

# Inferência sobre as principais medidas estatísticas de avaliação e comparação de modelos

Rotina R



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

## **DOCUMENTOS 381**

# Inferência sobre as principais medidas estatísticas de avaliação e comparação de modelos

**Rotina R**

*Juaci Vitória Malaquias*

Exemplar desta publicação disponível gratuitamente  
no link: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/?initQuery=t>

**Embrapa Cerrados**  
BR 020, Km 18, Rod. Brasília / Fortaleza  
Caixa Postal 08223  
CEP 73310-970, Planaltina, DF  
Fone: (61) 3388-9898  
[embrapa.br/cerrados](http://embrapa.br/cerrados)  
[embrapa.br/fale-conosco/sac](http://embrapa.br/fale-conosco/sac)

Comitê Local de Publicações da Unidade

Presidente  
*Lineu Neiva Rodrigues*

Secretária-executiva  
*Alessandra Duarte de Oliveira*

Secretária  
*Alessandra Silva Gelape Faleiro*

Membros  
*Alessandra Silva Gelape Faleiro; Alexandre Specht; Edson Eyji Sano; Fábio Gelape Faleiro; Gustavo José Braga; Jussara Flores de Oliveira Arbues; Kleberson Worsley Souza; Maria Madalena Rinaldi; Shirley da Luz Soares Araujo*

Supervisão editorial  
*Jussara Flores de Oliveira Arbues*

Revisão de texto  
*Jussara Flores de Oliveira Arbues*  
*Margit Bergener Leite Guimarães*

Normalização bibliográfica  
*Shirley da Luz Soares Araújo*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Renato Berlim Fonseca*

Capa  
*Vectorjuice/Freepik*

**1ª edição**  
1ª impressão (2021): tiragem 30 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Cerrados

---

M237i Malaquias, Juaci Vitória.

Inferência sobre as principais medidas estatísticas de avaliação e  
comparação de modelos : Rotina R / Juaci Vitória Malaquias. – Planaltina, DF :  
Embrapa Cerrados, 2021..

33 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN online  
2176-5081, 381).

1. Modelo geográfico. 2. Avaliação da precipitação. I. Título. II. Série.

CDD (21 ed.) 519.5

## Autor

### **Juaci Vitória Malaquias**

Estatístico, mestre em Ciência de Materiais em Modelagem e Simulação Computacional, analista da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF



## Apresentação

Com grande satisfação, apresentamos o documento intitulado Inferência sobre as Principais Medidas Estatísticas de Avaliação e Comparação de Modelos: Rotina R, que trata de organizar em um único local os principais métodos utilizados de avaliação de modelos por comparações estatísticas entre variáveis observadas e simuladas.

Nos documentos que geralmente tratam deste assunto, somente três medidas estatísticas de avaliação de erros (dispersão e variação) são exploradas. A razão disso, em geral, não é mencionada e podem ser diversas, como por exemplo, a falta de conhecimento técnico para averiguar a adequação de outros métodos disponíveis ou, até mesmo, a falta de ferramentas estatísticas que disponibilizem os outros métodos de avaliação existentes na literatura de maneira simples, prática e objetiva, independentemente de serem complementares ou substitutivos dos que normalmente são utilizados.

No dia a dia, presenciam-se grandes desafios na agricultura, como as revoluções na biotecnologia e a renovação tecnológica que invade o campo convergindo para o que chamamos de agricultura digital. A Embrapa Cerrados é uma unidade de pesquisa cuja atuação tem sido focada no desenvolvimento de soluções, entre elas, as voltadas para o campo da bioinformática para a agricultura, acompanhando as tendências de novas ferramentas que têm sido desenvolvidas, como por exemplo, a aplicação de uma poderosa ferramenta livre chamada R, implementando projetos e ações de forma a incorporar inovações ao contexto agropecuário, devolvendo todo o investimento que tem sido feito na pesquisa.

Neste documento, é possível observar, na prática, como pequenas contribuições, como as propostas aqui, podem ser utilizadas para orientação de tomada de decisões em estudos, que poderão subsidiar a implementação de políticas públicas, promovendo o avanço do conhecimento e a disseminação de informação.

Convidamos todos para compartilhar dos resultados alcançados neste estudo aplicado.

Sebastião Pedro da Silva Neto  
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

## Sumário

Introdução .....	9
Estudos de caso – avaliação da precipitação .....	10
Preparando o ambiente de análise dos dados .....	11
Executando a instalação do programa R .....	11
Instalação e requerimento do Pacote necessário para Análise dos Dados .....	16
Criação da função Est.Aval () no programa R.....	17
Análise dos dados do estudo de caso no Programa R .....	21
Considerações finais .....	30
Referências .....	31



## Introdução

Os métodos de avaliação de modelos geográficos tradicionais por comparações estatísticas entre variáveis observadas e simuladas geralmente são criticados (Lourenço, 1998). Em particular, sempre se sugere que, por exemplo, o coeficiente de correlação linear ( $r$ ), coeficiente de determinação e testes de significância estatística atrelados a esses referidos testes sejam inadequados para tais fins (Milone, 2004).

Para se averiguar o grau pelo qual dois conjuntos de dados tendem a mudar juntos, tem-se o coeficiente de correlação, em que descreve tanto a força quanto a direção da relação. E o coeficiente de determinação é aplicado para se verificar o grau de explicação da variável explicativa sob uma determinada variável de interesse (Barbetta, 2007) (Levin; Fox, 2004).

Ambas as medidas não são sensíveis à diferença de magnitudes que possa existir entre duas variáveis analisadas relacionadas. Pois dois conjuntos de dados podem ter uma relação em que, por exemplo, cada elemento de um conjunto possui um valor correspondente a outro, sempre dez vezes superior e, ainda assim, esses dois conjuntos podem ser altamente correlacionados e com um coeficiente de determinação estatisticamente significativo.

Desta forma, os testes de avaliação conhecidos por raiz do erro quadrático médio (RMSE) e as medidas de erros relacionadas a eles, bem como o índice de concordância de Willmott ( $d$ ) são apresentados como índices estatísticos de avaliação superiores para se utilizar na tarefa dessas comparações (Pereira et al., 2008) (Willmott et al., 1985).

Todos esses argumentos corroboram a necessidade de aumentar o número de recursos em forma de algoritmos digitais e gráficos a fim de atender a demanda inerente à comparação de modelos. No ponto de vista de análise espacial, a técnica de validação cruzada espacial tem sido bastante utilizada e as medidas estatísticas de erro médio costumam ser utilizadas para avaliar métodos alternativos de interpolação espacial. Nesta metodologia, três estatísticas de erro são usadas com muita frequência: o erro quadrático médio (RMSE), o erro médio absoluto (MAE) e o erro médio de viés (MBE), que são aplicadas para descrever o desempenho médio do interpolador a ser examinado (Lourenço, 1998) (Cunha et al., 2013).

Medidas estatísticas de avaliação de modelos são amplamente utilizadas quando o tema a ser tratado envolve comparar dados observados e estimados.

Para isso, é bastante comum pesquisadores se utilizarem de planilhas eletrônicas para construir as suas próprias medidas estatísticas de erros para avaliação de modelos – pois tais medidas não são facilmente encontradas nas ferramentas estatísticas disponíveis no mercado. E, ainda, normalmente, é bastante trabalhosa tanto a construção de tais medidas como também a sua operacionalização.

Assim sendo, o presente documento tem como proposta oferecer um recurso ferramental estatístico, essencialmente prático com o uso do programa R, em que uma função foi gerada a fim de auxiliar os pesquisadores, que demandem em seus estudos cotidianos, ferramentas para avaliação e comparação de modelos. O presente trabalho não possui a pretensão de criar um ambiente de discussão sobre qual seria a melhor ou as melhores medidas estatísticas a serem aplicadas, pois este seria um tema que necessitaria de uma abordagem exclusiva, para ser tratado com o rigor que merece.

A função programada em R encerra em si, tanto as medidas estatísticas descritivas mais comuns como as principais medições de erros, normalmente, utilizadas quando se deseja comparar dados observados e estimados, inclusive, apresentando saídas gráficas auxiliares para o pesquisador.

As formulações correspondentes às estatísticas de avaliação aqui descritas podem ser encontradas em Pereira et al. (2008), Lourenço (1998), Cunha e Martins (2004) e Willmott et al. (1985).

## Estudos de caso – avaliação da precipitação

Com o objetivo de facilitar o entendimento, o uso e a aplicação da função elaborada no programa R, foram criados dois estudos de pesquisa de precipitação. Esse estudo, hipotético, será utilizado nas explicações que são feitas no decorrer desta publicação e segue a definição sobre a avaliação e a comparação da eficiência na estimativa da precipitação com o uso de dois satélites: Tropical Rainfall Measuring Mission-TRMM e Global Precipitation Measurement-GPM-Core.

O uso de sensores instalados em satélites para estimar eventos chuvosos tem se mostrado uma saída para os casos em que, em algumas regiões ou estações, as medições da precipitação são de difícil obtenção, prejudicando várias pesquisas nesse âmbito.

Os dados tratam de dois casos fictícios de registro de precipitação de cem estações meteorológicas em superfície referentes. No exemplo de aplicação da função construída em R, sobre o caso 1, os dados foram estimados a partir do satélite TRMM e, no caso 2, os dados foram estimados pelo satélite GPM-Core. Os dados utilizados na nossa demonstração da aplicação da função são apresentados na seção 5 para demonstração do uso do algoritmo.

## Preparando o ambiente de análise dos dados

### Executando a instalação do programa R

Para se executar a instalação do programa R em sua máquina, na versão mais atual, acesse o site oficial do software: <https://www.r-project.org/>. Para fazer o download, clique sobre a palavra CRAN no canto superior esquerdo da página ou siga outro caminho para download em caso de mudança por atualizações. Vale ressaltar que as figuras são somente ilustrativas, pois podem ser atualizadas continuamente.

Em seguida, deve-se escolher um dos servidores mais próximos da sua cidade para a transferência do arquivo. No caso do Brasil, há diversos servidores disponíveis, logo, a sua escolha vai depender do mais próximo, encontrado a esquerda do servidor, como exemplo, o servidor <https://cran.fiocruz.br/>.

Na próxima etapa, a escolha vai depender do sistema operacional utilizado em sua máquina. Para fins de exemplo, foi selecionado a opção *“Download R for Windows”*.

Se for a primeira instalação do R, clique sobre a palavra: *“base”* (Figura 1).

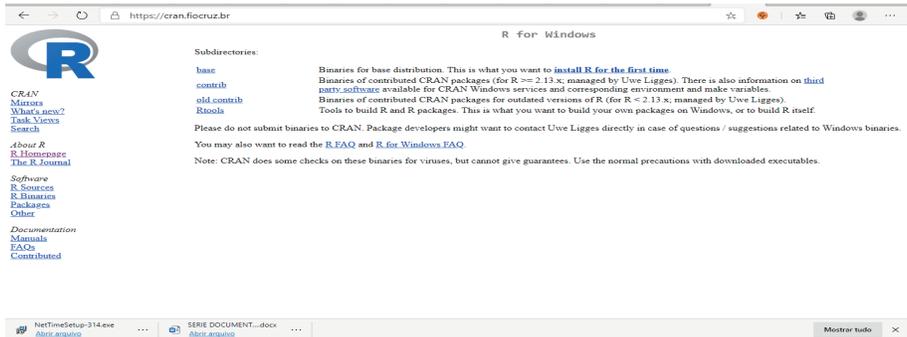


Figura 1. Acesso ao arquivo principal de instalação.

Na página de instalação, clique sobre o link “*Download R X.X.X. for Windows*”, em que: X indica a numeração da versão do R mais atualizada. Quando da elaboração deste documento, foi a *R 4.0.2* (R Core Team, 2018) (Figura 2).

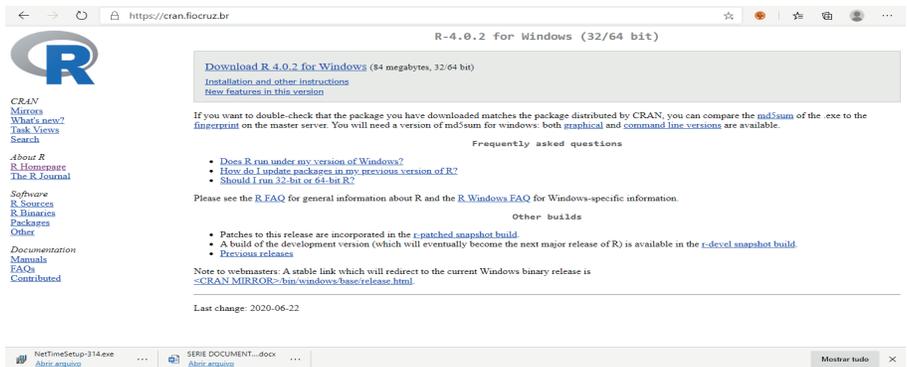


Figura 2. Link do Download R 4.0.2 for Windows.

Após este procedimento, o programa R deverá estar sendo salvo na pasta de downloads. Caso esteja no google Chrome, deverá aparecer uma opção para abrir quando tiver sido concluído o download do arquivo ou pode-se encontrar o arquivo *R-4.0.2-win.exe* e executá-lo para instalar o R.

Localize o arquivo *R-4.0.2-win.exe* do programa de instalação transferido para a pasta de download e clique sobre o arquivo para executá-lo.

A seguir, selecione o idioma de instalação e clique no botão **ok** conforme é mostrado na Figura 3.

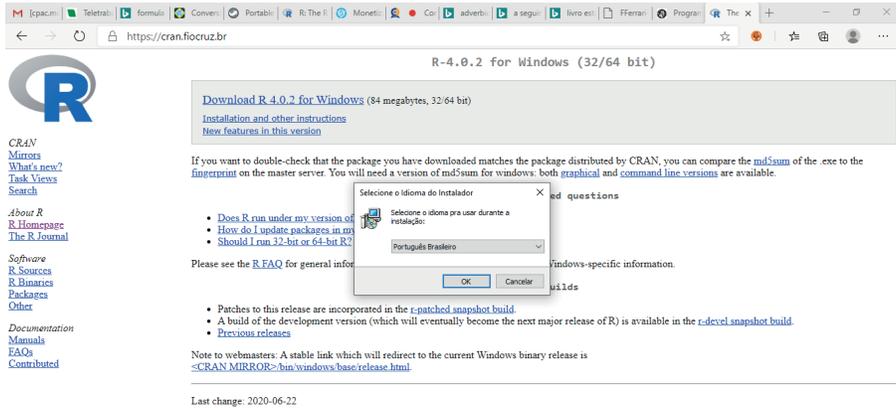


Figura 3. Seleção do idioma de instalação.

Surgirá a primeira tela do programa de instalação. Siga o processo clicando no botão **Próximo** (Figura 4).

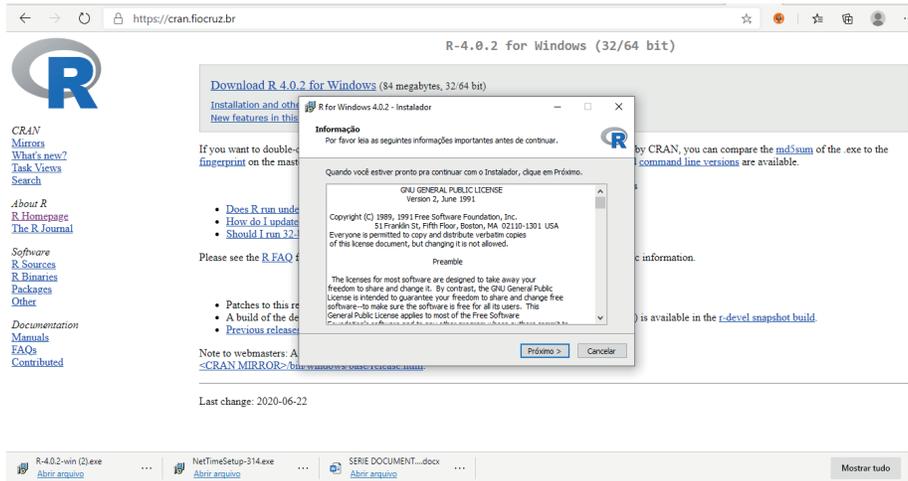


Figura 4. GNU General Public License.

A seguir, escolha o diretório em que será instalado o R e clique em **Próximo** (Figura 5).

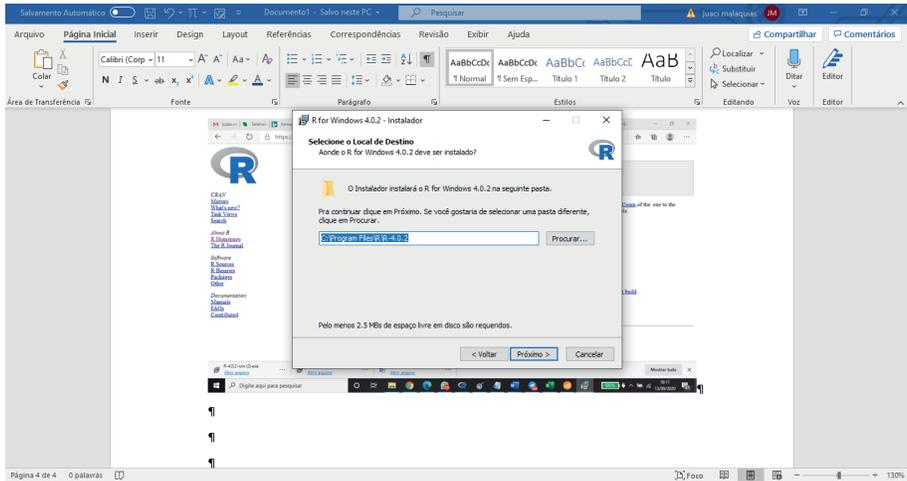


Figura 5. Defina o diretório de instalação.

Nesta etapa, você deverá instalar os componentes necessários para o bom funcionamento do programa R. Por questão de segurança, orienta-se deixar todos os itens marcados e clicar em **Próximo** (Figura 6).

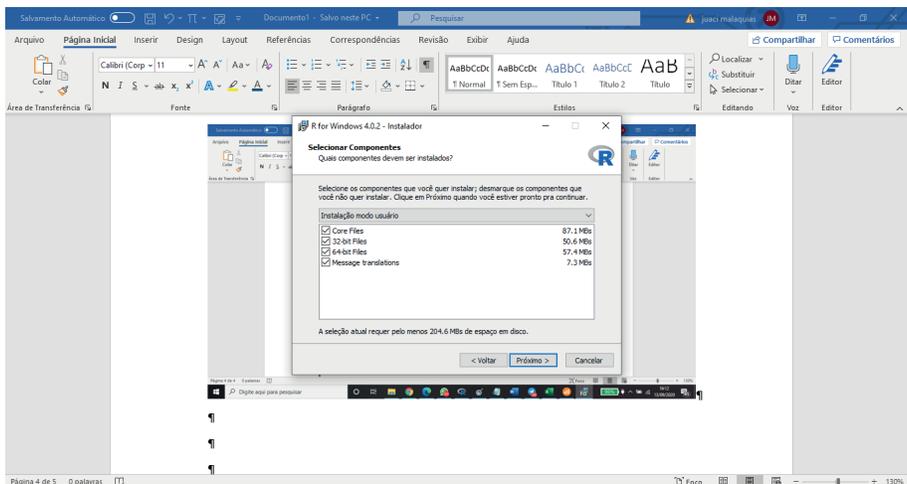


Figura 6. Componentes necessários para o funcionamento do programa R.

Agora, nesta etapa, será questionado como se prefere personalizar as opções de inicialização. Em caso de dúvida, orienta-se aceitar o padrão. Para tanto, clique em **Não** (*aceitar padrão*) e depois em **Próximo** (Figura 7).

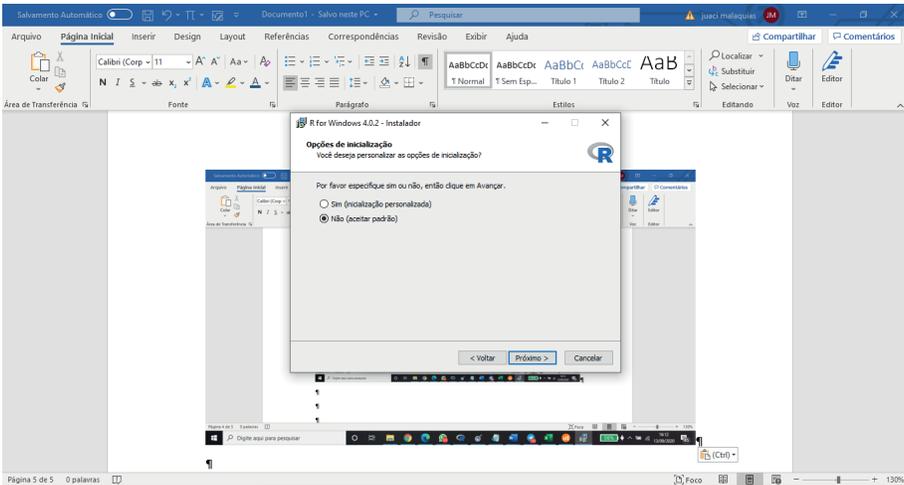


Figura 7. Opções de inicialização.

Neste momento, pode-se escolher colocar ícones na área de trabalho e na barra de inicialização do Windows, caso queira. Obrigatoriamente, orienta-se deixar selecionado as opções Salvar número da versão no registro e Associar arquivos .RData ao R. Depois, clique em **Próximo** (Figura 8).

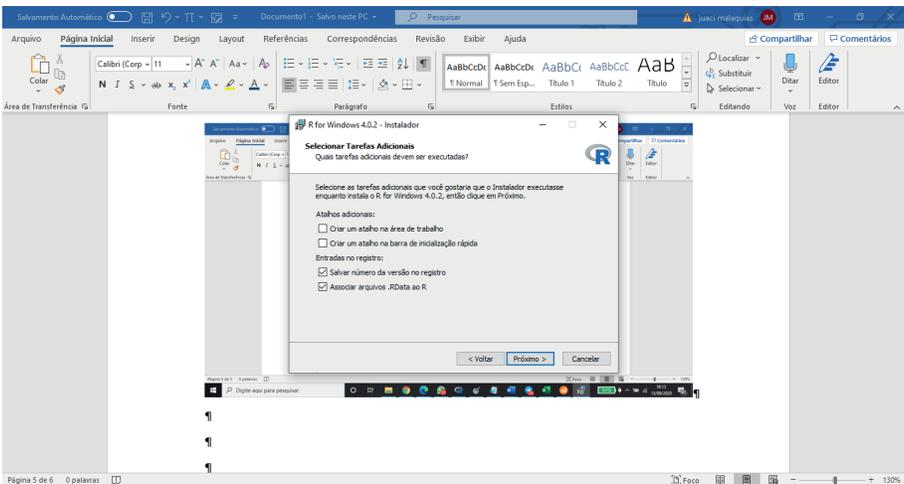


Figura 8. Definição de atalhos adicionais e entradas no registro.

Após proceder a todos os passos anteriores de configuração, iniciar-se-á a instalação do programa R. Aguarde enquanto o instalador instala o programa (Figura 9).

O aparecimento da última tela indica que o programa R foi instalado com sucesso em seu computador. Basta clicar em concluir.

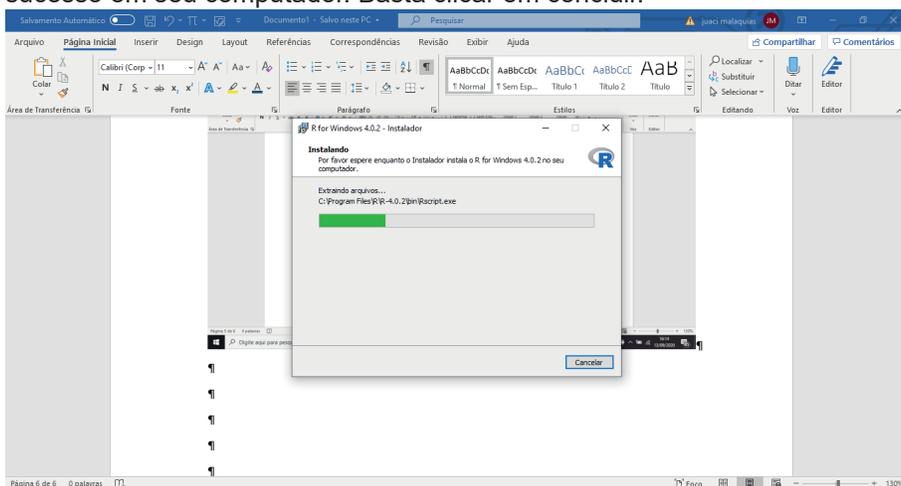


Figura 9. Instalação propriamente dita do programa R.

## Instalação e requerimento do Pacote necessário para Análise dos Dados

Para preparar o ambiente do R para realizar a análise dos dados, é necessário instalar o seguinte pacote: “ggplot2”.

Seguem abaixo as funções correspondentes para se proceder a instalação.

### Sintaxe:

```
>install.packages(“ggplot2”)
```

O processo de instalação de um pacote do R é realizado pela função `install.packages` (“descrição do nome\_do\_pacote”). O pacote informado é instalado a partir do repositório oficial de distribuição de pacotes: a (CRAN). Escolha o repositório mais próximo do seu estado e clique para aceitar. Após a devida instalação, procede-se para o requerimento da função para iniciar o processo de construção da função de geração das medidas estatísticas descritivas, tais como as medidas de erro.

### Sintaxe:

```
>require(“ggplot2”)
```

## Criação da função Est.Aval () no programa R

No tópico anterior, foi orientado como se deve realizar a instalação do programa R para, após esta etapa, proceder na criação da função: Est.Aval().

É bastante simples a criação da função Est.Aval(). Para proceder com a criação da função proposta, siga o passo a passo:

- 1) Copie todo o script abaixo na íntegra.
- 2) Cole o conteúdo no console do ambiente R.
- 3) Para usar a função basta escrever: Est.Aval("nome do banco de dados").

### Sintaxe:

```
##### INÍCIO DO SCRIPT R #####
# RODE O SCRIPT ABAIXO PARA A CRIAÇÃO DA FUNÇÃO: Est.Aval()
Est.Aval <- function(dados_analise)
{
  Dados <- c("Estimados","Observados")
  Media <- c(mean(dados_analise$Estimados),mean(dados_
analise$Observados))
  Var <- c(var(dados_analise$Estimados),var(dados_analise$Observados))
  DP <- c(sd(dados_analise$Estimados),sd(dados_analise$Observados))
  CV <- 100*(DP/Media)
  Estatistica_Descritiva <- data.frame(Dados, Media, DP, CV)
  names(Estatistica_Descritiva)
<- c("Variáveis","Média","Desvio-Padrão","Coef. de Variação(%)")
  Covariancia <- cov(dados_analise)[["Observados","Estimados"]

MODEL <- lm(Estimados ~ Observados, data=dados_analise)
Resumo_do_Modelo <- summary(MODEL)
TOT_1 <- sum((dados_analise$Estimados-dados_analise$Observados)^2)
TOT_2 <- sum((abs(dados_analise$Estimados-mean(dados_
analise$Observados))+abs(dados_analise$Observados-mean(dados_
analise$Observados)))^2)
```

```

TOT_3 <- sum((dados_analise$Observados-mean(dados_
analise$Observados))^2)
TOT_4 <- sum((dados_analise$Observados-MODEL$fit)^2)
TOT_5 <- sum((dados_analise$Estimados-MODEL$fit)^2)
TOT_6 <- sum((dados_analise$Estimados-mean(dados_
analise$Estimados))^2)
TOT_7 <- sum((dados_analise$Observados-mean(dados_
analise$Observados))*(dados_analise$Estimados-mean(dados_
analise$Estimados)))
n <- length(dados_analise$Observados)

banco_boxplot <- data.frame(X =
c(rep("Observados",n),rep("Estimados",n)),Y =
c(dados_analise$Observados,dados_analise$Estimados))

#####

par(mfrow=c(2,2))

# Grafico 1
boxplot(banco_boxplot$Y~banco_boxplot$X)
points(Media,col="red")

# Grafico 2
Maior <- max(c(dados_analise$Observados,dados_analise$Estimados))
plot(dados_analise$Observados,dados_analise$Estimados, xlim =
c(0,Maior), ylim=c(0,Maior), xlab="Obs", ylab="Est", col = "red")
lines(dados_analise$Observados,dados_analise$Observados)
abline(a=summary(MODEL)$coef[1],b=summary(MODEL)$coef[2],
col="blue")

# Graficos 3
plot(dados_analise$Observados, ylab = "dados", ylim=c(0,Maior))
lines(dados_analise$Estimados, col="red")

# Graficos 4
plot(MODEL,1)

par(mfrow=c(1,1))

```

```
#####
```

```
RQME <- sqrt(TOT_1/n)
EPE <- sqrt(TOT_1/(n-1))
RQME_perc <- 100*(RQME/mean(dados_analise$Observados))
Indice_Willmott <- (1-(TOT_1/TOT_2))
ME <- (sum(abs(dados_analise$Estimados-dados_analise$Observados)))/n
ME_perc <- 100*(ME/mean(dados_analise$Observados))
EF <- 1-(TOT_1/TOT_3)
Err_Sist <- sqrt(TOT_4/n)
Err_Aleat <- sqrt(TOT_5/n)
Correl <- cor(dados_analise$Observados,dados_analise$Estimados)
Coef_Desemp <- (cor(dados_analise$Observados,dados_
analise$Estimados)*Indice_Willmott)
PD <- 100*((mean(dados_analise$Estimados)
- mean(dados_analise$Observados))/mean(dados_analise$Observados))
MB <- sum(na.omit(dados_analise$Estimados)-na.
omit(dados_analise$Observados))/n
R2 <- ((TOT_7)/(sqrt(TOT_3)*sqrt(TOT_6)))^2
```

```
ESTATISTICAS_de_AVALIACAO <- c(
"-----",
"Tamanho da Amostra:",
"Média dos dados Estimados:",
"Média dos dados Observados:",
"Variância(Var) dos dados Estimados:",
"Variância(Var) dos dados Observados:",
"Desvio-Padrão(DP) dos dados Estimados:",
"Desvio-Padrão(DP) dos dados Observados:",
"Coeficiente de Variação (CV %) dos dados Estimados:",
"Coeficiente de Variação (CV %) dos dados Observados:",
"Covariância(Obs x Est):",
"-----",
"Erro Padrão de Estimativa (E.P.E.):",
"Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (R.Q.M.E.):",

"RQME(%):",
"Índice de Concordância de Willmott(d):",
```

“Erro Médio Absoluto (M.E.):”,  
 “ME(%):”,  
 “Eficiencia do Modelo (E.F.):”,  
 “Erro Sistemático (E.S.):”,  
 “Erro Aleatório (E.A.):”,  
 “Coeficiente de Determinação(R2):”,  
 “Coeficiente Linear do Modelo Ajustado:”,  
 “Coeficiente Angular do Modelo Ajustado:”,  
 “Correlação de Pearson(r):”,  
 “Coeficiente de Confiança ou Desempenho (C):”,  
 “Porcentagem do Desvio - P.D.(%)”,  
 “Viés Médio (M.B.- mean bias):”  
 )

```

RESULTADOS <- c(
  "---",
  n,
  round(Media[1],2),
  round(Media[2],2),
  round(Var[1],2),
  round(Var[2],2),
  round(DP[1],2),
  round(DP[2],2),
  round(CV[1],2),
  round(CV[2],2),
  round(Covariancia,2),
  "---",
  round(EPE,4),
  round(RQME,4),
  round(RQME_perc,4),
  round(Indice_Willmott,4),
  round(ME,4),
  round(ME_perc,4),
  round(EF,4),
  round(Err_Sist,4),
  round(Err_Aleat,4),

```

```

round(R2,4),
round(summary(MODEL)$coef[1],4),
round(summary(MODEL)$coef[2],4),
round(Correl,4),
round(Coef_Desemp,4),
round(PD,4),
round(MB,4)
)

```

```

Quadro_Estatisticas_de_Avaliacao
<-data.frame(ESTATISTICAS_de_AVALIACAO,RESULTADOS)
Coeficientes_Estimados_do_Modelo <- summary(MODEL)$coef
return(Quadro_Estatisticas_de_Avaliacao)
}
##### FIM DO SCRIPT R #####

```

## **Análise dos dados do estudo de caso no Programa R**

Uma das maiores qualidades do ambiente R é a sua versatilidade. Inclusive, os pacotes disponibilizados no programa, recebem contribuições de pesquisadores de todo o mundo, o que possibilita a criação de novas rotinas e funções para o desenvolvimento das mais variadas análises estatísticas.

Especificamente, sobre as estatísticas de avaliação e comparação de modelos, existem diversos pacotes disponíveis que possuem uma ou outra medida. Sendo necessário, pesquisar bastante para utilizar pacotes diferentes para se ter acesso a tais estatísticas. E com o auxílio da função Est.Aval() a tarefa de tratamento, análise dos dados e comparação entre dados observados e estimados pelos parâmetros estatísticos (métricas) para determinar a assertividade, a similaridade e a precisão, e ainda, com gráficos de dispersão e boxplots, ficou muito mais rápida e eficiente. Principalmente, pelo motivo da rotina encerrar em si, bastando um único comando, as principais medições estatísticas de avaliação e comparação de modelos.

Vale ressaltar que algumas das métricas disponíveis nessa rotina construída em R não foram facilmente encontradas em outros pacotes disponíveis no mercado.

A partir da função é possível gerar de maneira automática as seguintes medidas estatísticas:

- 1) Estatísticas Descritivas: *Tamanho da Amostra, Média dos dados Estimados, Média dos dados Observados, Variância (Var) dos dados Estimados, Variância (Var) dos dados Observados, Desvio-Padrão (DP) dos dados Estimados, Desvio-Padrão (DP) dos dados Observados, Coeficiente de Variação (CV %) dos dados Estimados, Coeficiente de Variação (CV %) dos dados Observados e Covariância* (Milone, 2004), (Levin; Fox, 2004), (Barbetta, 2007), (Banzatto; Kronka, 1995).
- 2) Medições Estatísticas para Análise dos Erros: *Erro Padrão de Estimativa (E.P.E.), Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (R.Q.M.E.), RQME(%), Índice de Concordância de Willmott (d), Erro Médio Absoluto (M.E.), ME(%), Eficiência do Modelo (E.F.), Erro Sistemático (E.S.), Erro Aleatório (E.A.), Coeficiente de Determinação(R<sup>2</sup>), Coeficiente Linear do Modelo Ajustado, Coeficiente Angular do Modelo Ajustado, Correlação de Pearson(r), Coeficiente de Confiança ou Desempenho (C), Percentagem do Desvio - P.D.(%) e Viés Médio (M.B.- mean bias)* (Cunha; Martins, 2004), (Pereira et al., 2008), (Lourenço, 1998), (Willmott et al., 1985).
- 3) Quatro gráficos de apoio a tomada de decisão: *gráfico boxplot, gráfico de dispersão com a reta 1x1, gráfico de linha com a evolução dos dados observados e estimados e gráfico de análise de resíduos: residuals x fitted.*

Para exemplificar como pode ser feito uma determinada análise estatística, a partir do procedimento descrito no presente documento com o programa R, segue o script em R com um estudo sobre os efeitos da comparação dos dados observados e estimados de dois satélites.

Após a instalação do pacote “ggplot2”, conforme foi orientado no capítulo anterior, e a criação da função Est.Aval(), para se aplicar a análise estatística no programa R deve-se proceder os seguintes passos indicado no script a seguir para a análise dos dados.

```
# Selecione e copie as colunas dos dados observados e estimados, com títulos, do Caso 1 da Tabela 1 (satélite TRMM) e cole no console. Depois para importar, execute este comando no R:
```

**Sintaxe:**

```
> banco.exemplo1 <- read.table("clipboard", h=T, dec=".")
```

# Selecione e copie as colunas dos dados observados e estimados, com títulos, do Caso 2 (satélite GPM-Core) e cole no console. Depois para importar, execute este comando no R:

**Sintaxe:**

```
> banco.exemplo2 <- read.table("clipboard", h=T, dec=".")
```

# Verifique se os dados foram devidamente importados para o programa R (Figura 10).

**Sintaxe:**

```
> head(banco.exemplo1)
```

```
> head(banco.exemplo2)
```

**Tabela 1.** Dados de dois casos fictícios de registro de precipitação de cem estações meteorológicas.

N	Caso 1 - TRMM		N	Caso 2 - GPM-Core	
	Observados	Estimados		Observados	Estimados
1	0.38	0.44	1	0.38	2.44
2	3.36	0.68	2	3.36	1.32
3	1.24	0.88	3	1.24	1.12
4	3.72	0.36	4	3.72	1.64
5	2.6	0.8	5	2.6	1.2
6	3.18	0.84	6	3.18	1.16
7	0.56	0.28	7	0.56	2.28
8	4.44	0.28	8	4.44	2.28
9	0.92	0.04	9	0.92	1.96
10	4.8	0.6	10	4.8	2.6
11	2.68	1.84	11	2.68	0.16
12	4.66	0.08	12	4.66	1.92
13	1.64	0.68	13	1.64	1.32

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

Caso 1 - TRMM			Caso 2 - GPM-Core		
N	Observados	Estimados	N	Observados	Estimados
14	2.72	1.64	14	2.72	0.36
15	5.7	1.4	15	5.7	3.4
16	5.48	1.76	16	5.48	3.76
17	5.06	0.28	17	5.06	1.72
18	6.24	1.88	18	6.24	3.88
19	5.12	1.44	19	5.12	3.44
20	5.3	1.6	20	5.3	3.6
21	4.08	0.04	21	4.08	1.96
22	4.16	1.08	22	4.16	0.92
23	3.94	0.72	23	3.94	1.28
24	4.52	0.76	24	4.52	1.24
25	4.7	0.6	25	4.7	1.4
26	5.88	1.56	26	5.88	3.56
27	6.46	1.52	27	6.46	3.52
28	7.14	2.68	28	7.14	4.68
29	6.02	2.24	29	6.02	4.24
30	7.5	3	30	7.5	5
31	7.18	2.16	31	7.18	4.16
32	7.46	3.52	32	7.46	5.52
33	6.74	2.88	33	6.74	4.88
34	5.92	1.04	34	5.92	3.04
35	8.4	3.8	35	8.4	5.8
36	9.48	4.76	36	9.48	6.76
37	7.76	2.12	37	7.76	4.12
38	9.34	4.08	38	9.34	6.08
39	9.52	4.24	39	9.52	6.24
40	7.9	2.8	40	7.9	4.8
41	9.88	4.56	41	9.88	6.56
42	8.26	3.12	42	8.26	5.12
43	9.74	3.88	43	9.74	5.88

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

N	Caso 1 - TRMM		N	Caso 2 - GPM-Core	
	Observados	Estimados		Observados	Estimados
44	11.42	7.04	44	11.42	9.04
45	7.9	2.8	45	7.9	4.8
46	9.98	5.76	46	9.98	7.76
47	10.56	5.72	47	10.56	7.72
48	9.44	5.28	48	9.44	7.28
49	8.12	2.44	49	8.12	4.44
50	12	7	50	12	9
51	11.18	5.16	51	11.18	7.16
52	10.16	5.92	52	10.16	7.92
53	9.34	4.08	53	9.34	6.08
54	9.02	3.24	54	9.02	5.24
55	9.7	4.4	55	9.7	6.4
56	10	8.96	56	10	10.96
57	10.76	7.12	57	10.76	9.12
58	8.68	5.68	58	8.68	7.68
59	6.09	7.92	59	6.09	9.92
60	11	5	60	11	7
61	12.08	5.96	61	12.08	7.96
62	12.26	6.12	62	12.26	8.12
63	12.14	7.68	63	12.14	9.68
64	12.62	6.44	64	12.62	8.44
65	12	7	65	12	9
66	13.88	7.56	66	13.88	9.56
67	14.66	9.92	67	14.66	11.92
68	13.04	8.48	68	13.04	10.48
69	14.02	8.24	69	14.02	10.24
70	14.6	8.2	70	14.6	10.2
71	15.38	10.56	71	15.38	12.56
72	14.56	8.72	72	14.56	10.72
73	12.44	6.28	73	12.44	8.28

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

Caso 1 - TRMM			Caso 2 - GPM-Core		
N	Observados	Estimados	N	Observados	Estimados
74	14.12	9.44	74	14.12	11.44
75	14.2	8.4	75	14.2	10.4
76	14.88	9.56	76	14.88	11.56
77	15.56	10.72	77	15.56	12.72
78	14.84	10.08	78	14.84	12.08
79	15.42	10.04	79	15.42	12.04
80	16.9	10.8	80	16.9	12.8
81	15.38	10.56	81	15.38	12.56
82	15.06	9.72	82	15.06	11.72
83	14.74	8.88	83	14.74	10.88
84	17.22	11.64	84	17.22	13.64
85	16.9	10.8	85	16.9	12.8
86	16.28	11.36	86	16.28	13.36
87	17.66	10.92	87	17.66	12.92
88	17.94	12.28	88	17.94	14.28
89	18.62	13.44	89	18.62	15.44
90	19.2	13.4	90	19.2	15.4
91	15.68	12.1	91	15.68	14.1
92	15.86	12	92	15.86	14
93	18.44	13.28	93	18.44	15.28
94	19.52	14.24	94	19.52	16.24
95	18.8	13.6	95	18.8	15.6
96	17.98	12	96	17.98	14
97	17.76	13	97	17.76	15
98	19.74	13.88	98	19.74	15.88
99	20.42	15.04	99	20.42	17.04
100	21.5	16	100	21.5	18

```

> head(banco.exemplo1)
  N Observados Estimados
1 1          0.38      0.44
2 2          3.36      0.68
3 3          1.24      0.88
4 4          3.72      0.36
5 5          2.60      0.80
6 6          3.18      0.84
> head(banco.exemplo2)
  N Observados Estimados
1 1          0.38      2.44
2 2          3.36      1.32
3 3          1.24      1.12
4 4          3.72      1.64
5 5          2.60      1.20
6 6          3.18      1.16

```

**Figura 10.** Aparência das tabelas de dados importadas para o programa R.

# Para executar a função Est.Aval() sobre os dados do Caso 1, basta seguir o procedimento abaixo (Figuras 11 e 12):

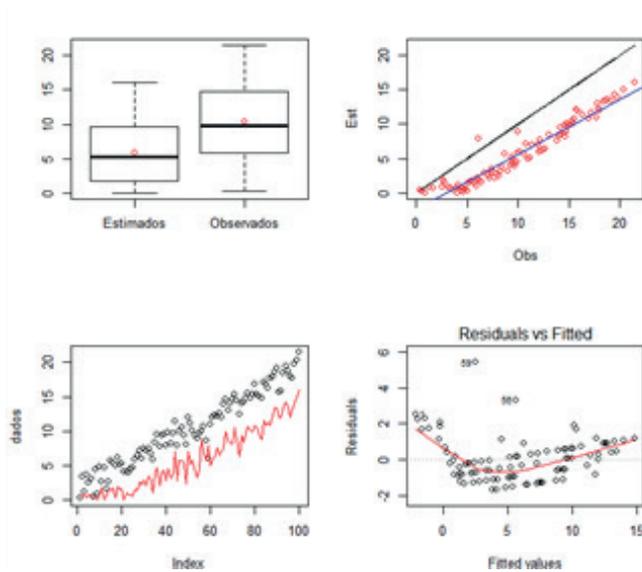
```
> Est.Aval(banco.exemplo1).
```

```

> Est.Aval(banco.exemplo1)
      ESTADÍSTICAS_de_AVALIACAO RESULTADOS
1 -----
2           Tamanho da Amostra:          100
3           Média dos dados Estimados:     5.87
4           Média dos dados Observados:    10.31
5           Variância(Var) dos dados Estimados: 19.85
6           Variância(Var) dos dados Observados: 28.64
7           Desvio-Padrão(DP) dos dados Estimados: 4.46
8           Desvio-Padrão(DP) dos dados Observados: 5.35
9           Coeficiente de Variação (CV %) dos dados Estimados: 75.93
10          Coeficiente de Variação (CV %) dos dados Observados: 51.89
11          Covariância(Obs x Est):        22.97
12 -----
13          Erro Padrão de Estimativa (E.P.E.): 4.7464
14          Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (R.Q.M.E.): 4.7226
15          RQME(%):                        45.7865
16          Índice de Concordância de Willmott(d): 0.8117
17          Erro Médio Absoluto (M.E.):      4.4839
18          ME(%):                          43.4727
19          Eficiência do Modelo (E.F.):     0.2135
20          Erro Sistemático (E.S.):        4.5696
21          Erro Aleatório (E.A.):          1.1922
22          Coeficiente de Determinação(R2): 0.9277
23          Coeficiente Linear do Modelo Ajustado: -2.4022
24          Coeficiente Angular do Modelo Ajustado: 0.8018
25          Correlação de Pearson(r):       0.9632
26          Coeficiente de Confiança ou Desempenho (C): 0.7818
27          Percentagem do Desvio - P.D.(%): -43.1062
28          Viés Médio (M.B.- mean bias):   -4.4461

```

**Figura 11.** Resultado das medidas estatísticas geradas pela função Est.Aval() para o estudo de Caso 1.



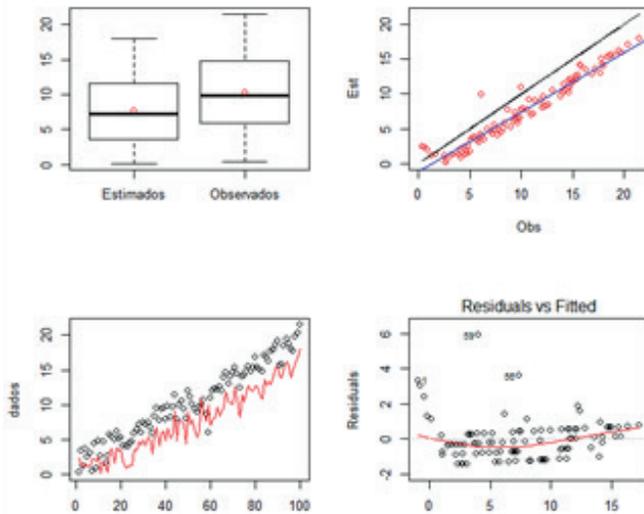
**Figura 12.** Gráficos resultantes das análises estatísticas geradas pela função Est.Aval() para o estudo de Caso 1.

# Para executar a função Est.Aval() sobre os dados do Caso 2, basta seguir o procedimento abaixo (Figuras 13 e 14):

```
> Est.Aval(banco.exemplo2)
```

```
> Est.Aval(banco.exemplo2)
          ESTADÍSTICAS de AVALIACAO RESULTADOS
-----
1
2          Tamanho da Amostra:          100
3          Média dos dados Estimados:    7.64
4          Média dos dados Observados:   10.31
5          Variância(Var) dos dados Estimados: 22.48
6          Variância(Var) dos dados Observados: 28.64
7          Desvio-Padrão(DP) dos dados Estimados: 4.74
8          Desvio-Padrão(DP) dos dados Observados: 5.35
9          Coeficiente de Variação (CV %) dos dados Estimados: 62.05
10         Coeficiente de Variação (CV %) dos dados Observados: 51.89
11         Covariância(Obs x Est):       24.61
12         -----
13         Erro Padrão de Estimativa (E.P.E.): 3.0209
14         Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (R.Q.M.E.): 3.0057
15         RQME(%):                       29.1415
16         Índice de Concordância de Willmott(d): 0.9162
17         Erro Médio Absoluto (M.E.):     2.8647
18         ME(%):                         27.7741
19         Eficiência do Modelo (E.F.):    0.6814
20         Erro Sistemático (E.S.):        2.7758
21         Erro Aleatório (E.A.):         1.153
22         Coeficiente de Determinação (R2): 0.9403
23         Coeficiente Linear do Modelo Ajustado: -1.2194
24         Coeficiente Angular do Modelo Ajustado: 0.8591
25         Correlação de Pearson(r):      0.9697
26         Coeficiente de Confiança ou Desempenho (C): 0.8884
27         Percentagem do Desvio - P.D.(%): -25.9106
28         Viés Médio (M.B.- mean bias):  -2.6725
```

**Figura 13.** Resultado das medidas estatísticas geradas pela função Est.Aval() para o estudo de Caso 2.



**Figura 14.** Gráficos resultantes das Análises Estatísticas geradas pela função Est. Aval() para o estudo de Caso 2.

Para se ter uma referência de qual resultado estimado melhor se aproxima dos dados observados, teremos como base os resultados da análise estatística de um modelo “quase” perfeito (Figura 15).

```

      Erro Padrão de Estimativa (E.P.E.):           0
Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (R.Q.M.E.): 0
      RQME(%):                                     0
      Índice de Concordância de Willmott(d):       1
      Erro Médio Absoluto (M.E.):                 0
      ME(%):                                       0
      Eficiência do Modelo (E.F.):                1
      Erro Sistemático (E.S.):                    0
      Erro Aleatório (E.A.):                      0
      Coeficiente de Determinação(R2):            1
      Coeficiente Linear do Modelo Ajustado:      0
      Coeficiente Angular do Modelo Ajustado:     1
      Correlação de Pearson(r):                   1
      Coeficiente de Confiança ou Desempenho (C): 1
      Percentagem do Desvio - P.D. (%):          0
      Viés Médio (M.B.- mean bias):              0
  
```

**Figura 15.** Resultados de referência das medidas estatísticas de um modelo “quase” perfeito.

Segundo os resultados dos dois conjuntos de dados estimados apresentados, pode-se observar que os dados de precipitação estimados pelo satélite GPM-Core apresentam as medidas estatísticas com valores com o menor

distanciamento dos resultados de referência. Sendo assim, entre as duas estimações, os dados gerados estimados pelo satélite GPM-Core seriam os mais indicados, segundo os índices estatísticos apresentados (Figura 16).

Estadísticas de Avaliação	satélite TRMM	satélite GPM-Core
Tamanho da Amostra:	100	100
Média dos dados Estimados:	5.87	7.64
Média dos dados Observados:	10.31	10.31
Variância(Var) dos dados Estimados:	19.85	22.48
Variância(Var) dos dados Observados:	28.64	28.64
Desvio-Padrão(DP) dos dados Estimados:	4.46	4.74
Desvio-Padrão(DP) dos dados Observados:	5.35	5.35
Coefficiente de Variação (CV %) dos dados Estimados:	75.93	62.05
Coefficiente de Variação (CV %) dos dados Observados:	51.89	51.89
Covariância(Obs x Est):	22.97	24.61
-----	---	---
Erro Padrão de Estimativa (E.P.E.):	4.7464	3.0209
Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (R.Q.M.E.):	4.7226	3.0057
RMSE(%):	45.7865	29.1415
Índice de Concordância de Willmott(d):	0.8117	0.9162
Erro Médio Absoluto (M.E.):	4.4839	2.8647
ME(%):	43.4727	27.7741
Eficiência do Modelo (E.F.):	0.2135	0.6814
Erro Sistemático (E.S.):	4.5696	2.7758
Erro Aleatório (E.A.):	1.1922	1.153
Coefficiente de Determinação(R <sup>2</sup> ):	0.9277	0.9403
Coefficiente Linear do Modelo Ajustado:	-2.4022	-1.2194
Coefficiente Angular do Modelo Ajustado:	0.8018	0.8591
Correlação de Pearson(r):	0.9632	0.9697
Coefficiente de Confiança ou Desempenho (C):	0.7818	0.8884
Porcentagem do Desvio - P.D.(%):	-43.1062	-25.9106
Viés Médio (M.B.- mean bias):	-4.4461	-2.6725

Figura 16. Resultados comparativos das medidas estatísticas do Caso 1 e Caso 2.

## Considerações finais

Este documento não possui a pretensão de resolver todos os problemas relacionados com o processo de análise de dados comparativos entre dados observados e estimados, nem sequer responder ao grande dilema de qual ou quais seriam as melhores medidas estatísticas de análise dos erros dentre as que, normalmente, são encontradas nos periódicos científicos.

A proposta deste documento é oferecer uma ferramenta prática para que o usuário que tenha a necessidade de gerar tais medidas estatísticas possa ter a facilidade de gerá-las com mais rapidez com auxílio do programa R.

Assim, a rotina construída em R está sendo publicada como alternativa viável e eficiente para a solução de comparação entre dados estimados e observados.

Conforme observado neste trabalho, a função proposta mostra-se útil e factível e, para torná-la uma ferramenta de fácil utilização, todas as etapas foram detalhadamente descritas, testadas e validadas passo a passo.

Espera-se que esta documentação possa auxiliar a comunidade científica colaborando na agilidade e no desenvolvimento de seus estudos futuros.

## Referências

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 247 p. 1995.

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 7. ed. Santa Catarina: Ed. da UFSC, 2007.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 103-111, 2004.

CUNHA, P. C. R. da; NASCIMENTO, J. L. do; SILVEIRA, P. M. da; ALVES JÚNIOR, J. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 114-122, 20 jun. 2013.

LEVIN, J.; FOX, J. A. **Estatística aplicada às ciências humanas**. 9. ed. Porto Alegre: Ed. Pearson, 2004.

LOURENÇO, R. W. **Comparação entre métodos de interpolação para Sistemas de Informações Geográficas**. 1998. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

MILONE, G. **Estatística geral e aplicada**. São Paulo: Thomson, 2004.

PEREIRA, L. M.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. D.; CAVIGLIONE, J. H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina-PR. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 2, p. 299-306, 2008.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, 2018. Disponível em: URL <https://www.R-project.org/>.

WILLMOTT, C. J.; ACKELSON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, 1985.

**Embrapa**

---

**Cerrados**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL