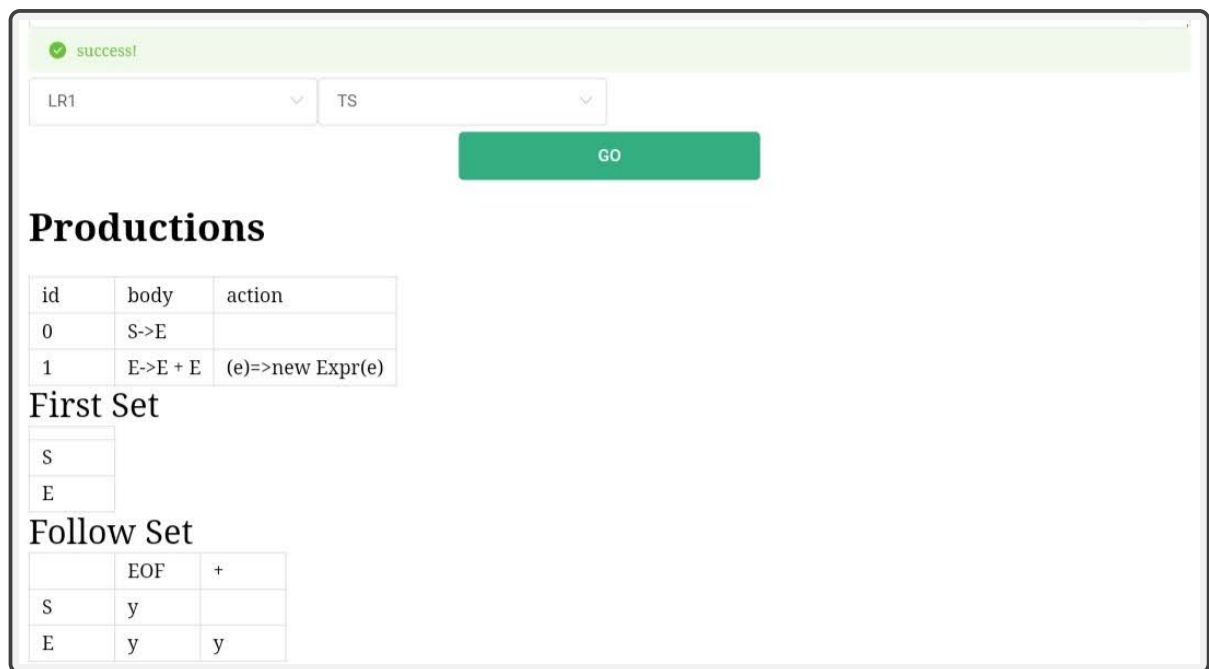
### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, estão descritas algumas ferramentas de visualização de algoritmos de análise sintática, suas funcionalidades e limitações.

#### 3.1 *Parser Generator Web Tools*

Essa ferramenta desenvolvida por Light (2024) é uma aplicação web que oferece a visualização de três algoritmos, LL(1), SLR(1) e CLR(1). Ao ser informada uma gramática pela caixa de entrada, a ferramenta cria a tabela dos conjuntos *first* e *follow* como mostra a Figura 2, um autômato dos estados do analisador sintático e a tabela de transição de estados como mostra a Figura 3.

Figura 2 – Imagem da ferramenta de *Parser Generator Web Tools*



success!

LR1 TS

GO

### Productions

id	body	action
0	S->E	
1	E->E + E	(e)=>new Expr(e)

### First Set

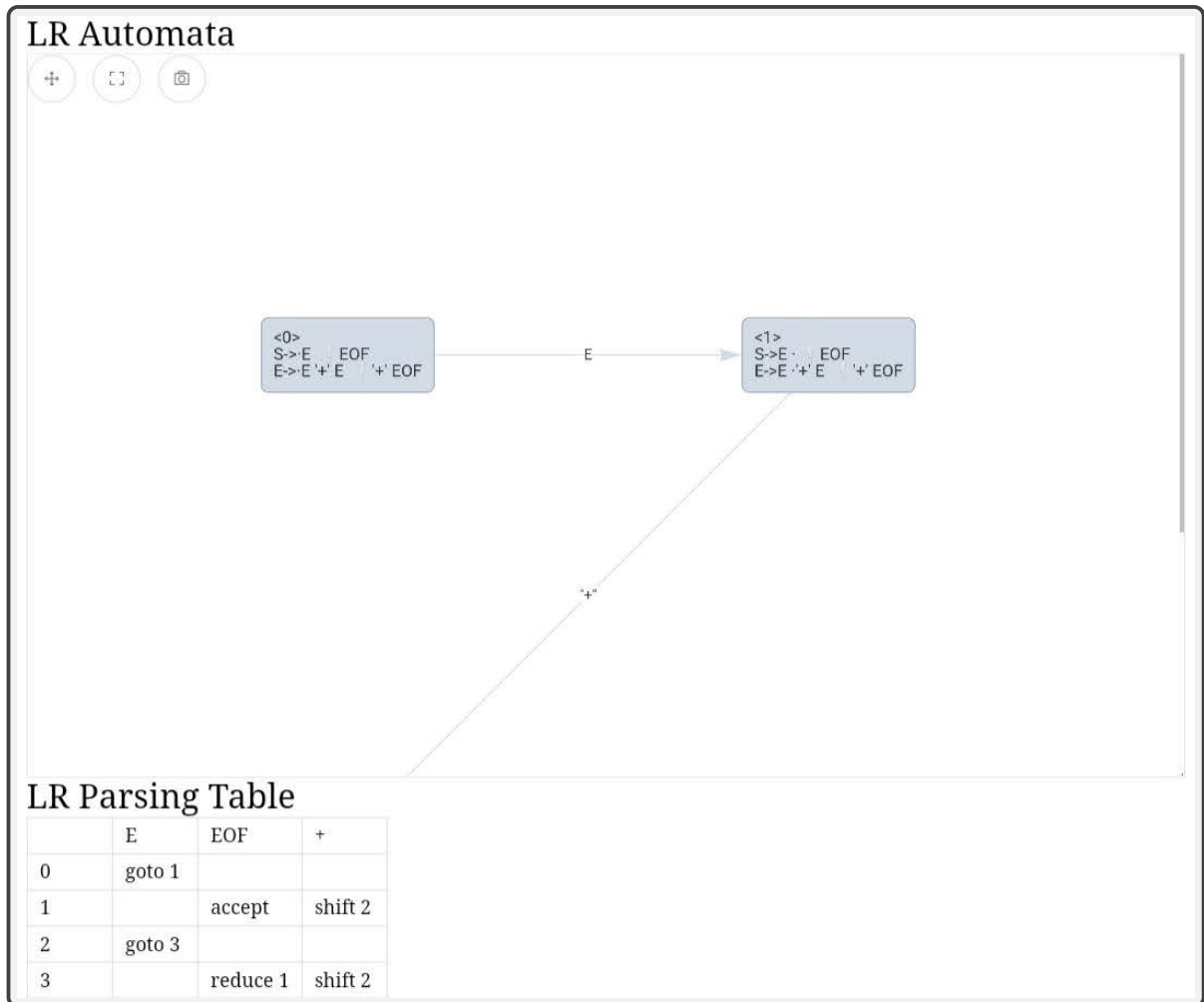
S
E

### Follow Set

	EOF	+
S	y	
E	y	y

Fonte: Light (2024).

Figura 3 – Imagem da ferramenta de *Parser Generator Web Tools*



Fonte: Light (2024).

### 3.2 LR(1) *Parser Generator*

Feita especificamente para o algoritmo CLR(1) a ferramenta web criada por Apou (2024) gera o conjunto de first mostrado na Figura 4, o conjunto de itens canônicos mostrado na Figura 4 e a tabela de transição de estados mostrada na Figura 5. A ferramenta também disponibiliza o passo a passo da análise de uma *string* junto com uma árvore sintática representada por contêineres contidos um dentro do outro como mostra a Figura 5.

Figura 4 – Imagem da ferramenta de LR(1) *Parser Generator*

LR(1) grammar ('' is e):

(0) S' -> S

(1) S -> C C

(2) C -> c C

(3) C -> d

>>

LR(1) closure table

Goto	Kernel	State	Closure
	{[S' -> .S, \$]}	0	{[S' -> .S, \$]; [S -> .C C, \$]; [C -> .c C, c/d]; [C -> .d, c/d]}
goto(0, S)	{[S' -> S., \$]}	1	{[S' -> S., \$]}
goto(0, C)	{[S -> C.C, \$]}	2	{[S -> C.C, \$]; [C -> .c C, \$]; [C -> .d, \$]}
goto(0, c)	{[C -> c.C, c/d]}	3	{[C -> c.C, c/d]; [C -> .c C, c/d]; [C -> .d, c/d]}
goto(0, d)	{[C -> d., c/d]}	4	{[C -> d., c/d]}
goto(2, C)	{[S -> C C., \$]}	5	{[S -> C C., \$]}
goto(2, c)	{[C -> c.C, \$]}	6	{[C -> c.C, \$]; [C -> .c C, \$]; [C -> .d, \$]}
goto(2, d)	{[C -> d., \$]}	7	{[C -> d., \$]}
goto(3, C)	{[C -> c C., c/d]}	8	{[C -> c C., c/d]}
goto(3, c)	{[C -> c.C, c/d]}	3	
goto(3, d)	{[C -> d., c/d]}	4	
goto(6, C)	{[C -> c C., \$]}	9	{[C -> c C., \$]}
goto(6, c)	{[C -> c.C, \$]}	6	
goto(6, d)	{[C -> d., \$]}	7	

FIRST table

Nonterminal	FIRST
S'	{c,d}
S	{c,d}
C	{c,d}

LR table

State	ACTION			GOTO		
	c	d	\$	S'	S	C
0	s3	s4		1	2	
1			acc			

Input (tokens):

c d d

Maximum number of steps:

100

PARSE

Fonte: Apou (2024).

Figura 5 – Imagem da ferramenta de LR(1) *Parser Generator*

LR table

State	ACTION			GOTO		
	c	d	\$	S'	S	C
0	s3	s4			1	2
1			acc			
2	s6	s7				5
3	s3	s4				8
4	r3	r3				
5			r1			
6	s6	s7				9
7			r3			
8	r2	r2				
9			r2			

Input (tokens): c d d

Maximum number of steps: 100

PARSE

Trace

Step	Stack	Input	Action
1	0	c d d \$	s3
2	0 c 3	d d \$	s4
3	0 c 3 d 4	d \$	r3
4	0 c 3 C	d \$	8
5	0 c 3 C 8	d \$	r2
6	0 C	d \$	2
7	0 C 2	d \$	s7
8	0 C 2 d 7	\$	r3
9	0 C 2 C	\$	5
10	0 C 2 C 5	\$	r1
11	0 S	\$	1
12	0 S 1	\$	acc

Tree

S

c

c

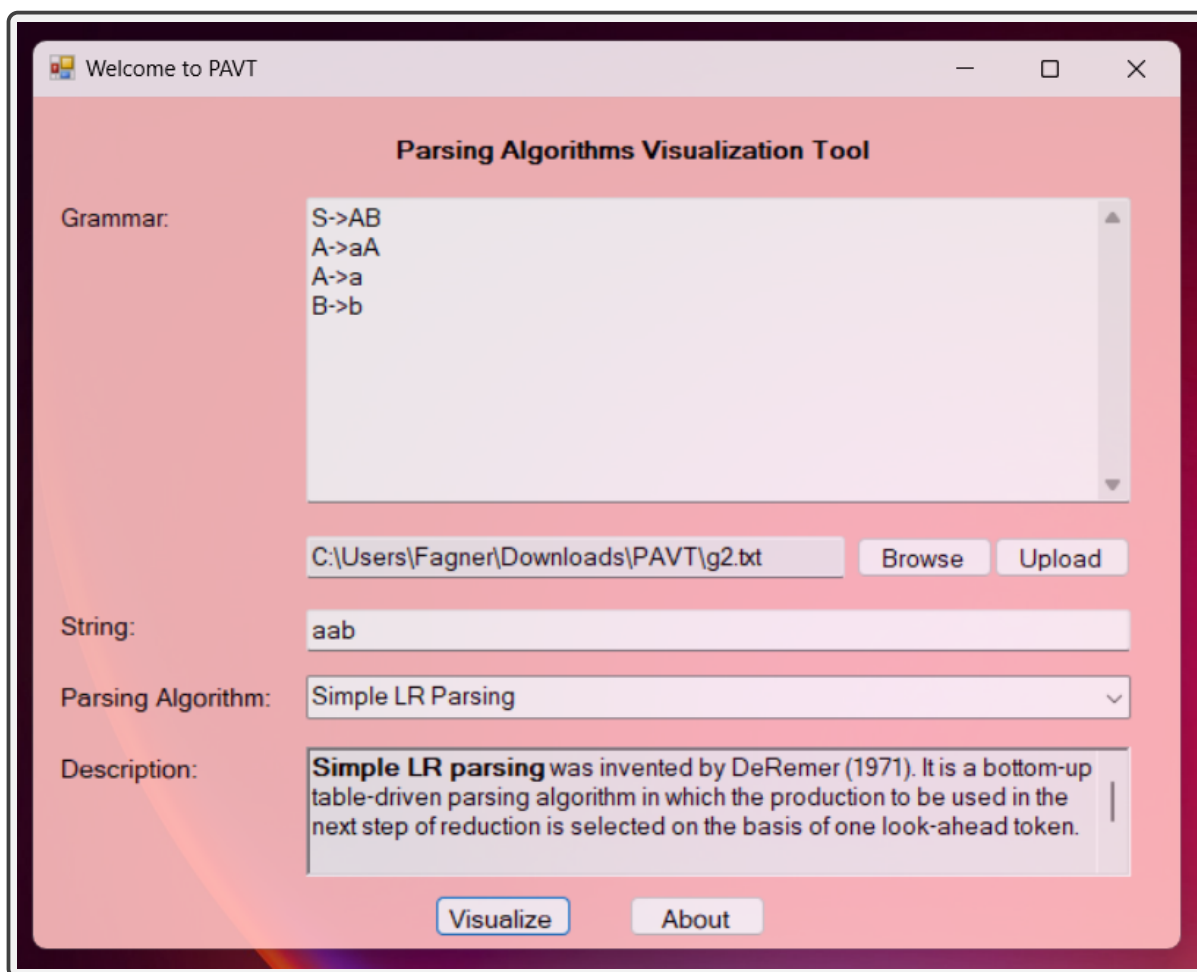
d

Fonte: Apou (2024).

### 3.3 PAVT

No trabalho de Sangal, Kataria, Tyagi *et al.* (2018) foi criada a ferramenta PAVT (*Parsing Algorithms Visualization Tool*) para visualização de seis algoritmos de análise sintática, no entanto, a visualização é realizada apenas pela leitura de um arquivo de texto gerado pela ferramenta, além de não mostrar instruções de como chegar ao resultado descrito no arquivo de texto. O software também está apenas disponível em versão *desktop* para o sistema operacional *Windows*.

Figura 6 – Imagem da ferramenta PAVT

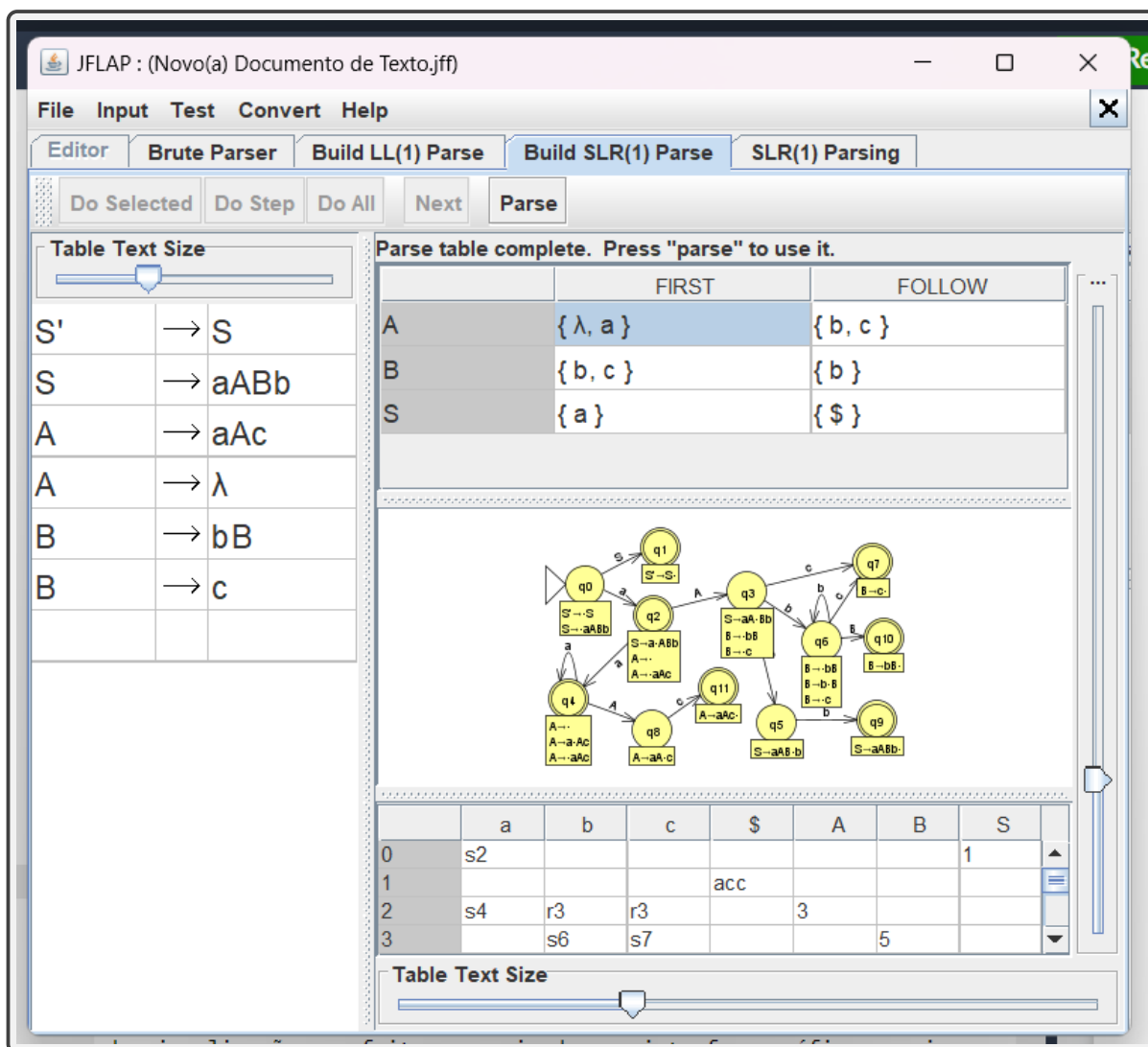


Fonte: Sangal, Kataria e Tyagi (2017).

### 3.4 JFLAP

JFLAP (*Java Formal Languages and Automata Package*) é uma ferramenta *desktop* criada por Rodger e Duke University (2018) que pode ser usada para visualização dos algoritmos LL(1), SLR e de força bruta. Apesar da visualização ser feita por meio de uma interface gráfica, assim como na ferramenta citada na seção anterior, JFLAP não dá instruções de como chegar nos resultados mostrados.

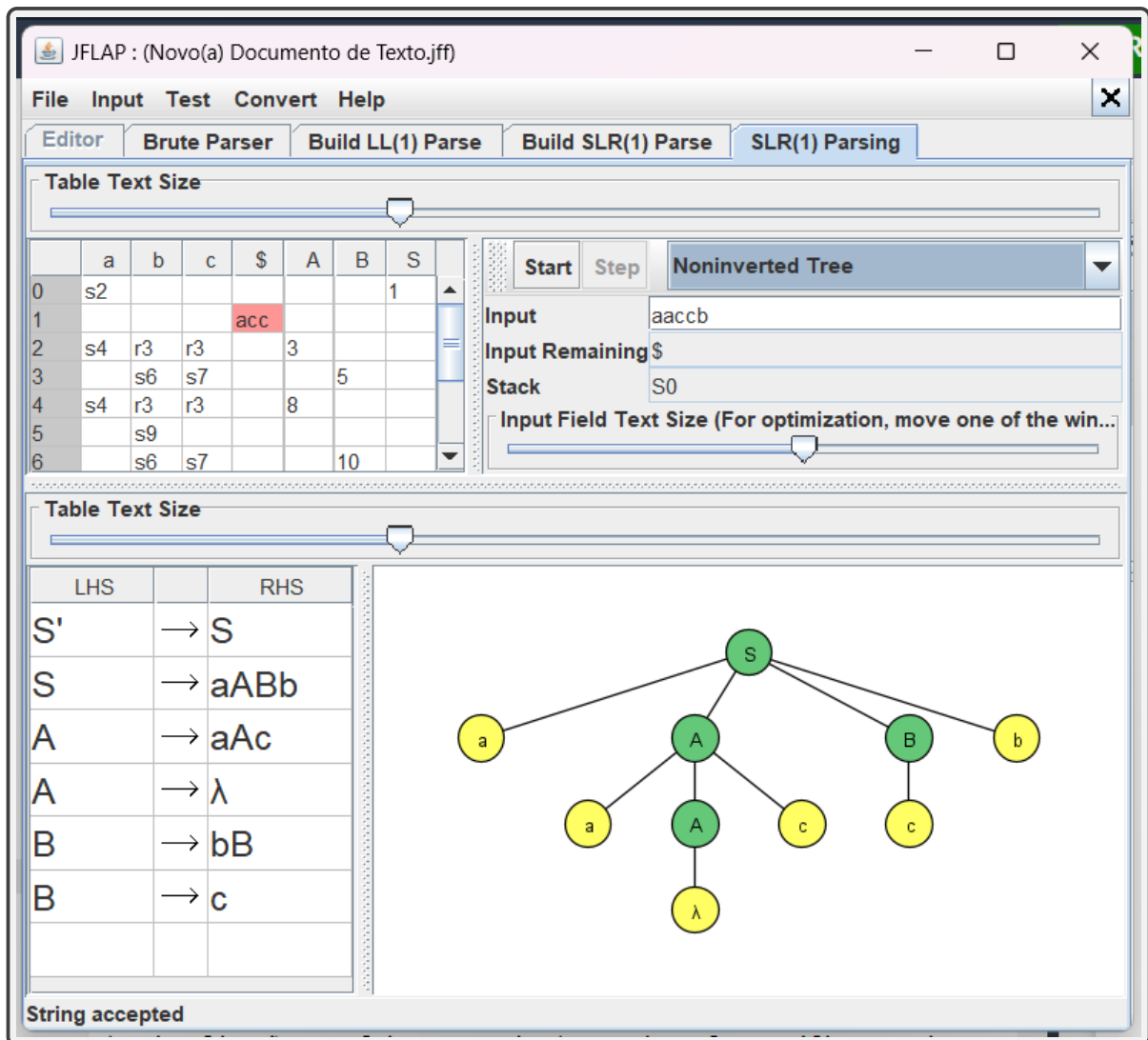
Figura 7 – Imagem da ferramenta JFLAP



Fonte: Rodger e Duke University (2018).



Figura 8 – Imagem da ferramenta JFLAP



Fonte: Rodger e Duke University (2018).

### 3.5 Considerações

Apesar de já existirem ferramentas de visualização de *parsers*, algumas desvantagens ainda precisam ser consideradas. Uma limitação é que o conteúdo não tem muita interatividade, a ferramenta PAVT, por exemplo, apresenta apenas em um arquivo de texto. Isso pode dificultar a compreensão dos conceitos. A ferramenta Parser Generator Web Tools não oferece a visualização da árvore sintática que é um elemento fundamental para entender a estrutura da análise sintática. Outro ponto fraco é a falta de detalhamento do passo a passo dos algoritmos, o que impede que os

estudantes acompanhem o funcionamento interno dos processos de análise. A variedade de algoritmos de análise sintática disponíveis nas ferramentas pode ser limitada, restringindo a exposição dos alunos a diferentes abordagens e técnicas. Por fim, nenhuma das ferramentas apresenta uma versão mobile. Essas lacunas representam oportunidades de melhoria para que as ferramentas de visualização de parsers se tornem ainda mais eficazes no apoio ao ensino e aprendizagem de análise sintática.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Definição dos requisitos

A partir da revisão bibliográfica foram definidos alguns requisitos básicos que deveriam estar presentes na ferramenta.

Como requisito não funcional foi definido oferecer suporte multi-plataforma, para *mobile*, *desktop* e *web*.

Como requisitos funcionais foram definidos os seguintes:

- Permitir que os usuários digitem a gramática a ser analisada
- Permitir que os usuários visualizem o estado das estruturas dos algoritmos
- Permitir que os usuários avancem, retornem e reiniciem os passos da execução dos algoritmos
- Permitir que os usuários selecionem o algoritmo a ser visualizado

Apesar das ferramentas compartilharem as mesmas funcionalidades básicas já definidas inicialmente, outras têm características interessantes que podem ser reaproveitadas, partir delas foram definidos os seguintes requisitos:

- Permitir que os usuários digitem uma *string* a ser analisada
- Permitir que os usuários visualizem a análise de uma *string*
- Permitir que os usuários visualizem a árvore sintática de uma *string*.
- Permitir que os usuários copiem em formato de texto os resultados da análise de uma *string*
- Permitir que os usuários copiem implementações dos algoritmos

Com esses requisitos tem-se a base para o desenvolvimento da ferramenta.

### 4.2 Interface de usuário

Essa seção irá falar sobre os detalhes de implementação da interface de usuário da ferramenta.

Para que o usuário selecione um algoritmo para visualizar a ferramenta terá opções no topo da tela que alternam entre abas. Dentre essas abas estarão inclusas uma para a entrada de gramáticas e uma aba para visualização de cada algoritmo disponível.

Para que o usuário possa dar uma gramática de entrada será criado um campo de texto como mostra Figura 9.

Figura 9 – Caption

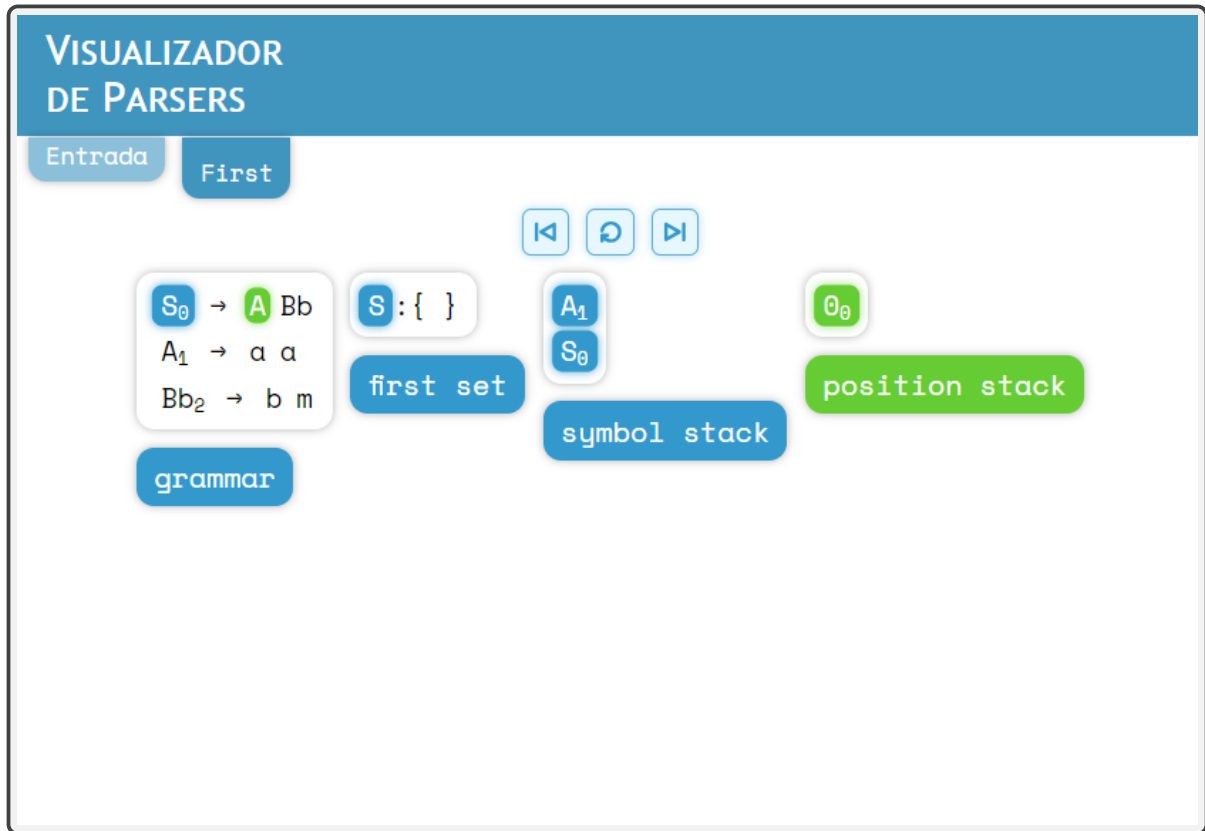


A interface visualizada é um navegador web para visualizadores de parsers. O cabeçalho principal é uma barra azul com o texto "VISUALIZADOR DE PARSERS" em branco. Abaixo do cabeçalho, há dois botões: "Entrada" (em azul escuro) e "First" (em azul claro). O corpo principal da interface contém um formulário de entrada de texto com uma barra lateral esquerda com uma lista numerada de 1 a 5. O formulário está atualmente vazio.

Fonte: fornecida pelo próprio autor

Para a visualização dos algoritmos a ferramenta terá uma composição de elementos como mostra a Figura 10, esses elementos são modificados de acordo com a execução do algoritmo selecionado. Os passos da execução do algoritmo podem ser controlados pelo conjunto de controles acima dos elementos do algoritmo como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Caption



Fonte: fornecida pelo próprio autor

Nas abas de visualização de algoritmos serão inclusos um campo de texto no qual o usuário poderá inserir uma *string* de entrada para ser analisada pelo algoritmo, um campo de texto para copiar os resultados dos algoritmos em forma de texto e um campo de texto para copiar a implementação do algoritmo.

### 4.3 Integração dos algoritmos

Para todas as estruturas de dados usadas nos algoritmos serão criadas representações visuais, dessa forma todos os passos do funcionamento poderão ser representados como estados dessas estruturas. Calculando antecipadamente os estados dessas estruturas em cada passo dos algoritmos podemos fazer um controle de fluxo entre os passos dos algoritmos.

#### 4.4 Animações

As mudanças de estados que ocorrem nos algoritmos podem ser melhor compreendidas se poderem ser visualizadas como transições ao invés de mostrar as mudanças saltando do estado inicial para o estado final. Usar animações torna a visualização das mudanças muito mais dinâmica. Um exemplo de animação é a animação do estado da estrutura de pilha que é usada em alguns algoritmos. Quando um item é adicionado ou removido da pilha, o elemento visual que representa esse item terá sua posição interpolada do ponto inicial ao ponto final.

#### 4.5 Avaliação

Será realizado um teste prático com um grupo de estudantes, onde os eles serão solicitados a realizar tarefas específicas utilizando a ferramenta. Serão coletados dados quantitativos, como tempo de execução das tarefas e taxa de acerto, bem como dados qualitativos por meio de questionários e entrevistas para avaliar a percepção dos estudantes sobre a eficácia da ferramenta. Além disso, a comparação dos resultados obtidos com um grupo de controle que não utiliza a ferramenta ajudará a avaliar o impacto da visualização na compreensão e desempenho dos alunos. Essa abordagem abrangente de avaliação garantirá uma análise completa da eficácia e utilidade da ferramenta desenvolvida nesse trabalho.

O desenvolvimento desse trabalho seguirá o cronograma mostrado no Quadro 1

Quadro 1 – Cronograma

Atividades	Período					
	1° mês	2° mês	3° mês	4° mês	5° mês	6° mês
Revisão bibliográfica	x					
Definição dos requisitos		x				
Implementação da interface de usuário		x	x			
Integração dos algoritmos			x	x	x	
Implementação das animações			x	x	x	
Avaliação					x	
Apresentação						x

Fonte: fornecido pelo autor

## REFERÊNCIAS

- APOU, Gregory. **LR(1) Parser Generator**. Disponível em: <https://jsmachines.sourceforge.net/machines/lr1.html>. Acesso em: 2 maio 2024.
- COOPER, K.D.; TORCZON, L. **Engineering a Compiler**. [S. l.]: Elsevier Science, 2022. ISBN 9780128189269. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=xcJrEAAAQBAJ>.
- DESAI, Jemin. **Web Application Vs Desktop Application: Pros and Cons**. Positiwise. 27 dez. 2023. Disponível em: <https://positiwise.com/blog/web-application-vs-desktop-application-pros-and-cons>. Acesso em: 16 maio 2024.
- HOLZER, Adrian; ONDRUS, Jan. Mobile app development: Native or web? *In*: PROC. Workshop eBus.(WeB). [S. l.: s. n.], 2012.
- JAIN, Aashi; GOYAL, Archita; CHAKRABORTY, Pinaki. PPVT: a tool to visualize predictive parsing. **ACM Inroads**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 8, n. 1, p. 43–47, fev. 2017. ISSN 2153-2184. DOI: 10.1145/3002136. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3002136>.
- LIGHT. **Parser Generator Web Tools**. Disponível em: <https://light0x00.github.io/parser-generator/>. Acesso em: 2 maio 2024.
- MOGENSEN, Torben Ægidius. **Introduction to compiler design**. [S. l.]: Springer Nature, 2024.
- OLIVEIRA, Lais. **UFC abre inscrições para auxílio estudantil direcionado à compra de computador ou tablet**. O POVO. 31 jul. 2020. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/noticias/fortaleza/2020/07/31/ufc-abre-inscricoes-para-auxilio-estudantil-de-r--1-500-direcionado-a-compra-de-computador-ou-tablet.html>. Acesso em: 16 maio 2024.
- PEREZ, Katin Yovany. **The Impact of Lack of Internet and Technology Access on Students' Academic Achievement: An Analysis of the United States**. 2023. Tese (Doutorado) – Georgetown University.
- RODGER, Susan H; DUKE UNIVERSITY. **JFLAP**. Versão 7.1. [S. l.], 27 jul. 2018. Disponível em: [www.jflap.org](http://www.jflap.org). Acesso em: 2 maio 2024.
- SANGAL, Somya; KATARIA, Shreya; TYAGI, Twishi. **PAVT**. Versão 0.0. [S. l.], 9 fev. 2017. Disponível em: <https://sourceforge.net/projects/pavt/>. Acesso em: 2 maio 2024.
- SANGAL, Somya; KATARIA, Shreya; TYAGI, Twishi *et al.* PAVT: a tool to visualize and teach parsing algorithms. **Education and Information Technologies**, Springer, v. 23, p. 2737–2764, 2018.

SHEVTSIV, Nikita A; STRIUK, Andrii M. Cross platform development vs native development.  
*In: CEUR WORKSHOP PROCEEDINGS.*

THAIN, D. **Introduction to Compilers and Language Design: Second Edition.** [S. l.]: Amazon Digital Services LLC - Kdp, 2020. Disponível em:  
<https://books.google.com.br/books?id=tQSYzQEACAAJ>.