

RELATÓRIO TÉCNICO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Campus Universitário – Trindade Florianópolis – SC – CEP 88040-900

Caixa Postal 476



Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

Algoritmos em linguagem R para análises de conforto térmico de acordo com os métodos da *ASHRAE Standard 55*

Arthur Santos Silva, Eng. Civil, Doutorando

Enedir Ghisi, PhD

Roberto Lamberts, PhD

Florianópolis, maio de 2016.

Sumário

1. Introdução	1
2. Lista de <i>scripts</i>	2
3. <i>Scripts</i> de funções-base.....	3
3.1. Modelo de conforto térmico – <i>low air speed model</i>	3
3.2. Cálculo do SET – <i>Standard Effective Temperature</i>	3
3.3. Modelo de conforto térmico – <i>elevated air speed model</i>	4
3.4. Script integrado da <i>Standard 55</i>	5
3.5. Cálculo do intervalo de temperatura operativa limite.....	5
4. <i>Scripts</i> para arquivos em lote.....	7
4.1. Cálculo de índices individuais	7
4.2. Cálculo de índices de longo prazo	8
5. Como usar os <i>scripts</i>	11
5.1. Exemplo do <i>PMVlow()</i>	13
5.2. Exemplo do <i>PMVelevated()</i>	14
5.3. Exemplo do <i>PMVboth()</i>	15
5.4. Exemplo do <i>SETashrae()</i>	16
5.5. Exemplo do <i>TOLimits()</i>	17
5.6. Exemplo do <i>ComfortVectorized()</i>	18
5.7. Exemplo do <i>Comfort Indices()</i>	20
6. Considerações finais	22
7. Referências utilizadas e recomendadas.....	22

1. INTRODUÇÃO

Na área de pesquisa de Conforto Térmico existem alguns métodos consolidados para a avaliação do nível de conforto dos ocupantes em um ambiente condicionado artificialmente. Há os índices PMV (*Predicted Mean Vote*), PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*), SET (*Standard Effective Temperature*), ET (*Effective Temperature*) e diversas variantes em seus cálculos.

A norma de conforto térmico Standard 55 (ASHRAE, 2013) é bem aceita pela comunidade científica e traz grandes avanços em pesquisas na área de conforto térmico para ambientes condicionados artificialmente e naturalmente ventilados. A mesma propõe dois métodos para o cálculo do índice PMV e PPD para ambientes condicionados: o modelo de baixa velocidade do ar, que considera o modelo original da ISO 7730 (2005), e o modelo de alta velocidade do ar, que considera o indicador SET e algumas pesquisas científicas (GAGGE; FOBELETS; BERGLUND, 1986; SCHIAVON; HOYT; PICCIOLI, 2013; YANG et al., 2015).

A norma internacional ISO 7730 (2005) mostra um algoritmo para o cálculo do PMV e do PPD em linguagem BASIC. Da mesma forma, a Standard 55 (2013) também apresenta o mesmo algoritmo da norma ISO 7730, bem como outro algoritmo para o cálculo do SET.

Para a correta aplicação da Standard 55 se utiliza a ferramenta denominada *Comfort Tool* (<http://comfort.cbe.berkeley.edu/>) desenvolvida pelo *Center for the Built Environment* da *University of California Berkeley* que ajuda a efetuar esses cálculos (recomendada pela Standard 55). É uma ferramenta web prática e simples, que fornece resultados confiáveis para os indicadores de conforto térmico com a aplicação dos métodos descritos na norma. Entretanto, a ferramenta possibilita a verificação de resultados de conforto térmico de uma forma individual, no qual cada conjunto de valores para as variáveis ambientais e pessoais é calculado individualmente.

Acredita-se que uma forma prática e simples de promover a aplicação desses métodos pelos pesquisadores da área de conforto térmico seja desenvolver ferramentas adequadas que facilitem esses cálculos. Essas ferramentas devem ter alguns recursos, como a capacidade de calcular os índices de conforto para grande quantidade de dados, ser código aberto para possibilitar incorporações e alterações, e de fácil modificação dos parâmetros.

Este relatório descreve o desenvolvimento de algoritmos para contornar essa necessidade. O objetivo é registrar o desenvolvimento de *scripts* em linguagem R para análises de conforto térmico conforme a norma internacional *Standard 55* (ASHRAE, 2013) em sua mais nova versão do *addendum D* (ASHRAE, 2015).

Os *scripts* foram desenvolvidos em ocasião do estudo de Silva et al. (2016) para a avaliação de desempenho de índices de conforto térmico a longo prazo em simulação computacional de edificações.

2. LISTA DE SCRIPTS

Foi utilizado o conceito de “funções” da linguagem R, as quais podem ser acessadas em qualquer computador por meio da função `source()`. A Tabela 1 mostra os *scripts* desenvolvidos e a descrição de cada um.

Os cinco primeiros scripts são denominados de “funções-base”, pois foram vetorizados para possibilitar seu uso com argumentos (variáveis de entrada). Eles são flexíveis e podem ser incorporados em outros scripts em R, dependendo da finalidade do usuário e do nível de conhecimento em programação em R.

Os dois últimos scripts já foram desenvolvidos para o cálculo de arquivos “em lote”, ou seja, grandes conjuntos de arquivos de entrada (em .csv) e geram arquivos de saída (em .csv) para que o usuário possa avaliar todos os resultados de uma vez.

Tabela 1 – Scripts desenvolvidos.

Script	Descrição
f(x) PMV_low air speed model.R	Calcula o PMV e o PPD de acordo com o modelo de baixa velocidade do ar para um conjunto de variáveis.
f(x) SET_ASHRAE Standard 55.R	Calcula o SET para um conjunto de variáveis.
f(x) PMV_elevated air speed model.R	Calcula o PMV e o PPD de acordo com o modelo de alta velocidade do ar para um conjunto de variáveis.
f(x) PMV_both models.R	Calcula o PMV e o PPD escolhendo o modelo adequado em função da velocidade do ar para um conjunto de variáveis.
f(x) TO limits_ASHRAE Standard 55.R	Calcula os limites inferior e superior de temperatura operativa considerando o limite de conforto térmico de -0,5 a +0,5 de PMV para um conjunto de variáveis.
f(x) Comfort vectorized operations.R	Calcula o PMV, o PPD, o SET e o TO limites para vários conjuntos de variáveis.
f(x) Long-term indices.R	Calcula 37 índices de conforto térmico a longo prazo de forma a agregar os indicadores individuais em um valor representativo para vários conjuntos de variáveis.

3. SCRIPTS DE FUNÇÕES-BASE

Estes scripts contêm as funções-base vetorizadas e possibilitam a realização de operações para um conjunto de argumentos de entrada. Estas funções podem ser utilizadas individualmente no próprio *console* do R, e também podem ser utilizadas dentro de outros scripts como uma função comum.

Segue a explicação de algumas notações para o entendimento dos *scripts*:

- Argumentos: são os dados de entrada de uma função, podendo ser vetores ou listas, compostos por tipo numérico ou caracteres.
- Funções: são objetos específicos em R que permitem que o corpo de um algoritmo seja controlado por meio de argumentos de entrada e objetos de saída.
- Listas: são conjuntos de vetores ou valores, numéricos ou caracteres, na linguagem R.

3.1. MODELO DE CONFORTO TÉRMICO – LOW AIR SPEED MODEL

O arquivo “f(x) PMV_low air speed model.R” corresponde ao modelo de conforto térmico de baixa velocidade do ar (igual ou menor do que 0,10 m/s). Este *script* possui os seguintes argumentos de entrada:

- CLO: *clothing insulation* [clo] ou isolamento térmico das vestimentas;
- MET: *metabolic rate* [met] ou taxa metabólica dos ocupantes;
- WME: *mechanical work* [met] ou trabalho mecânico;
- TA: *air temperature* [°C] ou temperatura do ar interno;
- TR: *mean radiant temperature* [°C] ou temperatura radiante média;
- VEL: *air speed* [m/s] ou velocidade do ar;
- RH: *relative humidity* [%] ou umidade relativa do ar;
- PA: *atmospheric pressure* [kPa] ou pressão atmosférica.

Dentro do ambiente R, esta função assume o nome *PMVlow()* após ser incorporada com a função *source()*. A Tabela 2 mostra um exemplo de uso da função *PMVlow()* com argumentos inseridos no próprio *console* do R. Essa função retorna uma lista de dois valores: o primeiro é o PMV e o segundo, o PPD.

Tabela 2 – Exemplo de uso do *PMVlow*.

```
> #--PMVlow(CLO,MET,WME,TA,TR,VEL,RH,PA=0)
> PMVlow(0.5,1.0,0.0,25,25,0.06,60,0)
  PMV  PPD
-0.27  7.00
```

3.2. CÁLCULO DO SET – STANDARD EFFECTIVE TEMPERATURE

O arquivo “f(x) SET_ASHRAE Standard 55.R” corresponde ao *script* de cálculo do SET (*standard effective temperature*). Ele tem os seguintes argumentos de entrada:

- CLO: *clothing insulation* [clo] ou isolamento térmico das vestimentas;
- MET: *metabolic rate* [met] ou taxa metabólica dos ocupantes;

- WME: *mechanical work* [met] ou trabalho mecânico;
- TA: *air temperature* [°C] ou temperatura do ar interno;
- TR: *mean radiant temperature* [°C] ou temperatura radiante média;
- VEL: *air speed* [m/s] ou velocidade do ar;
- RH: *relative humidity* [%] ou umidade relativa do ar.

Nessa função a pressão atmosférica foi fixada em 101.325 kPa (1atm) conforme o algoritmo mostrado na norma internacional ASHRAE 55 (2013).

Dentro do ambiente R, esta função assume o nome `SETashrae()` após ser incorporada com a função `source()`. A Tabela 3 mostra um exemplo de uso da função `SETashrae()` com argumentos inseridos no próprio `console` do R. Essa função retorna um vetor unitário contendo o valor do SET em [°C].

Tabela 3 – Exemplo de uso do `SETashrae`.

```
#--SETashrae(CLO,MET,WME,TA,TR,VEL,RH)
> SETashrae(0.5,1.0,0,25,26,0.35,50)
[1] 22.87
```

3.3. MODELO DE CONFORTO TÉRMICO – ELEVATED AIR SPEED MODEL

O arquivo “f(x) PMV_elevated air speed model.R” corresponde ao modelo de conforto térmico de alta velocidade do ar (maior que 0,10m/s). Ele possui os seguintes argumentos de entrada:

- a) CLO: *clothing insulation* [clo] ou isolamento térmico das vestimentas;
- b) MET: *metabolic rate* [met] ou taxa metabólica dos ocupantes;
- c) WME: *mechanical work* [met] ou trabalho mecânico;
- d) TA: *air temperature* [°C] ou temperatura do ar interno;
- e) TR: *mean radiant temperature* [°C] ou temperatura radiante média;
- f) VEL: *air speed* [m/s] ou velocidade do ar;
- g) RH: *relative humidity* [%] ou umidade relativa do ar;
- h) PA: *atmospheric pressure* [kPa] ou pressão atmosférica.

Dentro do ambiente R, essa função assume o nome `PMVelevated()` após ser incorporada com a função `source()`. A Tabela 4 mostra um exemplo de uso da função `PMVelevated()` com argumentos inseridos no próprio `console` do R. Essa função retorna uma lista de dois valores: o primeiro é o PMV e o segundo, o PPD.

Tabela 4 – Exemplo de uso do `PMVelevated`.

```
#--PMVelevated(CLO,MET,WME,TA,TR,VEL,RH,PA=0)
> PMVelevated(0.5,1.0,0,25,26,0.35,50,0)
PMV PPD
-0.84 20.00
```

3.4. SCRIPT INTEGRADO DA STANDARD 55

O arquivo “f(x) PMV_both models.R” corresponde a uma função que integra ambos modelos de baixa velocidade e alta velocidade do ar. O script escolhe automaticamente o modelo conforme a velocidade do ar: para velocidade igual ou menor de 0,10m/s, escolhe-se o modelo *low air speed*; para velocidade acima de 0,10m/s, escolhe-se o modelo *elevated air speed*.

Ele possui os mesmos argumentos dos modelos individualmente:

- CLO: *clothing insulation* [clo] ou isolamento térmico das vestimentas;
- MET: *metabolic rate* [met] ou taxa metabólica dos ocupantes;
- WME: *mechanical work* [met] ou trabalho mecânico;
- TA: *air temperature* [°C] ou temperatura do ar interno;
- TR: *mean radiant temperature* [°C] ou temperatura radiante média;
- VEL: *air speed* [m/s] ou velocidade do ar;
- RH: *relative humidity* [%] ou umidade relativa do ar;
- PA: *atmospheric pressure* [kPa] ou pressão atmosférica.

Dentro do ambiente R, essa função assume o nome `PMVboth()` após ser incorporada com a função `source()`. A Tabela 5 mostra exemplos de uso da função `PMVboth()` com argumentos e entrada inseridos no próprio `console` do R. Essa função retorna uma lista de dois valores: o primeiro é o PMV e o segundo, o PPD.

Tabela 5 – Exemplos de uso do `PMVboth`.

```
#---PMVboth(CLO,MET,WME,VEL,RH,PA=0)
> PMVboth(0.5,1.1,0,23,24,0.05,55,0)
PMV PPD
-0.6 13.0

> PMVboth(0.5,1.1,0,25,26,0.35,70,0)
PMV PPD
-0.4 8.0
```

3.5. CÁLCULO DO INTERVALO DE TEMPERATURA OPERATIVA LIMITE

O arquivo “f(x) TO limits_ASHRAE Standard 55.R” é uma função que calcula, de forma iterativa, as temperaturas operativas limite de conforto térmico. O cálculo considera PMV igual a -0,5 no caso do limite inferior, e PMV igual a +0,5 para o limite superior.

Ele possui os seguintes argumentos de entrada (não é necessário inserir as temperaturas do ar e média radiante, como nos outros modelos):

- CLO: *clothing insulation* [clo] ou isolamento térmico das vestimentas;
- MET: *metabolic rate* [met] ou taxa metabólica dos ocupantes;
- WME: *mechanical work* [met] ou trabalho mecânico;
- VEL: *air speed* [m/s] ou velocidade do ar;
- RH: *relative humidity* [%] ou umidade relativa do ar;
- PA: *atmospheric pressure* [kPa] ou pressão atmosférica.

Dentro do ambiente R, essa função assume o nome `Tolimits()` após ser incorporada com a função `source()`. A Tabela 6 mostra exemplos de uso da função `Tolimits()` com argumentos de entrada inseridos no próprio *console* do R. Essa função retorna uma lista de dois valores: o primeiro é a TO inferior e o segundo, a TO superior.

Tabela 6 – Exemplos de uso do `Tolimits`.

```
#--Tolimits(CLO,MET,WME,VEL,RH,PA=0)
> Tolimits(0.5,1.0,0,0.25,55,0)
TO inferior TO superior
  25.59     28.34

> Tolimits(0.5,1,0,0.05,50,0)
TO inferior TO superior
  24.62     27.21
```


4. SCRIPTS PARA ARQUIVOS EM LOTE

Para ajudar na aplicação das funções-base para arquivos em lote, ou seja, grande quantidade de arquivos, foram elaborados dois scripts adicionais explicados nos itens a seguir.

4.1. CÁLCULO DE ÍNDICES INDIVIDUAIS

Este script aplica as funções *PMVboth()*, *SETashrae()* e *TOLimits()* para um determinado conjunto de arquivos “.csv”. Essa função é útil quando se tem grande quantidade de informação acerca das variáveis ambientais e pessoais de conforto térmico em algum intervalo de tempo (no caso de medições *in loco*) ou mesmo quando se tem dados de saída de uma simulação computacional.

O script é denominado “f(x) Comfort vectorized operations.R” e tem como argumentos:

- input: o caminho para uma pasta de computador que contenha os arquivos “.csv” com as informações necessárias. Exemplo “C:/Working Directory/Comfort/Input files”. Deve-se utilizar a barra invertida “/” para separar as pastas.
- output: o caminho para uma pasta de computador para armazenar os arquivos “.csv” gerados pelo script. Exemplo “C:/Working Directory/Comfort/Output files”. Deve-se utilizar a barra invertida “/” para separar as pastas.

Cada arquivo “.csv” da pasta contida no argumento “input” deve conter as seguintes informações nas colunas na ordem apresentada:

- 1ª coluna: CLO *clothing insulation* [clo] ou isolamento térmico das vestimentas;
- 2ª coluna: MET *metabolic rate* [met] ou taxa metabólica dos ocupantes;
- 3ª coluna: WME *mechanical work* [met] ou trabalho mecânico;
- 4ª coluna: TA *air temperature* [°C] ou temperatura do ar interno;
- 5ª coluna: TR *mean radiant temperature* [°C] ou temperatura radiante média;
- 6ª coluna: VEL *air speed* [m/s] ou velocidade do ar;
- 7ª coluna: RH *relative humidity* [%] ou umidade relativa do ar;
- 8ª coluna: PA *atmospheric pressure* [kPa] ou pressão atmosférica.

Dentro do ambiente R, essa função assume o nome *ComfortVectorized()* após ser incorporada com a função *source()*. A função não retorna informações no console do R, mas cria arquivos “.csv” na pasta “output” informada como argumento.

Os arquivos .csv de saída contêm as seguintes variáveis nas colunas:

- PMV: *Predicted Mean Vote*;
- PPD: *Predicted Percentage Dissatisfied*;
- SET: *Standard Effective Temperature*;
- TO inferior: Limite inferior de temperatura operativa para PMV igual a -0,5;
- TO superior: Limite superior de temperatura operativa para PMV igual a +0,5.

4.2. CÁLCULO DE ÍNDICES DE LONGO PRAZO

Esse *script* incorpora todas as equações dos índices de avaliação a longo prazo descritas em Silva et al. (2016) em linguagem R. Esses índices são úteis para a obtenção de um indicador único que agrega a informação de conforto térmico ao longo de um grande período de tempo para o intuito de análises comparativas. Índices a longo prazo geralmente são utilizados para comparar o desempenho térmico de ambientes em uma edificação por simulação computacional.

O *script* calcula 37 índices de conforto térmico a longo prazo, como explicados a seguir:

- 1) Percentual de horas fora do intervalo de conforto de PMV (tanto desconforto por frio como por calor), considerando dados de todo o período [%].
- 2) Percentual de horas fora do intervalo de conforto de PMV para desconforto por calor, considerando dados apenas do período de verão [%].
- 3) Percentual de horas fora do intervalo de conforto de PMV para desconforto por frio, considerando dados apenas do período de inverno [%].
- 4) Percentual de horas fora do intervalo de conforto de PMV (tanto desconforto por frio como por calor), considerando dados da avaliação sazonal (verão e inverno separados) [%].
- 5) Percentual de horas fora do intervalo de conforto de temperatura operativa (tanto desconforto por frio como por calor), considerando dados de todo o período [%].
- 6) Percentual de horas fora do intervalo de conforto de temperatura operativa para desconforto por calor, considerando dados apenas do período de verão [%].
- 7) Percentual de horas fora do intervalo de conforto de temperatura operativa para desconforto por frio, considerando dados apenas do período de inverno [%].
- 8) Percentual de horas fora do intervalo de conforto de temperatura operativa (tanto desconforto por frio como por calor), considerando dados da avaliação sazonal (verão e inverno separados) [%].
- 9) Horas em excesso do intervalo de conforto de PMV (tanto desconforto por frio como por calor), considerando dados de todo o período [h].
- 10) Horas em excesso do intervalo de conforto de PMV para desconforto por calor, considerando dados apenas do período de verão [h].
- 11) Horas em excesso do intervalo de conforto de PMV para desconforto por frio, considerando dados apenas do período de inverno [h].
- 12) Horas em excesso do intervalo de conforto de PMV (tanto desconforto por frio como por calor), considerando dados da avaliação sazonal (verão e inverno separados) [h].
- 13) Horas em excesso do intervalo de conforto de temperatura operativa (tanto desconforto por frio como por calor), considerando dados de todo o período [h].
- 14) Horas em excesso do intervalo de conforto de temperatura operativa para desconforto por calor, considerando dados apenas do período de verão [h].
- 15) Horas em excesso do intervalo de conforto de temperatura operativa para desconforto por frio, considerando dados apenas do período de inverno [h].
- 16) Horas em excesso do intervalo de conforto de temperatura operativa (tanto desconforto por frio como por calor), considerando dados da avaliação sazonal (verão e inverno separados) [h].
- 17) PPD médio durante todo o período [%].
- 18) PPD médio durante o período de verão [%].
- 19) PPD médio durante o período de inverno [%].
- 20) Soma de PPD durante todo o período [%*].
- 21) Soma de PPD durante o período de verão [%*].
- 22) Soma de PPD durante o período de inverno [%*].
- 23) Graus-hora de resfriamento considerando todo o período [°Ch].
- 24) Graus-hora de aquecimento considerando todo o período [°Ch].

- 25) Graus-hora de desconforto total considerando todo o período [°Ch].
- 26) Graus-hora de resfriamento considerando apenas o período de verão [°Ch].
- 27) Graus-hora de aquecimento considerando apenas o período de inverno [°Ch].
- 28) Graus-hora de desconforto total considerando avaliação sazonal (verão e inverno separados) [°Ch].
- 29) Horas em excesso ponderadas pelo PPD considerando apenas o período de verão [h].
- 30) Horas em excesso ponderadas pelo PPD considerando apenas o período de inverno [h].
- 31) Horas em excesso total ponderadas pelo PPD considerando avaliação sazonal (verão e inverno separados) [h].
- 32) Horas em excesso ponderadas pela temperatura operativa considerando apenas o período de verão [h].
- 33) Horas em excesso ponderadas pela temperatura operativa considerando apenas o período de inverno [h].
- 34) Horas em excesso total ponderadas pela temperatura operativa considerando avaliação sazonal (verão e inverno separados) [h].
- 35) Graus-hora de resfriamento ponderadas pelo PPD apenas para o período de verão [°Ch].
- 36) Graus-hora de aquecimento ponderadas pelo PPD apenas para o período de inverno [°Ch].
- 37) Graus-hora de desconforto total ponderadas pelo PPD considerando avaliação sazonal (verão e inverno separados) [°Ch].

O *script* é denominado “f(x) Long-term indices.R” e tem como argumentos:

- **input**: o caminho para uma pasta de computador que contenha os arquivos “.csv” com as informações necessárias. Exemplo “C:/Working Directory/Comfort/Input files”. Deve-se utilizar a barra invertida “/” para separar as pastas.
- **output**: o caminho para uma pasta de computador para armazenar os arquivos “.csv” gerados pelo script. Exemplo “C:/Working Directory/Comfort/Output files”. Deve-se utilizar a barra invertida “/” para separar as pastas.
- **seasons**: um objeto do tipo vetor que contém informações que definam os períodos de verão e inverno do conjunto de valores em cada arquivo.

O vetor **seasons** é um vetor que contém o valor 1 nas células que representam o período de verão e o valor 0 nas células que representam o período de inverno. Se os arquivos “.csv” de entrada contiverem dados horários em um ano completo (8760 horas), o vetor **seasons** também deverá ter 8760 células.

Uma forma simples de se inserir essa informação é através do próprio console do R, ao se criar um objeto de tipo vetor com o nome **seasons** e definir os valores que representem o verão e inverno com valores de 1 e 0, respectivamente. A Tabela 7 mostra esse procedimento.

Dentro do ambiente R essa função tem o nome de ComfortIndices() quando incorporada com a função source(). A função não retorna informações no console do R, mas cria arquivos “.csv” na pasta “output” informada como argumento. Os dois arquivos “.csv” gerados são explicados a seguir:

- **indices.csv** – contém a informação de todos os índices de avaliação a longo prazo nas colunas, sendo que as linhas representam cada arquivo de entrada. Os índices estão em suas unidades originais;
- **indices-norm.csv** – contém a informação de todos os índices de avaliação a longo prazo nas colunas, sendo que as linhas representam cada arquivo de entrada. Os índices estão normalizados pelo método vetorial.

A normalização do arquivo “indices-norm.csv” depende diretamente do próprio conjunto de dados inserido, e serve apenas como comparativo entre esses mesmos dados.

Tabela 7 – Exemplo de criação do vetor **seasons** no console do R.

```
>seasons=vector(mode="numeric",length=8760) #cria um vetor de nome "seasons" de tamanho 8760
>seasons[1:3850]=1 #define o intervalo de 1 a 3850 como valor 1
>seasons[7400:8760]=1 #define o intervalo de 7400 a 8760 como valor 1
>seasons[3851:7399]=0 #define o intervalo de 3851 a 7399 como valor 0
```

5. COMO USAR OS SCRIPTS

Deve-se instalar o *software* do R conforme as recomendações dos desenvolvedores, acessando o sítio eletrônico < <https://www.r-project.org/> >. Deve-se, também, instalar o *software* RStudio através do sítio eletrônico < <https://www.rstudio.com/> >. A interface do RStudio é mostrada na Figura 1.

Todos os *scripts* foram desenvolvidos para facilitar a utilização pelo usuário. Desta forma, deve-se seguir alguns passos:

1. Definir uma pasta de trabalho, ou *working directory* (ir em *Tools* > *Global options*);
2. Dentro dessa pasta de trabalho deve-se criar outra pasta com o nome exato de “*Long-term indices*”;
3. Dentro da pasta “*Long-term indices*” o usuário deve colocar todos os *scripts* disponibilizados por este relatório (em extensão “.R”), sem alterar o nome de nenhum arquivo.

Quando algum *script* for aberto no RStudio o seu conteúdo aparecerá na área 1 da Figura 1. Esta área 1 não deve ser alterada. A área 2 contém o *console* do programa, ou seja, uma área livre para chamar funções, criar objetos e efetuar os cálculos. A área 3 contém todos os objetos do ambiente utilizado. A área 4 contém algumas informações sobre outros pacotes bem como arquivos de ajuda das funções do R.

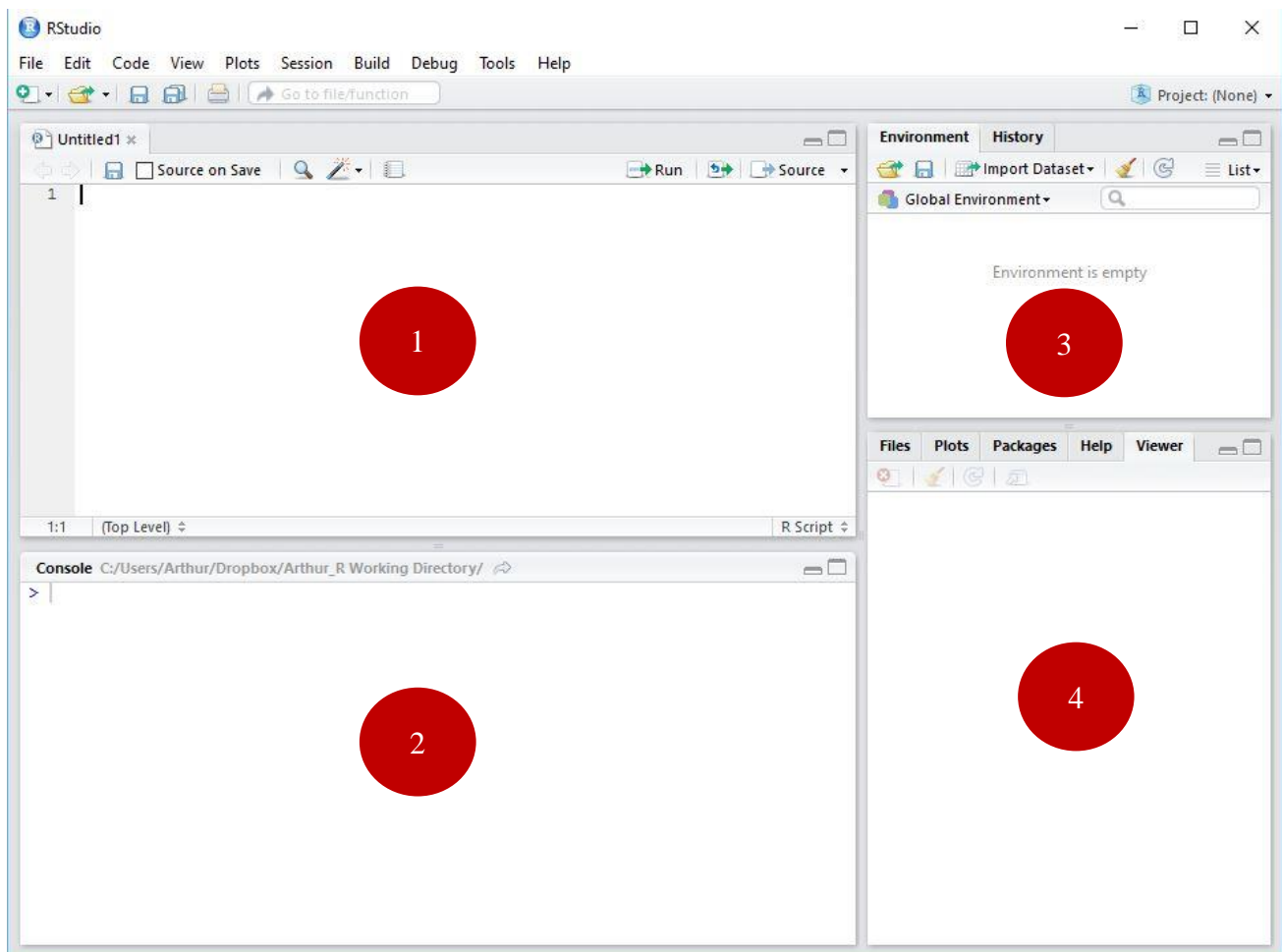


Figura 1 – Interface do programa R Studio.

Para utilizar o conjunto de *scripts*, o usuário deve abrir o algoritmo “Source_Thermal comfort.R”, como mostra a Figura 2. Deve-se clicar em *Source* para ativar as funções e poder utilizá-las. A utilização das funções é feita através do *Console*. Este *script* chama todas as funções para o ambiente R (considerando que todas elas estão na mesma pasta do *Working Directory*).

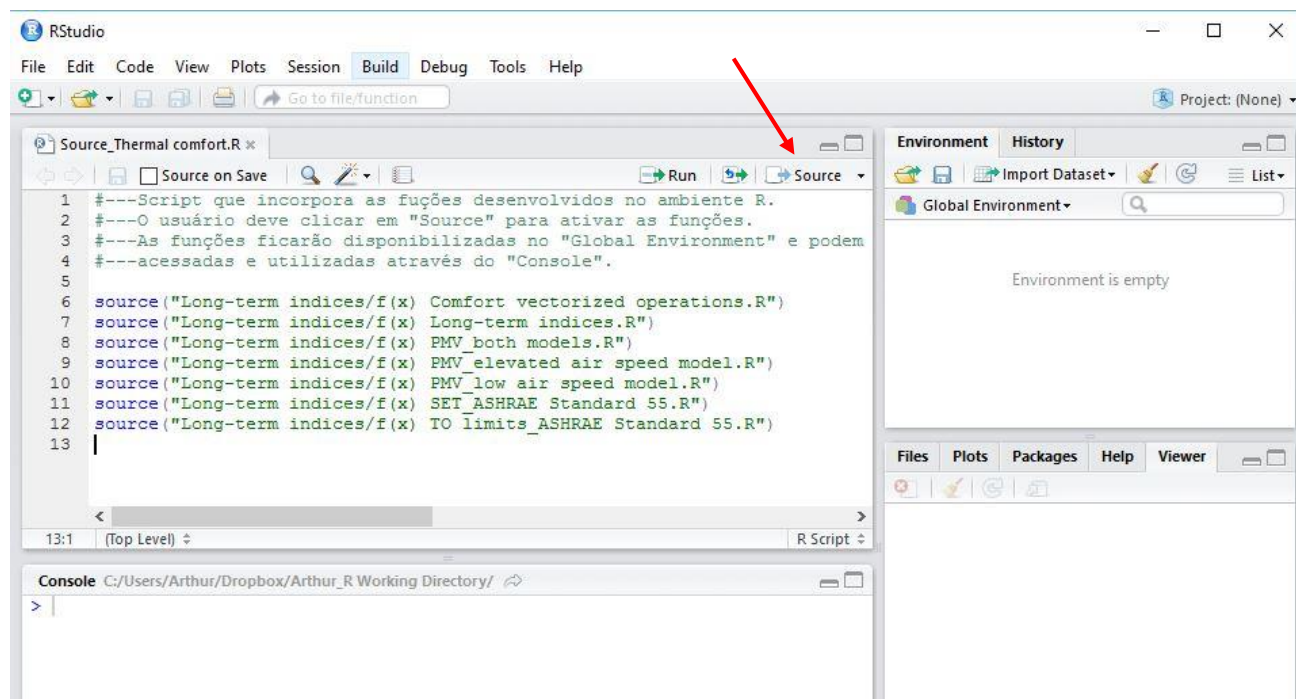


Figura 2 – Arquivo “Source_Thermal Comfort.R” para utilização dos *scripts*.

Os itens subsequentes mostram exemplos de utilização de cada *script* ao exibir, em forma de figura, a tela resultante do RStudio.

5.1. EXEMPLO DO `PMVLOW()`

A Figura 3 mostra um exemplo da utilização da função `PMVlow()` aberta com o arquivo “f(x) PMV_low air speed model.R”.

The screenshot shows the RStudio interface. The source editor displays the following R code:

```

1 #---Script que incorpora as funções desenvolvidos no ambiente R.
2 #---O usuário deve clicar em "Source" para ativar as funções.
3 #---As funções ficarão disponibilizadas no "Global Environment" e pod
4 #---acessadas e utilizadas através do "Console".
5
6 source("Long-term indices/f(x) Comfort vectorized operations.R")
7 source("Long-term indices/f(x) Long-term indices.R")
8 source("Long-term indices/f(x) PMV_both models.R")
9 source("Long-term indices/f(x) PMV_elevated air speed model.R")
10 source("Long-term indices/f(x) PMV_low air speed model.R")
11 source("Long-term indices/f(x) SET_ASHRAE Standard 55.R")
12 source("Long-term indices/f(x) TO limits_ASHRAE Standard 55.R")
13

```

The console shows the execution of the `PMVlow` function with two sets of arguments:

```

> PMVlow(0.5,1.0,0,22,23,0.05,50,0)
PMV   PPD
-1.35 43.00
> PMVlow(0.9,1.1,0,23.4,25.2,0.09,45,0)
PMV   PPD
0.31  7.00
> |

```

The Environment pane on the right shows the Global Environment with the following values and functions:

Values	Functions
folder: "Long-term indices/input"	ComfortI...: function (folder, seas...
seasons: num [1:3120] 1 1 1 1 1 1...	ComfortV...: function (folder)
	PMVboth: function (CLO, MET, WM...
	PMVeleva...: function (CLO, MET, WM...
	PMVlow: function (CLO, MET, WM...
	SETashrae: function (CLO, MET, WM...
	TOlimits: function (CLO, MET, WM...

Figura 3 – Exemplos de utilização da função `PMVlow`.

5.2. EXEMPLO DO `PMVELEVATED()`

A Figura 4 mostra um exemplo da utilização da função `PMVelevated()` aberta com o arquivo “f(x) PMV_elevated air speed model.R”.

The screenshot shows the RStudio interface. The source editor displays the following R code:

```

1 #---Script que incorpora as funções desenvolvidos no ambiente R.
2 #---O usuário deve clicar em "Source" para ativar as funções.
3 #---As funções ficarão disponibilizadas no "Global Environment" e pod
4 #---acessadas e utilizadas através do "Console".
5
6 source("Long-term indices/f(x) Comfort vectorized operations.R")
7 source("Long-term indices/f(x) Long-term indices.R")
8 source("Long-term indices/f(x) PMV_both models.R")
9 source("Long-term indices/f(x) PMV_elevated air speed model.R")
10 source("Long-term indices/f(x) PMV_low air speed model.R")
11 source("Long-term indices/f(x) SET_ASHRAE Standard 55.R")
12 source("Long-term indices/f(x) TO limits_ASHRAE Standard 55.R")
13

```

The console shows the execution of the `PMVelevated` function with two sets of arguments:

```

> PMVelevated(0.5,1,0,23,24,0.15,60,0)
PMV   PPD
-0.95 24.00
> PMVelevated(0.9,1.1,0,23,22.5,0.12,55,0)
PMV   PPD
-0.03 5.00
> |

```

The Environment pane on the right shows the Global Environment with the following values and functions:

Values	Functions
folder "Long-term indices/input"	ComfortI... function (folder, seas...
seasons num [1:3120] 1 1 1 1 1 1...	ComfortV... function (folder)
	PMVboth function (CLO, MET, WM...
	PMVeleva... function (CLO, MET, WM...
	PMVlow function (CLO, MET, WM...
	SETashrae function (CLO, MET, WM...
	TOLimits function (CLO, MET, WM...

Figura 4 – Exemplos de utilização da função `PMVelevated`.

5.3. EXEMPLO DO `PMVboth()`

A Figura 5 mostra um exemplo da utilização da função `PMVboth()` aberta com o arquivo “f(x) PMV_both models.R”.

The screenshot shows the RStudio interface. The main editor displays the source code for 'Source_Thermal comfort.R'. The code includes comments in Portuguese and several `source()` calls to load other R scripts. The console shows the execution of the `PMVboth` function with two different sets of input parameters, resulting in PMV and PPD values.

```

1 #---Script que incorpora as funções desenvolvidos no ambiente R.
2 #---O usuário deve clicar em "Source" para ativar as funções.
3 #---As funções ficarão disponibilizadas no "Global Environment" e pod
4 #---acessadas e utilizadas através do "Console".
5
6 source("Long-term indices/f(x) Comfort vectorized operations.R")
7 source("Long-term indices/f(x) Long-term indices.R")
8 source("Long-term indices/f(x) PMV_both models.R")
9 source("Long-term indices/f(x) PMV_elevated air speed model.R")
10 source("Long-term indices/f(x) PMV_low air speed model.R")
11 source("Long-term indices/f(x) SET_ASHRAE Standard 55.R")
12 source("Long-term indices/f(x) TO limits_ASHRAE Standard 55.R")
13

```

```

13:1 (Top Level)  R Script
Console C:/Users/Arthur/Dropbox/Arthur_R Working Directory/
> PMVboth(0.5,1,0,22,23,0.05,50,0)
PMV   PPD
-1.35 43.00
> PMVboth(0.8,1,0,22,23,0.2,50,0)
PMV   PPD
-0.77 17.00
> |

```

The Environment pane on the right shows the Global Environment with the following values and functions:

Values	Functions
folder: "Long-term indices/input"	ComfortI...: function (folder, seas...
seasons: num [1:3120] 1 1 1 1 1 1...	ComfortV...: function (folder)
	PMVboth: function (CLO, MET, WM...
	PMVeleva...: function (CLO, MET, WM...
	PMVlow: function (CLO, MET, WM...
	SETashrae: function (CLO, MET, WM...
	TOlimits: function (CLO, MET, WM...

Figura 5 – Exemplos de utilização da função `PMVboth`.

5.4. EXEMPLO DO SETASHRAE()

A Figura 6 mostra um exemplo da utilização da função *SETashrae()* aberta com o arquivo “f(x) SET_ASHRAE standard 55.R”.

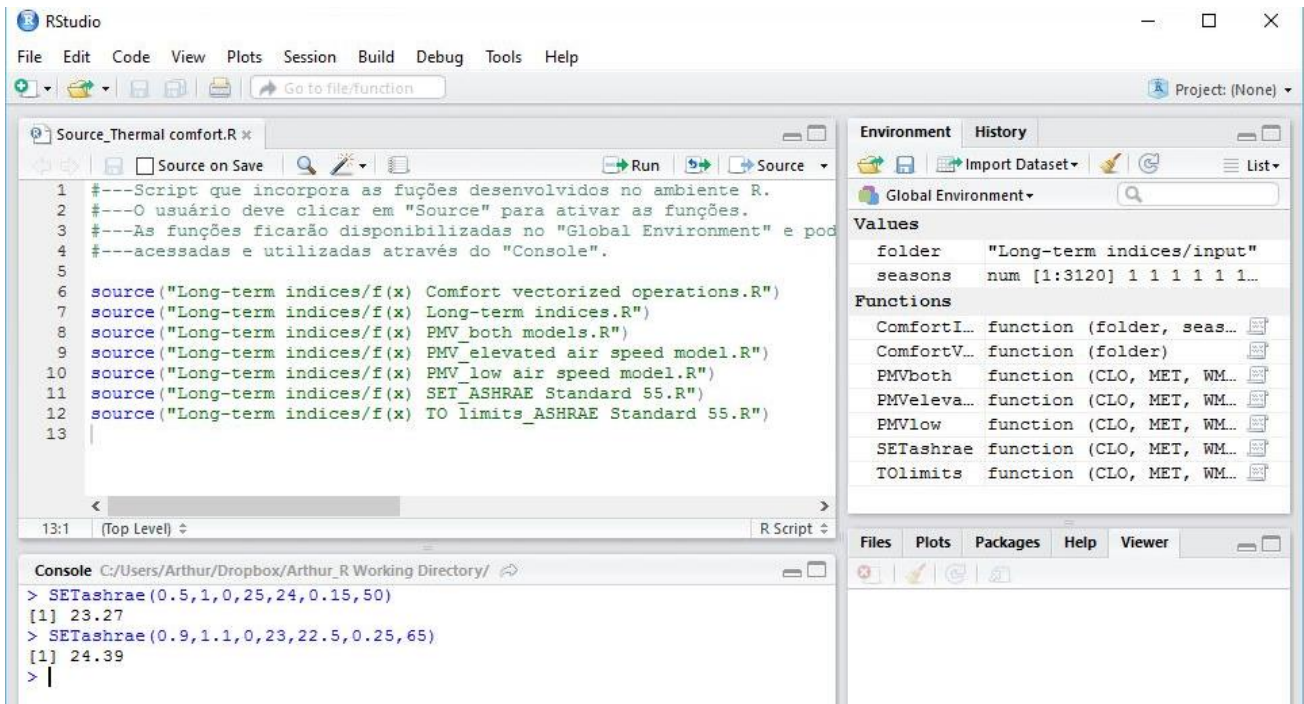


Figura 6 – Exemplos de utilização da função *SETashrae*.

5.5. EXEMPLO DO TOLIMITS()

A Figura 7 mostra um exemplo da utilização da função `TOLimits()` aberta com o arquivo “f(x) TOLimits_ASHRAE standard 55.R”.

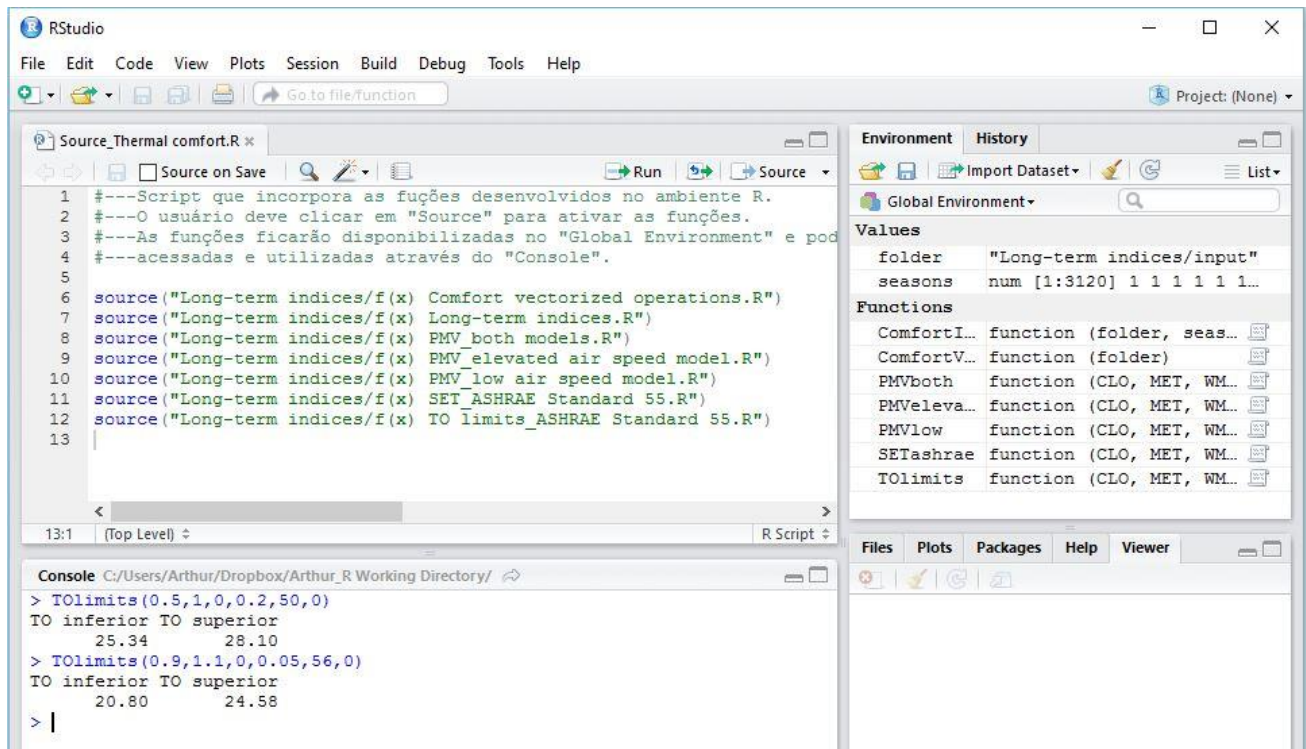


Figura 7 – Exemplos de utilização da função `TOLimits`.

5.6. EXEMPLO DO COMFORTVECTORIZED()

A Figura 8 mostra um exemplo da utilização da função `ComfortVectorized()` aberta com o arquivo “f(x) Comfort vectorized operations.R”. A Figura 9 mostra a pasta com os arquivos de entrada do exemplo, cujo caminho é inserido no argumento `input`. A Figura 10 mostra os arquivos de saída, cujo caminho é inserido no argumento `output`.

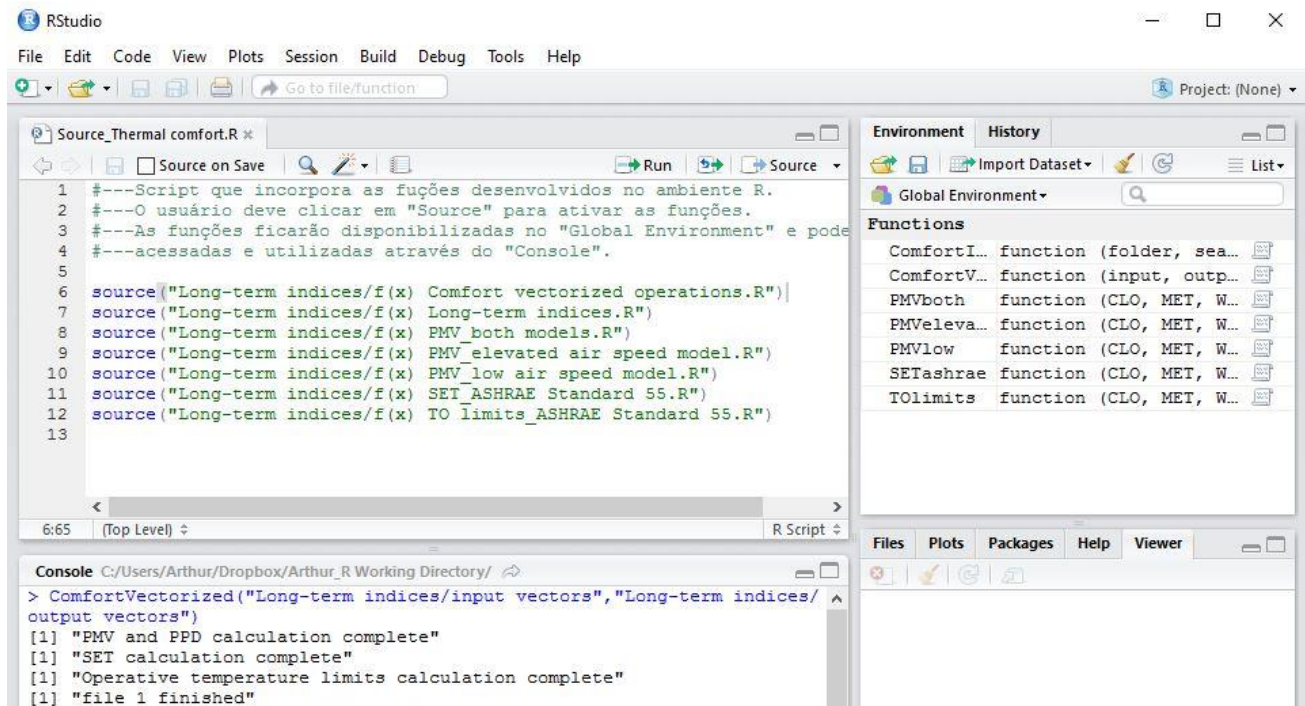


Figura 8 – Exemplo de utilização da função `ComfortVectorized`.

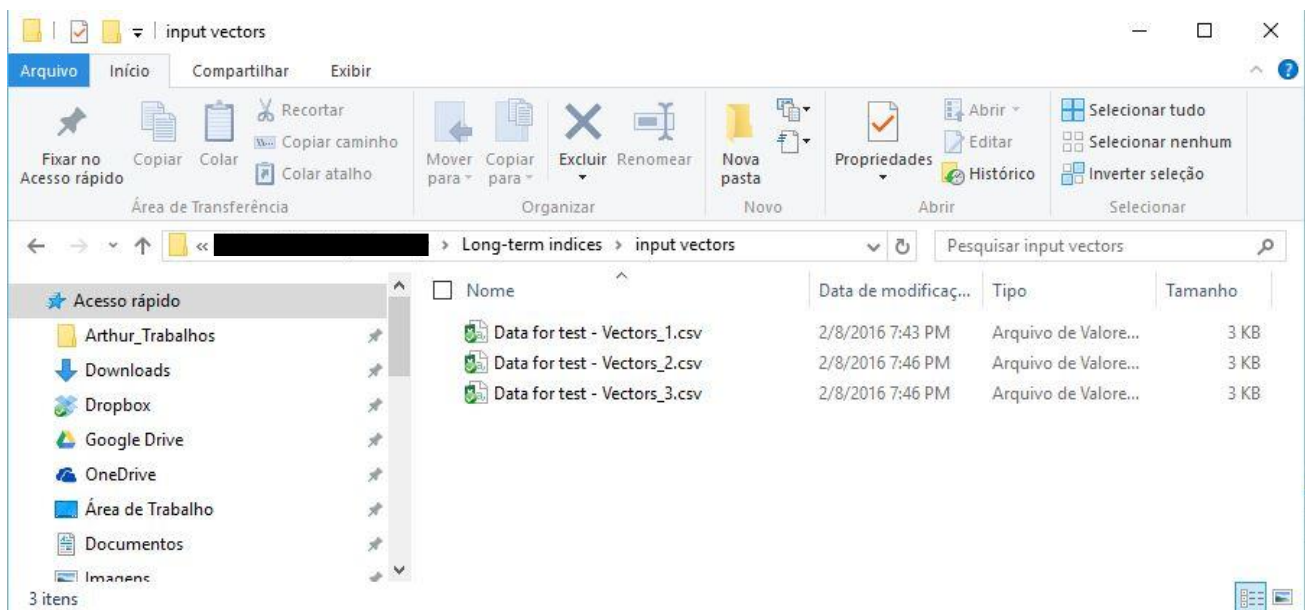


Figura 9 – Pasta com os arquivos de entrada para a função `ComfortVectorized`.

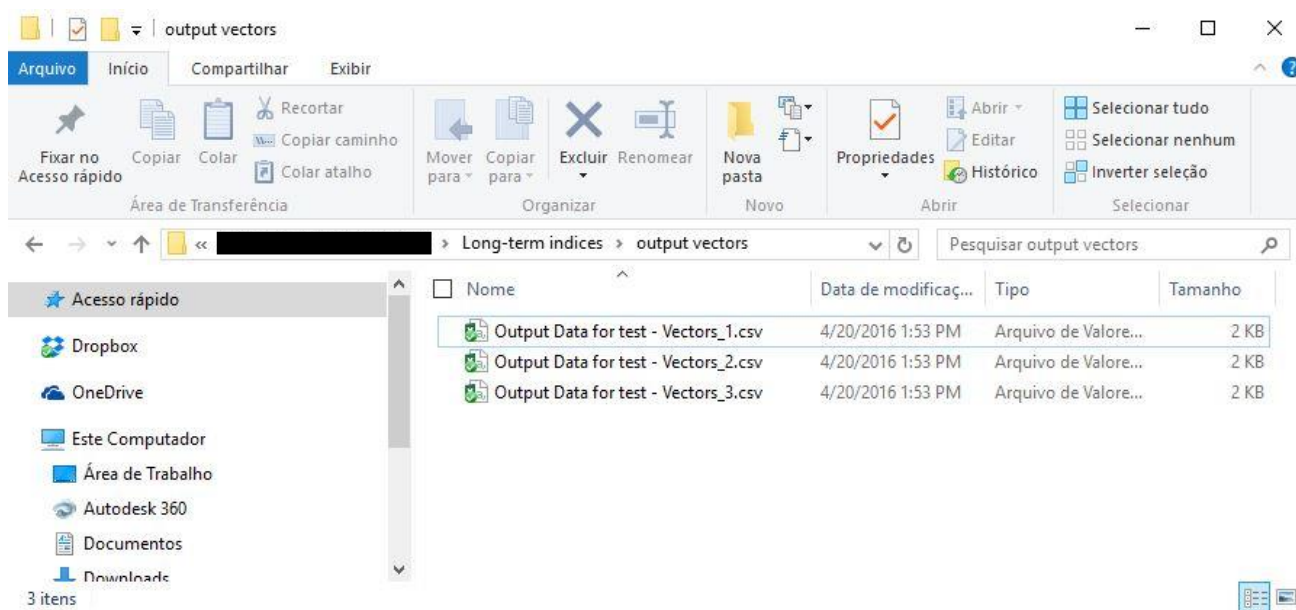


Figura 10 – Pasta com os arquivos de saída da função ComfortVectorized.

5.7. EXEMPLO DO COMFORT INDICES()

A Figura 11 mostra um exemplo da utilização da função `ComfortIndices()` aberta com o arquivo “f(x) Long-term indices.R”. A Figura 12 mostra a pasta com os arquivos de entrada do exemplo, cujo caminho é inserido no argumento `input`. A Figura 13 mostra os arquivos de saída, cujo caminho é inserido no argumento `output`.

The screenshot shows the RStudio interface. The source editor displays the following code:

```

1 #---Script que incorpora as funções desenvolvidos no ambiente R.
2 #---O usuário deve clicar em "Source" para ativar as funções.
3 #---As funções ficarão disponibilizadas no "Global Environment" e pode
4 #---acessadas e utilizadas através do "Console".
5
6 source("Long-term indices/f(x) Comfort vectorized operations.R")
7 source("Long-term indices/f(x) Long-term indices.R")
8 source("Long-term indices/f(x) PMV_both models.R")
9 source("Long-term indices/f(x) PMV_elevated air speed model.R")
10 source("Long-term indices/f(x) PMV_low air speed model.R")
11 source("Long-term indices/f(x) SET_ASHRAE Standard 55.R")
12 source("Long-term indices/f(x) TO limits_ASHRAE Standard 55.R")
13

```

The console shows the execution of the `ComfortIndices()` function:

```

> seasons=vector(mode="numeric",length=3120)
> seasons[1:1296]=1; seasons[2341:3120]=1
> ComfortIndices("Long-term indices/input long-term","Long-term indices/output long-term",seasons)
[[1]]
      i11  i12  i13  i14  i15  i16  i17  i18  i19  i10  i11
i12  i13  i14  i15  i16  i17  i18  i19  i20  i21  i22  i23  i24  i
25
Data for test_1.csv 93.1 62.1 0.0 62.1 92.1 61.9 0.0 61.9 2905 1937  0 1
937 2872 1931  0 1931 25.2 25.6 24.3 78536.7 53162.7 25374.0 7170  0 71
70
Data for test_2.csv 27.4 0.2 0.2 0.4 24.5 0.2 0.2 0.4 854  5  5
10 763  5  6 11 9.3 9.2 9.4 28933.7 19133.9 9799.8  9 116 1

```

The Environment pane on the right shows the following functions loaded:

Function Name	Arguments
ComfortI...	function (input, outp...
ComfortV...	function (input, outp...
PMVboth	function (CLO, MET, W...
PMVeleva...	function (CLO, MET, W...
PMVlow	function (CLO, MET, W...
SETashrae	function (CLO, MET, W...
TOlimits	function (CLO, MET, W...

Figura 11 – Exemplo de utilização da função `ComfortIndices`.

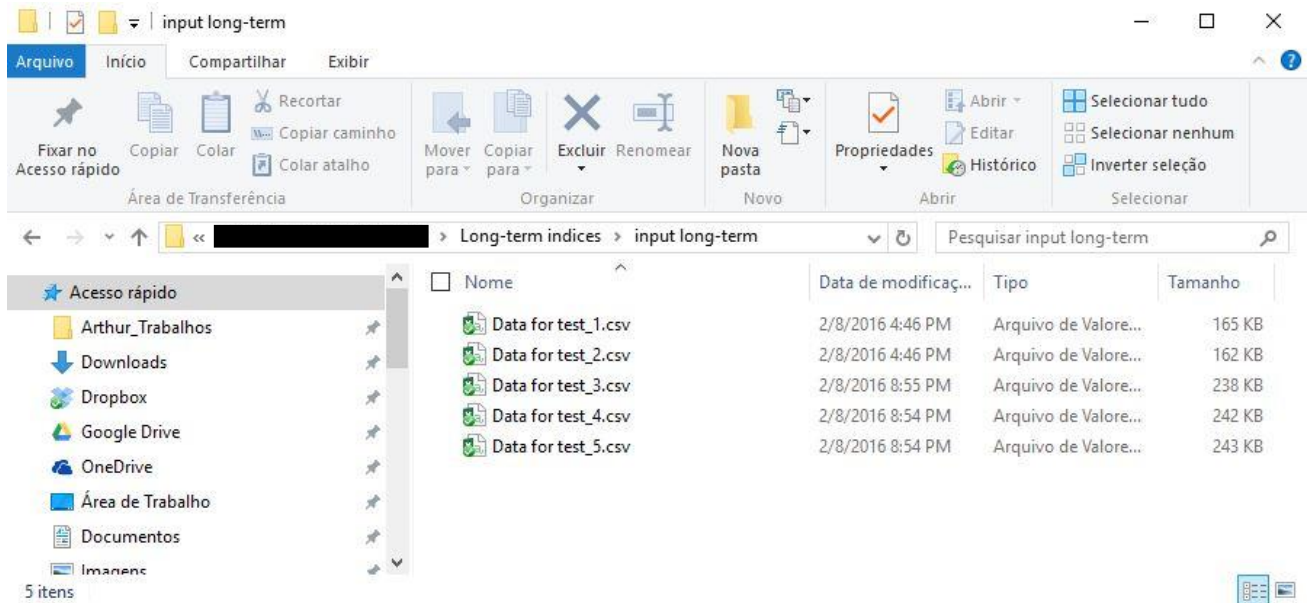


Figura 12 – Pasta com os arquivos de entrada para a função ComfortIndices.

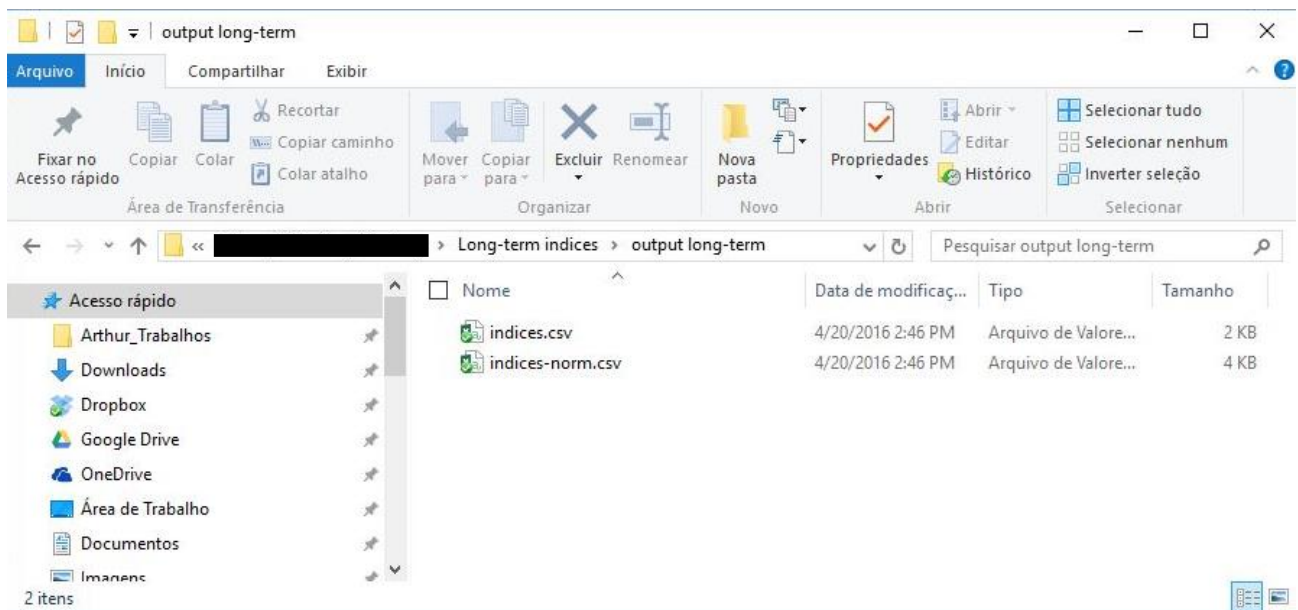


Figura 13 – Pasta com os arquivos de saída para a função ComfortIndices.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pacote a ser baixado em < ... > contém as seguintes pastas com arquivos de exemplo para aplicação dos *scripts* em lote:

- Input vectors: pasta que contém 3 arquivos “.csv” no formato exigido pelo *script* “f(x) Comfort vectorized operations.R”;
- Output vectors: pasta que contém 3 arquivos de saída “.csv” resultantes da aplicação dos arquivos da pasta input vectors com o *script* “f(x) Comfort vectorized operations.R”;
- Input long-term: pasta que contém 5 arquivos “.csv” no formato exigido pelo *script* “f(x) Long-term indices.R”;
- Output long-term: pasta que contém 2 arquivos de saída em “.csv” resultantes da aplicação dos arquivos da pasta input long-term com o *script* “f(x) Long-term indices.R”.

Os algoritmos não podem ser utilizados para fins comerciais, apenas para fins acadêmicos. Quando da utilização dos *scripts* a referência bibliográfica de Silva et al. (2016) e deste presente relatório devem ser devidamente citadas.

Usuários avançados do R podem contribuir com melhorias nas diversas funções. Qualquer contribuição ou dúvida deve ser encaminhada para Arthur Santos Silva (arthurssilva07@gmail.com).

7. REFERÊNCIAS UTILIZADAS E RECOMENDADAS

- ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. **Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. 2013.
- GAGGE, A. P.; FOBELETS, A. P.; BERGLUND, L. G. A standard predictive index of human response to the thermal environment. **ASHRAE Transactions**, v. 92, n. 2B, p. 709–731, 1986.
- ISO. International Organization for Standardization. **ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment** – Analytical determination and interpretation of Thermal Comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, Switzerland, 2005.
- SCHIAVON, S.; HOYT, T.; PICCIOLI, A. Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55. **Building Simulation**, v. 7, n. 4, p. 321–334, 2013.
- SILVA, A. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Performance evaluation of long-term thermal comfort indices in building simulation according to ASHRAE Standard 55. **Building and Environment**, v. 102, p. 95–115, 2016. [dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.03.004](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.03.004)
- YANG, B.; SCHIAVON, S.; SEKHAR, C.; CHEONG, D.; THAM, K.K.; NAZAROFF, W.W. Cooling efficiency of a brushless direct current stand fan. **Building and Environment**, v. 85, p. 196–204, 2015.