Estatística Computacional com R

Fernando P. Mayer Wagner H. Bonat

Laboratório de Estatística e Geoinformação (LEG)
Departamento de Estatística (DEST)
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

2018-07-24
Última atualização: 2018-07-25

Sumário

0.1 Informação de Sessão 5

1 Computação científica e interação com o R **7**
1.1 Interagindo com o computador 7
1.2 Editores de texto 7
1.2.1 Editores para R 8
1.3 R 8
1.3.1 Configuração inicial 9
1.3.2 O R como uma calculadora 9
1.3.3 Para onde vão os resultados? 9
1.3.4 O editor de scripts 10
1.3.5 Operadores aritméticos 10
1.3.6 Ordens de execução 10
1.3.7 "Salvando" resultados 11
1.3.8 Finalizando o programa 12

2 Objetos e classes **13**
2.1 Funções e argumentos 13
2.1.1 Outros tipos de argumentos 13
2.2 Mecanismos de ajuda 14
2.3 Criando uma função 15
2.4 Objetos 16
2.4.1 Nomes de objetos 17
2.4.2 Gerenciando a área de trabalho 17
2.5 Tipos e classes de objetos 18
2.5.1 Vetores numéricos 19
2.5.2 Outros tipos de vetores 22
2.5.3 Misturando classes de objetos 23
2.5.4 Valores perdidos e especiais 24
2.6 Outras classes 25
2.6.1 Fator 25
2.6.2 Matriz 26
2.6.3 Array 28
2.6.4 Lista 29
2.6.5 Data frame 30
2.7 Atributos de objetos 32

3 Programação Orientada a Objetos **37**

Prefácio

Alguma coisa aqui.

0.1 Informação de Sessão

```
Wednesday, 25 July, 2018, 00:24
----------------------------------------
R version 3.5.0 (2017-01-27)
Platform: x86_64-pc-linux-gnu (64-bit)
Running under: Ubuntu 14.04.5 LTS

Matrix products: default
BLAS: /home/travis/R-bin/lib/R/lib/libRblas.so
LAPACK: /home/travis/R-bin/lib/R/lib/libRlapack.so

locale:
 [1] LC_CTYPE=en_US.UTF-8       LC_NUMERIC=C
 [3] LC_TIME=en_US.UTF-8        LC_COLLATE=en_US.UTF-8
 [5] LC_MONETARY=en_US.UTF-8    LC_MESSAGES=en_US.UTF-8
 [7] LC_PAPER=en_US.UTF-8       LC_NAME=C
 [9] LC_ADDRESS=C               LC_TELEPHONE=C
[11] LC_MEASUREMENT=en_US.UTF-8 LC_IDENTIFICATION=C

attached base packages:
[1] stats     graphics  grDevices utils     datasets  methods   base

other attached packages:
[1] knitr_1.20

loaded via a namespace (and not attached):
 [1] Rcpp_0.12.18    bookdown_0.7.15 digest_0.6.15   rprojroot_1.3-2
 [5] backports_1.1.2 magrittr_1.5    evaluate_0.11   highr_0.7
 [9] stringi_1.2.4   rstudioapi_0.7  rmarkdown_1.10  tools_3.5.0
[13] stringr_1.3.1   xfun_0.3        yaml_2.1.19     compiler_3.5.0
[17] htmltools_0.3.6
```

Capítulo 1

Computação científica e interação com o R

1.1 Interagindo com o computador

O que significa este ícone?

- É um documento do Microsoft Excel?
- É um arquivo de **texto pleno**, separado por vírgulas (CSV *comma separated values*)
- De fato, o nome do arquivo é `final.csv` e não `final`
- O Excel pode sim abrir este arquivo... assim como milhares de outros programas!

O que está acontecendo?

- O computador (leia-se, nesse caso, o sistema operacional Windows) "proteje" o usuário dos detalhes sujos
- Isso é ruim? **Sim!**
- O usuário se acostuma com o computador ditando as regras
- É importante lembrar que é você quem deve dizer o que o computador deve fazer (nesse caso, com qual programa abrir certo arquivo)

O que deve acontecer?

- Para a maioria dos usuários, a interação com o computador se limita a clicar em links, selecionar menus e caixas de diálogo
- O problema com essa abordagem é que parece que o usuário é controlado pelo computador
- A verdade deve ser o oposto!
- É o usuário que possui o controle e deve dizer para o computador exatamente o que fazer
- Escrever código ainda tem a vantagem de deixar registrado tudo o que foi feito

1.2 Editores de texto

Uma característica importante de códigos de programação é que eles são em **texto puro**, por isso precisamos de um bom **editor de textos**

Características de um bom editor:

- **Identação automática**
- **Complementação de parênteses**
- **Destaque de sintaxe** (*syntax highlighting*)
- **Numeração de linhas**
- **Auto completar comandos**

1.2.1 Editores para R

Windows:

- Interface padrão: pouco recomendado
- Tinn-R

Linux:

- Vim-R-plugin
- Gedit-R-plugin

Todas as plataformas:

- Rstudio: recomendado para iniciantes
- Emacs + ESS: altamente recomendado

1.3 R

> *"The statistical software should help, by supporting each step from user to programmer, with as few intrusive barriers as possible."*
>
> *"... to turn ideas into software, quickly and faithfully."*
>
> — John M. Chambers

O R é um dialeto do S e:

- *Ambiente* estatístico para análise de dados e produção de gráficos
- Uma completa linguagem de programação:
  - Interpretada (contrário de compilada)
  - Orientada a objetos:

  Tudo no R é um objeto...
- Livre distribuição (código-aberto)
- Mais de 10000 pacotes adicionais

Pequeno histórico:

- 1980: Linguagem S: desenvolvida por R. Becker, J. Chambers e A. Wilks (AT&T Bell Laboratories)
- 1980: Versão comercial: S-Plus (Insightful Corporation)
- 1996: Versão livre: R desenvolvido por R. Ihaka e R. Gentleman (Universidade de Auckland)
- 1997: R Development Core Team
- Hoje: 20 desenvolvedores principais e muitos outros colaboradores em todo o mundo
- Estatísticos, matemáticos e programadores

1.3.1 Configuração inicial

- O **diretório de trabalho** é uma pasta onde o R será direcionado. Todos os arquivos que serão importados (base de dados, ...) ou exportados (base de dados, gráficos, ...) por ele ficarão nesta pasta.
- Existem duas maneiras de configurar o diretório de trabalho (suponha que vamos usar a pasta `~/estatcomp1`):
- 1) Utilizando a função `setwd()` dentro do R:

```
setwd("~/estatcomp1")
```

- 2) Pelo menu do RStudio em `Session > Set Working Directory > Choose Directory...` Confira o diretório que está trabalhando com a função

```
getwd()
```

1.3.2 O R como uma calculadora

O símbolo > indica que o R está pronto para receber um comando:

```
> 2 + 2
[1] 4
```

O símbolo > muda para + se o comando estiver incompleto:

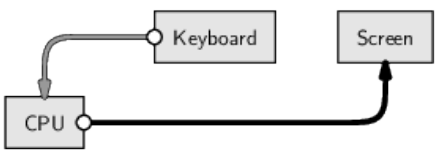
```
> 2 *
+ 2
[1] 4
```

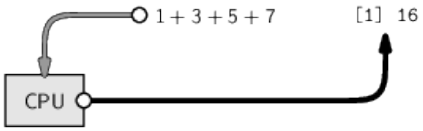
Espaços entre os números não fazem diferença:

```
> 2+          2
[1] 4
```

1.3.3 Para onde vão os resultados?

```
> 1 + 3 + 5 + 7
[1] 16
```





- Note que o resultado é apenas mostrado na tela, nada é salvo na memória (por enquanto)

1.3.4 O editor de scripts

- Para criar rotinas computacionais é necessário utilizar um editor de scripts.
- Clique em `File > New file > R script`. Salve com a extensão `.R`.
- Para enviar comandos diretamente para o console, selecione-os e aperte `Ctrl + <Enter>`.
- Para adicionar comentários ao script, utiliza-se o símbolo # antes do texto e/ou comandos. O que estiver depois do símbolo não será interpretado pelo R. Portanto:

```
2 + 2     # esta linha será executada
# 2 + 2     esta linha não será executada
```

1.3.5 Operadores aritméticos

Operador	Significado
`+`	adição
`-`	subtração
`*`	multiplicação
`/`	divisão
`^`	potência
`exp()`	exponencial
`sqrt()`	raíz quadrada
`factorial()`	fatorial
`log(); log2(); log10()`	logaritmos

1.3.6 Ordens de execução

As operações são realizadas sempre seguindo as prioridades:

1. De dentro para fora de parênteses `()`
2. Multiplicação e divisão
3. Adição e subtração

```
> 5 * 2 - 10 + 7
[1] 7
> 5 * 2 - (10 + 7)
[1] -7
> 5 * (2 - 10 + 7)
[1] -5
> 5 * (2 - (10 + 7))
[1] -75
```

Exercícios

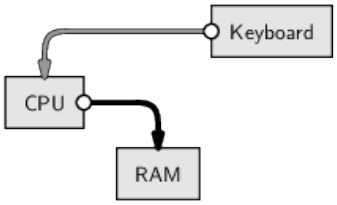
1. Calcule a seguinte equação: $32 + 16^2 - 25^3$
2. Divida o resultado por 345
3. Qual o resultado da expressão $\frac{e^{-2}2^4-1}{4!}$?
4. E do logaritmo desta expressão?

1.3.7 "Salvando" resultados

Do exercício anterior

```
> x <- 32 + 16^2 - 25^3
> x
[1] -15337
> x/345
[1] -44.45507
> (y <- (exp(-2) * 2^4 - 1)/factorial(4))
[1] 0.04855686
> log(y)
[1] -3.02502
```

Quando criamos uma variável (x, y), ela fica armazenada **temporariamente** na memória RAM.



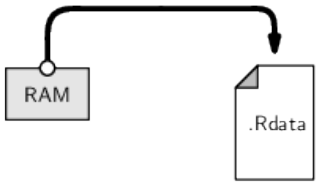
Para saber quais objetos estão criados, usamos a **função** `ls()`

```
> ls()
[1] "x" "y"
```

Estas variáveis ficam armazenadas no chamado *workspace* do R

- O *workspace* consiste de tudo que or criado durante uma sessão do R, armazenado na memória RAM

Para efetivamente salvar esas variáveis, podemos armazenar esse *workspace* do R em disco, em um arquivo chamdo `.Rdata`



- Quando o R é iniciado em um diretório com um arquivo `.Rdata`, as variáveis salvas são automaticamente carregadas
- No entanto, é sempre melhor salvar os dados e o **script**, assim é possível gerar os resultados novamente, sem salvar nada sem necessidade
- Veremos mais pra frente como salvar variáveis específicas, por exemplo, resultados de uma análise que leva muito tempo para ser executada
- O mais importante é salvar o **código**, assim sabemos **como** chegamos a determinado resultado, e podemos recriá-lo depois

1.3.8 Finalizando o programa

A qualquer momento durante uma sessão você pode usar o comando

```
> save.image()
```

No RStudio:

- `File > Save As...`
- Na janela que abrir, digite o nome do arquivo (por exemplo `script_aula1`) e salve
- Automaticamente o script será salvo com a extensão `.R` (nesse caso `script_aula1.R`) no diretório de trabalho que você configurou no início

Alternativamente, você pode também salvar toda sua área de trabalho, clicando em `Workspace > Save As Default Workspace`. Este processo irá gerar dois arquivos:

- `.Rdata`: contém todos os objetos criados durante uma sessão. Não é necessário (e nem recomendado) dar um nome antes do ponto. Dessa forma, a próxima vez que o programa for iniciado neste diretório, a área de trabalho será carregada automaticamente.
- `.Rhistory`: um arquivo texto que contém todos os comandos que foram digitados no console.

Referências

- Leek, J. The Elements of Data Analytic Style. Leanpub, 2015.
- Murrell, P. Introduction to data technologies. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2009.
- Peng, RD. R programming for data science. Leanpub, 2015.

Capítulo 2

Objetos e classes

2.1 Funções e argumentos

As funções no R são definidas como:

```
nome(argumento1, argumento2, ...)
```

Exemplo: função `runif()` (para gerar valores aleatórios de uma distribuição uniforme):

```
runif(n, min = 0, max = 1)
```

```
runif(10, 1, 100)
 [1] 31.468845 26.509578 55.679921  6.581932 47.386379 48.893303 81.427859
 [8] 37.661733 55.109301 17.855943
```

Argumentos que já possuem um valor especificado (como `max` e `min`) podem ser omitidos:

```
runif(10)
```

Se os argumentos forem nomeados, a ordem deles dentro da função não tem mais importância:

```
runif(min = 1, max = 100, n = 10)
```

Argumentos nomeados e não nomeados podem ser utilizados, desde que os não nomeados estejam na posição correta:

```
runif(10, max = 100, min = 1)
```

2.1.1 Outros tipos de argumentos

Exemplo: função `sample()`:

```
sample(x, size, replace = FALSE, prob = NULL)
```

- `x` e `size` devem ser obrigatoriamente especificados
- `replace` é lógico: `TRUE` (`T`) ou `FALSE` (`F`)
- `prob` é um argumento vazio ou ausente ("opcional")

Exemplo: função `plot()`:

```
plot(x, y, ...)
```

- "`...`" permite especificar argumentos de outras funções (por exemplo `par()`)

Para ver todos os argumentos disponíveis de uma função, podemos usar a função `args()`

```
args(sample)
function (x, size, replace = FALSE, prob = NULL)
NULL
```

2.2 Mecanismos de ajuda

Argumentos e detalhes do funcionamento das funções:

```
?runif
```

ou

```
help(runif)
```

A documentação contém os campos:

- **Description:** breve descrição
- **Usage:** função e todos seus argumentos
- **Arguments:** lista descrevendo cada argumento
- **Details:** descrição detalhada
- **Value:** o que a função retorna
- **References:** bibliografia relacionada
- **See Also:** funções relacionadas
- **Examples:** exemplos práticos

Procura por nomes de funções que contenham algum termo:

```
apropos("mod")
apropos("model")
```

Procura por funções que contenham `palavra` em qualquer parte de sua documentação:

```
help.search("palavra")
```

Ajuda através do navegador (também contém manuais, . . .):

```
help.start()
```

Sites para busca na documentação dos diversos pacotes:

- RDocumentation https://www.rdocumentation.org/
- R Package Documentation https://rdrr.io/
- R Contributed Documentation (várias línguas) https://cran.r-project.org/other-docs.html

Os pacotes do R contém funções específicas para determinadas tarefas, e estendem a instalação básica do R. Atualmente existem mais de 10000 pacotes disponíveis no CRAN, além de diversos outros hospedados em sites como Github, por exemplo.

Ao instalar o R, os seguintes pacotes já vêm instalados (fazem parte do chamado "R core"):

```
NULL
```

No entanto, nem todos são carregados na inicialização do R. Por padrão, apenas os seguintes pacotes são carregados automaticamente:

```
[1] "graphics"  "grDevices" "utils"     "datasets"  "methods"   "base"
```

Para listar os pacotes carregados, use a função

```
search()
```

Note que o primeiro elemento, `.GlobalEnv`, será sempre carregado pois ele é o *ambiente* queirá armazenar (e deixar disponível) os objetos criados pelo usuário. Para carregar um pacote instalado, usamos a função `library()`, por exemplo

```
library(lattice)
search()
```

Isso tornará todas as funções do pacote `lattice` disponíveis para uso.

Para instalar um pacote usamos a função `install.packages()`. Sabendo o nome do pacote, por exemplo, `mvtnorm`, fazemos

```
install.packages("mvtnorm")
```

Se o diretório padrão de instalação de um pacote for de acesso restrito (root por exemplo), o R irá perguntar se você gostaria de instalar o pacote em uma biblioteca pessoal, e sugerirá um diretório que possui as permissões necessárias. Você pode se antecipar e já definir e criar um diretório na sua pasta pessoal, e instalar os pacotes sempre nesse local. Por exemplo, defina `~/R/library` como sua biblioteca pessoal. Para instalar os pacotes sempre nesse diretório faça:

```
install.packages("mvtnorm", lib = "~/R/library")
```

Para verificar as bibliotecas disponíveis e se existem pacotes para ser atualizados, use

```
packageStatus()
```

Para atualizar automaticamente todos os pacotes faça

```
update.packages(ask = FALSE)
```

2.3 Criando uma função

A ideia original do R é transformar usuários em programadores

> *"... to turn ideas into software, quickly and faithfully."*
>
> – John M. Chambers

Criar funções para realizar trabalhos específicos é um dos grandes poderes do R

Por exemplo, podemos criar a famosa função

```
ola.mundo <- function(){
    writeLines("Olá mundo")
}
```

E chama-la através de

```
ola.mundo()
Olá mundo
```

A função acima não permite alterar o resultado de saída. Podemos fazer isso incluindo um **argumento**

```
ola.mundo <- function(texto){
    writeLines(texto)
}
```

E fazer por exemplo

```
ola.mundo("Funções são legais")
Funções são legais
```

(Veremos detalhes de funções mais adiante)

Exercícios

1. Usando a função `runif()` gere 30 números aleatórios entre:
   - 0 e 1
   - -5 e 5
   - 10 e 500

alternando a posição dos argumentos da função.

2. Veja o help da função (?) `"+"`
3. Crie uma função para fazer a soma de dois números: `x` e `y`
4. Crie uma função para simular a jogada de um dado.
5. Crie uma função para simular a jogada de dois dados.

2.4 Objetos

O que é um objeto?

- Um **símbolo** ou uma **variável** capaz de armazenar qualquer valor ou estrutura de dados

Por quê objetos?

- Uma maneira simples de acessar os dados armazenados na memória (o R não permite acesso direto à memória)

Programação:

- Objetos ⇒ Classes ⇒ Métodos

  "Tudo no R é um objeto."

  "Todo objeto no R tem uma classe"

- **Classe:** é a definição de um objeto. Descreve a forma do objeto e como ele será manipulado pelas diferentes funções
- **Método:** são **funções genéricas** que executam suas tarefas de acordo com cada classe. Duas das funções genéricas mais importantes são:
  - `summary()`
  - `plot()`

Veja o resultado de

```
methods(summary)
methods(plot)
```

(Veremos mais detalhes adiante).

A variável `x` recebe o valor 2 (tornando-se um objeto dentro do R):

```
x <- 2
```

O símbolo `<-` é chamado de **operador de atribuição**. Ele serve para atribuir valores a objetos, e é formado pelos símbolos `<` e `-`, obrigatoriamente **sem espaços**.

Para ver o conteúdo do objeto:

```
x
[1] 2
```

Observação: O símbolo = pode ser usado no lugar de <- mas não é recomendado.

Quando você faz

```
x <- 2
```

está fazendo uma **declaração**, ou seja, declarando que a variável x irá agora se tornar um objeto que armazena o número 2. As declarações podem ser feitas uma em cada linha

```
x <- 2
y <- 4
```

ou separadas por ;

```
x <- 2; y <- 4
```

Operações matemáticas em objetos:

```
x + x
[1] 4
```

Objetos podem armazenar diferentes estruturas de dados:

```
y <- runif(10)
y
 [1] 0.6249965 0.8821655 0.2803538 0.3984879 0.7625511 0.6690217 0.2046122
 [8] 0.3575249 0.3594751 0.6902905
```

Note que cada objeto só pode armazenar uma estrutura (um número ou uma sequência de valores) de cada vez! (Aqui, o valor 4 que estava armazenado em y foi sobrescrito pelos valores acima.)

2.4.1 Nomes de objetos

- Podem ser formados por letras, números, "_", e "."
- Não podem começar com número e/ou ponto
- Não podem conter espaços
- Evite usar acentos
- Evite usar nomes de funções como:

`c q t C D F I T diff df data var pt`

- O R é *case-sensitive*, portanto:

`dados` ≠ `Dados` ≠ `DADOS`

2.4.2 Gerenciando a área de trabalho

Liste os objetos criados com a função `ls()`:

```
ls()
```

Para remover apenas um objeto:

```
rm(x)
```

Para remover outros objetos:

```
rm(x, y)
```

Para remover todos os objetos:

```
rm(list = ls())
```

Cuidado! O comando acima apaga todos os objetos na sua área de trabalho sem perguntar. Depois só é possível recuperar os objetos ao rodar os script novamente.

Exercícios

1. Armazene o resultado da equação $32 + 16^2 - 25^3$ no objeto `x`
2. Divida `x` por 345 e armazene em `y`
3. Crie um objeto (com o nome que você quiser) para armazenar 30 valores aleatórios de uma distribuição uniforme entre 10 e 50
4. Remova o objeto `y`
5. Remova os demais objetos de uma única vez
6. Procure a função utilizada para gerar numeros aleatórios de uma distribuição de Poisson, e gere 100 valores para a VA $X \sim \text{Poisson}(5)$.

2.5 Tipos e classes de objetos

Para saber como trabalhar com dados no R, é fundamental entender as possíveis estruturas (ou tipos) de dados possíveis. O formato mais básico de dados são os vetores, e a partir deles, outras estruturas mais complexas podem ser construídas. O R possui dois tipos básicos de vetores:

- **Vetores atômicos**: existem seis tipos básicos:
- `double`
- `integer`
- `character`
- `logical`
- `complex`
- `raw`

Os tipos `integer` e `double` são chamados conjuntamente de `numeric`. - **Listas**: também chamadas de *vetores recursivos* pois listas podem conter outras listas.

A principal diferença entre vetores atômicos e listas é que o primeiro é **homogêneo** (cada vetor só pode conter um tipo), enquanto que o segundo pode ser **heterogêneo** (cada vetor pode conter mais de um tipo).

Um vetor atômico só pode conter elementos de um mesmo tipo

Um vetor, como o próprio nome diz, é uma estrutura unidimensional, mas na maioria das vezes iremos trabalhar com estruturas de dados bidimensionais (linhas e colunas). Portanto diferentes estruturas (com diferentes dimensões) podem ser criadas a partir dos vetores atômicos. Quando isso acontece, temos o que é chamado de **classe** de um objeto. Embora os vetores atômicos só possuam seis tipos básicos, existe um número muito grande de classes, e novas são inventadas todos os dias. E mesmo que um objeto seja de qualquer classe, ele sempre será de um dos seis tipos básicos (ou uma lista).

Para verificar o tipo de um objeto, usamos a função `typeof()`, enquanto que a classe é verificada com a função `class()`. Vejamos alguns exemplos:

```
## double
x <- c(2, 4, 6)
typeof(x)
[1] "double"
class(x)
[1] "numeric"
## integer
x <- c(2L, 4L, 6L)
```

```
typeof(x)
[1] "integer"
class(x)
[1] "integer"
## character
x <- c("a", "b", "c")
typeof(x)
[1] "character"
class(x)
[1] "character"
## logical
x <- c(TRUE, FALSE, TRUE)
typeof(x)
[1] "logical"
class(x)
[1] "logical"
## complex
x <- c(2 + 1i, 4 + 1i, 6 + 1i)
typeof(x)
[1] "complex"
class(x)
[1] "complex"
## raw
x <- raw(3)
typeof(x)
[1] "raw"
class(x)
[1] "raw"
```

2.5.1 Vetores numéricos

Características:

- Coleção ordenada de valores
- Estrutura unidimensional

Usando a função `c()` para criar vetores:

```
num <- c(10, 5, 2, 4, 8, 9)
num
[1] 10  5  2  4  8  9
typeof(num)
[1] "double"
class(num)
[1] "numeric"
```

Por que `numeric` e não `integer`?

```
x <- c(10L, 5L, 2L, 4L, 8L, 9L)
x
[1] 10  5  2  4  8  9
typeof(x)
[1] "integer"
class(x)
[1] "integer"
```

Para forçar a representação de um número para inteiro é necessário usar o sufixo `L`.

Note que a diferença entre `numeric` e `integer` também possui impacto computacional, pois o armazenamento de números inteiros ocupa menos espaço na memória. Dessa forma, esperamos que o vetor `x` acima ocupe menos espaço na memória do que o vetor `num`, embora sejam aparentemente idênticos. Veja:

```
object.size(num)
96 bytes
object.size(x)
80 bytes
```

A diferença pode parecer pequena, mas pode ter um grande impacto computacional quando os vetores são formados por milhares ou milhões de números.

2.5.1.1 Representação numérica dentro do R

Os números que aparecem na tela do console do R são apenas representações simplificadas do número real armazenado na memória. Por exemplo,

```
x <- runif(10)
x
 [1] 0.2875775 0.7883051 0.4089769 0.8830174 0.9404673 0.0455565 0.5281055
 [8] 0.8924190 0.5514350 0.4566147
```

O objeto `x` contém números como 0.2875775, 0.7883051, etc, que possuem 7 casas decimais, que é o padrão do R. O número de casas decimais é controlado pelo argumento `digits` da função `options()`. Para visualizar essa opção, use

```
getOption("digits")
[1] 7
```

Note que esse valor de 7 é o número de **dígitos significativos**, e pode variar conforme a sequência de números. Por exemplo,

```
y <- runif(10)
y
 [1] 0.069360916 0.817775199 0.942621732 0.269381876 0.169348123
 [6] 0.033895622 0.178785004 0.641665366 0.022877743 0.008324827
```

possui valores com 9 casas decimais. Isto é apenas a representação do número que aparece na tela. Internamente, cada número é armazenado com uma precisão de 64 bits. Como consequência, cada número possui uma acurácia de até 16 dígitos significativos. Isso pode introduzir algum tipo de erro, por exemplo:

```
sqrt(2)^2 - 2
[1] 4.440892e-16
print(sqrt(2)^2, digits = 22)
[1] 2.000000000000000444089
```

não é exatamente zero, pois a raíz quadrada de 2 não pode ser armazenada com toda precisão com "apenas" 16 dígitos significativos. Esse tipo de erro é chamado de **erro de ponto flutuante**, e as operações nessas condições são chamadas de **aritmética de ponto flutuante**. Para mais informações sobre esse assunto veja What Every Computer Scientist Should Know About Floating-Point Arithmetic e Why doesn't R think these numbers are equal?.

No R os números podem ser representados com até 22 casas decimais. Você pode ver o número com toda sua precisão usando a função `print()` e especificando o número de casas decimais com o argumento `digits` (de 1 a 22)

```
print(x, digits = 1)
 [1] 0.29 0.79 0.41 0.88 0.94 0.05 0.53 0.89 0.55 0.46
```

```
print(x, digits = 7) # padrão
 [1] 0.2875775 0.7883051 0.4089769 0.8830174 0.9404673 0.0455565 0.5281055
 [8] 0.8924190 0.5514350 0.4566147
print(x, digits = 22)
 [1] 0.2875775201246142387390 1 0.7883051354438066482544
 [3] 0.4089769218116998672485 4 0.8830174040049314498901 4
 [5] 0.9404672842938452959061 7 0.0455564993899315595626 8
 [7] 0.5281054880470037460327 1 0.8924190443940460681915 3
 [9] 0.5514350144658237695694 0 0.4566147353034466505050 7
```

Também é possível alterar a representação na tela para o formato científico, usando a função `format()`

```
format(x, scientific = TRUE)
 [1] "2.875775e-01" "7.883051e-01" "4.089769e-01" "8.830174e-01"
 [5] "9.404673e-01" "4.555650e-02" "5.281055e-01" "8.924190e-01"
 [9] "5.514350e-01" "4.566147e-01"
```

Nessa representação, o valor 2.875775e-01 = $2.875775 \times 10^{-01} = 0.2875775$.

2.5.1.2 Sequências de números

Usando a função `seq()`

```
seq(1, 10)
 [1]  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
```

Ou `1:10` gera o mesmo resultado. Para a sequência variar em 2

```
seq(from = 1, to = 10, by = 2)
[1] 1 3 5 7 9
```

Para obter 15 valores entre 1 e 10

```
seq(from = 1, to = 10, length.out = 15)
 [1]  1.000000  1.642857  2.285714  2.928571  3.571429  4.214286  4.857143
 [8]  5.500000  6.142857  6.785714  7.428571  8.071429  8.714286  9.357143
[15] 10.000000
```

Usando a função `rep()`

```
rep(1, 10)
 [1] 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
```

Para gerar um sequência várias vezes

```
rep(c(1, 2, 3), times = 5)
 [1] 1 2 3 1 2 3 1 2 3 1 2 3 1 2 3
```

Para repetir um número da sequência várias vezes

```
rep(c(1, 2, 3), each = 5)
 [1] 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3
```

2.5.1.3 Operações matemáticas em vetores numéricos

Operações podem ser feitas entre um vetor e um número:

```
num * 2
[1] 20 10  4  8 16 18
```

E também entre vetores de mesmo comprimento ou com comprimentos múltiplos:

```
num * num
[1] 100  25   4  16  64  81
num + c(2, 4, 1)
[1] 12  9  3  6 12 10
```

2.5.1.4 A Regra da Reciclagem

Original		Expandido		Resposta
num	c(2,4,1)	num	c(2,4,1)	num + c(2,4,1)
10	2	10	2	12
5	4	5	4	9
2	1	2	1	3
4		4	2	6
8		8	4	12
9		9	1	10

Agora tente:

```
num + c(2, 4, 1, 3)
```

2.5.2 Outros tipos de vetores

Vetores também podem ter outros tipos:

- Vetor de caracteres:

```
caracter <- c("brava", "joaquina", "armação")
caracter
[1] "brava"    "joaquina" "armação"
typeof(caracter)
[1] "character"
class(caracter)
[1] "character"
```

- Vetor lógico:

```
logico <- caracter == "armação"
logico
[1] FALSE FALSE  TRUE
typeof(logico)
[1] "logical"
class(logico)
[1] "logical"
```

ou

```
logico <- num > 4
logico
[1]  TRUE  TRUE FALSE FALSE  TRUE  TRUE
```

No exemplo anterior, a condição `num > 4` é uma **expressão condicional**, e o símbolo > um **operador lógico**. Os operadores lógicos utilizados no R são:

Operador	Sintaxe	Teste
<	`a < b`	a é menor que b?
<=	`a <= b`	a é menor ou igual a b?
>	`a > b`	a é maior que b
>=	`a >= b`	a é maior ou igual a b?
==	`a == b`	a é igual a b?
!=	`a != b`	a é diferente de b?
%in%	`a %in% c(a, b)`	a está contido no vetor `c(a, b)`?

2.5.3 Misturando classes de objetos

Algumas vezes isso acontece por acidente, mas também pode acontecer de propósito.

O que acontece aqui?

```
w <- c(5L, "a")
x <- c(1.7, "a")
y <- c(TRUE, 2)
z <- c("a", T)
```

Lembre-se da regra:

Um vetor só pode conter elementos do mesmo tipo

Quando objetos de diferentes tipos são misturados, ocorre a **coerção**, para que cada elemento possua a mesma classe.

Nos exemplos acima, nós vemos o efeito da **coerção implícita**, quando o R tenta representar todos os objetos de uma única forma.

Nós podemos forçar um objeto a mudar de classe, através da **coerção explícita**, realizada pelas funções `as.*`:

```
x <- 0:6
typeof(x)
[1] "integer"
class(x)
[1] "integer"
as.numeric(x)
[1] 0 1 2 3 4 5 6
as.logical(x)
[1] FALSE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
as.character(x)
[1] "0" "1" "2" "3" "4" "5" "6"
as.factor(x)
[1] 0 1 2 3 4 5 6
Levels: 0 1 2 3 4 5 6
```

De `?logical`:

```
 Logical vectors are coerced to integer vectors in contexts where a
 numerical value is required, with 'TRUE' being mapped to '1L',
 'FALSE' to '0L' and 'NA' to 'NA_integer_'.
```

```
(x <- c(FALSE, TRUE))
[1] FALSE  TRUE
class(x)
[1] "logical"
```

```
as.numeric(x)
[1] 0 1
```

Algumas vezes não é possível fazer a coerção, então:

```
x <- c("a", "b", "c")
as.numeric(x)
Warning: NAs introduced by coercion
[1] NA NA NA
as.logical(x)
[1] NA NA NA
```

2.5.4 Valores perdidos e especiais

Valores perdidos devem ser definidos como `NA` (*not available*):

```
perd <- c(3, 5, NA, 2)
perd
[1]  3  5 NA  2
class(perd)
[1] "numeric"
```

Podemos testar a presença de `NA`s com a função `is.na()`:

```
is.na(perd)
[1] FALSE FALSE  TRUE FALSE
```

Ou:

```
any(is.na(perd))
[1] TRUE
```

Outros valores especiais são:

- `NaN` (*not a number*) - exemplo: `0/0`
- `-Inf` e `Inf` - exemplo: `1/0`

A função `is.na()` também testa a presença de `NaN`s:

```
perd <- c(-1,0,1)/0
perd
[1] -Inf  NaN  Inf
is.na(perd)
[1] FALSE  TRUE FALSE
```

A função `is.infinite()` testa se há valores infinitos

```
is.infinite(perd)
[1]  TRUE FALSE  TRUE
```

Exercícios

1. Crie um objeto com os valores 54, 0, 17, 94, 12.5, 2, 0.9, 15.
   a. Some o objeto acima com os valores 5, 6, e depois com os valores 5, 6, 7.
2. Construa um único objeto com as letras: `A`, `B`, e `C`, repetidas cada uma 15, 12, e 8 vezes, respectivamente.
   a. Mostre na tela, em forma de verdadeiro ou falso, onde estão as letras `B` nesse objeto.

   b. Veja a página de ajuda da função `sum()` e descubra como fazer para contar o número de letras `B` neste vetor (usando `sum()`).
3. Crie um objeto com 100 valores aleatórios de uma distribuição uniforme $U(0,1)$. Conte quantas vezes aparecem valores maiores ou iguais a 0,5.
4. Calcule as 50 primeiras potências de 2, ou seja, $2, 2^2, 2^3, \ldots, 2^{50}$.
   a. Calcule o quadrado dos números inteiros de 1 a 50, ou seja, $1^2, 2^2, 3^2, \ldots, 50^2$.
   b. Quais pares são iguais, ou seja, quais números inteiros dos dois exercícios anteriores satisfazem a condição $2^n = n^2$?
   c. Quantos pares existem?
5. Calcule o seno, coseno e a tangente para os números variando de 0 a 2π, com distância de 0.1 entre eles. (Use as funções `sin()`, `cos()`, `tan()`).
   a. Calcule a tangente usando a relação $\tan(x) = \sin(x)/\cos(x)$.
   b. Calcule as diferenças das tangentes calculadas pela função do R e pela razão acima.
   c. Quais valores são exatamente iguais?
   d. Qual a diferença máxima (em módulo) entre eles? Qual é a causa dessa diferença?

2.6 Outras classes

Como mencionado na seção anterior, o R possui 6 tipos básicos de estrutura de dados, mas diversas classes podem ser construídas a partir destes tipos básicos. Abaixo, veremos algumas das mais importantes.

2.6.1 Fator

Os fatores são parecidos com caracteres no R, mas são armazenados e tratados de maneira diferente.

Características:

- Coleção de categorias ou **níveis** (*levels*)
- Estrutura unidimensional

Utilizando as funções `factor()` e `c()`:

```
fator <- factor(c("alta","baixa","baixa","media",
                  "alta","media","baixa","media","media"))
fator
[1] alta  baixa baixa media alta  media baixa media media
Levels: alta baixa media
class(fator)
[1] "factor"
typeof(fator)
[1] "integer"
```

Note que o objeto é da classe `factor`, mas seu tipo básico é `integer`! Isso significa que cada categoria única é identificada internamente por um número, e isso faz com que os fatores possuam uma ordenação, de acordo com as categorias únicas. Por isso existe a identificação dos `Levels` (níveis) de um fator.

Veja o que acontece quando "remover a classe" desse objeto

```
unclass(fator)
[1] 1 2 2 3 1 3 2 3 3
attr(,"levels")
[1] "alta"  "baixa" "media"
```

Fatores podem ser convertidos para caracteres, e **também** para números inteiros

```
as.character(fator)
[1] "alta"  "baixa" "baixa" "media" "alta"  "media" "baixa" "media" "media"
as.integer(fator)
[1] 1 2 2 3 1 3 2 3 3
```

Caso haja uma hierarquia, os níveis dos fatores podem ser ordenados explicitamente através do argumento `levels`:

```
fator <- factor(c("alta","baixa","baixa","media",
                  "alta","media","baixa","media","media"),
                levels = c("alta","media","baixa"))
fator
[1] alta  baixa baixa media alta  media baixa media media
Levels: alta media baixa
typeof(fator)
[1] "integer"
class(fator)
[1] "factor"
```

Além disso, os níveis dos fatores podem também ser explicitamente ordenados

```
fator <- factor(c("alta","baixa","baixa","media",
                  "alta","media","baixa","media","media"),
                levels = c("baixa", "media", "alta"),
                ordered = TRUE)
fator
[1] alta  baixa baixa media alta  media baixa media media
Levels: baixa < media < alta
typeof(fator)
[1] "integer"
class(fator)
[1] "ordered" "factor"
```

(Veja que um objeto pode ter mais de uma classe). Isso geralmente só será útil em casos especificos.

As seguintes funções são úteis para verificar os níveis e o número de níveis de um fator:

```
levels(fator)
[1] "baixa" "media" "alta"
nlevels(fator)
[1] 3
```

2.6.2 Matriz

Matrizes são vetores que podem ser dispostos em duas dimensões.

Características:

- Podem conter apenas um tipo de informação (números, caracteres)
- Estrutura bidimensional

Utilizando a função `matrix()`:

```
matriz <- matrix(1:12, nrow = 3, ncol = 4)
matriz
     [,1] [,2] [,3] [,4]
[1,]    1    4    7   10
[2,]    2    5    8   11
[3,]    3    6    9   12
```

```
class(matriz)
[1] "matrix"
typeof(matriz)
[1] "integer"
```

Alterando a ordem de preenchimento da matriz (por linhas):

```
matriz <- matrix(1:12, nrow = 3, ncol = 4, byrow = TRUE)
matriz
     [,1] [,2] [,3] [,4]
[1,]    1    2    3    4
[2,]    5    6    7    8
[3,]    9   10   11   12
```

Para verificar a dimensão da matriz:

```
dim(matriz)
[1] 3 4
```

Adicionando colunas com `cbind()`

```
cbind(matriz, rep(99, 3))
     [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
[1,]    1    2    3    4   99
[2,]    5    6    7    8   99
[3,]    9   10   11   12   99
```

Adicionando linhas com `rbind()`

```
rbind(matriz, rep(99, 4))
     [,1] [,2] [,3] [,4]
[1,]    1    2    3    4
[2,]    5    6    7    8
[3,]    9   10   11   12
[4,]   99   99   99   99
```

Matrizes também podem ser criadas a partir de vetores adicionando um **atributo** de dimensão

```
m <- 1:10
m
 [1]  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
class(m)
[1] "integer"
dim(m)
NULL
dim(m) <- c(2, 5)
m
     [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
[1,]    1    3    5    7    9
[2,]    2    4    6    8   10
class(m)
[1] "matrix"
typeof(m)
[1] "integer"
```

2.6.2.1 Operações matemáticas em matrizes

Matriz multiplicada por um escalar

```
matriz * 2
     [,1] [,2] [,3] [,4]
[1,]    2    4    6    8
[2,]   10   12   14   16
[3,]   18   20   22   24
```

Multiplicação de matrizes (observe as dimensões!)

```
matriz2 <- matrix(1, nrow = 4, ncol = 3)
matriz %*% matriz2
     [,1] [,2] [,3]
[1,]   10   10   10
[2,]   26   26   26
[3,]   42   42   42
```

2.6.3 Array

Um array é a forma mais geral de uma matriz, pois pode ter n dimensões.

Características:

- Estrutura n-dimensional
- Assim como as matrizes, podem conter apenas um tipo de informação (números, caracteres)

Para criar um array, usamos a função `array()`, passando como primeiro argumento um vetor atômico, e especificamos a dimensão com o argumento `dim`. Por exemplo, para criar um objeto com 3 dimensões $2 \times 2 \times 3$, fazemos

```
ar <- array(1:12, dim = c(2, 2, 3))
ar
, , 1

     [,1] [,2]
[1,]    1    3
[2,]    2    4

, , 2

     [,1] [,2]
[1,]    5    7
[2,]    6    8

, , 3

     [,1] [,2]
[1,]    9   11
[2,]   10   12
```

Similarmente, um array de 2 dimensões $3 \times 2 \times 2$ é obtido com

```
ar <- array(1:12, dim = c(3, 2, 2))
ar
, , 1

     [,1] [,2]
[1,]    1    4
[2,]    2    5
[3,]    3    6
```

```
, , 2

     [,1] [,2]
[1,]    7   10
[2,]    8   11
[3,]    9   12
```

2.6.4 Lista

Como já vimos, uma lista não é uma "classe" propriamente dita, mas sim um tipo de estrutura de dados básico, ao lado dos vetores atômicos. E, assim como os vetores atômicos, listas são estruturas unidimensionais. A grande diferença é que listas agrupam objetos de diferentes tipos, inclusive outras listas.

Características:

- Pode combinar uma coleção de objetos de diferentes tipos ou classes (é um tipo básico de vetor, assim como os vetores atômicos)
- Estrutura "unidimensional": apenas o número de elementos na lista é contado

Ppor exemplo, podemos criar uma lista com uma sequência de números, um caracter e outra lista

```
lista <- list(1:30, "R", list(TRUE, FALSE))
lista
[[1]]
 [1]  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
[24] 24 25 26 27 28 29 30

[[2]]
[1] "R"

[[3]]
[[3]][[1]]
[1] TRUE

[[3]][[2]]
[1] FALSE
class(lista)
[1] "list"
typeof(lista)
[1] "list"
```

Para melhor visualizar a estrutura dessa lista (ou de qualquer outro objeto) poddemos usar a função `str()`

```
str(lista)
List of 3
 $ : int [1:30] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
 $ : chr "R"
 $ :List of 2
  ..$ : logi TRUE
  ..$ : logi FALSE
```

Note que de fato é uma estrutura unidimensional

```
dim(lista)
NULL
```

```
length(lista)
[1] 3
```

Listas podem armazenar objetos de diferentes classes e dimensões, por exemplo, usando objetos criados anteriormente

```
lista <- list(fator, matriz)
lista
[[1]]
[1] alta  baixa baixa media alta  media baixa media media
Levels: baixa < media < alta

[[2]]
     [,1] [,2] [,3] [,4]
[1,]    1    2    3    4
[2,]    5    6    7    8
[3,]    9   10   11   12
length(lista)
[1] 2
```

2.6.5 Data frame

Data frame é a versão bidimensional de uma lista. Data frames **são** listas, mas onde cada componente dever ter obrigatoriamente o mesmo comprimento. Cada vetor da lista vira uma coluna em um data frame, permitindo então que as "colunas" sejam de diferentes tipos.

Os data frames são as estruturas mais comuns para se trabalhar com dados no R.

Características:

- Uma lista de vetores e/ou fatores, de **mesmo comprimento**
- Pode conter diferentes tipos de dados (numérico, fator, ...)
- Estrutura bidimensional

Utilizando a função `data.frame()`:

```
da <- data.frame(nome = c("João", "José", "Maria"),
                 sexo = c("M", "M", "F"),
                 idade = c(32, 34, 30))
da
   nome sexo idade
1  João    M    32
2  José    M    34
3 Maria    F    30
class(da)
[1] "data.frame"
typeof(da)
[1] "list"
dim(da)
[1] 3 3
```

Veja os detalhes com `str()`

```
str(da)
'data.frame':   3 obs. of  3 variables:
 $ nome : Factor w/ 3 levels "João","José",..: 1 2 3
 $ sexo : Factor w/ 2 levels "F","M": 2 2 1
 $ idade: num  32 34 30
```

Note que a função `data.frame()` converte caracteres para fator automaticamente. Para que isso não aconteça, use o argumento `stringsAsFactors = FALSE`

```
da <- data.frame(nome = c("João", "José", "Maria"),
                 sexo = c("M", "M", "F"),
                 idade = c(32, 34, 30),
                 stringsAsFactors = FALSE)
da
   nome sexo idade
1  João    M    32
2  José    M    34
3 Maria    F    30
str(da)
'data.frame':   3 obs. of  3 variables:
 $ nome : chr  "João" "José" "Maria"
 $ sexo : chr  "M" "M" "F"
 $ idade: num  32 34 30
```

Data frames podem ser formados com objetos criados anteriormente, desde que tenham o mesmo comprimento:

```
length(num)
[1] 6
length(fator)
[1] 9
db <- data.frame(numerico = c(num, NA, NA, NA),
                 fator = fator)
db
  numerico fator
1       10  alta
2        5 baixa
3        2 baixa
4        4 media
5        8  alta
6        9 media
7       NA baixa
8       NA media
9       NA media
str(db)
'data.frame':   9 obs. of  2 variables:
 $ numerico: num  10 5 2 4 8 9 NA NA NA
 $ fator   : Ord.factor w/ 3 levels "baixa"<"media"<..: 3 1 1 2 3 2 1 2 2
```

Algumas vezes pode ser necessário converter um data frame para uma matriz. Existem duas opções:

```
as.matrix(db)
      numerico fator
 [1,] "10"     "alta"
 [2,] " 5"     "baixa"
 [3,] " 2"     "baixa"
 [4,] " 4"     "media"
 [5,] " 8"     "alta"
 [6,] " 9"     "media"
 [7,] NA       "baixa"
 [8,] NA       "media"
 [9,] NA       "media"
data.matrix(db)
```

```
      numerico fator
 [1,]       10     3
 [2,]        5     1
 [3,]        2     1
 [4,]        4     2
 [5,]        8     3
 [6,]        9     2
 [7,]       NA     1
 [8,]       NA     2
 [9,]       NA     2
```

Geralmente é o resultado de `data.matrix()` o que você está procurando.

Lembre que os níveis de um fator são armazenados internamente como números: 1° nível = 1, 2° nível = 2, . . .

```
fator
[1] alta  baixa baixa media alta  media baixa media media
Levels: baixa < media < alta
str(fator)
 Ord.factor w/ 3 levels "baixa"<"media"<..: 3 1 1 2 3 2 1 2 2
as.numeric(fator)
[1] 3 1 1 2 3 2 1 2 2
```

2.7 Atributos de objetos

Um atributo é um pedaço de informação que pode ser "anexado" à qualquer objeto, e não irá interferir nos valores daquele objeto. Os atributos podem ser vistos como "metadados", alguma descrição associada à um objeto. Os principais atributos são:

- `names`
- `dimnames`
- `dim`
- `class`

Alguns atributos também podem ser visualizados de uma só vez através da função `attributes()`.

Por exemplo, considere o seguinte vetor

```
x <- 1:6
attributes(x)
NULL
```

Mostra que o objeto `x` não possui nenhum atributo. Mas podemos definir nomes, por exemplo, para cada componente desse vetor

```
names(x)
NULL
names(x) <- c("um", "dois", "tres", "quatro", "cinco", "seis")
names(x)
[1] "um"    "dois"  "tres"  "quatro" "cinco"  "seis"
attributes(x)
$names
[1] "um"    "dois"  "tres"  "quatro" "cinco"  "seis"
```

Nesse caso específico, o R irá mostrar os nomes acima dos componentes, mas isso não altera como as oprações serão realizadas

```
x
    um   dois   tres quatro  cinco   seis
     1      2      3      4      5      6
x + 2
    um   dois   tres quatro  cinco   seis
     3      4      5      6      7      8
```

Os nomes então podem ser definidos através da função *auxiliar* `names()`, sendo assim, também podemos remover esse atributo declarando ele como nulo

```
names(x) <- NULL
attributes(x)
NULL
x
[1] 1 2 3 4 5 6
```

Outros atributos também podem ser definidos de maneira similar. Veja os exemplos abaixo:

```
length(x)
[1] 6
## Altera o comprimento (preenche com NA)
length(x) <- 10
x
 [1]  1  2  3  4  5  6 NA NA NA NA
## Altera a dimensão
length(x) <- 6
dim(x)
NULL
dim(x) <- c(3, 2)
x
     [,1] [,2]
[1,]    1    4
[2,]    2    5
[3,]    3    6
attributes(x)
$dim
[1] 3 2
## Remove dimensão
dim(x) <- NULL
x
[1] 1 2 3 4 5 6
```

Assim como vimos em data frames, listas também podem ter nomes

```
x <- list(Curitiba = 1, Paraná = 2, Brasil = 3)
x
$Curitiba
[1] 1

$Paraná
[1] 2

$Brasil
[1] 3
names(x)
[1] "Curitiba" "Paraná"   "Brasil"
```

Podemos também associar nomes às *linhas* e *colunas* de uma matriz:

```
matriz
     [,1] [,2] [,3] [,4]
[1,]    1    2    3    4
[2,]    5    6    7    8
[3,]    9   10   11   12
attributes(matriz)
$dim
[1] 3 4
rownames(matriz) <- c("A","B","C")
colnames(matriz) <- c("T1","T2","T3","T4")
matriz
  T1 T2 T3 T4
A  1  2  3  4
B  5  6  7  8
C  9 10 11 12
attributes(matriz)
$dim
[1] 3 4

$dimnames
$dimnames[[1]]
[1] "A" "B" "C"

$dimnames[[2]]
[1] "T1" "T2" "T3" "T4"
```

Para data frames existe uma função especial para os nomes de linhas, `row.names()`. Data frames também não possuem nomes de colunas, apenas nomes, já que é um caso particular de lista. Então para verificar/alterar nomes de colunas de um data frame também use `names()`.

```
da
   nome sexo idade
1  João    M    32
2  José    M    34
3 Maria    F    30
attributes(da)
$names
[1] "nome"  "sexo"  "idade"

$class
[1] "data.frame"

$row.names
[1] 1 2 3
names(da)
[1] "nome"  "sexo"  "idade"
row.names(da)
[1] "1" "2" "3"
```

Um resumo das funções para alterar/acessar nomes de linhas e colunas em matrizes e data frames.

Classe	Nomes de colunas	Nomes de linhas
`data.frame`	`names()`	`row.names()`
`matrix`	`colnames()`	`rownames()`

Exercícios

1. Crie um objeto para armazenar a seguinte matriz

$$\begin{bmatrix} 2 & 8 & 4 \\ 0 & 4 & 1 \\ 9 & 7 & 5 \end{bmatrix}$$

2. Atribua nomes para as linhas e colunas dessa matriz.
3. Crie uma lista (**não nomeada**) com dois componentes: (1) um vetor com as letras `A`, `B`, e `C`, repetidas 2, 5, e 4 vezes respectivamente; e (2) a matriz do exemplo anterior.
4. Atribua nomes para estes dois componentes da lista.
5. Inclua mais um componente nesta lista, com o nome de `fator`, e que seja um vetor da classe `factor`, idêntico ao objeto `caracter` criado acima (que possui apenas os nomes `brava`, `joaquina`, `armação`).
6. Crie um data frame para armazenar duas variáveis: local (`A`, `B`, `C`, `D`), e contagem (42, 34, 59 e 18).
7. Crie um data frame com as seguintes colunas:

- Nome,
- Sobrenome
- Se possui animal de estimação
- Caso possua, dizer o número de animais (caso contrário, colocar 0)

Para criar o data frame, a primeira linha deve ser preenchida com as suas próprias informação (use a função `data.frame()`). Depois, pergunte essas mesmas informações para dois colegas ao seu lado, e adicione as informações deles à esse data frame (use `rbind()`). Acresente mais uma coluna com o nome do time de futebol de cada um.

Referências

Para mais detalhes e exemplos dos assuntos abordados aqui, veja Grolemund (2014). Uma abordagem mais avançada e detalhada sobre programação orientada a objetos no R pode ser consultada em Wickham (2015).

Grolemund, Garrett. 2014. *Hands-On Programming with R - Write Your Own Functions and Simulations*. O'Reily Media. http://shop.oreilly.com/product/0636920028574.do.

Wickham, Hadley. 2015. *Advanced R*. CRC Press.

Capítulo 3

Programação Orientada a Objetos

Como vimos anteriormente, o R é uma linguagem de programação orientada à objetos. Dois conceitos fundamentais desse tipo de linguagem são os de **classe** e **método**. Já vimos também que todo objeto no R possui uma classe (que define sua estrutura) e analisamos algumas delas. O que seria então um método? Para responder essa pergunta precisamos entender inicialmente os tipos de orientação a objetos que o R possui.

O R possui 3 sitemas de orientação a objetos: **S3**, **S4**, e **RC**:

- **S3**: implementa um estilo de programação orientada a objeto chamada de *generic-function*. Esse é o estilo mais básico de programação em R (e também o mais utilizado). A ideia é que existam **funções genéricas** que decidem qual método aplicar de acordo com a classe do objeto. Os métodos são definidos da mesma forma que qualquer função, mas chamados de amenira diferente. É um estilo de programação mais "informal", mas possibilita uma grande liberdade para o programador.
- **S4**: é um estilo mais formal, no sentido que que as funções genéricas devem possuir uma classe formal definida. Além disso, é possível também fazer o **despacho múltiplo de métodos**, ao contrário da classe S3.
- **RC**: (*Reference Classes*, antes chamado de R5) é o sistema mais novo implementado no R. A principal diferença com os sistemas S3 e S4 é que métodos pertencem à objetos, não à funções. Isso faz com que objetos da classe RC se comportem mais como objetos da maioria das linguagens de programação, como Python, Java, e C#.

Nesta sessão vamos abordar como funcionam os métodos como definidos pelo sistema S3, por ser o mais utilizado na prática para se criar novas funções no R. Para saber mais sobre os outros métodos, consulte o livro Advanced R.

Vamos entender como uma função genérica pode ser criada através de um exemplo. Usando a função `methods()`, podemos verificar quais métodos estão disponíveis para uma determinada função, por exemplo, para a função `mean()`:

```
methods(mean)
[1] mean.Date     mean.default  mean.difftime mean.POSIXct  mean.POSIXlt
see '?methods' for accessing help and source code
```

O resultado são expressões do tipo `mean.<classe>`, onde `<classe>` é uma classe de objeto como aquelas vistas anteriormente. Isso significa que a função `mean()`, quando aplicada à um objeto da classe `Date`, por exemplo, pode ter um comportamento diferente quando a mesma função for aplicada à um objeto de outra classe (numérica).

Suponha que temos o seguinte vetor numérico:

```
set.seed(1)
vec <- rnorm(100)
```

```
class(vec)
[1] "numeric"
```

e queremos calcular sua média. Basta aplicar a função `mean()` nesse objeto para obtermos o resultado esperado

```
mean(vec)
[1] 0.1088874
```

Mas isso só é possível porque existe um método definido espcificamente para um vetor da classe `numeric`, que nesse caso é a função `mean.default`. A função genérica nesse caso é a `mean()`, e a função método é a `mean.default`. Veja que não precisamos escrever onome inteiro da função genérica para que ela seja utilizada, como por exemplo,

```
mean.default(vec)
[1] 0.1088874
```

Uma vez passado um objeto para uma função, é a classe do objeto que irá definir qual método utilizar, de acordo com os métodos disponíveis. Veja o que acontece se forcarmos o uso da função `mean.Date()` nesse vetor

```
mean.Date(vec)
[1] "1970-01-01"
```

O resultado não faz sentido pois ele é específico para um objeto da classe `Date`.

Tudo isso acontece por causa de um mecanismo chamado de **despacho de métodos** (*method dispatch*), que é responsável por identificar a classe do objeto e utilizar ("despachar") a função método correta para aquela classe. Toda função genérica possui a mesma forma: uma chamada para a função `UseMethod()`, que especifica o nome genérico e o objeto a ser despachado. Por exemplo, veja o código fonte da função `mean()`

```
mean
function (x, ...)
UseMethod("mean")
<bytecode: 0x6896690>
<environment: namespace:base>
```

Agora veja o código fonte da função `mean.default`, que é o método específico para vetores numéricos

```
mean.default
function (x, trim = 0, na.rm = FALSE, ...)
{
    if (!is.numeric(x) && !is.complex(x) && !is.logical(x)) {
        warning("argument is not numeric or logical: returning NA")
        return(NA_real_)
    }
    if (na.rm)
        x <- x[!is.na(x)]
    if (!is.numeric(trim) || length(trim) != 1L)
        stop("'trim' must be numeric of length one")
    n <- length(x)
    if (trim > 0 && n) {
        if (is.complex(x))
            stop("trimmed means are not defined for complex data")
        if (anyNA(x))
            return(NA_real_)
        if (trim >= 0.5)
            return(stats::median(x, na.rm = FALSE))
```

```
        lo <- floor(n * trim) + 1
        hi <- n + 1 - lo
        x <- sort.int(x, partial = unique(c(lo, hi)))[lo:hi]
    }
    .Internal(mean(x))
}
<bytecode: 0x5120130>
<environment: namespace:base>
```

Agora suponha que você ddeseja criar uma função que calcule a média para um objeto de uma classe diferente daquelas previamente definidas. Por exemplo, suponha que você quer que a função `mean()` retorne a média das linhas de uma matriz.

```
set.seed(1)
mat <- matrix(rnorm(50), nrow = 5)
mean(mat)
[1] 0.1004483
```

O resultado é a média de todos os elementos, e não de cada linha. Nesse caso, podemos definir nossa própria função método para fazer o cálculo que precisamos. Por exemplo:

```
mean.matrix <- function(x, ...) rowMeans(x)
```

Uma função método é sempre definida dessa forma: `<funçãogenérica>.<classe>`. Agora podemos ver novamente os métodos disponíveis para a função `mean()`

```
methods(mean)
[1] mean.Date     mean.default  mean.difftime mean.matrix   mean.POSIXct
[6] mean.POSIXlt
see '?methods' for accessing help and source code
```

e simplesmente aplicar a função genérica `mean()` à um objeto da classe `matrix` para obter o resultado que desejamos

```
class(mat)
[1] "matrix"
mean(mat)
[1]  0.09544402  0.12852087  0.06229588 -0.01993810  0.23591872
```

Esse exemplo ilustra como é simples criar funções método para diferentes classes de objetos. Poderíamos fazer o mesmo para objetos das classes `data.frame` e `list`

```
mean.data.frame <- function(x, ...) sapply(x, mean, ...)
mean.list <- function(x, ...) lapply(x, mean)
```

Aplicando em objetos dessas classes específicas, obtemos:

```
## Data frame
set.seed(1)
da <- data.frame(c1 = rnorm(10),
                 c2 = runif(10))
class(da)
[1] "data.frame"
mean(da)
       c1        c2
0.1322028 0.4183230
## Lista
set.seed(1)
dl <- list(rnorm(10), runif(50))
class(dl)
```

```
[1] "list"
mean(dl)
[[1]]
[1] 0.1322028

[[2]]
[1] 0.4946632
```

Obviamente esse processo todo é extremamente importante ao se criar novas funções no R. Podemos tanto criar uma função genérica (como a `mean()`) e diversos métodos para ela usando classes de objetos existentes, quanto (inclusive) criar novas classes e funções método para elas. Essa é uma das grandes lberdades que o método S3 de orientação à objetos permite, e possivelmente um dos motivos pelos quais é relativamente simples criar pacotes inteiros no R.