Linguagem Funcional

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro
Prof. Edwar Saliba Júnior
Setembro de 2021

Introdução

- Em ciência da computação, programação funcional é um paradigma de programação que trata a computação como uma avaliação de funções matemáticas e que evita estados ou dados mutáveis;
- ela enfatiza a aplicação de funções, em contraste da programação imperativa, que enfatiza mudanças no estado do programa;
- enfatizando as expressões ao invés de comandos, as expressões são utilizadas para cálculo de valores com dados imutáveis.

Introdução

- Uma função pode ter ou não ter parâmetros e um simples valor de retorno;

```
> pi
3.141592653589793238 5
```

- os parâmetros são os valores de entrada da função e o valor de retorno é o resultado da função;

```
> (+ 3 4)
7
```

- a definição de uma função descreve como a função será avaliada em termos de outras funções.

LISP - Curiosidades

- Linguagem de programação originalmente projetada por John McCarthy em 1958;
- seu nome “LISP” é derivado de “LISt Processor”;
- é a segunda linguagem de programação de alto nível, mais velha, ainda utilizada em larga escala pelo mercado. A primeira é Fortran;
- “listas ligadas” são uma das suas principais estruturas de dados e o código-fonte da linguagem é feito de listas.

Wikipedia. **Lisp (programming language)**. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lisp_(programming_language)#cite_note-ArtOfLisp-9>. Acesso em: 17 Ago. 2021.

Cálculo Lambda

- A linguagem Lisp foi inspirada pelo *Cálculo Lambda* (CL), que é um formalismo desenvolvido na década de 1930 por Alonso Church;
- o CL é parte de um sistema para lógicas de ordem superior e teoria das funções;
- o CL pode ser considerado uma linguagem de programação abstrata.

Cálculo Lambda

- **Notação:**
  - considere a expressão matemática:

    $x + y$

  - esta expressão pode ser interpretada como uma função de x, como uma função de y ou como uma função de ambas:

    $f_1 : x \mapsto x - y$

    $f_2 : y \mapsto x - y$

    $f_3 : x,y \mapsto x - y$

    $f_4 : y,x \mapsto x - y$

Cálculo Lambda

- **Notação:**
  - para eliminar a ambiguidade, em geral, são adotadas notações como, por exemplo, dar um nome arbitrário a cada função;
  - no CL Church propõe uma maneira sistemática para apresentar uma função de uma ou mais variáveis, dada uma expressão matemática qualquer, sem a necessidade de se atribuir um nome a função. Isto é feito utilizando a letra grega λ:

$f_1 : x \mapsto x - y \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{\lambda x.x - y}$

$f_2 : y \mapsto x - y \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{\lambda y.x - y}$

$f_3 : x,y \mapsto x - y \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{\lambda xy.x - y}$

$f_4 : y,x \mapsto x - y \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{\lambda yx.x - y}$

Cálculo Lambda

Só para lembrar!

$f_1 : x \mapsto x - y \Rightarrow \lambda x.x - y$
$f_2 : y \mapsto x - y \Rightarrow \lambda y.x - y$
$f_3 : x,y \mapsto x - y \Rightarrow \lambda xy.x - y$
$f_4 : y,x \mapsto x - y \Rightarrow \lambda yx.x - y$

- **Exemplos:**
  - as equações:

    $f_1(3) = 3 - y$ $\quad$ $f_3(5,7) = -2$
  - são escritas na notação lambda como:

    $(\lambda x.x - y)(3) = 3 - y$ $\quad$ $(\lambda xy.x - y)(5,7) = -2$
  - usando o fato de serem permitidas funções cujos valores são outras funções, pode-se simplificar a notação utilizada para as funções f_3 e f_4 eliminando a necessidade de notações específicas para funções de duas ou mais variáveis:

    $f_3 = \lambda x.f_2 = \lambda x.(\lambda y.x - y)$ $\quad$ $f_4 = \lambda y.f_1 = \lambda y.(\lambda x.x - y)$
  - a equação $f_3(5,7) = -2$ agora é escrita como:

    $(\lambda x.(\lambda y.x - y))(5)(7) = (\lambda y.5 - y)(7) = -2$
  - esta nova notação permite que apenas funções de uma variável sejam consideradas, simplificando a apresentação da linguagem.

Wikibooks. **Common Lisp**. Disponível em: <https://en.wikibooks.org/wiki/Common_Lisp>. Acesso em: 19 Ago. 2021.

Common Lisp

- Características:
  - é uma linguagem de programação de alto nível, *case-insensitive*, de notação prefixada, com gerenciamento de alocação de memória dinâmico (possui *Garbage Collection*);
  - é uma linguagem multiparadigma. Permite a escrita de programas nos paradigmas:
    - imperativo,
    - funcional e
    - orientado a objeto.

Common Lisp

- Características:
  - os paradigmas podem ser misturados livremente na programação com Common Lisp;
  - a linguagem permite a escolha da abordagem e do paradigma adequado, de acordo com o domínio do problema;
  - é uma linguagem “parentisada” e de notação prefixada. Significando que:
    - a criação de uma função “func” com argumento X e “hello” é escrita assim:

```
(func x "hello")
```

    - ao invés de:

```
func(x, "hello")
```

    - como seria feito numa linguagem imperativa;

Common Lisp

- Características:
  - possibilidade de extensão da sintaxe da linguagem por meio da criação de macros. Pode-se usar macros para a criação de novas “palavras reservadas” (comandos) na linguagem;
  - algumas implementações permitem que um programa seja digitado em um “prompt” ou carregado de um arquivo;
  - permite compilação incremental;
  - algumas implementações permitem compilar para código nativo ou para *bytecode*. Códigos compilados e interpretados podem ser misturados facilmente e
  - pode prover códigos eficientes e de alta performance.

Instalação

- Em GNU/Linux Debian:

```
sudo apt-get install clisp
```

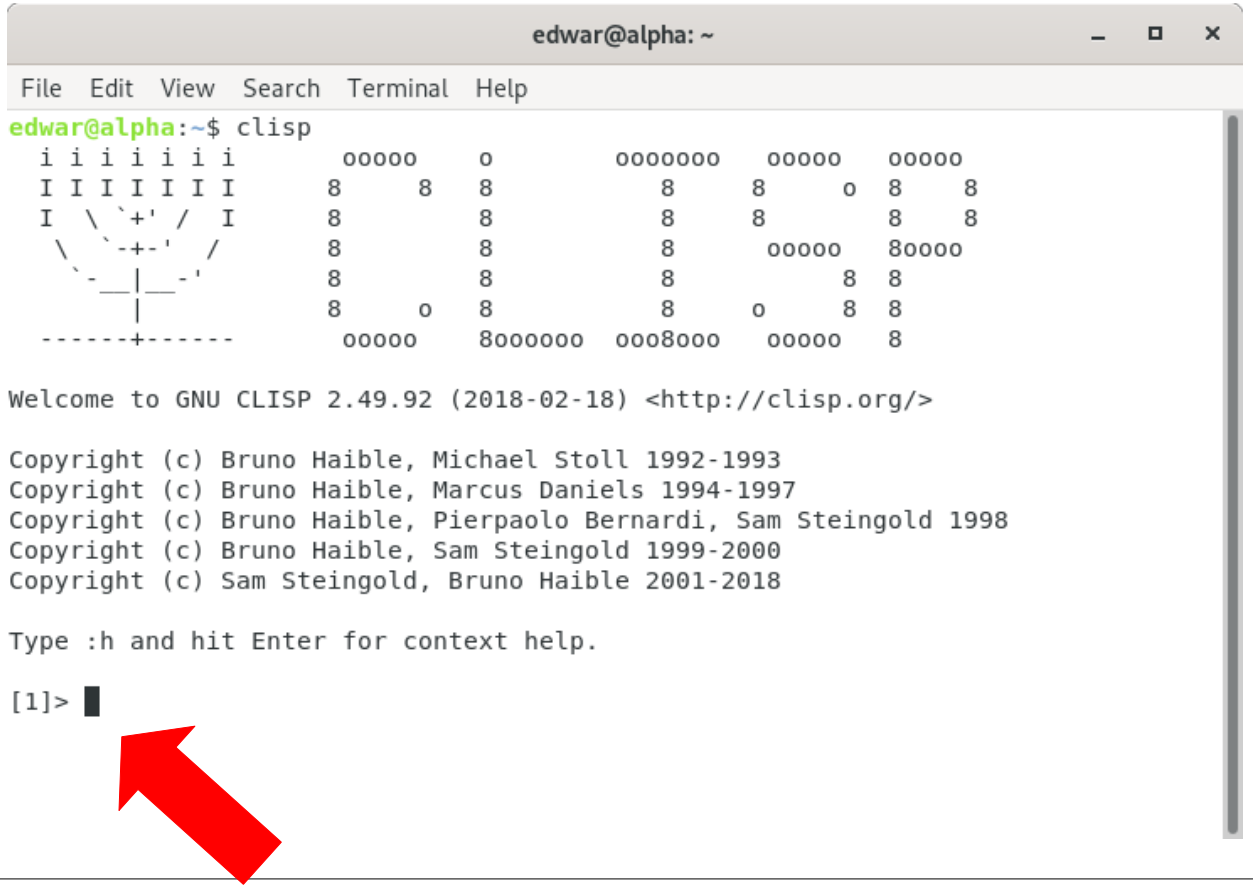
- para Windows:
  - https://portacle.github.io/
  - ou
  - https://www.cs.utexas.edu/users/novak/gclwin.html
  - etc.

Comandos Básicos do Ambiente

- Para entrar no interpretador: `clisp`
- para sair do interpretador: `(quit)`
- para usar o interpretador: `digite as expressões e tecle ENTER`
- para repetir a última expressão: `*`
- para repetir a penúltima expressão: `**`
- para repetir a antepenúltima expressão: `***`
- se ocorrer um erro: tecle `:rN` e volte ao nível inicial (onde `:rN` é a opção listada como `ABORT` no erro ocorrido)
- para usar com arquivo: `clisp < arquivo.lsp` (o `arquivo.lsp` deve ser um arquivo com expressões a serem avaliadas).

A linguagem

- Ao iniciar a **Common Lisp** você verá uma tela similar a esta:



Hello world!

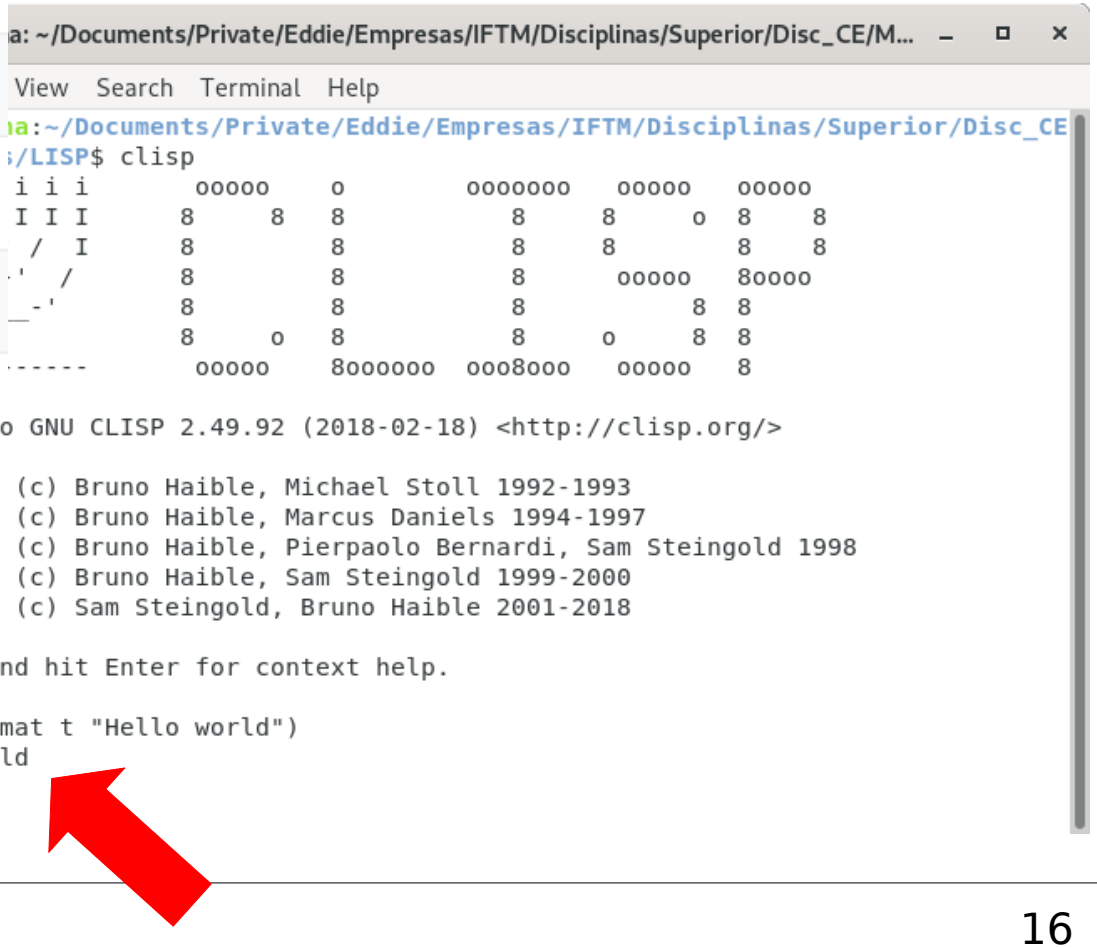
- Common Lisp (CL)

The CL Hello World program reads as follows:

```
(format t "Hello World!")
```

Which outputs:

```
Hello World!
```



Compilando o Código-fonte

- Abra o editor de texto de sua preferência e digite o código-fonte a seguir:

```
(in-package :user)


(defun hello ()
   (write-string "Hello, World!")
)
```

- então salve o arquivo com o nome de `hello.lsp`
- abra o interpretador de Lisp.

Compilando o Código-fonte

- continuação:
  - execute o comando:

```
> (compile-file "/caminho/hello.lsp")
```

  - serão criados mais dois arquivos:
    - `hello.lib` e
    - `hello.fas`
  - no interpretador de Lisp digite:

```
> (load "/caminho/hello")
T
```

  - agora você pode executar o comando:

```
> (hello)
Hello, World!
"Hello, World!"
```

Compilando o Código-fonte

- continuação:
  - Qual a diferença de executarmos a função (abaixo) diretamente no interpretador de Lisp ou a função compilada que carregamos no interpretador?

```
(in-package :user)
(defun hello ()
   (write-string "Hello, World!")
)
```

Arquivo `.clinit.cl`

- O arquivo inicial de usuário, `.clinit.cl`, é procurado pela Lisp sempre que uma execução é iniciada;
- quando o arquivo é encontrado, então ele é carregado na memória e os comandos, nele contidos, são avaliados pelo interpretador Lisp;
- o arquivo “init” pode ser usado para definir bibliotecas de funções que são frequentemente utilizadas ou para controle de outros aspectos do ambiente da linguagem Lisp.
- Exemplo de arquivo “init”:

```
(in-package :user)
(defun load-project ()
    (load "~/lisp/part1")
    (load "~/lisp/part2")
)
```

Comentário

- Tudo que estiver após um “;” (ponto e vírgula).
- Exemplo:

```
> (setq a 5) ; armazena o valor em “a”
5
> a  ; mostra o valor armazenado em “a”
5
```

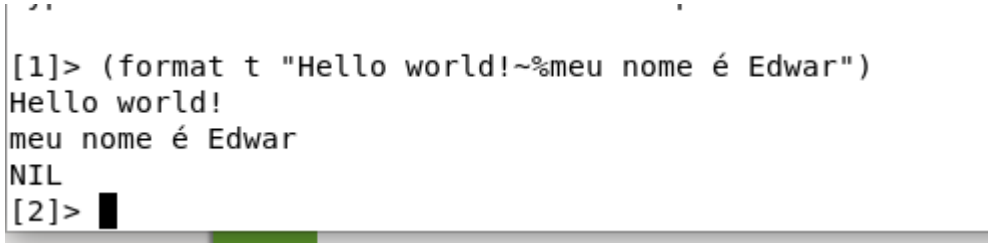
Quebra de linha

- Para quebrar a linha na impressão de texto na tela do computador, basta utilizar `~%` dentro do texto a ser dividido.
- Exemplo:

```
> (format t "Hello world!~%meu nome é Edwar")

Hello world!

meu nome é Edwar
```



Símbolos

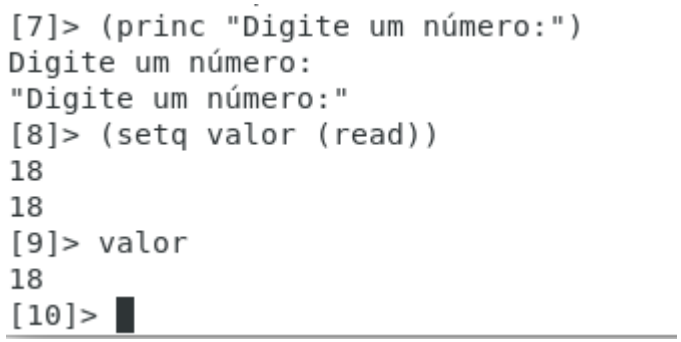
- Um símbolo é somente uma *string*.
- Exemplos:

```
a
b
c1
faa
bar
```

Lendo Valores do Teclado

- Para lermos um valor do teclado usamos a função `(read)`.
- Exemplo:

```
> (princ “Digite um número:”)
Digite um número:
“Digite um número:”
> (setq valor (read))
18
18
> valor
18
```



Valores Lógicos

- Lisp utiliza:

  `t` = true e

  `NIL` = false

- Exemplos:

```
> (if t 5 6)
5
> (if NIL 5 6)
6
> (if 4 5 6)
5
```

Símbolos autoavaliantes.

Este exemplo pode, inicialmente, parecer meio estranho. Mas, não é!

Na verdade o símbolo NIL significa “falso” e qualquer coisa diferente de NIL é verdadeiro, usa-se o “t” somente para clareza.

Números

- Um inteiro é um *string* de dígitos opcionalmente precedido do sinal de `+` ou `-`
- um número real é similar ao inteiro, porém possui um ponto decimal e, opcionalmente, pode ser escrito em notação científica;
- um número racional é escrito com uma barra "`/`" entre eles (simbolizando a divisão);
- LISP suporta números complexos, que são escritos assim `#c(r i)`
- Exemplos:

```
-34   +6   18   2.59   3/4   1.95e-12   #c(2.15 0.69)
```

Tipos

- Lisp é uma linguagem onde as variáveis não têm tipo, mas os dados sim.
- Exemplos:

```
array, atom, base-character, bignum, bit, bit-
vector,character, compiled-function, complex, cons,
double-float, extended-character, fixnum, float,
function, hash-table, integer, keyword, list, long-
float, nil, null, number, package, pathname,
random-state, ratio, rational, readtable, sequence,
short-float, signed-byte, simple-array, simple-bit-
vector, simple-string, simple-vector, single-float,
standard-char, stream, string, symbol, t, unsigned-
byte e vector
```

- além destes, podem ser criados outros pelo usuário.

Hierarquia Parcial de Tipos

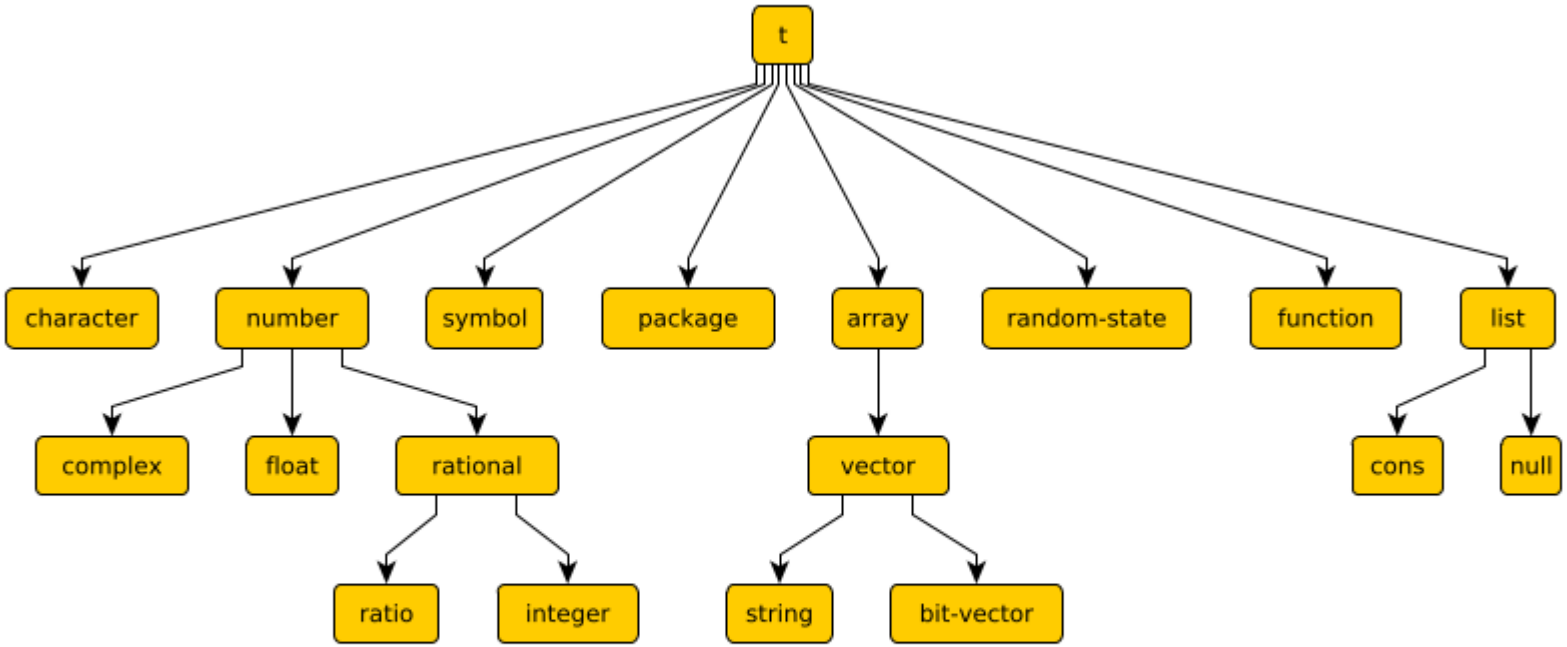


Figura 2.1: Hierarquia parcial de tipos em Lisp.

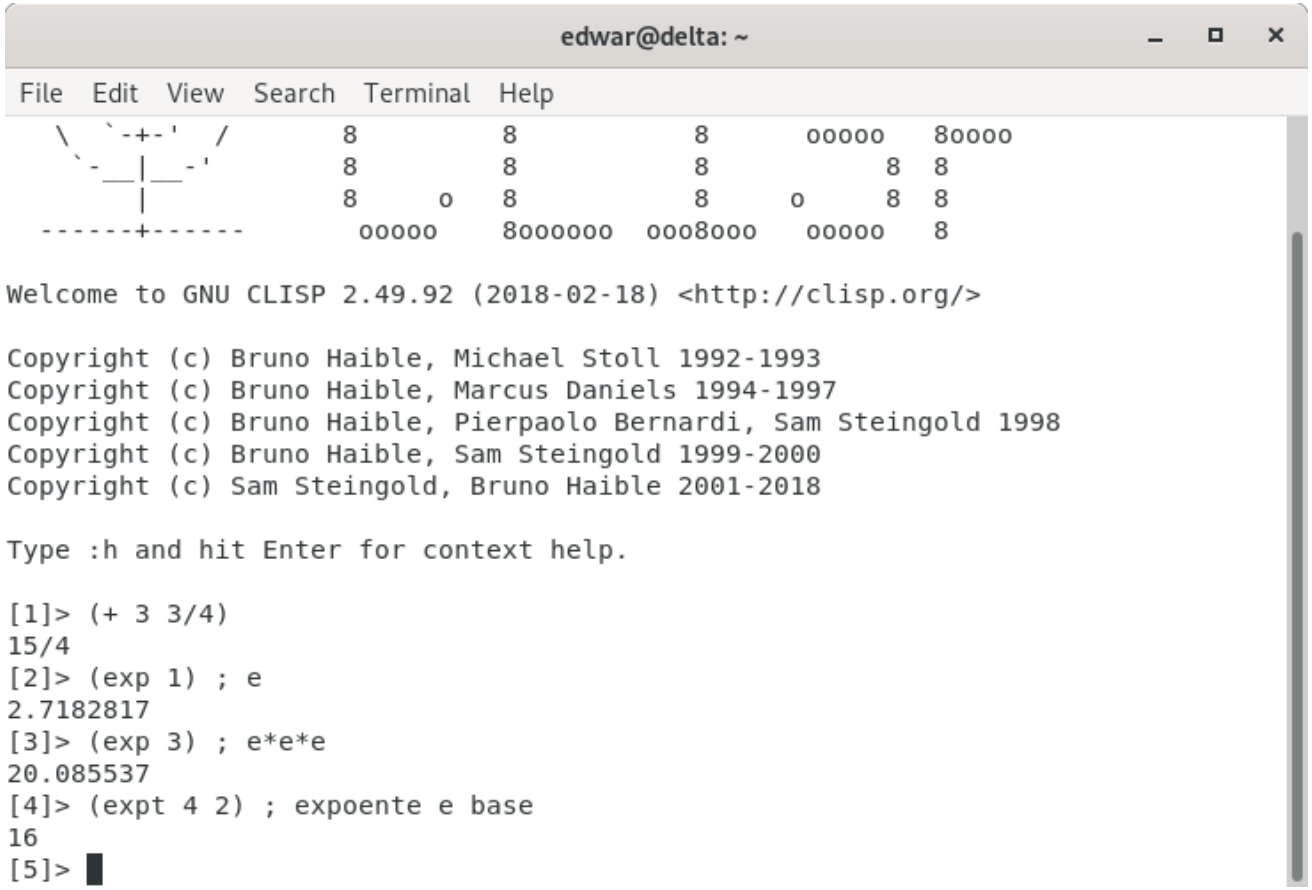
MEIDANIS, João. MC346 - Paradigmas de programação Lisp. Disponível em: <https://www.ic.unicamp.br/~meidanis/courses/mc346/2015s2/funcional/apostila-lisp.pdf>. Acesso em: 21 Ago. 2021. Pág. 11.

Funções Aritméticas

- Exemplos:

```
+   -   *   /
floor
ceiling
mod
sin
cos
tan
sqrt
exp
expt
```

- e etc.

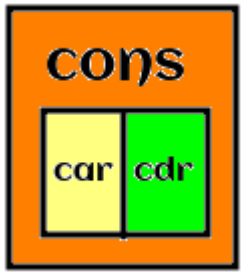


Múltiplos Argumentos

- As funções `+ - / e *` aceitam múltiplos argumentos;
- Exemplos:

```
> (+ 1 2 3 4)
10
> (+ 5 4 3 (* 3 2))
18
```

`cons(es)` ou Pares-com-pontos ou Associações

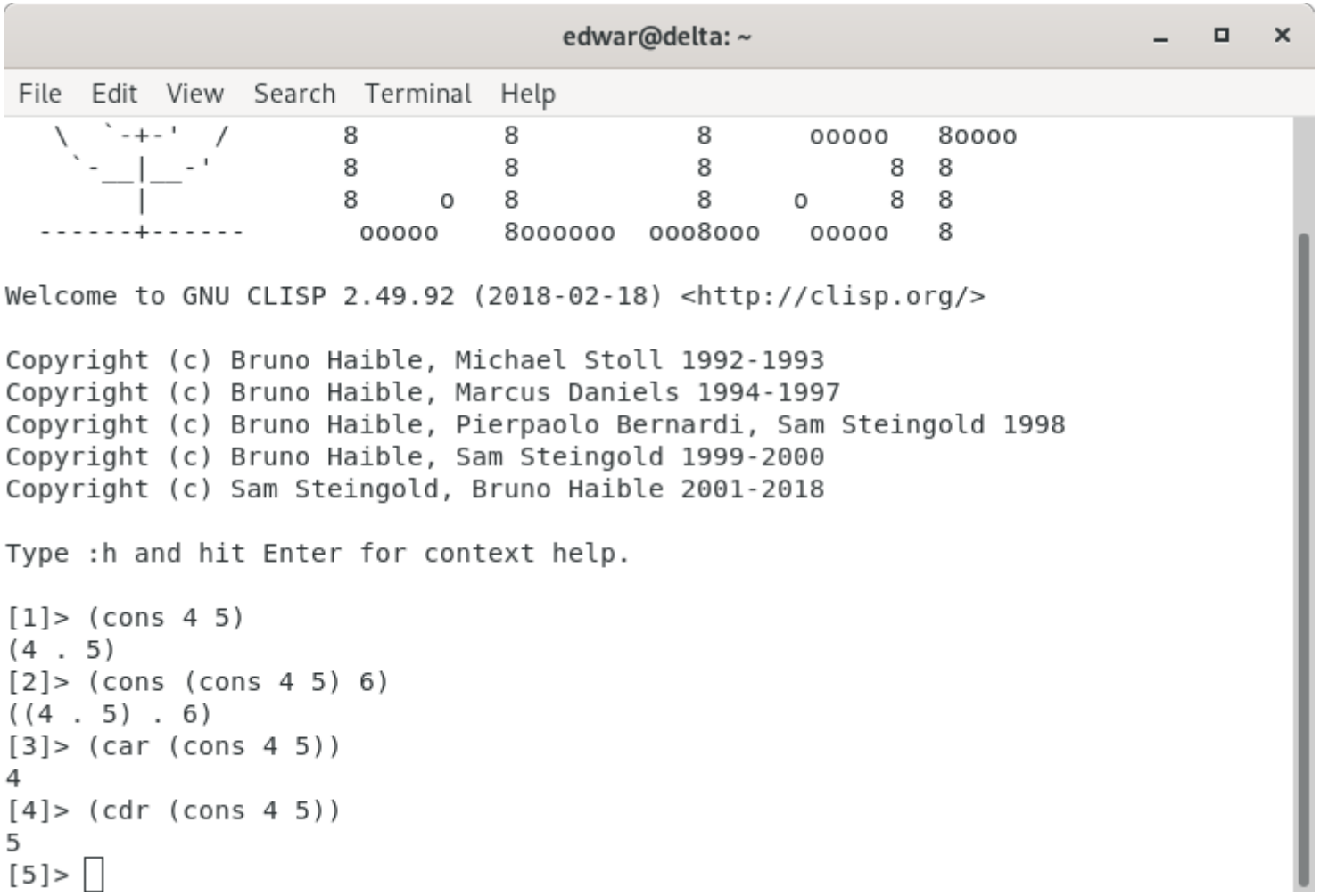


- Um `cons` é somente **um registro de dois campos**;
- os campos são chamados de `car` e `cdr` por razões históricas: na primeira máquina onde LISP foi implementada havia duas instruções *assembly* CAR (*Contents of Address Register*) e CDR (*Contents of Decrement Register*);
- os `conses` foram implementados utilizando-se estes dois registradores;
- Exemplos:

```
> (cons 4 5) ;aloca a car o valor 4 e a cdr o 5
```

`cons(es)` ou Pares-com-ponto ou Associações

- Exemplos:



Listas

- Você pode construir muitas estruturas de dados a partir de `conses`. A mais simples é a lista encadeada:
  - o `car` de cada `cons` aponta para um dos elementos da lista e
  - o `cdr` aponta para outro `cons` ou para `NIL`
- uma lista pode ser criada com a função de lista:

```
> (list 4 5 6)
(4 5 6)
```

Listas

- **Regras:**
  - se o `cdr` de um `cons` é `nil`, Lisp não se preocupa em imprimir o `ponto` ou o `nil`:

```
> (cons 4 nil)
(4)
```

  - se o `cdr` de `cons A` é `cons B`, então Lisp não se preocupa em imprimir o `ponto` para `A` nem o parênteses para `B`:

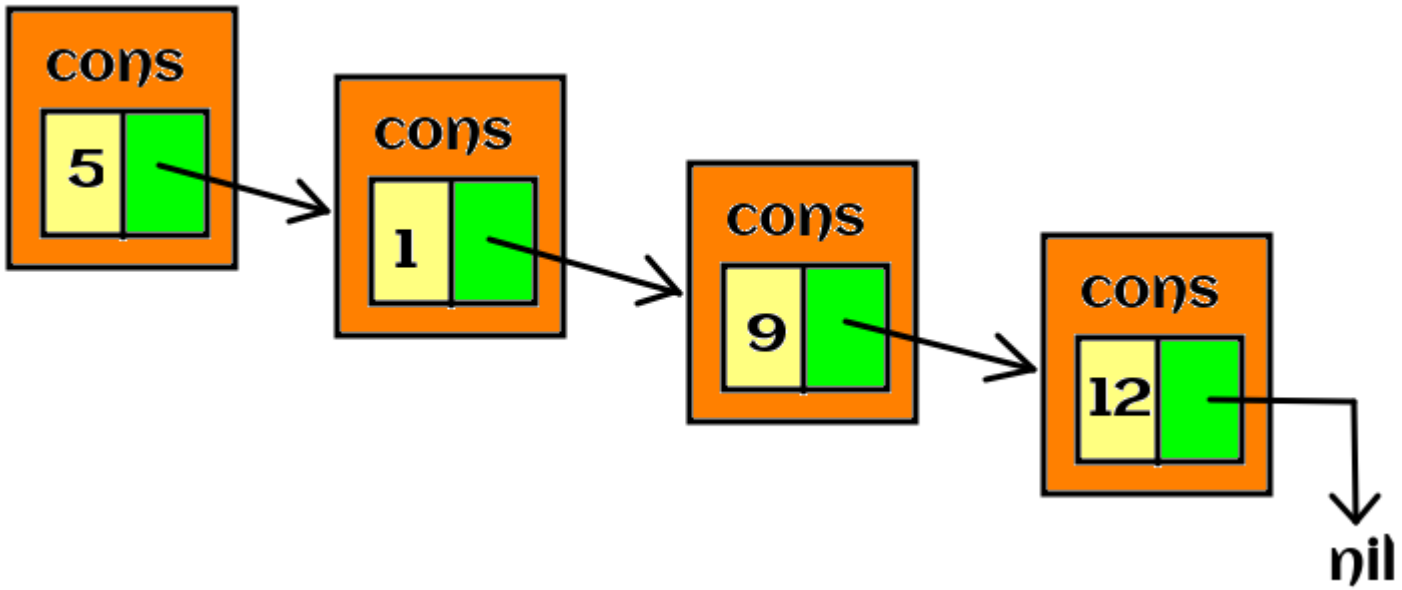
```
> (cons 4 (cons 5 6))
(4 5 . 6)
> (cons 4 (cons 5 (cons 6 nil)))
(4 5 6)
```

  - este último exemplo corresponde ao `(list 4 5 6)` anterior. Note que `nil` corresponde à lista vazia.

Listas

- **Exemplo:**

```
> (cons 5 (cons 1 (cons 9 (cons 12 nil))))
(5 1 9 12)
ou
> (list 5 1 9 12)
```



Pilha

- Se você armazena uma lista em uma variável, pode fazê-la funcionar como uma pilha:

```
> (setq a nil)
NIL
> (push 4 a)
(4)
> (push 5 a)
(5 4)
> (pop a)
5
```

Pilha

- continuação:

```
> a
(4)
> (pop a)
4
> (pop a)
NIL
> a
NIL
```

Funções

- Um programa em Lisp define uma ou mais funções;
- existem dois tipos de funções:
  - puras e
  - com efeitos colaterais
    - uma função tem efeitos colaterais quando modifica seus argumentos ou modifica variáveis globais.

Definindo Funções

- A macro `DEFUN` é usada par definir funções em Lisp.
- Sintaxe:

```
defun nome lista-de-argumentos corpo
```

- exemplos:
  - para calcular o quadrado de um número:

```
(defun quadrado (x) (* x x))
```

  - para o discriminante da equação ax^2+bx+c

```
(defun discr (a b c) (- (* b b) (* 4 a c)))
```

Funções Recursivas

- Exemplo:
  - cálculo do fatorial:

```
(defun fact (x)
   (if (> x 0)
      (* x (fact (- x 1)))
      1
   )
)
```

Condicionais

- Em Lisp temos dois tipos de estruturas condicionais:

  a `IF` e a `COND`

- a estrutura `IF` recebe `3 argumentos` e, caso o valor do primeiro argumento (condição) seja diferente de `NIL`, então:
  - a `IF` devolve o `segundo argumento`
- caso o resultado do `primeiro argumento` seja igual a `NIL`, então:
  - a `IF` devolve o `terceiro argumento`;
- exemplo:

```
> (if (> 2 3) 4 5)
5
```

Condicional `IF`

- Em Lisp a estrutura condicional `IF` se assemelha muito à encontrada nas planilhas eletrônicas, como: Calc (do LibreOffice ou o Excel do Microsoft Office);
- a `IF` recebe `3 argumentos` e, caso o valor do primeiro argumento (condição) seja diferente de `NIL`, então:
  - a `IF` devolve o `segundo argumento`
- caso o resultado do `primeiro argumento` seja igual a `NIL`, então:
  - a `IF` devolve o `terceiro argumento`;
- exemplo:

```
> (if (> 2 3) 4 5)
5
```

Condicional IF

- outros exemplos:
  - uma função para determinar o maior de dois números:

```
(defun maior (x y) (if (> x y) x y))
```

  - e outra função para determinar o maior de três números:

```
(defun maior3 (x y z)
   (if (> x y)
      (if (> x z) x z)
      (if (> y z) y z)
   )
)
```

Exclusão Múltipla COND

- A forma especial `COND` tem um número qualquer de argumentos:
  - cada um dos argumentos é uma lista e, em cada um deles, o primeiro elemento da lista é uma condição ou teste;
  - se a condição for verdadeira (diferente de `NIL`) então o segundo elemento da lista é retornado;
  - os testes são avaliados em ordem e o primeiro que der certo determina a resposta e
  - se nenhum dos testes for verdadeiro, então o resultado produzido por `COND` será `NIL`.
- Para as pessoas acostumadas com programação imperativa, pode-se dizer que a `COND` é semelhante ao `switch … case` das linguagens C e Java.

Exclusão Múltipla COND

- exemplo:

```
(defun maior (x y)
    (cond
        ((> x y) x)
        (t  y)
    )
)
(defun maior3 (x y z)
    (cond
        ((and (>= x y) (>= x z)) x)
        ((and (>= y x) (>= y z)) y)
        ((and (>= z x) (>= z y)) z)
    )
)
```

Variáveis Locais

- Define-se a amarra ou atamento de valores às variáveis locais em LISP através do comando `let`;
- a criação de uma variável local com o comando `let` sobrepõe outra variável que, por ventura, tenha o mesmo nome da variável definida por `let`, temporariamente.
- Exemplo:

```
Copyright (c) Bruno Haible, Sam Steingold 1999-20
Copyright (c) Sam Steingold, Bruno Haible 2001-20

Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (setq x 15)
15
[2]> (let x 3)
3
[3]> x
15
[4]>
```

Variáveis Locais

- Outro exemplo:

Criamos a função **discr** para calcular o discriminante da fórmula de Bhaskara na equação $ax^2 + bx + c$

```
Copyright (c) Bruno Haible, Sam Steingold 1999-2000
Copyright (c) Sam Steingold, Bruno Haible 2001-2018

Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (defun discr (a b c) (- (* b b) (* 4 a c)))
DISCR
[2]> (defun raiz (a b c)
       (let ((valor (discr a b c)))
          (/ (+ (- b) (sqrt valor)) (* 2 a))
       )
     )
RAIZ
[3]> (raiz 3 0 2)
#C(0 0.8164966)
[4]> (raiz 9 2 0)
0
[5]> (raiz 9 3 1)
#C(-1/6 0.28867513)
[6]>
```

Criamos a função **raiz** que recebe os coeficientes de uma equação de segundo grau e retorna uma de suas raízes.

Variáveis Locais

- Exemplo com erro:

Neste ponto esperava-se que o valor do cálculo do discriminante tivesse sido atribuído a variável “valor”.

Criamos a função **discr** para calcular o discriminante da fórmula de Bhaskara na equação $ax^2 + bx + c$

```
[1]> (defun discr (a b c) (- (* b b) (* 4 a c)))
DISCR
[2]> (defun raizes (a b c)
       (let ((valor (discr a b c))
             (r1 (/ (+ (- b) (sqrt valor)) (* 2 a)))
             (r2 (/ (- (- b) (sqrt valor)) (* 2 a)))
            )
            (list r1 r2)
       )
     )
RAIZES
[3]> (raizes 2 12 -14)

*** - LET: variable VALOR has no value
The following restarts are available:
USE-VALUE      :R1      Input a value to be used instead of VALOR.
STORE-VALUE    :R2      Input a new value for VALOR.
ABORT          :R3      Abort main loop
```

Criamos a função **raízes** que recebe os coeficientes de uma equação de segundo grau e retorna ambas as raízes.

Mas, parêntesis mais internos têm prioridade de execução.

Observe que ao chamarmos a função **raízes** e passarmos os coeficientes 2, 12 e -14, ela nos retorna um erro e não calcula as raízes.

O cálculo das raízes apresentou um erro. Porém, não deveria ter acontecido. Se você fizer o cálculo na mão encontrará as raízes: r1 = **1** e r2 = **-7**

Se é assim, então o que aconteceu?

Variáveis Locais

- Consertando o erro com `let*`

```
[1]> (defun discr (a b c) (- (* b b) (* 4 a c)))
DISCR
[2]> (defun raizes (a b c)
       (let ((valor (discr a b c))
             (r1 (/ (+ (- b) (sqrt valor)) (* 2 a)))
             (r2 (/ (- (- b) (sqrt valor)) (* 2 a)))
            )
            (list r1 r2)
       )
     )
RAIZES
[3]> (raizes 2 12 -14)

*** - LET: variable VALOR has no value
The following restarts are available:
USE-VALUE      :R1      Input a value to be used instead of VALOR.
STORE-VALUE    :R2      Input a new value for VALOR.
ABORT          :R3      Abort main loop
Break 1 [4]> (defun raizes (a b c)
     (let* ((valor (discr a b c))
             (r1 (/ (+ (- b) (sqrt valor)) (* 2 a)))
             (r2 (/ (- (- b) (sqrt valor)) (* 2 a)))
            )
            (list r1 r2)
       )
     )
RAIZES
Break 1 [4]> (raizes 2 12 -14)
(1 -7)
Break 1 [4]>
```

Recriamos a função **raízes**, que recebe os coeficientes de uma equação de segundo grau e retorna ambas as raízes.

Mudamos o camando `let` para `let*` e agora, antes do cálculo de `r1` e `r2` serem efetivados, primeiramente será feito o cálculo de `valor`. Pois, tanto `r1` quanto `r2` dependem do resultado que será apurado para `valor`.

Observe que ao chamarmos a função **raízes** e passarmos os coeficientes 2, 12 e -14, ela nos retorna o resultado das duas raízes calculadas.

Variáveis Locais

- Outro exemplo com `let` e `let*`

```
Copyright (c) Sam Steingold, Bruno Haible 2001-2018

Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (let (
           (x 1)
           (y 2)
           (z (+ x 2))
         )
      z ; Imprime o valor contido em "y"
     )

*** - LET: variable X has no value
The following restarts are available:
USE-VALUE      :R1      Input a value to be used instead of X.
STORE-VALUE    :R2      Input a new value for X.
ABORT          :R3      Abort main loop
Break 1 [2]>
```

```
Copyright (c) Bruno Haible, Pierpaolo Berna
Copyright (c) Bruno Haible, Sam Steingold 1
Copyright (c) Sam Steingold, Bruno Haible 2

Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (let* (
            (x 1)
            (y 2)
            (z (+ x 2))
           )
      z ; Imprime o valor contido em "z"
     )
3
[2]>
```

Particularidade do `let*`

- Para que o `let*` funcione, a expressão que deve sofrer o atraso no cálculo deve estar no mesmo nível de “profundidade” do `let*`.
- Exemplos:

```
Copyright (c) Bruno Haible, Sam Steingold 1999-20(
Copyright (c) Sam Steingold, Bruno Haible 2001-20)

Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (let* (
         (x 1)
         (y 2)
         (z (+ x 2))
      )
 z  ; "z" está no mesmo nível de "let*"
)
3
[2]>
```

```
Copyright (c) Sam Steingold, Bruno Haible 2001-2018

Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (let* (
         (x 1)
         (y 2)
         (z (+ x 2))
      )
 (z)  ; "z" não está no mesmo nível de "let*"
)

*** - EVAL: undefined function Z
The following restarts are available:
USE-VALUE       :R1      Input a value to be used instea
RETRY           :R2      Retry
STORE-VALUE     :R3      Input a new value for (FDEFINIT
ABORT           :R4      Abort main loop
Break 1 [2]>
```

Inibindo a Avaliação

- O interpretador de Lisp avalia expressões. No entanto, é possível inibir a avaliação utilizando o comando `QUOTE` ou ‘ (apóstrofo).
- Exemplo:

```
Copyright (c) Sam Steingold, Bruno Haible 2001-2018

Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (setq a 10)
10
[2]> a
10
[3]> (quote a)
A
[4]> 'a
A
[5]> a
10
[6]>
```

Inibindo a Avaliação Parcialmente

- Pode haver a necessidade de se avaliar parte de uma expressão e outra parte não. Para tanto, basta trocarmos o apóstrofo (‘) pela crase (`) e colocarmos uma vírgula (,) antecedente à parte que deva ser avaliada.
- Exemplo:

```
Copyright (c) Bruno Haible, Sam Steingold 1999-2000
Copyright (c) Sam Steingold, Bruno Haible 2001-2018

Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (list (+ 5 4) (* 3 9) (/ 4 3))
(9 27 4/3)
[2]> '(list (+ 5 4) (* 3 9) (/ 4 3))
(LIST (+ 5 4) (* 3 9) (/ 4 3))
[3]> `(list (+ 5 4) ,(* 3 9) ,(/ 4 3))
(LIST (+ 5 4) 27 4/3)
[4]>
```

Funções Aritméticas

- Básicas:

  `+ - * /`

- Arredondamento:

  `floor` - arredonda para baixo,

  `ceiling` - arredonda para cima,

  `truncate` - arredonda em direção ao zero e

  `round` - arrendo para o inteiro mais próximo.

- Incremento e decremento:

  `1+`

  `1-`

Funções Aritméticas

- Máximo Divisor Comum (*Greatest Common Divisor*):

  `gcd`

- Mínimo Múltiplo Comum (*Least Common Multiple*):

  `lcm`

- Valor Absoluto:

  `abs`

- Quadrado:

  `sqr`

Funções Aritméticas

- Raiz Quadrada:

  `sqrt`

- Exponenciais:
  - que calcula e^x: `(exp x)`
  - que calcula x^y: `(expt x y)`
- Função Logarítmica $\log_y x$:

  `(log x y)` o segundo argumento é facultativo e, caso omitido a base padrão é `e = 2.7182817...`

Funções Trigonométricas

- Funções:

```
sin
cos
tan
asin
acos
atan
```

Funções Hiperbólicas

- Funções:

```
sinh
cosh
tanh
asinh
acosh
atanh
```

Funções Especiais

- Funções para números complexos:

```
conjugate
realpart
imagpart
```

- Constante:

```
pi = 3.1415926...
```

Funções - Argumentos Opcionais

- Há a possibilidade da criação de funções que possuam argumentos opcionais;
- esse tipo de argumento é “prefixado” pela chave `&optional`
- Exemplo:

```
(defun func (a b &optional c)
  (if c
    (+ a b c)
    (+ a b)
  )
)
```

```
[1]> (defun func (a b &optional c)
       (if c
         (+ a b c)
         (+ a b)
       )
     )
FUNC
[2]> (func 5 9)
14
[3]> (func 5 9 11)
25
[4]>
```

Funções - Argumentos Opcionais

- Em casos onde hajam argumentos opcionais, é possível definir um valor *default* para estes argumentos.
- Exemplo:

```
(defun func (a b &optional (c 0))
  (+ a b c)
)
```

```
[4]> (defun func (a b &optional (c 0))
       (+ a b c)
     )
FUNC
[5]> (func 3 4)
7
[6]> (func 3 4 5)
12
[7]>
```

Funções - Argumentos Restantes

- É possível especificar que todos os argumentos de função, a partir de um ponto, sejam colocados em uma lista;
- para isto basta usar a chave `&rest`
- Exemplo:

```
(defun func (a b &rest c)
  (list ‘Recebi a b ‘e ‘mais (length c) ‘argumentos)
)
```

```
Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (defun func (a b &rest c)
       (list 'Recebi a b 'e 'mais (length c) 'argumentos)
     )
FUNC
[2]> (func 7 8)
(RECEBI 7 8 E MAIS 0 ARGUMENTOS)
[3]> (func 7 8 9)
(RECEBI 7 8 E MAIS 1 ARGUMENTOS)
[4]> (func 7 8 9 10 11 12)
(RECEBI 7 8 E MAIS 4 ARGUMENTOS)
[5]>
```

Funções - Argumentos Restantes

- Criando sua própria lista.
- Exemplo:

```
(defun my-list (&rest all)
  all
)
```

```
Copyright (c) Sam Steingold, Bruno Haible 2001-2018

Type :h and hit Enter for context help.

[1]> (defun my-list (&rest all)
       all
     )
MY-LIST
[2]> (my-list 1 2 3 4 5)
(1 2 3 4 5)
[3]> (setq lista (my-list 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10))
(1 2 3 4 5 6 7 8 9 10)
[4]> lista
(1 2 3 4 5 6 7 8 9 10)
[5]>
```

Funções - Argumentos Restantes

- Recriando função +
- Exemplo:

```
(defun my+ (&rest args)
  (soma-tudo args)
)
(defun soma-tudo (args)
  (if (null args)
    0
    (+ (car args) (soma-tudo (cdr args)))
  )
)
```

```
[5]> (defun my+ (&rest args)
  (soma-tudo args)
)
MY+
[6]> (defun soma-tudo (args)
  (if (null args)
    0
    (+ (car args) (soma-tudo (cdr args)))
  )
)
SOMA-TUDO
[7]> (my+ 1 2 3 4 5)
15
[8]>
```

Funções - Args Por Palavra-chave

- Normalmente a ordem dos argumentos de uma função deve ser respeitada quando da chamada da função. Porém, em Lisp, se feito da maneira correta esta ordem poderá ser mudada.
- Exemplo:
  - para calcular o volume do cone temos a seguinte fórmula:

```
volume = (pi * raio ^ 2 * altura) / 3
```

  - assim sendo, uma função em Lisp seria:

```
(defun vcone (&key raio altura)
  (/ (* pi raio raio altura) 3)
)
```

Funções - Args Por Palavra-chave

- continuação:
  - a chave `&key` nos proporciona uma maneira de podermos passar os argumentos da função na ordem que quisermos, desde que saibamos os nomes dos argumentos. Assim:

```
> (vcone :raio 3 :altura 5)
47.123889...
> (vcone :altura 5 :raio 3)
47.123889...
```

- Obs.: uma vez definida a chave, a função não mais poderá ser chamada sem o nome dos argumentos precedidos de dois pontos (`:`).

```
[8]> (defun vcone (&key raio altura)
  (/ (* pi raio raio altura) 3)
)
VCONE
[9]> (vcone :raio 3 :altura 5)
47.123889803846898582L0
[10]> (vcone :altura 5 :raio 3)
47.123889803846898582L0
[11]> (vcone 3 5)

*** - VCONE: &KEY marker 3 is not a symbol
The following restarts are available:
ABORT          :R1      Abort main loop
Break 1 [12]>
```

Funções de Comparação

- Também chamados de “predicados de igualdade”, existem três que causam muita confusão entre os iniciantes em Lisp: `eq`, `eql` e `equal`;
- o predicado `equal` é o mais confiável e também o mais demorado. Ele compara as duas expressões, que lhes são passadas, recursivamente até chegar em átomos, que são comparados com `eql`. E `eq` apenas compara os endereços dos argumentos, produzindo resultados inesperados, como:

```
> (eq (cons ‘a nil) (cons ‘a nil))
NIL
```

Funções de Comparação

- continuação:
- `eq` não deve ser usado para comparar pares-com-ponto. Mesmo com átomos a veracidade do resultado de uma expressão como:

```
> (eq 3 3)
```

- vai depender da implementação Common Lisp que estiver sendo utilizada e
- existem implementações que adotam a convenção de que constantes com o mesmo valor devem compartilhar o mesmo endereço, por motivos de economia de memória. Nestas implementações o valor da expressão acima é `T`. Mas esta convenção não é universal entre as implementações de Common Lisp.

Funções de Comparação

- Continuação:
- já o predicado `eql` é como `eq`, exceto pelo fato de garantir que constantes de mesmo valor e mesmo tipo serão consideradas iguais. Ou seja:

```
> (eql 3 3)
T
```

- porém, veja como o tipo é relevante:

```
> (eql 3 3.0)
NIL
```

- assim sendo, para os novatos a seguintes diretrizes podem ser usadas para garantir sucesso em grande parte das situações:
  - na comparação de expressões arbitrárias, use `equal`,
  - se seus argumentos são átomos, use `eql` e
  - evite usar `eq`.

Funções para Listas

- **Atenção!** Nos exemplos a seguir será colocado o prefixo `my-` nas funções. Isto para que não corramos o risco de sobrepor as funções originais provenientes da linguagem. O que é possível de ser feito em algumas implementações.
- Existem as funções: `first`, `second`, `third`, `fourth` e até `tenth`.

```
[1]> (first (list 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11))
1
[2]> (second (list 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11))
2
[3]> (third (list 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11))
3
[4]> (fourth (list 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11))
4
[5]> (tenth (list 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11))
10
[6]>
```

Funções para Listas

- vamos criar agora a função `nth` que retorna o enésimo item da lista, os índices começam de zero:

```
(defun my-nth(indice lista)
  (if (= indice 0) ;início em zero
    (car lista)
    (my-nth (1- indice) (cdr lista))
  )
)
```

- a função `(elt lista indice)` faz exatamente o que a função `my-nth` faz e a função `(last lista)` retorna uma lista com o último elemento da lista para ela passada, se a lista passada estiver vazia, retorna `NIL`.

Funções para Listas

- `(lenght lista)` retorna a quantidade de itens na lista;
- `(member item lista)` retorna o próprio `item` testado, caso o mesmo seja membro da lista. Caso contrário retorna `NIL`;
- `(reverse lista)` retorna a lista na ordem invertida;
- `(append lista outralista)` retorna a concatenação de `lista` com `outralista`;
- `(list args)` retona uma lista com os `args` que foram passados;
- `(subst novo velho lista)` retorna uma lista substituindo o `velho` pelo `novo`. Caso o `velho` não exista em `lista`, retorna a própria `lista`;
- `(position item lista)` retorna o índice do primeiro `item` encontrado na lista (começa do zero), caso não encontre o `item` retorna `NIL`.

Funções para Listas

- `(count item lista)` conta quantos "`item`" existem na lista;
- `(subseq lista início fim)` retorna um trecho da `lista`, começando pelo índice `início` e opcionalmente indo até o índice `fim`. Caso o índice `fim` seja omitido, então, a função retornará todos os itens existentes a partir do índice `início` até o final da lista;
- `(remove item lista)` retorna uma nova lista obtida de `lista` já com os elementos iguais a `item`, removidos;
- `(mapcar função lista)` retorna uma lista composta do resultado de aplicar a função dada a cada elemento da `lista` dada. Exemplos:

```
> (mapcar #'1+ '(1 2 3))
(2 3 4)
> (mapcar #'+ '(1 2 3) '(4 5))
(5 7)
```

Funções para Conjuntos

- Pode-se usar listas para representar conjuntos em Lisp;
- a linguagem oferece suporte com algumas funções que possibilitam operações comuns entre conjuntos, como:
  - união,
  - interseção e
  - diferença.

Funções para Conjuntos

- `(union lista1 lista2)` retorna uma nova lista que é a fusão de `lista1` e `lista2` sem elementos repetidos;
- `(intersection lista1 lista2)` retorna uma nova lista com os elementos que são a interseção de `lista1` e `lista2`;
- `(set-difference lista1 lista2)` retorna uma lista com os elementos `lista1` que não estão em `lista2`;
- `(subsetp lista1 lista2)` retorna verdadeiro quando cada elemento de `lista1` aparece em `lista2`.

Arrays

- Para a criação de um *array* utiliza-se a função `(make-array args)`:

```
> (make-array 4)
#(NIL NIL NIL NIL)
> (make-array '(3 3))
#2A((NIL NIL NIL) (NIL NIL NIL) (NIL NIL NIL))
```

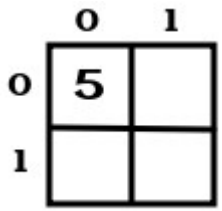
- para acessar os elementos de um *array* utiliza-se a função `(aref args)`:

```
> (aref * 1 1)
NIL
```

Arrays

- continuação:
- para colocar um elemento em um *array* utiliza-se a função `(setf (aref args) args)`:

```
> (setq mat(make-array '(2 2)))
#2A((NIL NIL) (NIL NIL))
> (setf (aref mat 0 0) 5)
5
> mat
#2A((5 NIL) (NIL NIL))
```

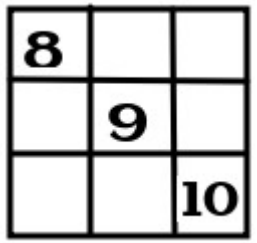


Array - Exemplo 1

```
> (setq a (make-array 3))
#(NIL NIL NIL)
> (aref a 1)
NIL
> (setf (aref a 1) 3)
3
> a
#(NIL 3 NIL)
> (aref a 1)
3
```

Array - Exemplo 2

```
> (setq mat (make-array '(3 3)))
#2A((NIL NIL NIL) (NIL NIL NIL) (NIL NIL NIL))
> (setf (aref mat 1 1) 9)
9
> mat
#2A((NIL NIL NIL) (NIL 9 NIL) (NIL NIL NIL))
> (setf (aref mat 0 0) 8)
8
> (setf (aref mat 2 2) 10)
10
> mat
#2A((8 NIL NIL) (NIL 9 NIL) (NIL NIL 10))
```



Strings

- Um *string* é uma sequência de caracteres entre aspas duplas. Lisp representa um *string* como um *array* de tamanho variável de caracteres;
- pode-se escrever um *string* que contém a aspa dupla precedendo a aspa por uma barra invertida `\`
- e pode-se escrever uma barra invertida colocando-se duas `\\`, mas aparecerá apenas uma `\`
  - `"abcd" ;tem 4 caracteres`
  - `"\""  ;tem 1 caractere`
  - `"\\"  ;tem 1 caractere`

Funções para *Strings*

- Para concatenação:

```
> (concatenate 'string "abcd" "efg")
"abcdefg"
```

- extração de caracteres de um *string*:

```
(char "abc" 1)
#\b   ;LISP escreve caracteres precedidos por
#\
```

- como *strings* também são vetores:

```
(aref "abc" 1)
#\b   ;temos o mesmo resultado
```

Funções para *Strings*

- Ainda na concatenação:

```
> (concatenate 'string '(#\a #\b) '(#\c))
"abc"

> (concatenate 'list "abc" "de")
(#\a #\b #\c #\d #\e)

> (concatenate 'vector '#(3 3 3) '#(3 3 3))
#(3 3 3 3 3 3)
```

Estruturas de Repetição

- `loop`
  - é a estrutura de repetição mais simples de Lisp. Um `loop` se repete até encontrar um comando `return`.
  - Exemplo 1:

```
> (setq a 4)
4
> (loop
    (setq a (+ a 1))
    (when (> a 7) (return a))
  )
8
```

Estruturas de Repetição

- `loop`
  - Exemplo 2:

```
> (setq b 8)
8
> (loop
    (setq b (- b 1))
    (when (< b 3) (return))
  )
NIL
```

Estruturas de Repetição

- `dolist`
  - ata uma variável aos elementos de uma lista na sua ordem e termina quando encontra o fim da lista.
  - Exemplo:

```
> (dolist (x '(a b c)) (print x))
A
B
C
NIL
```

  - `dolist` sempre retorna `NIL` como valor. Observe que o valor de `X` no exemplo acima nunca é `NIL`. O valor `NIL` abaixo do `C` é o retorno do comando `dolist`.

Estruturas de Repetição

- do
  - a primitiva de iteração mais complexa é o comando `do`.
  - Explicando o `do`:
    1) a primeira parte do `do` (em azul) especifica quais variáveis que devem ser atadas, quais são os seus valores iniciais e como eles devem ser atualizados;
    2) a segunda parte especifica uma condição de término (em verde) e um valor de retorno e
    3) a última parte (em preto) é o corpo.
  - A estrutura:

```
(do ( (x 1 (+ x 1))      ;variável x, com valor inicial 1
      (y 1 (* y 2))      ;variável y, com valor inicial 1
    )
    ((> x 5) y)          ;retorna valor de y quando x > 5
    (print y)            ;corpo
    (print 'working)     ;corpo
)
```

Estruturas de Repetição

- Exemplo:

```
> (do (   (x 1 (+ x 1))  ;variável x, com valor inicial 1
          (y 1 (* y 2))  ;variável y, com valor inicial 1
      )
      ((> x 5) y)       ;retorna valor de y quando x > 5
      (print y)          ;corpo
      (print 'working)   ;corpo
  )
1
WORKING
2
WORKING
4
WORKING
8
WORKING
16
WORKING
32
```

`Funcall`, `Apply` e `Mapcar`

- Em Lisp funções podem ser argumentos de outras funções. E se assim for, um destes comandos deverá ser utilizado para executar a função passada como argumento.
- Explicando:
  - `funcall` chama seu primeiro argumento com os argumentos restantes como argumentos deste;
  - `apply` é semelhante a `funcall`, exceto que seu argumento final deverá ser uma lista. Os elementos desta lista são tratados como se fossem argumentos adicionais ao `funcall` e
  - `mapcar` deve receber, como argumento, uma função de um argumento. `mapcar` aplicará a função a cada elemento da lista dada e coletará os resultados em outra lista.

Funcall, Apply e Mapcar

- Exemplos:

```
> (funcall #'+ 3 4)
7
> (apply #'+ 3 4 '(3 4))
14
> (apply #'+ 3 4 '(5 6))
18
> (mapcar #'not '(t nil t nil t nil))
(NIL T NIL T NIL T)
```

Ordenação

- Lisp provê duas primitivas para ordenação:
  - `sort`

```
> (sort '(2 4 1 5 4 6) #'<)
(1 2 4 4 5 6)
> (sort '(2 1 5 4 6) #'>)
(6 5 4 2 1)
```

  - o primeiro argumento para `sort` é uma lista e o segundo é a função de comparação;
  - Atenção! `sort` tem permissão para destruir o seu argumento. Por isso, se você deseja manter a lista original, então copie-a com `copy-list` ou `copy-seq`.

Ordenação

- `stable-sort`

```
> (stable-sort '(2 4 1 5 4 6) #'<)
(1 2 4 4 5 6)
> (stable-sort '(2 1 5 4 6) #'>)
(6 5 4 2 1)
```

- o `stable-sort` é bem semelhante ao `sort`. Porém alguns autores retratam que o comando `sort`, em algumas situações bem específicas, pode falhar. O que não aconteceria com o `stable-sort`. Mas, este por sua vez é mais lento que o `sort`.

Packages

- De acordo com Cooper Jr. (2021), pacotes podem ser pensados como “áreas de código” para símbolos;
- um símbolo existe em um determinado pacote;
- ao iniciar o ambiente, provavelmente você estará no pacote `COMMON-LISP-USER`. Para verificar basta utilizar o comando `*package*` e
- se precisar referenciar um símbolo que foi definido em outro pacote, então use:
  - `nomeDoPacote:nomeDoSímbolo` (caso este tenha sido exportado previamente) ou
  - `nomeDoPacote::nomeDoSímbolo` (caso este NÃO tenha sido exportado previamente).

Packages

- Um símbolo existe em um determinado pacote:

```
[1]> (make-package 'teste)
#<PACKAGE TESTE>
[2]> (in-package teste)
#<PACKAGE TESTE>
TESTE[3]> (setq valor 100)
100
TESTE[4]> valor
100
TESTE[5]> (in-package :user)
#<PACKAGE COMMON-LISP-USER>
[6]> valor

*** - SYSTEM::READ-EVAL-PRINT: variable VALOR has no value
The following restarts are available:
USE-VALUE      :R1      Input a value to be used instead of VALOR.
STORE-VALUE    :R2      Input a new value for VALOR.
ABORT          :R3      Abort main loop
Break 1 [7]> :r3
[8]> teste::valor
100
[9]>
```

Packages - Comandos Úteis

- `(make-package 'nomeDoPacote)` - cria um pacote;
- `(delete-package 'nomeDoPacote)` - apaga um pacote, mesmo que este contenha variáveis, funções e etc.;
- `(in-package nomeDoPacote)` - muda o ambiente do pacote atual para o pacote `nomeDoPacote`.

Packages - Dicas

- Aplicações pequenas devem ficar no pacote de usuários (predefinido);
- já as aplicações maiores devem ficar em pacotes próprios, até mesmo pela questão de modularização do sistema;
- o pacote padrão geralmente é o `COMMON-LISP-USER`, que pode ser acessado pelo seu apelido. Ou seja `(in-package :user)`

Bibliografia

- BITTENCOURT, Guilherme. **Inteligência Artificial - Ferramentas e Teorias**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.
- COOPER JR. David J. **Basic Lisp Techniques**. Disponível em: <https://franz.com/resources/educational_resources/cooper.book.pdf>. Acesso em: 07 Set. 2021.
- MEDEIROS, Adelardo A. Dantas. **Linguagem LISP**. Disponível em: <https://www.dca.ufrn.br/~adelardo/lisp/>. Acesso em: 21 Ago. 2021.
- MEIDANIS, João. **MC346 - Paradigmas de programação Lisp**. Disponível em: <https://www.ic.unicamp.br/~meidanis/courses/mc346/2015s2/funcional/apostila-lisp.pdf>. Acesso em: 21 Ago. 2021.
- SEIBER, Seibel. **Practical Common Lisp**. Disponível em: <http://www.e-booksdirectory.com/details.php?ebook=1323>. Acesso em 19 Ago. 2021.
- SERGERAERT, Francis. **Packages in Common Lisp, a tutorial**. Disponível em: <https://www-fourier.ujf-grenoble.fr/~sergerar/Papers/Packaging.pdf>. Acesso em: 08 Set. 2021.
- SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Glóbulo branco robótico navega contra corrente sanguínea**. 01/06/2020. Online. Disponível em <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=globulo-branco-robotico>. Acesso em: 18 Out. 2020.

Bibliografia

- WANGENHEIM, Aldo Von. **Métodos e Técnicas de Programação Funcional: Linguagem LISP**. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/func/lisp1.html>. Acesso em: 23 Ago. 2021.
- Wikibooks. **Common Lisp**. Disponível em: <https://en.wikibooks.org/wiki/Common_Lisp>. Acesso em: 19 Ago. 2021.
- Wikipedia. **Lisp (programming language)**. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lisp_(programming_language)#cite_note-ArtOfLisp-9>. Acesso em: 17 Ago. 2021.
- Wikipedia. **Programação Funcional**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Programa%C3%A7%C3%A3o_funcional>. Acesso em: 17 Ago. 2021.
- X2 Inteligência Digital. **Inteligência Artificial**. Disponível em: <https://x2inteligencia.digital/2020/03/03/filmes-sobre-a-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 16 Out. 2020.
- ZAMBIASI, Saulo Popov.. **Tutorial de Programação LISP**. Disponível em: <https://saulo.arisa.com.br/wiki/index.php/Tutorial_de_Programa%C3%A7%C3%A3o_Lisp>. Acesso em: 03 Set. 2021.