

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – UFG**  
**CAMPUS CATALÃO – CaC**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – DCC**

Bacharelado em Ciência da Computação

Projeto Final de Curso

**Estudo de um compilador sob a perspectiva de um  
sistema online de programação**

Autor: Nélcio Carneiro Júnior

Orientador: Dr. Thiago Jabur

Nélio Carneiro Júnior

**Estudo de um compilador sob a perspectiva de um sistema online de  
programação**

Monografia apresentada ao Curso de  
Bacharelado em Ciência da Computação da  
Universidade Federal de Goiás Campus Catalão  
como requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel em Ciência da Computação

**Área de Concentração:** Compiladores

**Orientador:** Dr. Thiago Jabur

Carneiro, Nélío

**Estudo de um compilador sob a perspectiva de um sistema online de programação/Dr. Thiago Jabur- Catalão - 2011**

Número de paginas: 22

Projeto Final de Curso (Bacharelado) Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão, Curso de Bacharelado em Ciência da Computação, 2011.

Palavras-Chave: 1. Compilador. 2. Sistemas Web. 3. Linguagem de Programação

Nélio Carneiro Júnior

**Estudo de um compilador sob a perspectiva de um sistema online de  
programação**

Monografia apresentada e aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_  
Pela Banca Examinadora constituída pelos professores.

---

Dr. Thiago Jabur – Presidente da Banca

---

Professor 1

---

Professor 2

*Dedico este trabalho*

## AGRADECIMENTOS

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta que cotribuíram para a minha formação.

*“Os desafios.*

*Sulamita*

# Sumário

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introdução</b>                                       | <b>1</b>  |
| <b>1 Compiladores</b>                                   | <b>3</b>  |
| 1.1 Introdução . . . . .                                | 3         |
| 1.2 Modelo de Compilação de Análise e Síntese . . . . . | 4         |
| 1.3 Análise . . . . .                                   | 5         |
| 1.3.1 Tokens, Padrões e Lexemas . . . . .               | 6         |
| 1.3.2 Expressões Regulares . . . . .                    | 7         |
| 1.3.3 Análise Léxica . . . . .                          | 7         |
| 1.3.4 Análise Sintática . . . . .                       | 8         |
| 1.4 Síntese ou Geração de Código . . . . .              | 12        |
| 1.4.1 Geração de Código Intermediário . . . . .         | 12        |
| 1.4.2 Geração de Código . . . . .                       | 13        |
| <b>2 Portugol</b>                                       | <b>15</b> |
| 2.1 Introdução . . . . .                                | 15        |
| 2.2 Estrutura da Linguagem . . . . .                    | 15        |
| 2.2.1 Comentários . . . . .                             | 15        |
| 2.2.2 Tipos básicos . . . . .                           | 15        |
| 2.2.3 Variáveis e Identificadores . . . . .             | 17        |
| 2.2.4 Declaração de variáveis . . . . .                 | 17        |
| 2.2.5 Atribuição . . . . .                              | 17        |
| 2.2.6 Operadores . . . . .                              | 18        |
| 2.2.7 Estrutura Sequencial . . . . .                    | 19        |
| 2.2.8 Estruturas Condicionais . . . . .                 | 19        |
| 2.2.9 Estruturas de Repetição . . . . .                 | 20        |
| 2.2.10 Funções . . . . .                                | 21        |
| 2.3 Conclusão . . . . .                                 | 21        |
| <b>Referências</b>                                      | <b>22</b> |



# Lista de Figuras

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.1 | Posição do gerador de código intermediário [Aho et al., 1995] . . . . . | 12 |
| 1.2 | Posição do gerador de código intermediário [Aho et al., 1995] . . . . . | 13 |

# Introdução

É evidente o crescente número de usuários conectados e dependentes da internet ao longo do tempo. Percebe-se também que estes usuários, estão cada vez mais necessitados de que suas ferramentas, antes usadas em seus desktops, fiquem disponíveis online, de prontidão, sempre que se fizer necessário, mesmo estando conectados longe de casa. Fez-se então necessário que o desenvolvimento de softwares caminhasse neste mesmo sentido. [carece de fontes]

Um aspecto interessante deste processo a ser analisado são as aplicações que dependem de um compilador, ou seja, programas que quando instalados na máquina sempre fazem uso de um compilador ou então, são eles mesmos, compiladores. Um exemplo deste tipo de software seria um compilador para Portugol. Como iria se comportar tal compilador ao ser usado na internet? Como se daria a implementação deste compilador? Quais aspectos a serem tratados? E como seria o sistema na web que necessitasse deste compilador?

O objetivo principal deste trabalho é analisar o comportamento de um compilador feito para a linguagem Portugol[fontes], trabalhando sob um sistema de programação na Web. A proposta é fazer um estudo detalhado da implementação deste compilador, tendo assim uma base sólida para o desenvolvimento do mesmo, visando na prática tirar conclusões à respeito das técnicas utilizadas.

Este trabalho também tem como objetivo desenvolver uma aplicação Web que irá utilizar o compilador. A aplicação será um editor o qual o usuário fará seus programas em Portugol, tendo de imediato a resposta do compilador. A intenção é analisar como irá se comportar o compilador, bem como, verificar a viabilidade de uso de tal aplicação, ao se implementar utilizando as técnicas descritas ao longo deste trabalho. A aplicação terá um caráter educativo, no qual o usuário fará programas e, ele e seus trabalhos, poderão ser acompanhados por um instrutor, visando assim verificar os passos realizados pelo usuário, bem como a maneira pela qual o compilador tem sido usado.

No capítulo 1 são abordados os conceitos de compiladores, as técnicas utilizadas na criação do compilador e como se dará o seu funcionamento diante uma aplicação Web.

No capítulo 2 é feita uma apresentação da linguagem do compilador: o Portugol. Suas características e o embasamento para a criação do compilador baseado nesta linguagem também fará parte deste capítulo

No capítulo 3 pode-se observar um levantamento sobre o estado da arte dos compiladores e como tem sido o uso destes em aplicações na Web. Neste também irei citar casos em que editores/compiladores foram colocados na Web.

No capítulo 4 é discorrido sobre a metodologia proposta para o desenvolvimento do protótipo de editor/compilador Web.

No capítulo 5 é abordado todo o processo de testes, além de ser realizado uma análise dos resultados. Por fim há uma conclusão do trabalho realizado, levantando os objetivos alcançados, pontos positivos, pontos negativos, dificuldades e trabalhos futuros.

Ainda é possível encontrar o código fonte do compilador e da aplicação Web criada, além de toda a documentação de testes elaborada no apêndice desta monografia.

# Capítulo 1

## Compiladores

### 1.1 Introdução

Criado por volta dos anos 50, o nome Compilador se refere ao processo de composição de um programa através da reunião de várias rotinas de bibliotecas. O processo de tradução (de uma linguagem fonte para uma linguagem objeto), considerado hoje a função central de um compilador, era então conhecido como programação automática [Rangel, 1999].

Definido em [Aho et al., 1995], um compilador é um programa que lê outro programa escrito em uma linguagem — a linguagem de origem — e o traduz em um programa equivalente em outra linguagem — a linguagem de destino. Como uma importante parte no processo de tradução, o compilador reporta ao seu usuário a presença de erros no programa origem.

Ao longo dos anos 50, os compiladores foram considerados programas notoriamente difíceis de escrever. O primeiro compilador Fortran, por exemplo, consumiu 18-homens ano para implementar [Backus, 1957]. Desde então, foram descobertas técnicas sistemáticas para o tratamento de muitas das mais importantes tarefas desenvolvidas por um compilador.

A variedade de compiladores nos dias de hoje é muito grande. Existem inúmeras linguagens fontes, as quais poderiam ser citadas em várias páginas deste trabalho. Isso se deve principalmente ao fato de que com o aumento do uso dos computadores, aumentou também, as necessidades de cada indivíduo, sendo estas específicas, exigindo por sua vez linguagens de programação diferentes. Este processo — juntamente com a evolução da tecnologia de desenvolvimento de compiladores — levou à criação de várias técnicas diferentes para a construção de um compilador, ou seja, passou a existir diferentes maneiras de se implementar um compilador. No entanto, a despeito dessa aparente complexidade, as tarefas básicas que qualquer compilador precisa realizar são essencialmente as mesmas.

A grande maioria dos compiladores de hoje fazem uso da técnica chamada: *tradução dirigida pela sintaxe*. Nesta técnica as regras de construção do programa fonte são utilizadas para guiar todo o processo de compilação. Algumas das técnicas mais antigas utilizadas na construção dos primeiros compiladores (da linguagem Fortran) pode ser obtido em [Rosen, 1967].

## 1.2 Modelo de Compilação de Análise e Síntese

Ainda segundo [Rangel, 1999], existem duas tarefas triviais a serem executadas por um compilador nesse processo de tradução:

- *análise*, em que o texto de entrada (na linguagem fonte) é examinado, verificado e compreendido
- *síntese*, ou *geração de código*, em que o texto de saída (na linguagem objeto) é gerado, de forma a corresponder ao texto de entrada.

Em [Aho, 1995], *análise* é colocada como uma tarefa que divide o programa fonte nas partes constituintes e cria uma representação intermediária do mesmo. E *síntese* constrói o programa alvo desejado, a partir da representação intermediária.

Geralmente, pensamos nessas tarefas como fases que ocorram durante o processo de compilação. No entanto, não se faz totalmente necessário que a análise de todo o programa seja realizada antes que o primeiro trecho de código objeto seja gerado. Ou seja, estas duas fases podem ser intercaladas. Por exemplo, o compilador pode analisar cada comando do programa de entrada e então gerar de imediato o código de saída correspondente ao respectivo comando. Ou ainda, o compilador pode esperar pelo fim da análise de cada bloco de comando — ou unidade de rotina (rotina, procedimentos, funções) — para então gerar o código correspondente ao bloco. Para aproveitar melhor a memória durante a execução, compiladores costumavam ser divididos em várias etapas, executados em sequência. Cada etapa constitui uma parte do processo de tradução, transformando assim o código fonte em alguma estrutura intermediária adequada, cada vez mais próxima do código objeto final.

É natural que a análise retorne como resultado uma representação do programa fonte que contenha informação necessária para a geração do programa objeto que o corresponda. Quase sempre, essa representação (conhecida como *representação intermediária* [Rangel, 1999]) tem como complemento tabelas que contêm informações adicionais sobre o programa fonte. Pode ter casos em que a representação intermediária toma a forma de um programa em uma *linguagem intermediária*, deixando assim mais fácil a tradução para a linguagem objeto desejada.

Não importando a maneira pela qual se toma a representação intermediária, ela tem de conter necessariamente toda a informação para a geração do código objeto. Uma das características da representação intermediária é que as estruturas de dados implementadas devem dar garantia de acesso eficiente as informações.

Imagem - Rangel[1999]

Segundo [Rangel, 1999], uma das formas mais comuns de tabela utilizada nessa representação intermediária é a *tabela de símbolos*, em que se guarda para cada identificador(*símbolo*) usado no programa as informações correspondentes.

Há também um modelo possível em [Ullman, 1977], o qual se faz a separação total entre o *front-end*, encarregado da fase de análise, e o *back-end*, encarregado pela geração de código. Com isso tem-se que:

- front-end e back-end se comunicam apenas da representação intermediária;
- o front-end depende exclusivamente da linguagem fonte
- o back-end depende exclusivamente da linguagem objeto.

Essa idéia tem como objetivo simplificar a implementação de diferentes linguagens de programação para diferentes máquinas. Basta-se então escrever um front-end para cada linguagem e um back-end para cada máquina. Ou seja, se deseja implementar  $x$  linguagens para  $y$  máquinas, precisa-se fazer  $x$  front-ends e  $y$  back-ends. Este esquema se torna mais fácil de aplicar quando há semelhança entre as máquinas e o mesmo acontece com as linguagens.

## 1.3 Análise

É normal associar a *sintaxe* a idéia de forma, em oposição a *semântica* que se associa a significado, conteúdo. Tem-se então que a sintaxe de uma linguagem de programação deve descrever todos os aspectos relativos à forma de construção de programas corretos na linguagem, enquanto a semântica deve descrever o que acontece quando o programa é executado. Portanto, toda análise está relacionada com sintaxe, e a semântica deveria corresponder apenas à geração de código, que deve preservar o significado do programa fonte, contruindo um programa objeto com o mesmo significado[Rangel, 1999]

É necessário ressaltar uma diferença existente entre a teoria e a prática. Quando falamos em teoria, somente os programas corretos pertencem à linguagem, não havendo interesse nos programas incorretos. O fato é que um programa ou é da linguagem (está correto) ou não é da linguagem (está incorreto). No entanto, em se tratando de prática, no momento em que decide-se que um programa está incorreto, um bom compilador deverá

ser capaz de avisar sobre tal erro e de alguma forma, ajudar o usuário a corrigí-lo. Se faz necessário que o tratamento de erros inclua mensagens informativas e uma recuperação, para que a análise possa continuar e assim outros erros sejam sinalizados.

Em [Aho et al., 1995] vemos que a análise se constitui em 3 fases:

- *Análise Linear - Análise Léxica*, na qual um fluxo de caracteres constituindo um programa é lido da esquerda para a direita e agrupado em *tokens*, que são sequências de caracteres tendo um significado coletivo.
- *Análise Hierárquica - Análise Sintática*, na qual os caracteres ou *tokens* são agrupados hierarquicamente em coleções aninhadas com significado coletivo.
- *Análise Semântica*, na qual certas verificações são realizadas a fim de se assegurar que os componentes de um programa se combinam de forma significativa.

Sabe-se da possibilidade de total representação da sintaxe de uma linguagem de programação através de uma gramática sensível ao contexto [Wijngaarden, 1969]. No entanto, não há algoritmos práticos para tratar estas gramáticas, fazendo com que haja preferência em usar gramáticas livres de contexto. Sendo assim, fica claro que a separação entre análise sintática e análise semântica é dependente da implementação.

Sendo assim, a análise léxica tem como finalidade separar e identificar os elementos componentes do programa fonte, o qual estes geralmente, são especificados através de expressões regulares. A análise sintática deve reconhecer a estrutura global do programa, descrita através de gramáticas livre de contexto. A análise semântica se encarrega da verificação das regras restantes. Essas regras tratam quase sempre da verificação de que os objetos são usados no programa da maneira prevista em suas declarações, por exemplo verificando que não há erros de tipos [Rangel, 1999].

Não há ainda um modelo matemático que se adeque inteiramente na função de descrever o que deve ser verificado durante a análise semântica, ao contrário do que ocorre nas outras duas fases. No entanto, alguns mecanismos, como gramática de atributos, tem sido utilizados com sucesso no processo de simplificação da construção de analisadores semânticos.

### 1.3.1 Tokens, Padrões e Lexemas

É necessário que antes de começar a falar de análise léxica tenha-se bem definido o significado de *tokens*, padrões e lexemas.

*Tokens* são símbolos terminais na gramática de uma linguagem. Falando em linguagens de programação, na maioria delas, as seguintes construções são tratadas como

*tokens*: palavras-chave, operadores, identificadores, constantes, cadeias, literais(*strings*), e símbolos de pontuação como parênteses, vírgulas e pontos.

Padrão(*pattern*) constitui-se em uma regra que define o conjunto de lexemas representam um *token* na linguagem. Normalmente tais regras são descritas na forma de expressões regulares.

Lexemas são sequências de caracteres descritas por um padrão de um *token*. Lexema é então o valor do *token*, aparecendo na maioria das vezes como um atributo a ser utilizado nas fases seguintes de compilação. Enquanto o analisador léxico faz a procura por *tokens*, temos que na geração de código os lexemas para produzir significado.

### 1.3.2 Expressões Regulares

Como já foi dito a análise léxica é responsável por gerar uma lista de tokens tendo como base o código fonte original. Desta forma um meio de representarmos o que a linguagem aceita, ou não, pode ser neste primeiro passo de abstração representado através de Expressões Regulares.

Expressões regulares são uma forma muito interessante de descrever padrões, especialmente aqueles que consistem em cadeias de caracteres. Através destas expressões podemos especificar que seqüências de caracteres são aceitas em um token, especificando caracteres opcionais e o número de repetições aceitos.

Segundo [S.R] as expressões regulares são muito eficientes no que tange a representação ou especificação de tokens. Sendo assim neste primeiro momento o uso destas expressões são suficientemente boas para podermos representar os tokens que são aceitos pela linguagem em questão.

### 1.3.3 Análise Léxica

Segundo [Aho et al., 1995], o analisador léxico é a primeira fase de um compilador. Sua tarefa principal é a de ler os caracteres de entrada e produzir uma seqüência de *tokens* que o *parser* utiliza para a análise sintática. Essa interação é comumente implementada fazendo com que o analisador léxico seja uma subrotina do *parser*. Ao receber do *parser* um comando 'obter o próximo *token*', o analisador léxico lê os caracteres de entrada até que possa identificar o próximo *token*.

Já em [Ullman, 1977], vemos que a análise léxica é responsável por separar e identificar os elementos componentes do código fonte. A análise léxica também elimina os elementos considerados 'decorativos' ou mesmo desnecessários para este processo, tais como espaços em branco, marcas de formatação de texto e comentários.

Em [Rangel, 1995] temos o seguinte exemplo em Pascal:



|   |                      |                 |
|---|----------------------|-----------------|
| 1 | <b>if</b> x > 0 then | {x e' positivo} |
| 2 | modx := x            |                 |
| 3 | <b>else</b>          | {x e' negativo} |
| 4 | modx := (-x)         |                 |

Após a análise léxica, a sequência de *tokens* identificadas é:

| <b>Tipo do <i>token</i></b>  | <b>Valor do <i>token</i></b> |
|------------------------------|------------------------------|
| palavra reservada if         | if                           |
| identificador x              | x                            |
| operador maior               | >                            |
| literal numérico             | 0                            |
| palavra reservada then       | then                         |
| identificador                | modx                         |
| operador de atribuição       | :=                           |
| identificador                | x                            |
| palavra reservada else       | else                         |
| identificador                | modx                         |
| operador de atribuição       | :=                           |
| delimitador abre parêntese   | (                            |
| operador menos unário        | -                            |
| identificador                | x                            |
| delimitador fecha parenteses | )                            |

Normalmente os tipos dos *tokens* (na primeira coluna) são representados por valores de um tipo de enumeração ou por códigos numéricos apropriados.

O que vemos na grande maioria das vezes é que a implementação de um analisador léxico é baseada em um autômato finito capaz de reconhecer as diversas construções.

### 1.3.4 Análise Sintática

As linguagens de programação possuem regras que descrevem a estrutura sintática dos programas bem-formados. Desta maneira, a partir da sequência de *tokens* gerada pelo analisador léxico, o analisador sintático realiza o seu trabalho, verificando se esta sequência pode ser gerada pela gramática da linguagem-fonte.

A análise sintática envolve o agrupamento dos *tokens* do programa fonte em frases gramaticais, que são usadas pelo compilador, a fim de sintetizar a saída. Usualmente, as frases gramaticais do programa fonte são representadas por uma árvore gramatical [Aho et al., 1995].

Já em [Rangel, 1999] temos que a análise sintática deve reconhecer a estrutura global do programa, por exemplo, verificando que programas, comandos, declarações, expressões, etc têm as regras de composição respeitadas.

Vejamos o exemplo:

|   |                  |
|---|------------------|
| 1 | se $x > 0$ entao |
| 2 | $modx = x$       |
| 3 | senao            |
| 4 | $modx = -x$      |
| 5 | fimsenao         |

Caberia a análise sintática reconhecer a estrutura deste trecho, reconhecendo de que se trata de um *jcomando*, que no caso é um *jcomando-se*, composto pela palavra reserva *se*, seguido de uma *jexpressão*, seguida também de uma palavra reservada *entao*, e assim por diante.

Ainda segundo [Rangel, 1999], quase universalmente, a sintaxe das linguagens de programação é descrita por gramáticas livres de contexto, em uma notação chamada BNF (*Forma de Backus-Naur* ou ainda *Forma Normal de Backus*, ou em alguma variante ou extensão dessa notação. Essa notação foi introduzida por volta de 1960, para a descrição da linguagem Algol [Naur, 1963].

Existem três tipos gerais de analisadores sintáticos. Os métodos universais de análise sintática, tais como o algoritmo de *Cocke-Younger-Casami* e o de *Earley*, podem tratar qualquer gramática. Esses métodos, entretanto, são muito ineficientes para se usar num compilador de produção. Os métodos mais comumente usados nos compiladores são classificados como *top-down* ou *bottom-up*. Como indicado por seus nomes, os analisadores sintáticos *top-down* constroem árvores do topo(raiz) para o fundo(folhas), enquanto que os *bottom-up* começam pelas folhas e trabalham árvore acima até a raiz. Em ambos os casos, a entrada é varrida da esquerda para a direita, um símbolo de cada vez [Aho et al., 1995]

Os métodos de análise sintática mais eficientes, tanto *top-down* quanto *bottom-up*, trabalham somente em determinadas subclasses de gramáticas, mas várias dessas subclasses, como as das gramáticas LL e LR, são suficientemente expressivas para descrever a maioria das construções sintáticas das linguagens de programação. Os analisadores implementados manualmente trabalham frequentemente com gramáticas LL. Os da classe mais ampla das gramáticas LR são usualmente contruídos através de ferramentas automatizadas. [Aho et al., 1995]

## Tratamento dos Erros de Sintaxe

Seria muito mais fácil e simples se um compilador tivesse que processar apenas programas corretos. No entanto, frequentemente os programadores escrevem programas errados que necessitam ser corrigidos e, um bom compilador deve ajudar a encontrá-los. Porém,

[Aho et al., 1995] cita que a maioria das linguagens de programação não descreve como um compilador deveria responder aos erros, deixando tal tarefa para o projetista do compilador. O planejamento do tratamento de erros exatamente desde o início poderia tanto simplificar a estrutura de um compilador quanto melhorar sua resposta aos erros.

Os programas podem conter erros em níveis diferentes. Por exemplo:

- Léxicos, tais como errar a grafia de um identificador ou palavra-chave
- Sintáticos, tais como uma expressão aritmética com parênteses não fechados
- Lógicos, tais como uma entrada em um *looping* infinito.

Em [Aho et al., 1995] temos que boa parte da detecção e recuperação de erros num compilador gira em torno da fase de análise sintática. Isto porque os erros ou são sintáticos por natureza ou são expostos quando o fluxo de *tokens* proveniente do analisador léxico desobedece às regras gramaticas que definem a linguagem de programação. Outra razão está na precisão dos modernos métodos de análise sintática, sendo estes capazes de detectar muito eficientemente a presença de erros sintáticos num programa.

Podemos concluir que o tratamento de erros em um analisador sintático tem metas simples de serem estabelecidas:

- Relatar de maneira clara e objetiva qualquer presença de erros
- Recuperar-se o mais rápido possível de algum erro para que assim, possa detectar erros subsequentes
- E por fim, não deve atrasar de maneira significativa o processamento de programas corretos.

Realizar efetivamente tais metas não constitui em uma tarefa fácil.

Felizmente, o que se vê é que os erros frequentes são simples e na maioria das vezes basta um método de tratamento de erros relativamente direto. Em alguns casos, porém, pode acontecer de um erro ter ocorrido antes mesmo de que sua presença fosse detectada e identificar precisamente a sua natureza pode ser muito difícil. Não é raro que em alguns casos difíceis, o tratador de erros tenha que adivinhar a idéia do programador quando o programa foi escrito.

Vários métodos de análise sintática, tais como os métodos LL e LR, detectam os erros tão cedo quanto possível. Mais precisamente, possuem a *propriedade do prefixo viável*, significando que detectam que um erro ocorreu tão logo tenham examinado um prefixo da entrada que não seja o de qualquer cadeia da linguagem.

Com o intuito de se conhecer os tipos de erros que ocorrem na prática, vamos examinar os erros que [Ripley e Druseikis, 1978] encontraram em uma amostra de programa Pascal de estudantes.

[Ripley e Druseikis, 1978] descobriram que os erros não ocorrem com tanta frequência. 60% dos programas compilados estavam semântica e sintaticamente corretos. Mesmo quando os erros ocorriam de fato, eram um tanto dispersos. 80% dos enunciados contendo erros possuíam apenas um, 13% dois. Finalmente, a maioria constituía de erros triviais. 90% eram erros em um único *token*.

Ainda segundo [Ripley e Druseikis, 1978], muitos dos erros poderiam ser classificados simplificadaamente. 60% eram erros de pontuação, 20% de operadores e operandos, 15% de palavras-chave e os 5% restantes de outros tipos. O grosso dos erros de pontuação girava em torno do uso incorreto do ponto e vírgula.

## Gramáticas Livres de Contexto

Tradicionalmente, gramáticas livres de contexto têm sido utilizadas para realizar a análise sintática de linguagens de programação. Nem sempre é possível representar neste tipo de gramática restrições necessárias a algumas linguagens – por exemplo, exigir que todas as variáveis estejam declaradas antes de seu uso ou verificar se os tipos envolvidos em uma expressão são compatíveis. Entretanto, há mecanismos que podem ser incorporados às ações durante a análise – por exemplo, interações com tabelas de símbolos – que permitem complementar a funcionalidade da análise sintática.

A principal propriedade que distingue uma gramática livre de contexto de uma gramática regular é a auto-incorporação. Uma gramática livre de contexto que não contenha auto-incorporação pode ser convertida em uma gramática regular.

Segundo [WIRTH, 1996], o termo livre de contexto deve-se a Chomsky e indica que a substituição do símbolo à esquerda da pela seqüência derivada da direita é sempre permitida, independente do contexto em que o símbolo foi inserido. Esta restrição de liberdade de contexto é aceitável e desejável para linguagens de programação.

Várias linguagens de programação apresentam estruturas que são por sua natureza recursivas e podem ser definidas por gramáticas livres de contexto. Podemos dar como exemplo uma declaração condicional definida por uma regra como:

|   |            |
|---|------------|
| 1 | se E entao |
| 2 | S1         |
| 3 | senao      |
| 4 | S2         |
| 5 | fimsenao   |

Tal forma de declaração condicional não pode ser escrita por uma expressão regular. No entanto, utilizando uma variável sintática *cmd* com função de atribuir a classe da

declaração e *expr* para denotar a classe de expressões, pode-se então expressar a declaração condicional como:

```
1  stmt -> se expr então stmt senão stmt fimsenao
```

## 1.4 Síntese ou Geração de Código

Em um compilador a fase final é a geração do código alvo, que consiste em código de montagem ou código de máquina relocável. Nesta fase acontece a tradução para a linguagem de máquina da máquina alvo ou para a linguagem destino. Algumas das tarefas do gerador de código são:

- Gerenciamento de memória;
- Seleção de instruções;
- Alocação de registradores.

### 1.4.1 Geração de Código Intermediário

Segundo [Aho et al., 1995], no modelo de análise e síntese de um compilador, os módulos da vanguarda traduzem o programa fonte numa representação intermediária, a partir da qual os módulos da retaguarda geram o código alvo. Na medida do possível, os detalhes da linguagem alvo são confinados ao máximo nos módulos da retaguarda. Apesar de se poder traduzir o programa fonte diretamente na linguagem alvo, alguns dos benefícios em se usar uma forma intermediária independente da máquina são:

- O redirecionamento é facilitado: Um compilador para uma máquina diferente pode ser criado atrelando-se à vanguarda existente uma retaguarda para a nova máquina.
- Um otimizador de código independente da máquina pode ser aplicado à representação intermediária.

Na figura abaixo vemos a posição do gerador de código intermediário no processo de compilação:

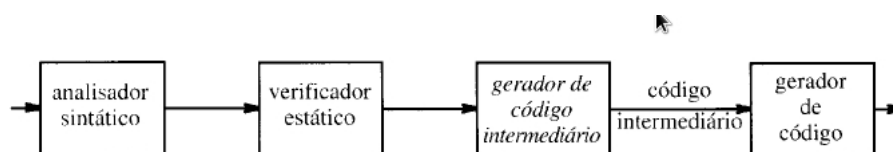


Figura 1.1: Posição do gerador de código intermediário [Aho et al., 1995]

## 1.4.2 Geração de Código

A fase final de um compilador é o gerador de código. Este recebe como entrada a representação intermediária do programa fonte e produz como saída um programa alvo equivalente, como indicado na figura 1.2.

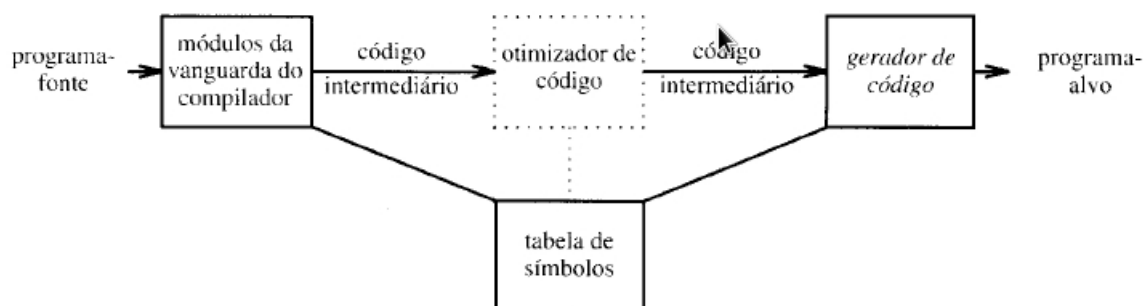


Figura 1.2: Posição do gerador de código intermediário [Aho et al., 1995]

As exigências tradicionalmente impostas a um gerador de código são severas. O código de saída precisa ser correto e de alta qualidade, significando que o mesmo deve tornar efetivo o uso dos recursos da máquina alvo. Sobretudo, o próprio gerador de código deve rodar eficientemente [Aho et al., 1995].

Matematicamente, o problema de se gerar um código ótimo não pode ser solucionado. Na prática, devemos nos contentar com técnicas heurísticas que geram um código bom, mas não necessariamente ótimo. A escolha dos métodos heurísticos é importante, na medida em que um algoritmo de geração de código cuidadosamente projetado pode produzir um código que seja várias vezes mais rápido do que aquele que produzido por um algoritmo concebido às pressas [Aho et al., 1995].

Cabe ao projetista do gerador de código decidir como implementar a geração de código de maneira a fazer bom uso dos recursos disponíveis na máquina. Cabe também ao projetista decidir se a geração do código deve ser feita com cuidado, gerando diretamente código de qualidade aceitável, ou se é preferível usar um esquema mais simples de geração de código, seguido por uma 'otimização' do código depois de gerado [Rangel, 1999].

### Entrada para o Gerador de Código

O gerador de código recebe como entrada a representação intermediária do programa fonte, que foi produzida anteriormente pela vanguarda do compilador, em conjunto com informações presentes na tabela de símbolos, que tem como finalidade determinar os endereços, em tempo de execução, dos objetos de dados, os quais são denotados pelos nomes na representação intermediária.

Assumi-se que a geração prévia de código, a partir da vanguarda do compilador, analisou léxica e sintaticamente o programa fonte, bem como o traduziu numa forma razoavelmente detalhada de representação intermediária, de forma que os nomes que figuram na linguagem intermediária possam ser representados por quantidades que a máquina alvo possa diretamente manipular. Também assumimos que a necessária verificação de tipos já teve lugar, de forma que os operadores de conversão de tipo já foram inseridos onde quer que fossem necessários e que os erros semânticos óbvios já foram detectados. A fase de geração de código pode, por conseguinte, prosseguir na suposição de que sua entrada está livre de erros. Em alguns compiladores, esse tipo de verificação semântica é feito junto com a geração de código [Aho et al., 1995].

## **Programas Alvo**

A saída do gerador de código é o programa alvo. Como o código intermediário, essa saída pode assumir uma variedade de formas: linguagem absoluta de máquina, linguagem relocável de máquina ou linguagem de montagem.

Como saída, a produção de um programa em linguagem absoluta de máquina possui a vantagem do mesmo poder ser carregado numa localização fixa de memória e executado imediatamente. Um pequeno programa pode ser compilado e imediatamente executado [Aho et al., 1995].

A produção de um programa em linguagem de montagem como saída torna o processo de geração de código um tanto mais fácil. Podemos gerar instruções simbólicas e usar as facilidades de processamento de macros do montador para auxiliar a geração de código. O preço pago está no passo de montagem após a geração de código. Como a produção do código de montagem não duplica toda a tarefa do compilador, essa escolha é outra alternativa razoável, especialmente para uma máquina com uma memória pequena, onde o compilador precisa realizar diversas passagens [Aho et al., 1995].

# Capítulo 2

## Portugol

### 2.1 Introdução

O Portugol como linguagem não é tão bem definida, ficando muito mais sujeita a uma linguagem de aprendizado, voltada para o ensino e não para projetos de grande porte. Algumas vezes é somente uma tradução simplificada de Pascal para o português.

O Portugol aqui definido será baseado em [Farrer, ]. O Livro utilizado para o estudo de algoritmos e de introdução a programação, é perfeito para este trabalho. O compilador desenvolvido, bem como o sistema Web, visa estudar como o processo de compilação online se dará, sendo necessário uma linguagem simples que não tome o foco do objetivo principal.

Nas seções subsequentes veremos como o portugol foi proposto para este compilador. Suas características, sua sintaxe e a estrutura da linguagem.

### 2.2 Estrutura da Linguagem

#### 2.2.1 Comentários

Mais de uma forma de comentar o código será aceito, estimulando o seu uso em todo o código. O `//` usado em linguagens como C e Java e também a `#` (cerquilha), utilizada em linguagens como o Ruby são aceitos como comentários de uma só linha. Os `{ }` (colchetes) são a única forma aceita de comentários para várias linhas ou comentários de bloco.

#### 2.2.2 Tipos básicos

Os tipos básicos são simples e restritos, pois visam o ensino da lógica de programação. Isso promove também a independência de linguagem e de máquina.



## Numérico

O tipo numérico resume todos os tipos para o cálculo aritmético. Não existe distinção entre números inteiros ou números reais (ponto flutuante). Caso haja a necessidade de que algum algoritmo utilize uma propriedade específica de algum destes tipos, deverá esta ser obtida através de funções. A vírgula é o símbolo utilizado para a separação da parte decimal. Não se escrevem os separadores de milhar.

## Literal

Este tipo é responsável por armazenar sequências de letras e símbolos — em muitas linguagens é o tipo *String*.

## Lógico

Responsável pelo armazenamento das constantes verdadeiro e falso. Este tipo é muito importante em projetos de linguagens de programação, visto que ele é bastante utilizado, sendo o tipo de retorno de várias operações.

## Vetores e Matrizes

É permitida a criação de vetores e matrizes de quaisquer tipos básicos. As operações realizadas com matrizes e vetores deverão ser realizadas de forma condizente com a linguagem Portugol. As operações básicas deste tipo seguem as mesmas permitidas em seus tipos básicos. A palavra-chave *matriz* é reservada para este tipo. O número inicial dos índices é sempre 1.

Exemplo:

```
1 a matriz numérico[30] // Cria uma matriz 30x1
2 b matriz lógico[3][3] // Cria uma matriz 3x3
```

## Registros

É sempre definido pela palavra reservada **registro**. Representa um bloco composto por declarações de variáveis. Se encerra com a palavra **fimregistro**.

Exemplo:

```
1 registro
2   num1, num2 numérico
3   estaPresente lógico
4   endereco literal
5 fimregistro
```

### 2.2.3 Variáveis e Identificadores

As variáveis são parte importante de uma linguagem. Qualquer identificador, sendo este válido, tem como primeiro símbolo uma letra. Números e    (sublinha) são aceitos após o primeiro caractere. O tamanho máximo válido é definido em 32 caracteres.

É necessário lembrar que alguns símbolos, normalmente ignorados ou proibidos em outras linguagens, são aceitos em Portugol. Símbolos estes presentes na língua portuguesa, como por exemplo, os acentos: á, ê, í, à, ã, ..., ç.

Vale ressaltar da diferença existente entre variáveis declaradas com acento e variáveis sem acento. Ou seja, a variável 'pé' é diferente da variável 'pe'.

### 2.2.4 Declaração de variáveis

Não existe um local específico para declaração de variáveis, mas fica a recomendação de que esta seja feita no início de uma seção, seja o programa principal ou um procedimento/função. A palavra-chave **declare** será utilizada para declarar variáveis em Portugol. É possível declarar variáveis de mesmo tipo em uma mesma linha, nunca variáveis de tipos diferentes.

Exemplo:

```
1 declare num1, num2, num3 numérico
2 declare palavra literal
3 declare a, b, c lógico
4 declare r registro
5     dia, mes numérico
6     nome literal
7     estaPresente lógico
8     fimregistro
```

Exemplo de declaração inválida:

```
1 declare num1 numérico, palavra literal
```

A visibilidade de uma palavra segue o mesmo padrão de outras conhecidas linguagens, ou seja, é dependente do escopo a qual foi definida.

### 2.2.5 Atribuição

A atribuição de valores a uma variável será denotada pelo símbolo ":=". Será permitido apenas a atribuição de um valor por vez. Uma atribuição será válida quando possuir um identificador válido do lado esquerdo e uma expressão válida e, do mesmo tipo, do lado direito.

Exemplo:

```

1 declare num1, num2 numérico
2 declare palavra literal
3
4 num1 := 3
5 num2 := 1,5
6 palavra := "Olá Mundo"

```

## 2.2.6 Operadores

### Operadores Aritméticos

Os operadores são:

**Tabela 2.1 - Operadores Aritméticos**

| Operação      | Símbolo |
|---------------|---------|
| Adição        | +       |
| Subtração     | -       |
| Multiplicação | *       |
| Divisão       | /       |

### Operadores Lógicos

Os Operadores são:

**Tabela 2.2 - Operadores Lógicos**

| Operação       | Símbolo |
|----------------|---------|
| inversão - não | não     |
| junção         | e       |
| disjunção      | ou      |

### Operadores Relacionais

Os Operadores são:

**Tabela 2.3 - Operadores Relacionais**

| Operação       | Símbolo  |
|----------------|----------|
| Igualdade      | =        |
| Maior          | >        |
| Menor          | <        |
| Maior ou Igual | >=       |
| Menor ou Igual | <=       |
| Diferença      | != ou <> |

## Operadores Relacionais

Os Operadores são:

Tabela 2.4 - Operadores Literais

| Operação       | Símbolo  |
|----------------|----------|
| Concatenação   | +        |
| Igualdade      | =        |
| Maior          | >        |
| Menor          | <        |
| Maior ou Igual | >=       |
| Menor ou Igual | <=       |
| Diferença      | != ou <> |

### 2.2.7 Estrutura Sequencial

O programa tem início com a palavra **programa** e tem fim com a palavra **fimprograma**. Caso queira importar outros módulos, estes devem ser feitos através de comando, após a declaração do programa.

Em Portugol não se faz necessária a utilização de algum símbolo especial ou visual para marcar o fim de linha. Basta que o "Retorno" — mais conhecido pela tecla "ENTER" — seja pressionado. Este símbolo é definido na posição 13 da tabela ASCII.

Qualquer que seja o símbolo ou comando declarado fora do escopo do programa, será considerado erro. Funções e procedimentos devem ser declarados externamente e então, importados pelo programa que necessite utilizá-los. Isto fará com que se estimule a modularização de código, bem como a criação de arquivos de menor tamanho e mais fáceis de entender.

### 2.2.8 Estruturas Condicionais

São definidas duas: **se** e o **caso**.

O **se** é utilizado quando se quer avaliar uma condição ou expressão lógica e retorna obrigatoriamente um valor lógico. Conforme o retorno a execução passa para o bloco **então** — caso seja verdadeiro — ou para o bloco **senão** — caso seja falso.

É definido também em Portugol o **fimentão** e o **senão**, responsáveis pelo fechamento dos blocos **então** e **senão** respectivamente.

Exemplo:

```
1 se num1 > num2
2     então num1 = 1
3     fimentão
```

```
4      senão num2 = 2
5      fimsenão
6  fimse
```

A estrutura **caso** permite avaliar vários valores e admite variável dos tipos lógicos, numérico e literal.

```
1  caso tamanho
2      10: i := 10
3      11: i := 11
4      12: i := 12
5  fimcaso
```

### 2.2.9 Estruturas de Repetição

Três estruturas são definidas em Portugol: **faça**, **enquanto**, **repita**.

O **faça** é similar ao *for* de outras linguagens. Sua construção é demonstrada abaixo:

```
1  faça i de 1 até 10
2      <instruções>
3  fimfaça
```

O bloco acima irá executar as instruções dez vezes, incrementando o valor do "i" de 1 até 10. É recomendável como boas práticas de programação que a variável de controle — no bloco acima é o "i" — não tenha seu valor alterado pelas instruções internas. O valor do "i" é incrementado em 1 sempre quando se chega ao "fimfaça". O valor do "i" após o "fimfaça" é igual ao valor máximo estipulado no início, no caso 10.

O **enquanto** substitui o *while* de outras linguagens de programação. Exemplo:

```
1  enquanto num1 > num2
2      <instruções>
3  fimenquanto
```

A estrutura de repetição **enquanto** executa o bloco de código até que a condição seja falsa. Pode acontecer das instruções nem serem executadas, caso a condição seja falsa logo de início.

A estrutura **repita** tem como característica o fato de ser básica. A verificação e a interrupção do bloco de código é livre, sendo especificada pelo comando **interrompa**. Veja:

```
1  repita
2      <comandos>
3      interrompa
4  fimrepita
```

Após a leitura do interrompa, a execução do programa se dará para o trecho de código abaixo do "fimrepita".

Como pode ser observado, a maioria das estruturas definidas são fechadas sempre utilizando o "fimestrutura". A não utilização de tal comando acarretará em um erro de código, podendo ser este léxico ou sintático.

### 2.2.10 Funções

As funções aqui definidas seguem as mesmas regras de um programa, não podendo apenas importar módulos.

A declaração de uma função pode ser vista abaixo:

```
1 funcao soma(a numerico , b numerico)
2     <comandos>
3 fimfuncao
```

Assim como ocorre em outras linguagens de programação, as variáveis declaradas em uma determinada função são internas a ela, possuindo assim escopo local.

Decidi por não utilizar uma estrutura do tipo procedimento - estrutura esta existente em outras linguagens - pelo fato de simplificar o uso da linguagem, visto que ela se designa ao ensino de programação. O mesmo se faz irrelevante neste trabalho, já que a principal diferença entre uma função e um procedimento é que a função retorna um resultado.

## 2.3 Conclusão

A linguagem Portugol é por sua própria natureza simples. Na maioria das vezes em que é utilizada a finalidade é sempre o aprendizado de programação de computadores. O Portugol utilizado para a construção deste trabalho também tem a simplicidade em sua essência, no entanto, oferece as condições necessárias para uma introdução a programação, além de também atender ao propósito deste trabalho de final de curso.

É importante deixar claro que tomando como base este trabalho e a linguagem Portugol em si, é perfeitamente possível a criação de uma linguagem de programação mais poderosa e robusta que contenha uma estrutura muito mais complexa. Ou então é também possível, a criação de uma DSL (Domain Specific Language), mas este seria um assunto para um outro projeto.

## Referências

Aho, A. V., Sethi, R., and Ullman, J. D. (1995). *Compilers, Principles, Techniques and Tools*. Company, Reading, Massachusetts, USA.

Rangel, J. L. (1999). *Compiladores*. PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.