



ESTIMATIVA POR MÉTODOS EMPÍRICOS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO:  
APLICAÇÃO EM UM TELHADO VERDE TROPICAL

Ana Camacho Rincón

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Cláudio Fernando Mahler

Rio de Janeiro  
Agosto de 2018

ESTIMATIVA POR MÉTODOS EMPÍRICOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO:  
APLICAÇÃO EM UM TELHADO VERDE TROPICAL

Ana Camacho Rincón

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

---

Prof. Cláudio Fernando Mahler, D.Sc.

---

Prof. André Mantovani Oliveira, D.Sc.

---

Dra. Renata Coura Borges, D.Sc.

---

Prof. Francesco Lugli, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2018

Rincón, Ana Camacho

Estimativa por métodos empíricos da evapotranspiração: Aplicação em um telhado verde tropical / Ana Camacho Rincón – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XX, 117 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Cláudio Fernando Mahler

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 64-81.

1. Telhado Verde. 2. Livre de substrato. 3. Tropical. 4. Evapotranspiração. 5. Urbanização. 6. Biodiversidade. I. Mahler, Cláudio Fernando. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

“¿Acaso en vano venimos a vivir, a brotar sobre la tierra?

Dejemos al menos flores

Dejemos al menos cantos...”

*Nezahualcóyotl*

Aos pilares da minha vida...  
Aos meus pais, Martha e Ismael;  
Por me ensinar a  
“Ser Chingón sin chingarme a nadie”

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Organização dos Estados Americanos e ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras pela oportunidade de cursar a Pós-graduação em Engenharia Civil nesta renomada instituição. Sou grata a todo o corpo docente, à direção e administração, que desde o início têm demonstrado um clima receptivo.

A Carlos Rincón, porque seu amor e luz sempre estiveram comigo, e é verdade que tudo é na hora de Deus.

Aos meus pais, Martha e Ismael, pelo apoio contínuo e o amor incondicional. Distantes fisicamente, mas sempre presentes no meu coração.

Às minhas irmãs, Daniela e Melissa, que acreditaram no meu sonho e sempre me deram forças, além das *cerezas* da minha vida.

À minha família e amigos mexicanos pela força e torcida para que tudo desse certo.

Ao meu orientador Cláudio Fernando Mahler pela paciência, ensinamentos e, acima de tudo, por confiar no meu trabalho.

Ao pesquisador Bruno Rezende Silva por gentilmente ter permitido a instalação do equipamento e o estudo do seu telhado verde.

A André Mantovani, Sylvia Rola, Renata Coura e Cid Dieguez pelas sugestões e as contribuições para a construção desta dissertação.

Aos OEA-UFRJ porque com coragem e determinação nenhum sonho ficará por cumprir, obrigada pelo apoio, foi lindo coincidir com vocês neste sonho.

Aos OEAMx porque longe da nossa pátria, juntos somos México.

Ao meu *camarada* e *cuate* Redscar Virel, pela sua amizade e cumplicidade. Ainda que tenha Alzheimer, vou lembrar das noites de Luís Miguel.

Ao “Triplete de agosto”, Antonio e Erimar, achei meus irmãos no Brasil.

Aos meus amigos do PEC/COPPE que fizeram me sentir em casa, sendo ótimas companhias nas trilhas, saideiras, nas filas do RU e nos dias de estudo com os vídeos da professora Ketty Abaroa de Rezende.

Aos *Chingones lindinhos* pela cumplicidade. Vocês são uma família para mim!

A Yasmim Mendonça, pela amizade, dicas e torcida para que tudo desse certo no meu coração.

A Alex Duarte pela parceria nas noites de sexta-feira de estudo no Fundão.

A Isadora Guimarães pela paciência e sugestões na escrita da dissertação.

Ao Fernando Paim, Nathalia Andrade, Cristiano Schmidth, Werley Farias, João Magalhães, José Júnior, Rodrigo Scholsser, Gustavo Matsubara, Carine Norback, Deise Trevizan, Ricardo Fengler, Pedro Goecks e André Fardin pelos momentos compartilhados.

A todos que, de algum modo, contribuíram para a construção desta dissertação, o meu mais sincero obrigada!

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTIMATIVA POR MÉTODOS EMPÍRICOS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO:  
APLICAÇÃO EM UM TELHADO VERDE TROPICAL

Ana Camacho Rincón

Agosto/2018

Orientador: Cláudio Fernando Mahler

Programa: Engenharia Civil

Telhados verdes (GRs) e outros espaços verdes urbanos oferecem inúmeros benefícios ligados a processos de evaporação, incluindo mitigação de ilhas de calor urbano, gerenciamento de águas pluviais e sequestro de carbono, além de um maior conforto visual. A estimativa da evapotranspiração (ET) foi desenvolvida para aplicações agrícolas, na previsão de inundações, na construção e operação de reservatórios. Esta pesquisa foi desenvolvida utilizando uma nova técnica de cobertura verde proposta por SILVA (2016), baseada em hidroponia com enraizamento superficial em material fibroso sintético, e teve como objetivo avaliar a interação dos parâmetros climatológicos no telhado verde como o desempenho dos métodos empíricos de evapotranspiração de referencia ( $ET_0$ ): Hargreaves, Hargreaves-Samani, Bristow-Campbell, Turc, Priestley-Taylor, Jensen-Haise, Blaney-Criddle e Makkink, comparados com o método padrão de Penman-Monteith (PM-FAO 56), nas condições climáticas da região metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil . A análise foi realizada considerando quatro meses, utilizando o *software Statistica 7*, análise de regressão simples, índice de concordância de Willmott e índice de desempenho. Os resultados mostraram que o telhado verde livre de substrato teve um desempenho semelhante ao dos telhados verdes com substrato, e sugeriu que poderia ser usado menos irrigação do que o telhado verde tipo MEG (“*Modern Extensive Greenroofs*”).

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ESTIMATION BY EMPIRICAL METHODS OF EVAPOTRANSPIRATION:  
APPLICATION ON A TROPICAL GREEN ROOF

Ana Camacho Rincón

August/2018

Advisor: Cláudio Fernando Mahler

Department: Civil Engineering

Green roofs (GRs) and other urban green spaces provide numerous benefits linked to evaporative processes, including mitigation of urban heat islands, storm-water management, and carbon sequestration, in addition to an increased visual comfort. Estimation of evapotranspiration (ET) was developed for agriculture applications, in the forecast of floods, in the construction and operation of reservoirs. This research was developed using a new green roof technique proposed by SILVA (2016), based on hydroponics with shallow rooting in a synthetic fibrous material, and had the objective to evaluate the interaction of climatological parameters in the green roof as the performance of empirical methods to estimate reference evapotranspiration ( $ET_0$ ): Hargreaves, Hargreaves-Samani, Bristow-Campbell, Turc, Priestley-Taylor, Jensen-Haise, Blaney-Criddle, and Makkink, compared to the standard Penman-Monteith method (PM-FAO 56) under the climatic conditions of metropolitan Rio de Janeiro, Brazil. The analyzes were performed considering four months, using the software Statistica 7, simple regression analysis, and Willmott concordance index and performance index. The results showed that substrate-free green roof performed similarly to substrate green roofs and suggested that less irrigation could be used than MEG (Modern Extensive Greenroofs) green roof.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação .....	2
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Organização da dissertação .....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	O impacto da urbanização .....	5
2.1.1	Causas e efeitos da Urbanização .....	5
2.2	Telhado verde .....	8
2.2.1	Componentes e tipos de telhado verde .....	9
2.2.2	Benefícios do uso do telhado verde.....	12
2.2.3	Projetos e pesquisas internacionais .....	12
2.3	Evapotranspiração .....	14
2.3.1	Modelos empíricos de $ET_o$ .....	17
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
3.1	Caracterização da área de estudo.....	22
3.1.1	Micro ecossistema .....	25
3.2	Metodologia experimental.....	28
3.2.1	Sensores térmicos .....	28
3.2.2	Estação meteorológica.....	29
3.2.3	Reservatório.....	30
3.3	Metodologia Numérica.....	32
3.3.1	Métodos de Evapotranspiração.....	32
3.3.2	Análise estatística .....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSÃO.....</b>	<b>42</b>
4.1	Resultados meteorológicos .....	42
4.2	Resultados térmicos .....	45
4.3	Resultado pluviométrico.....	48
4.4	Resultados dos Métodos de Evapotranspiração .....	50
4.5	Resultados do Análise estatístico .....	54
4.5.1	Software Statistica 7 .....	54

4.5.2	Métodos estatísticos.....	56
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXO I – Classificação do tipo de telhado verde dependendo o tipo de uso, fatores de construção e requerimentos de manutenção.....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXO II – Listagem das espécies sobreviventes no telhado verde e suas características (Nomes científicos atualizados segundo o banco de dados taxonômicos online <a href="http://tropicicos.org/">http://tropicicos.org/</a>); Grau de conservação obtidos a partir de IUCN red list, Martinelli &amp; Moraes (2013), CNCFLORA ou CITES Apêndice II.</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXO III – Imagens dos dados climatológicos do 08/01/18 as 14 horas via online no site <i>Weather Underground</i>.....</b>	<b>99</b>
	<b>ANEXO IV – Tabela de conversões.....</b>	<b>100</b>
	<b>ANEXO V – Relação da Temperatura máxima do ar com os métodos de ET<sub>o</sub> empregados.....</b>	<b>101</b>
	<b>ANEXO VI – Métodos de ET<sub>o</sub> empregados e observações.....</b>	<b>106</b>
	<b>ANEXO VII – Histogramas dos parâmetros com o Software <i>Statistica 7</i>.....</b>	<b>107</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Extensão territorial e Densidade demográfica. ....	5
Figura 2.2 - Projeto da maior cobertura verde do mundo.....	9
Figura 2.3 - Esquema do telhado verde. ....	10
Figura 2.4 - Projetos de paredes e telhados verdes no mundo.....	13
Figura 3.1 - Localização do Telhado Verde no dia 20 de julho de 2018. Fonte: Google Earth. ....	22
Figura 3.2 - Área de estudo. ....	23
Figura 3.3 - Sistema em corte transversal mostrando o telhado estrutural com as três camadas, Geotêxtil RT10 de assentamento; Membrana impermeabilizante de PVC; e Geotêxtil RT16 como o meio de enraizamento. ....	24
Figura 3.4 - Caso de estudo, foto de 29 de julho de 2018. ....	25
Figura 3.5 - Plantas com diferentes hábitos das espécies existentes no telhado verde A)Psamófila; B)Epífita; C)Litófita. ....	26
Figura 3.6 - Diversidade da vegetação no telhado verde experimental.....	26
Figura 3.7 - Plantas predominantes no telhado verde; A)Suculentas, B)Bromelia-tanque. ....	27
Figura 3.8 - Esquema de dois tipos de Bromelias-tanque. ....	27
Figura 3.9 - Sensores térmicos da superfície do telhado. ....	28
Figura 3.10 - Estação meteorológica. ....	30
Figura 3.11 - Componentes do sistema de coleta de água de chuva. Sendo a.1) Calha de PVC; a.2) Condutores de PVC; a.3) Entrada ao reservatório, b.1) Coluna com medição a cada 1cm; b.2) Caixa d'água com capacidade de 2500L, c) Sonda de Nível Tipo Hidrostático VKL-214 e d.1) Condutor de saída do reservatório. ....	31
Figura 3.12 - Esquema do sistema de coleta de água, o reservatório e a localização da estação meteorológica utilizada na pesquisa. ....	31
Figura 4.1 - Média diária dos parâmetros que afetam a evapotranspiração .....	44
Figura 4.2 - Relação da temperatura do ar externa e interna. ....	45
Figura 4.3 - Relação temperatura do ar-ET <sub>o</sub> (PM).....	46
Figura 4.4 - Relação Temperatura máxima-ET <sub>o</sub> regiões áridas-semiáridas. ....	47
Figura 4.5 - Relação Temperatura máxima-ET <sub>o</sub> regiões úmidas-costeiras. ....	47

Figura 4.6 - Relação Temperatura máxima-ET <sub>o</sub> diversas regiões. ....	48
Figura 4.7 - Evento de chuva do 30 de janeiro. ....	49
Figura 4.8 - Precipitação e temperatura no periodo de estudo. ....	50
Figura 4.9 - Métodos médios mensais de ET <sub>o</sub> comparados com o método de ET <sub>o</sub> (PM). .....	51
Figura 4.10 - Métodos de ET <sub>o</sub> . Método padrão; PM, métodos empregados em regiões áridas ou semiáridas; H, JH, BC1 e BC 2, métodos empregados em regiões úmidas ou costeiras; PT, Turc e MK, métodos empregados em diversas regiões; HS e B.....	53
Figura 4.11 - Análises dos principais parâmetros climatológicos e os métodos de evapotranspiração de referência empregados. ....	54
Figura 4.12 - Histograma dos dados com o método de ET <sub>o</sub> Penman-Monteith. ....	55
Figura 4.13 - Dendograma (Método Ward).....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Métodos utilizados na determinação da evapotranspiração. ....	18
Tabela 2.2 - Métodos empíricos utilizados para determinar a evapotranspiração potencial. .....	19
Tabela 3.1 - Especificações dos parâmetros medidos pela estação meteorologica <i>Ambient Weather Observe</i> WS 1001 Wifi. ....	29
Tabela 3.2 - Componentes da estação meteorológica <i>Ambiente Weather</i> WS 1001. ....	30
Tabela 3.3 - Variáveis necessárias da estação meteorologica para determinar a $ET_o$ . ....	32
Tabela 3.4 - Média de Porcentagem Diária das Horas Diurnas Anuais (p) para Meses Diferentes. ....	39
Tabela 3.5 - Classificação do índice de confiança (c) .....	41
Tabela 4.1 - Eventos de chuva do dia 30 de janeiro .....	49
Tabela 4.2 - $ET_o$ média mensal ( $mm\ d^{-1}$ ).....	51
Tabela 4.3 - Análise estatística da correlação entre os métodos empregados nas regiões áridas ou semiáridas e o método Penman-Monteith FAO 56, nas escalas mensal, bimestral, trimestral e quadrimestral. ....	56
Tabela 4.4 - Resultados na literatura do desempenho dos métodos empregados nas regiões áridas ou semiáridas no Brasil. ....	57
Tabela 4.5 - Análise estatística da correlação entre os métodos empregados nas regiões úmidas ou costeiras e o método Penman-Monteith FAO 56, nas escalas mensal, bimestral, trimestral e quadrimestral .....	58
Tabela 4.6 - Resultados na literatura do desempenho dos métodos empregados nas regiões úmidas ou costeiras no Brasil. ....	59
Tabela 4.7 - Análise estatística da correlação entre os métodos empregados em diversas regiões e o método Penman-Monteith FAO 56, nas escalas mensal, bimestral, trimestral e quadrimestral .....	60
Tabela 4.8 - Resultados na literatura do desempenho dos métodos empregados em diversas regiões no Brasil. ....	60

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>a.C.</b>	Antes de Cristo
<b>Abr</b>	Abril
<b>Ago</b>	Agosto
<b>B</b>	Bristow e Campbell
<b>BC</b>	Blaney e Criddle
<b>CAM</b>	<i>Crassulacean Acid Metabolism</i>
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>CRM</b>	Coefficiente de Massa Residual
<b>Dez</b>	Dezembro
<b>DVP</b>	Déficit da Pressão de Vapor
<b>ESE</b>	Erro Padrão Estimado
<b>ET</b>	Evapotranspiração
<b>ET<sub>eq</sub></b>	Evapotranspiração em equilíbrio
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>FAO</b>	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
<b>Fev</b>	Fevereiro
<b>H</b>	Hargreaves
<b>HS</b>	Hargreaves e Samani
<b>IAF</b>	Índice de Área de Folha
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>ICU</b>	Ilha do Calor Urbano
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>Jan</b>	Janeiro
<b>JH</b>	Jensen e Haise
<b>Jul</b>	Julho
<b>Jun</b>	Junho
<b>lat</b>	Latitude
<b>Mar</b>	Março
<b>MEGs</b>	<i>Modern Extensive Greenroofs</i>
<b>Mk</b>	Makkink

<b>Nov</b>	Novembro
<b>Out</b>	Outubro
<b>PT</b>	Priestley e Taylor
<b>PVC</b>	Policloreto de polivilina
<b>RJ</b>	Rio de Janeiro
<b>Set</b>	Setembro
<b>SUDS</b>	<i>Sustainable Urban Drainage Systems</i>
<b>TPGs</b>	<i>Tar Paper Greenroofs</i>
<b>U.S.</b>	<i>United States</i>
<b>UV</b>	Radiação ultravioleta

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>a</b>	Coeficiente do método de Thornthwaite
<b>a</b>	Coeficiente do método Blaney-Criddle
<b>b</b>	Coeficiente do método Blaney-Criddle
<b>c</b>	Índice de confiança
<b>d</b>	Índice de concordância
<b>d<sub>r</sub></b>	Distância relativa Sol-Terra
<b>e<sub>a</sub></b>	Pressão de vapor de água atual
<b>E<sub>a</sub></b>	Poder de evaporação do ar
<b>E<sub>abs</sub></b>	Erro absoluto
<b>E<sub>rel</sub></b>	Erro relativo
<b>e<sub>s</sub></b>	Pressão de saturação do vapor de água
<b>ET<sub>c</sub></b>	Evapotranspiração da cultura sob condições padrão
<b>ET<sub>c adj</sub></b>	Evapotranspiração da cultura sob condições não padronizadas
<b>ET<sub>o</sub></b>	Evapotranspiração de referência ou potencial
<b>ET<sub>eq</sub></b>	Evapotranspiração em equilíbrio
<b>ET<sub>r</sub></b>	Evapotranspiração real
<b>E<sub>v</sub></b>	Lâmina da evaporação do tanque “Classe A”
<b>G</b>	Fluxo de calor no solo
<b>H</b>	Aquecimento do ar
<b>I</b>	Índice de calor anual
<b>j</b>	Dia Juliano
<b>K</b>	Fator de ajuste pelo método de Camargo
<b>K<sub>c</sub></b>	Coeficiente da cultura
<b>K<sub>cb</sub></b>	Coeficiente de cultura basal
<b>K<sub>e</sub></b>	Coeficiente de evaporação do solo
<b>K<sub>p</sub></b>	Coeficiente de conversão da ET do tanque “Classe A”
<b>K<sub>s</sub></b>	Coeficiente de estresse hídrico
<b>N</b>	Foto período do 15º dia do mês
<b>n</b>	Insolação horaria
<b>N</b>	Número de observações (Análises estatística)

<b>ND</b>	Número de dias do mês
<b>O</b>	ETo média estimada pelo método padrão
<b>O<sub>i</sub></b>	ETo estimada pelo método padrão
<b>p</b>	Porcentagem do total médio foto período mensal
<b>P</b>	ETo média estimada pelo método considerado
<b>P<sub>a</sub></b>	Pressão atmosférica
<b>P<sub>i</sub></b>	ETo estimada pelo método considerado
<b>P<sub>t</sub></b>	Densidade de vapor d'água saturada
<b>r</b>	Coefficiente de correlação (análise estatístico)
<b>r</b>	Resistência da cultura
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficiente de determinação
<b>R<sub>a</sub></b>	Radiação solar no topo da atmosfera (extraterrestre)
<b>R<sub>n</sub></b>	Radiação solar líquida total
<b>R<sub>nc</sub></b>	Radiação de onda curta
<b>R<sub>nl</sub></b>	Radiação de onda longa
<b>R<sub>s</sub></b>	Radiação solar incidente (global)
<b>R<sub>se</sub></b>	Radiação solar ao nível do solo
<b>R<sub>sB</sub></b>	Radiação solar pelo método Bristow-Campbell
<b>R<sub>sH</sub></b>	Radiação solar pelo método Hargreaves
<b>R<sub>so</sub></b>	Radiação de onda longa para dias claros
<b>T<sub>i</sub></b>	Temperatura do ar no mês
<b>T<sub>i-1</sub></b>	Temperatura do ar no mês anterior
<b>T<sub>m</sub></b>	Temperatura média do ar
<b>T<sub>max</sub></b>	Temperatura máxima do ar
<b>T<sub>min</sub></b>	Temperatura mínima do ar
<b>T<sub>po</sub></b>	Temperatura média do ponto de orvalho
<b>U<sub>2</sub></b>	Velocidade do vento
<b>UR<sub>m</sub></b>	Umidade relativa do ar média mensal
<b>UR<sub>min</sub></b>	Umidade relativa mínima mensal
<b>U<sub>z</sub></b>	Velocidade obtida na estação automática ou convencional
<b>W</b>	Fator de ponderação pelo método de Makkink
<b>Z</b>	Altura em que foi coletado o dado

**z , h**

Altitude do local

## GREGOS

$\gamma$	Fator psicrométrico
$\Delta$	Declinação da curva de saturação do vapor de água
$\delta$	Inclinação solar
$\lambda$	Calor latente de evaporação
$\lambda E$	Saldo total de radiação da superfície da evaporação
$\pi$	Pi=3.14159265359
$\sigma$	Constante de Stefan Boltzmann = $5,670367 \times 10^{-8} \text{ kg s}^{-3} \text{ K}^{-4}$
$\varphi$	Altitude em módulo (graus)
$\phi$	Latitude do lugar (rad)
$\phi^*$	Latitude do lugar (graus)
$\omega_s$	Ângulo solar

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a crise ambiental, principalmente a poluição e escassez da água, são problemas atuais, os quais são agravados em virtude da desigualdade social causando um crescimento intenso de assentamentos urbanos informais e a falta de infraestrutura para o manejo e usos da água.

No Brasil, o censo demográfico de 2010 feito pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) mostrou que nas últimas décadas houve um incremento de 84,4% da população vivendo em cidades. No ano de 2017 o IBGE estimou que, dentre as maiores cidades no País, São Paulo continua sendo a mais populosa, com 12,1 milhões de habitantes, seguida pelo Rio de Janeiro, com 6,5 milhões de habitantes, e Brasília e Salvador, com cerca de 3,0 milhões de habitantes cada.

Esses aglomerados urbanos afetam o ciclo natural da água devido à retirada da mesma para abastecimento urbano e ao aumento das superfícies impermeáveis, que acompanham o surgimento das cidades, o qual reduz a capacidade de infiltração. Esses dois fatores levaram à criação de diferentes sistemas de drenagem em áreas urbanas, denominadas de águas residuais e de águas pluviais. Como resultado, o tratamento da água minimiza os problemas na saúde humana e na qualidade ambiental (BUTLER e MEMON, 2006).

Outro dos efeitos da urbanização, é o incremento da temperatura do ar, no verão gerando a ilha do calor urbano (ICU) e em consequência um aumento no consumo de energia devido ao ar condicionado, contribuindo assim para o aquecimento global (YILMAZ *et al.*, 2012)

Uma alternativa para mitigar os problemas citados está no uso de telhados verdes. Os telhados verdes com finalidade de conforto térmico em edificações, conduzem a uma redução no consumo de energia elétrica, além de também reduzir a quantidade de água escoada para os sistemas de drenagem, em relação aos telhados convencionais. É uma realidade que se confirma em países como Alemanha, França, Estados Unidos, Japão,

Inglaterra e China, onde os telhados verdes são utilizados para economizar recursos, melhorar o conforto térmico e reduzir inundações (JIM, 2017).

Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, esse estudo é relativamente recente e há poucos registros de implementação, principalmente em larga escala.

A medição e estimativa da evapotranspiração é um dos fatores necessários para projetar um telhado verde e ter um maior benefício deste, por exemplo, a gestão de águas pluviais urbanas (MITCHELL *et al.*, 2008; DENICH e BRADFORD, 2010), a previsão do clima urbano e da poluição do ar (CHRISTEN e VOGT, 2004), o impacto da urbanização sobre o ciclo de carbono (PATAKI *et al.*, 2006), entre outros.

A captação e o manejo da água possibilitam gerar impacto no balanço hídrico, térmico e energético do sistema, diretamente ligados aos processos de evapotranspiração, determinando o sucesso do empreendimento, tanto economicamente quanto em termos de conforto.

## **1.1 Motivação**

O telhado verde é uma técnica utilizada e estudada em diversos países pelos múltiplos benefícios que proporciona. No Brasil ainda é uma tecnologia nova e os reduzidos estudos em zonas tropicais fazem com que poucas pessoas adotem essa técnica (SILVA, 2016).

SILVA (2016) propôs uma nova técnica de telhado verde, a qual não utiliza substrato, estudando, principalmente, a mitigação do calor interno das edificações, sendo testada em duas residências, uma em Niterói, e outra, de baixa renda, em uma edificação unifamiliar na favela do Arará, Rio de Janeiro.

O telhado verde se destaca entre técnicas de drenagem urbana, com benefícios no aproveitamento das águas de chuva para fins não potáveis, além de minimizar o risco de inundações (COSTA *et al.*, 2012). As enchentes nas grandes cidades, ocorridas em parte pela impermeabilização do solo, podem ser significativamente reduzidas com o uso dessa técnica, que é uma possibilidade interessante para melhorar a qualidade da vida das

peças, combinando conforto térmico, poupança de energia, oferta complementar de água e controle de inundações.

Assim, a principal motivação deste estudo é analisar dez métodos de evapotranspiração existentes, para se determinar qual propicia melhores informações ao dimensionamento do telhado verde em zonas tropicais.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo geral do trabalho é quantificar, analisar e comparar os valores obtidos de evapotranspiração através do método padrão de Penman-Monteith (FAO 56), usando como estudo de caso uma nova técnica de telhado verde estudada por SILVA (2016) em uma edificação unifamiliar, construída e monitorada no Estado do Rio de Janeiro.

Os objetivos específicos são:

- Estudar em escala real as condições atmosféricas existentes com a performance de uma nova técnica de telhado verde;
- Testar em escala real e sob condições tropicais, a temperatura externa e interna do ar na edificação com a nova técnica de telhado verde;
- Avaliar a quantidade de água de chuva captada entre o telhado e o reservatório;
- Analisar a evapotranspiração de uma nova técnica de telhado verde em zona tropical, utilizando dez modelos existentes;
- Identificar o modelo que melhor se aplica em zonas tropicais para a nova técnica de telhado verde.

## **1.3 Organização da dissertação**

Este trabalho está organizado em sete capítulos. No presente capítulo, apresentou-se uma breve introdução, na qual se expõem a motivação da realização do trabalho, o objetivo geral e os específicos, além da estrutura do trabalho.

O capítulo 2 trata da revisão bibliográfica, onde são expostos as causas e os efeitos da urbanização, o histórico e a evolução da utilização do telhado verde e seus estudos,

além de alguns conceitos importantes relacionados à evapotranspiração e à importância de avaliá-la para o dimensionamento do telhado verde.

O capítulo 3 apresenta o caso a ser estudado junto com informações da vegetação e da edificação, além da metodologia experimental e numérica utilizada nesta pesquisa.

O capítulo 4 exibe os resultados e a discussão dos diferentes métodos de evapotranspiração utilizados na pesquisa além das análises estatísticas e dos fatores meteorológicos que afetam 82% da variação na evapotranspiração.

O capítulo 5 apresenta as conclusões gerais do trabalho.

O capítulo 6 indica as sugestões para futuras pesquisas.

No final da dissertação estão listadas as referências bibliográficas e por fim são incluídos os ANEXOS com dados adicionais das medições e dos cálculos realizados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O impacto da urbanização

Na atualidade, a maioria da população mora em áreas urbanas. Segundo o Departamento das Nações Unidas para Assuntos Econômicos e Sociais (2018), 55% da população mundial vive em áreas urbanas, sendo esperado um aumento para 68% até o ano de 2050. Em relação à distribuição da população urbana por continente, observa-se que a América do Norte possui 82% de sua população em áreas urbanas, a América Latina e o Caribe possuem 81%, a Europa 74% e a Oceania 68%. A Ásia está se aproximando dos 50% de população em áreas urbanas. Em contraste, na África, 57% da população se encontra em áreas rurais.

A Figura 2.1, mostra dados estatísticos do *The World Bank Group*, nos quais são apresentados os cinco países com maior extensão territorial e os cinco com maior densidade populacional, para o ano base de 2017. Três dos cinco países com maior extensão territorial se encontram também entre os cinco países com maior densidade demográfica.

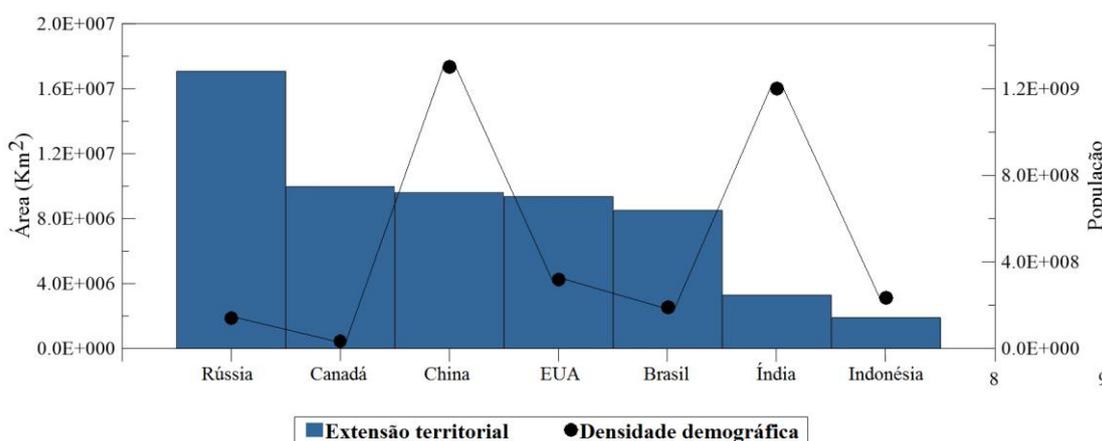


Figura 2.1 - Extensão territorial e Densidade demográfica.  
Fonte: The World Bank Group.

#### 2.1.1 Causas e efeitos da Urbanização

De acordo com *U.S. National Library of Medicine* (2002), a urbanização é o processo pelo qual uma sociedade muda de um modo de vida rural para um urbano, ou o aumento gradual da proporção de pessoas que vivem em áreas urbanas.

Pode-se atribuir o aumento da proporção de que pessoas que vivem em áreas urbanas a desastres ambientais, guerras, perseguições políticas, étnicas ou culturais, busca por maiores oportunidades, busca de trabalho e melhores condições de vida, êxodo rural, consequência da industrialização, envelhecimento populacional, expansão dos latifúndios, entre outros.

O crescimento populacional nas cidades leva consigo uma variedade de repercussões negativas no âmbito sociocultural, socioeconômico e ambiental, como visto a seguir (DOCIU e DUNARINTU, 2012; UTTARA *et al.*, 2012; AROURI *et al.*, 2014; ZAREMBA, 2015; STEFFERUD, 2016).

### **Sociocultural**

- Mudança na taxa de crescimento populacional, com um número reduzido de membros;
- Participação das mulheres no âmbito laboral;
- Desenvolvimento de novas áreas urbanas sem cumprir as medidas necessárias para o desenvolvimento de áreas sustentáveis;
- Falta ao acesso à educação e saúde;
- Pobreza, falta de oportunidades e problemas de adaptação psicológica.

### **Socioeconômica**

- A habitação e infraestrutura têm um alto custo;
- Expulsão dos pobres para a periferia;
- Maiores problemas de congestionamento;
- O desenvolvimento é dominado pelo capital privado;
- Aumento de desemprego;
- Abuso de drogas, crime e falta de moradia.

### **Ambiental**

- Carência de arborização;
- Elevação da temperatura superficial gerando “Ilha de calor de urbana”;

- Grande quantidade de resíduos sólidos;
- Poluição do ar e do solo, com o excesso de gases poluentes e a falta de saneamento básico
- Poluição sonora gerada pelo excesso de ruídos, tais como trânsito de veículos, obras nas ruas, sirenes e alarmes, entre outras;
- Poluição visual ocasionada pelo excesso de anúncios, placas, totens, os quais escondem a fachada das casas, edifícios e da paisagem natural;
- Poluição da água resultado da má infraestrutura de esgotos e da eliminação de metais pesados das indústrias;
- Residências irregulares construídas em encostas de morros podem estar expostas a deslizamentos;
- Falhas nas redes de drenagem devido ao aumento do escoamento superficial das águas pluviais, gerado pela impermeabilização, típica do processo de urbanização;
- Aumento de risco de inundações pela ocupação de áreas marginais aos cursos d'água, que ainda são responsáveis por diminuir os espaços naturais de espraiamento dos volumes de cheia, aumentando a susceptibilidade a inundações da cidade como um todo.

A necessidade de melhoria na qualidade de vida em zonas urbanas leva a um conjunto de desafios. Algumas estratégias para reparar alguns dos impactos supracitados e ter como objetivo principal chegar a um desenvolvimento sustentável urbano, são:

- Mobilidade urbana: investimento em transporte público mais ecológico, ciclovias;
- Planejamento urbano: códigos de construção rigorosa que favoreçam a tecnologia verde; converter ruas em calçadas, criar parques e praças públicas como destinos com múltiplas funções, bairros auto-suficientes;
- Geração de eletricidade usando recursos naturais inesgotáveis;
- Acesso a alimentos saudáveis e baratos;
- Implemento de paredes e telhados verdes para a redução dos efeitos de ilha de calor urbano e poluição ambiental além de uma melhora na drenagem urbana.

## 2.2 Telhado verde

Os termos telhado verde, telhados vivos, coberturas verdes, coberturas vivas, coberturas vegetais, biotelhas, ecotelhado, “*greenroofs*” e outras expressões encontradas na literatura para definir a cobertura com uso de vegetação plantada sobre a mesma, é uma prática antiga, começando com os Jardins Suspensos da Babilônia construídos no século VI a.C., hoje, sul do Iraque. Nessas regiões existiu um grande número de construções com cobertura verde, devido ao seu ótimo desempenho térmico, já que em climas quentes, limitam a passagem do calor para dentro das edificações e em climas frios retêm por mais tempo o calor (OSMUNDSON, 1999).

Com o tempo, diversas civilizações empregavam coberturas com vegetação para proteger das chuvas e ventos, alguns cultivavam vinhas e outras árvores nas coberturas dos edifícios (JIM, 2017; PIEPER, 1987; DONNELLY, 1992; PECK *et al.*, 1999).

O interesse no passar do tempo pelos países da Europa, principalmente Alemanha, Suíça, Áustria e Escandinávia, deve-se especialmente às preocupações crescentes quanto à qualidade degradada do ambiente urbano e ao rápido declínio do espaço verde em áreas intensamente desenvolvidas, sendo Suíça e Alemanha aquelas que desenvolveram e aperfeiçoaram a maioria das tecnologias do telhado verde, tendo este último país vivenciado um desenvolvimento em larga escala, em dois períodos distintos. O primeiro período vai de 1880 a 1930 com os “TPGs” (“*Tar Paper Greenroofs*”), no qual o telhado era impermeabilizado com alcatrão. O segundo período iniciou-se na década de 1980, com o desenvolvimento dos “MEGs” (“*Modern Extensive Greenroofs*”) (KÖHLER e POLL, 2010), atualmente a tecnologia mais utilizada.

A Alemanha apresentou um incremento no seu uso pelo estímulo, em grande parte, oferecido pela legislação estadual e concessões do governo municipal (PECK *et al.*, 2002), além das investigações realizadas com ênfase na biodiversidade, substrato, construção de telhados e diretrizes de projeto (BERNDTSSON, 2010).

Em consequência da primeira iniciativa da Alemanha e subsequentemente por países europeus vizinhos, os telhados verdes tornaram-se populares em outras partes do mundo, principalmente no Canadá, Austrália, Singapura, Japão e Estados Unidos

(VIJAYARAGHAVAN, 2016), sendo que neste último país foi projetado o maior telhado verde do mundo pelo arquiteto uruguaio Rafael Viñoly em parceria com *Olin Landscape Architect*, construído na cidade de Cupertino, na Califórnia, localizado no coração do *Silicon Valley*, com aproximadamente 12 hectares (Figura 2.2).



Figura 2.2 - Projeto da maior cobertura verde do mundo.  
Fonte: VIÑOLY (2017).

### **2.2.1 Componentes e tipos de telhado verde**

Muitos estudos de telhados verdes têm sido feitos ao tempo, com o objetivo de otimizar a edificação, procurando o maior conforto e um ciclo de vida maior no prédio (PISELLO *et al.*, 2015; SZOTA *et al.*, 2017; JIM, 2017; BESIR e CUCE, 2018). Cada projeto de telhado verde tem características únicas e específicas, podendo, em alguns casos, ter semelhanças com outros na mesma área. O projeto dependerá do tipo da edificação, da radiação solar, dos eventos de chuva, da inclinação do telhado e sua estrutura, da vegetação adotada, para avaliar a capacidade de carga extra. Com estas características em mãos o projetista define o tipo de telhado, a vegetação, o substrato e os componentes estruturais do telhado.

Segundo OLIVEIRA (2009) o tipo de telhado “MEG” (“*Modern Extensive Greenroof*”) está composto por diferentes componentes, sendo eles:

- Laje: Elemento estrutural onde devem ser consideradas as cargas permanentes e as cargas acidentais;

- Camada de impermeabilização: para impedir a infiltração de água na laje, utilizando filme plástico, mistura de água cimento e látex ou sika, manta asfáltica e outros produtos comerciais, além de produtos químicos anti-raízes;
- Camada de isolamento térmico: embora alguns trabalhos levem em consideração o uso desta, a própria composição do telhado verde pode funcionar eficientemente para o conforto térmico das construções;
- Camada de proteção mecânica: para impedir danos na impermeabilização;
- Camada de drenagem: responsável pela regulação da retenção de água e da drenagem rápida e eficiente do excesso desta;
- Camada de filtragem (obrigatório): impede a passagem dos substratos, para a camada de drenagem, o que prejudicaria o sistema de drenagem e a circulação do ar;
- Camada de substrato: camada onde se encontram os nutrientes que dão suporte à vegetação, retendo e absorvendo água;
- Camada de vegetação: consiste na cobertura vegetal propriamente dita e que vai depender do tipo de telhado verde proposto.

A Figura 2.3 apresenta os componentes do telhado verde, o qual varia dependendo do tipo de telhado e o recurso econômico (material) do projeto.



Figura 2.3 - Esquema do telhado verde.  
 Fonte: VIJAYARAGHAVAN (2016) (Tradução própria).

Os telhados verdes geralmente são classificados em extensivos, semi-intensivos e intensivos, com respeito ao peso, à camada do substrato, manutenção, custo, tipo de vegetação e irrigação ilustrados no ANEXO I (YANG *et al.*, 2008; THEODOSIOU, 2009; BERNDTSSON, 2010; PISELLO *et al.*, 2015; VIJAYARAGHAVAN, 2016).

Um telhado verde intensivo é um jardim do telhado com profundidade considerável na camada de substrato, e um telhado verde extensivo requer menos profundidade do substrato e assume a automanutenção do telhado e menos necessidade de água. Segundo ARAÚJO (2007), os telhados são classificados em acessíveis, de forma que podem ter uma área aberta ao uso de pessoas, como um jardim suspenso ou um terraço, e inacessíveis, onde não se permite a circulação de pessoas, podendo ser planos, curvos e com inclinações. Outro tipo de telhado verde é o sistema hidropônico (PECK *et al.*, 2002.), o qual está baseado segundo o tipo de vegetação, a espessura dos meios de cultivo, acessibilidade, material de construção, gestão e utilização alocada

Os telhados verdes são capazes de proporcionar vários benefícios para as áreas urbanas em termos de aspectos ambientais e estéticos (MOLINEUX *et al.*, 2009; JIM e TSANG, 2011c; SUN *et al.*, 2013; ROLA, 2008; MOGHBEL e SALIM, 2017).

Telhados verdes são uma antiga e ecológica tecnologia para problemas ambientais urbanos. De acordo com TANG e QU (2016) a eficiência energética, o isolamento térmico, o sombreamento e a evapotranspiração destacam o papel fundamental dos telhados verdes no desempenho térmico geral de edificações e condições microclimáticas de ambientes internos. Segundo com BERNDTSSON (2010) e SZOTA *et al.* (2017), as plantas fornecem o mecanismo principal para restaurar a capacidade de retenção de precipitação, associada a evapotranspiração, ocorrendo uma defasagem do tempo entre o pico de vazão de escoamento de um telhado convencional e de um telhado verde, gerando uma atenuação do volume de água da drenagem superficial gerado pelas cidades.

Os telhados verdes são considerados como elementos do Sistema de drenagem urbana sustentável (SUDS- *Sustainable Urban Drainage Systems*) (WOODS-BALLARD *et al.*, 2007). Dentre os objetivos dos SUDS destacam-se: o controle quantitativo do escoamento superficial; melhoria da qualidade da água do escoamento superficial; conservação das características naturais dos corpos d'água; e o balanço das variáveis hidrológicas na bacia hidrográfica (CHARLESWORTH *et al.*, 2003; POLETO e TASSI, 2012).

### **2.2.2 Benefícios do uso do telhado verde**

O uso do telhado verde é altamente eficiente em ambos os climas, quente e frio, utilizado nas grandes e pequenas edificações, tendo um impacto interno e externo do local. Os benefícios compreendem:

- Redução da variação da temperatura interior e diminuição do nível de consumo de energia da edificação (CASTLETON *et al.*, 2010; MORAU *et al.*, 2012; JAFFAL *et al.*, 2012);
- Diminuição do efeito da ilha do calor urbano (CHEN, 2013; OBERNDORFER *et al.*, 2007);
- Redução da pegada de carbono (LI *et al.*, 2010; FENG *et al.*, 2010);
- Maior resistência a incêndios (KÖHLER, 2003);
- Mitigação e atenuação da poluição do ar e melhoria na qualidade do ar urbano (CHEN, 2013; CURRIE e BASS, 2008; ZHANG *et al.*, 2012);
- Gestão de águas pluviais (BERNDTSSON, 2010; CHEN, 2013; OBERNDORFER *et al.*, 2007);
- Qualidade da água de escoamento superficial (*runoff*) (BERNDTSSON, 2010; KOSAREO e RIES, 2007; VIJAYARAGHAVAN *et al.*, 2012);
- Isolamento acústico (VAN RENTERGHEM e BOTTELDOOREN, 2009; VAN RENTERGHEM e BOTTELDOOREN, 2011);
- Recuperação do habitat perdido (CHEN, 2013; OBERNDORFER *et al.*, 2007);
- Cultivo de alimentos (BROWN e JAMETON, 2000; NOWAK, 2004);
- Biodiversidade e melhora da paisagem (KSIAZEK *et al.*, 2012; BAIK *et al.*, 2012; WHITTINGHILL *et al.*, 2013);
- Benefício do bem-estar (psicológico e estético) (OLIVEIRA, 2009).

### **2.2.3 Projetos e pesquisas internacionais**

Existem diversas associações que registram os projetos de maior área de paredes e telhados verdes no mundo, a Figura 2.4, mostra o número de megaprojetos construídos, desde antes de 1950 até hoje. Segundo o banco de dados da *International Green Roof Association* são 1710 em todo o mundo.

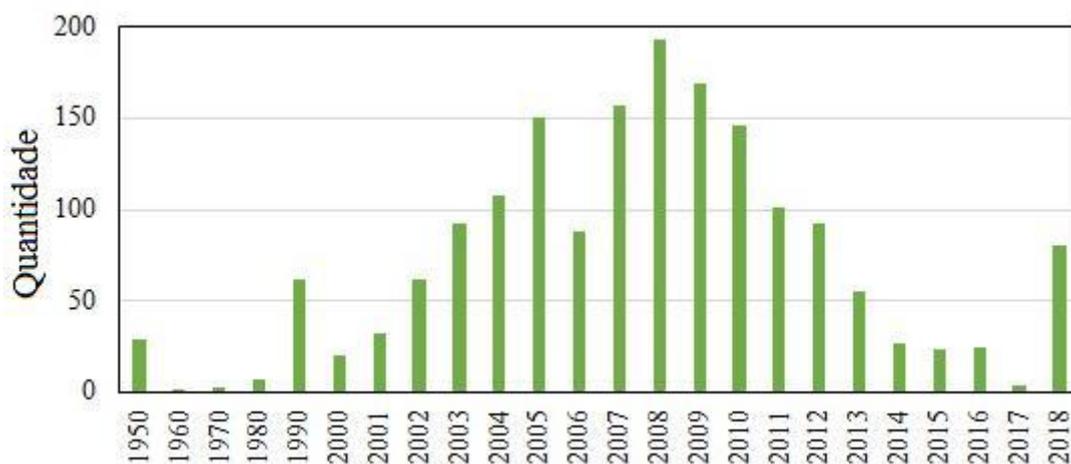


Figura 2.4 - Projetos de paredes e telhados verdes no mundo.

Fonte: *International Green Roof Association* (2018).

A comparação anual entre projetos permite observar que houve um incremento de telhados verdes no começo do século XXI, alcançando seu auge em 2008. Após esse ano, observou-se grande decaimento, causado pela crise econômica global dos mercados financeiros em 2008-2009. O ano de 2018, porém, mostra que a tendência de implementação de telhados verdes voltou a ser uma realidade atual.

De acordo com ROCHA (2016), 15% dos telhados alemães são cobertos com telhados verdes, sendo o país líder desta tecnologia. No ano de 2015 foram instalados, nesse país, mais de 8 milhões de m<sup>2</sup>, crescendo e disseminando na Europa e América do Norte, principalmente. O Brasil tem estimativa de 200 m<sup>2</sup> por ano, próximos aos números dos norte-americanos. Comparando com as coberturas secas, telhado não verde, é estimado que menos de 0,1% são coberturas vegetais no mundo.

Segundo RAJI *et al.* (2015), os telhados são responsáveis por quase 20 a 25% das áreas urbanas globais. Por tanto, têm um grande potencial de afetar as edificações e o ambiente urbano.

Durante anos têm sido estudadas e analisadas as propriedades térmicas, hidrológicas, evapotranspirativas, energia, além do substrato, a vegetação, a irrigação e os comportamentos em conjunto e em separados. A maioria dos estudos é em zona temperada, na qual a variação dos dados é maior, distinto de zonas tropicais como o Brasil (SILVA, 2016; ROLA, 2008; PARIZOTTO e LAMBERTS, 2011; LAAR e GRIMME,

2006; TAN e SIA, 2005), consequência, da resistência à aplicação do telhado verde, seja porque a má execução deste pode levar a uma deterioração estrutural, seja pelo elevado custo na construção e manutenção dos telhados tipo MEG, e as condições estressantes vigentes em telhados verdes instalados em climas tropicais úmidos, nas quais somente espécies de plantas adaptadas a condições extremas teriam sucesso (SILVA, 2016).

### **2.3 Evapotranspiração**

De acordo com ALLEN *et al.* (1998) a evapotranspiração (ET) é o esforço combinado da evaporação do armazenamento de água superficial ou superfície molhada, bem como a perda de água através da transpiração da planta. Havendo uma dificuldade para quantificá-los separadamente, por ocorrerem simultaneamente, são avaliados em forma conjunta.

A evapotranspiração é um fenômeno natural que influencia diretamente no funcionamento do ecossistema e responde às mudanças nos regimes hidrológicos e climatológico local e global (FISHER *et al.*, 2017). A estimativa correta da ET contribui para o uso racional dos recursos hídricos, a gestão agrícola, o balanço energético e hídrico, entre outros.

Um dos fatores que impactam no balanço hídrico e energético no telhado verde, bem como a mitigação da urbanização, é a evapotranspiração. De acordo com DIGIOVANNI *et al.* (2013), existem pesquisas as quais quantificam a diversidade dos bens e serviços do ecossistema em espaços verdes urbanos e a relação deles com a evapotranspiração, por exemplo, a gestão de águas pluviais urbanas (MITCHELL *et al.*, 2008; DENICH e BRADFORD, 2010); a previsão do clima urbano e da poluição do ar (CHRISTEN e VOGT, 2004); o impacto da urbanização sobre os ciclo de carbono (PATAKI *et al.*, 2006); a capacidade de arborização ou práticas de plantio em diferentes climas para compensar Emissões de CO<sub>2</sub> (NOWAK e CRANE, 2002; PATAKI *et al.*, 2006; JACKSON *et al.*, 2008); a alteração de padrões de fluxo (JACKSON *et al.*, 2005), ou para aprimorar processos de formação de nuvens convectivas e de precipitação (JACKSON *et al.*, 2008).

A captação e o manejo da água possibilitam gerar impacto no balanço hídrico, térmico e energético do sistema, diretamente ligados aos processos de evapotranspiração, determinando o sucesso do empreendimento, tanto economicamente quanto em termos de conforto.

Segundo HANSON (1991), a ET é normalmente correspondente por cerca de 70% da precipitação total, mas pode variar de 40-100% durante os períodos de seca e das áreas de estudo, principalmente. Ela é medida, geralmente, por milímetro por dia ( $\text{mm d}^{-1}$ ). Um milímetro de evapotranspiração é igual a deslocar para a atmosfera um litro de água para cada metro quadrado da superfície.

O tipo de evapotranspiração vai depender dos de fatores atmosféricos e umidade do solo. Segundo GANGOPADHYAYA *et al.* (1966), a evapotranspiração real ou efetiva (ET) é a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração nas condições existentes. Já a evapotranspiração em equilíbrio ( $ET_{eq}$ ), acontece quando o ar, em contato com uma superfície úmida, numa extensa área, satura-se (SLATYER e MCCILROY, 1961), sendo uma condição que raramente acontece na natureza (EICHINGER *et al.*, 1996).

De acordo com PEREIRA *et al.* (1997), a evapotranspiração de oásis acontece quando se produzem condições de advecção, existindo, taxas de ET exageradamente elevadas, há advecção quando existe uma pequena área bem úmida rodeada por uma área seca (TANNER, 1957).

O trabalho de ALLEN *et al.* (1998) classifica a evapotranspiração em:

- **Evapotranspiração de referência ou potencial ( $ET_0$ ):** estuda a demanda evaporativa da atmosfera independentemente do tipo de cultura, desenvolvimento de culturas e práticas de manejo. Como a água é abundantemente disponível na superfície de evapotranspiração de referência, os fatores do solo não afetam a ET, considerada livre de estresse hídrico e de doenças;
- **Evapotranspiração da cultura sob condições padrão ( $ET_c$ ):** é determinada como a transferência de vapor de água para a atmosfera observada em cultivos bem fertilizados, livres de doenças, cultivada em grandes campos, sob condições

ótimas de água do solo, e atingindo a plena produção sob as condições climáticas dadas.

O cálculo da  $ET_c$  é feito, normalmente, empregando-se a equação 1;

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Em que  $K_c$  é o coeficiente da cultura, a qual varia conforme a cultura e com o seu período de desenvolvimento, e  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência ( $mm\ d^{-1}$ ).

- **Evapotranspiração da cultura sob condições não padronizadas ou ( $ET_{c\ adj}$ ):** é a evapotranspiração de culturas cultivadas sob condições ambientais e de manejo que diferem das condições padrão. Condições não ótimas, como a presença de pragas e doenças, salinidade do solo, baixa fertilidade do solo, escassez de água ou alagamento, podem resultar escasso crescimento de plantas, baixa densidade de plantas e pode reduzir a taxa de evapotranspiração abaixo de  $ET_c$ .

Quando a energia potencial da água do solo cai abaixo de um valor limiar, diz-se que a cultura é estressada pela água. Os efeitos do estresse hídrico no solo são descritos pela multiplicação do coeficiente de cultura basal ( $K_{cb}$ ) pelo coeficiente de estresse hídrico ( $K_s$ ), mais o coeficiente de evaporação do solo ( $K_e$ ) (equação 2);

$$ET_{c\ adj} = (K_s \times K_{cb} + K_e) \times ET_o \quad (2)$$

Para condições limitantes de água no solo,  $K_s < 1$ . Onde não há estresse hídrico no solo,  $K_s = 1$ .

$K_s$  descreve o efeito do estresse hídrico na transpiração da cultura. Onde o único coeficiente de cultura é usado, o efeito do estresse hídrico é incorporado no  $K_c$  como (equação 3);

$$ET_{c\ adj} = K_s \times K_c \times ET_o \quad (3)$$

Como o coeficiente de estresse hídrico atinge somente a transpiração da cultura, em vez da evaporação do solo, a aplicação de  $K_s$  usando a Equação 2 é geralmente mais válida do que a aplicação da Equação 3. Entretanto, em situações onde a evaporação do solo não é um grande componente da  $ET_c$ , o uso da Equação 3 gerará resultados razoáveis.

De acordo com vários autores (ALLEN *et al.*, 1998; FISHER *et al.*, 2017; IRMAK e HAMAN, 2003) existem diferentes fatores que influenciam a ET: climáticos, tipo de vegetação, manejo, irrigação, edificações na área e do tipo de solo ou substrato. Nas condições climáticas, é preciso medir os parâmetros como: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, para calcular de forma indireta a ET. O estudo dos componentes da vegetação: altura, área foliar, tipo de cultura, albedo, profundidade do sistema radicular, tipo de fotossíntese, ajudam a estimar com maior precisão. Alguns elementos de manejo de irrigação e do solo da área a estudar são necessários para o cálculo, como: espaçamento ou densidade do plantio, orientação do plantio, uso da cobertura morta, capacidade de armazenamento da água do solo, impedimentos físico-químicos, uso de quebra-ventos, tipo de edificações na área, entre outros, ajudam no ajuste dos métodos indiretos e diretos para medir a ET.

### **2.3.1 Modelos empíricos de $ET_o$**

Para determinar a evapotranspiração existem diferentes metodologias, as quais vão depender dos dados que possam obter da área a estudar.

A Tabela 2.1 resume dos principais métodos utilizados na determinação da evapotranspiração.

Tabela 2.1 - Métodos utilizados na determinação da evapotranspiração.

	<b>Direta</b>	<b>Indireta</b>
<b>ET<sub>o</sub></b>		Métodos baseados em física teórica
		Métodos semi-empíricos
		Métodos empíricos
<b>ET<sub>r</sub></b>	Lisímetro	
	-de percolação	Método do balanço hídrico
	-de pesagem	Método dos coeficientes de cultura
	Parcelas experimentais	
	Controle de umidade do solo	

ET<sub>o</sub>=evapotranspiração de referência; ET<sub>r</sub>=evapotranspiração real.

Vários estudos têm medido a evapotranspiração em telhados verdes tipo MEG ("*Modern Extensive Greenroof*"), pelo uso de um lisímetro (FENG *et al.*, 2018; ZAREMBA, 2015; MARASCO *et al.*, 2015; WADZUK *et al.*, 2013; DIGIOVANNI *et al.*, 2010).

Um lisímetro mede a evapotranspiração isolando um volume e medindo a entrada precipitação, juntamente com escoamento e mudança no teor de umidade do solo (WADZUK *et al.*, 2013).

Os métodos empíricos, utilizados para o cálculo da ET são classificados dependendo da base para sua obtenção: métodos baseados unicamente em dados de temperatura média do ar, métodos baseados em combinações de temperatura do ar e radiação incidente, métodos baseados na combinação de temperatura do ar e pressão de vapor e métodos baseados em dados de evaporação. A Tabela 2.2 apresenta os métodos empíricos conjuntamente com a respectiva equação.

Tabela 2.2 - Métodos empíricos utilizados para determinar a evapotranspiração potencial.

<i>Método empírico</i>	<i>Equação</i>	<i>Referencia</i>
<i>Abtew</i>	$ET_o = \frac{0,53}{\lambda} R_s(1 - r)$	ABTEW e OBEYSEKERA, 1995
<i>Albrecht</i>	$ET_o = (0,1005 + 0,297 * U_2)(e_s - e_a)$	ALBRECHT, 1950
<i>Balanço de Energia</i>	$ET_o = R_n = \lambda E + H + G$	PEREIRA <i>et al.</i> , 1997
<i>Benavides-Lopez</i>	$ET_o = 1,21 * 10 \left( \frac{7,45 T_m}{234,7 + T_m} \right) (1 - 0,01UR_m) + 0,21 T_m - 2,3$	BENAVIDES e DÍAZ, 1970
<i>Bertri</i>	$ET_o = 0,00193R_a(T_m + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,517}$	BERTI <i>et al.</i> , 2014
<i>Blaney-Criddle – FAO24</i>	$ET_o = bp(0,457T_m + 8,13)$	DOORENBOS e PRUITT, 1975
<i>Blaney-Criddle**</i>	$ET_{o1} = p (0,46 T_m + 8)$ $ET_{o2} = a + b p (0,46 T_m + 8,13)$	<sup>1</sup> BLANEY e CRIDDLE, 1950 <sup>2</sup> FREVERT <i>et al.</i> , 1983
<i>Blaney-Morin-Nigeria</i>	$ET_o = p (0,457 T_m + 8,13) (1,14 - 0,01f)$	DURU, 1984
<i>Bristow-Campbell</i>	$ET_o = 0,0056 R_s B(T_m + 17,8)$	CONCEIÇÃO e MARIN, 2007
<i>Camargo*</i>	$ET_o = K * R_a * T_m * ND$	CAMARGO, 1971
<i>Global-Radiation</i>	$ET_o = 0,9 + 0,115R_s$	TOMAR e O'TOOLE, 1980
<i>Hamon*</i>	$ET_o = 0,55 \left( \frac{N}{12} \right)^2 * Pt$	HAMON, 1961
<i>Hargreaves</i>	$ET_o = 0,0056 R_s H (T_m + 17,8)$	HARGREAVES e ALLEN, 2003
<i>Hargreaves-Samani</i>	$ET_o = 0,0023 R_n (T_m + 17,8) \sqrt{T_{max} - T_{min}}$	PEREIRA <i>et al.</i> , 1997
<i>Hicks-Hess</i>	$ET_o = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{\Delta}{0,90s + 0,63\gamma} \right) R_n$	WINTER <i>et al.</i> , 1995
<i>Ivanov</i>	$ET_o = 0,006(25 + T_m)^2 \left( 1 - \frac{UR_m}{100} \right)$	DORFMAN, 1977

<i>Jensen-Haise</i>	$ET_o = R_s (0,0252 T_m + 0,078)$	JENSEN e HAISE, 1963
<i>Kharrufa</i>	$ET_o = 0,34 * p * T_m^{1,3}$	KHARRUFA, 1985
<i>Linacre*</i>	$ET_o = \frac{500 \left( \frac{T_m + 0,006 * h}{100 - \phi^*} \right) + 15(T_m + T_{po})}{80 - T_m}$	LINACRE, 1977
<i>Liquid-Radiation</i>	$ET_o = 0,86 \frac{R_n}{\lambda}$	DE BRUIN e STRICKER, 2000
<i>Lungeon*</i>	$ET_o = 0,2985(e_s - e_a) \left( \frac{273 + T_m}{273} \right) \left( \frac{760}{P - e_s} \right)$	ZIMMERMANN, 2000
<i>Mahringer</i>	$ET_o = 4,5 \left[ 1 + \left( \frac{T_m}{25} \right) \right]^2 \left( 1 - \frac{e_a}{e_s} \right)$	MAHRINGER, 1970
<i>Makkink</i>	$ET_o = 0,61 W R_s - 0,12$	MAKKINK, 1957
<i>McCloud</i>	$ET_o = 0,254 * 1,07^{(1,8 T_m)}$	JACOBS e SATTI, 2001
<i>McGuinness-Bordne</i>	$ET_o = \frac{R_o T_m + 5}{\lambda 68}$	LOUDIN <i>et al.</i> , 2005
<i>Penman</i>	$ET_o = \frac{W * R_n}{\lambda} + (1 - W)E_a$	PENMAN, 1948
<i>Penman-FAO24</i>	$ET_o = c \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} 0,408 R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 0,27(1 + 0,864 U_2)(e_s - e_a) \right]$	DOORENBOS e PRUITT, 1977
<i>Penman-Monteith (FAO 56)</i>	$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left[ \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T_m + 273} \right]}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$	ALLEN <i>et al.</i> , 1998
<i>Penman-Original</i>	$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} 0,408(R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 0,26 \left( 1 + \frac{U_2}{160} \right) (e_s - e_a)$	MONTEITH, 1965
<i>Priestley-Taylor</i>	$ET_o = 1,26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G)$	ALLEN, 2000
<i>Radiação Solar</i>	$ET_o = a + b * (W * R_s)$	DOORENBOS e PRUITT, 1984
<i>Radiation FAO24</i>	$ET_o = -0,3 + b \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_{se} \right)$	DOORENBOS e PRUITT, 1977
<i>Ravazzani</i>	$ET_o = (0,817 + 0,00022Z) * 0,0023 R_a (T_m + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5}$	RAVAZZANI <i>et al.</i> , 2012
<i>Romanenko*</i>	$ET_o = 0,0018(25 + T_m)^2(100 - UR_m)$	ROMANENKO, 1961
<i>Schendel</i>	$ET_o = 16 \frac{T_m}{UR_m}$	SCHENDEL, 1967
<i>Snyder</i>	$ET_o = 10 \text{ sen} \left( \frac{F_{100} * E_{pan} \pi}{19,2 * 2} \right)$	SNYDER <i>et al.</i> , 2005

<i>Stephens-Stewart</i>	$ET_o = 04047R_s[(0,01476T_m) + 0,0724]$	STEPHENS e STEWART, 1963
<i>Tanner-Pelton</i>	$ET_o = 0,457R_n - 0,11$	BERLATO e MOLION, 1981
<i>Tanque "Classe A"</i>	$ET_o = K_p E_v$	PEREIRA <i>et al.</i> , 1997
<i>Temperature-Radiation</i>	$ET_o = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{R_s * T_{max}}{56} \right)$	LOUDIN <i>et al.</i> , 2005
<i>Thornthwaite*</i>	$ET_o = \left( 16 \left( \frac{10T_m}{I} \right)^a \right) \left( \frac{N}{12} \frac{ND}{30} \right)$	CONCEIÇÃO, 2003
<i>Trabert</i>	$ET_o = 0,4080 * 0,3075 * \sqrt{U_2} * (e_s - e_a)$	TRABERT, 1989
<i>Trajkovic</i>	$ET_o = 0,0023R_a(T_m + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,424}$	TRAJKOVIC, 2007
<i>Turc</i>	$ET_o = 0,013 \left( \frac{T_m}{T_m+15} \right) (R_s + 50) \left[ 1 + \frac{50-UR_m}{70} \right]$ $UR_m < 50\%$	XU, 2002
	$ET_o = 0,013 \left( \frac{T_m}{T_m+15} \right) (R_s + 50)$ $UR_m > 50\%$	

$ET_o$ = evapotranspiração de referência ( $mm\ d^{-1}$ );  $\Delta$ = declinação da curva de saturação do vapor de água ( $kPa\ ^\circ C^{-1}$ );  $R_n$ =radiação solar líquida total ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ );  $G$ =fluxo de calor no solo ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ );  $\gamma$  = fator psicrométrico ( $kPa\ ^\circ C^{-1}$ );  $U_2$ =velocidade do vento ( $m\ s^{-1}$ );  $e_s$ = pressão de saturação do vapor de água ( $kPa$ );  $e_a$ =pressão de vapor de água atual ( $kPa$ );  $T_m$ = temperatura média do ar ( $^\circ C$ );  $T_{max}$ = temperatura máxima do ar ( $^\circ C$ );  $T_{min}$ =temperatura mínima do ar ( $^\circ C$ );  $N$ = foto período (h);  $ND$ =número de dias do mês (d);  $\lambda E$ = saldo total de radiação da superfície da evaporação ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ );  $H$ =aquecimento do ar ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ );  $UR_m$ = umidade relativa do ar média mensal (%);  $a$ =constante local (adm);  $p$ =porcentagem anual de luz (%);  $b$ =coeficiente local (adm);  $K$ =fator de ajuste ( $^\circ C$ );  $R_a$ =radiação solar no topo da atmosfera ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ );  $R_s$ =radiação solar incidente ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ );  $K_p$ =coeficiente de conversão (tabelado pela FAO);  $E_v$ =lâmina de evaporação do tanque "Classe A" ( $mm\ d^{-1}$ );  $\phi$ = latitude do lugar (rad);  $\phi^*$ = latitude do lugar (graus);  $h$ =altitude do local (m);  $T_{po}$ = temperatura média do ponto de orvalho ( $^\circ C$ );  $K_p$ = coeficiente da bandeja ;  $r$ = resistência da cultura ( $s\ m^{-1}$ );  $I$ =Índice de calor anual (adm);  $W$ = fator de ponderação;  $P_t$ =densidade de vapor d'água;  $E_a$ = poder de evaporação do ar ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ ).

\*Indicado para intervalos mensais. \*\*Pode ser utilizado para intervalos diários ou mensais.

Estimativas confiáveis referentes a taxas de evapotranspiração são poucas e de difícil obtenção por requererem instalação e equipamentos especiais de alto custo (PEREIRA *et al.*,1997), além de longos períodos de estudo. Quanto mais preciso for o método, maior será a quantidade de dados requeridos para sua utilização.

### 3 METODOLOGIA

A análise do estudo foi de 123 dias, compreendida entre 1º de outubro de 2017 e 31 de janeiro de 2018. A seguir será apresentado o processo metodológico que guiou a elaboração do presente trabalho. O processo começa com a caracterização da área de estudo, na qual são apresentadas as principais características do telhado verde implementado por SILVA (2016) e se estende pela aplicação da metodologia experimental e numérica.

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

Este estudo foi realizado em um telhado de verde localizado na cidade de Niterói/RJ, cujas coordenadas geográficas são: latitude  $22^{\circ}54'56''$  S e, longitude  $42^{\circ}58'32''$  O. O telhado está localizado a 127 metros acima do nível médio do mar. A Figura 3.1 apresenta a localização do telhado verde.

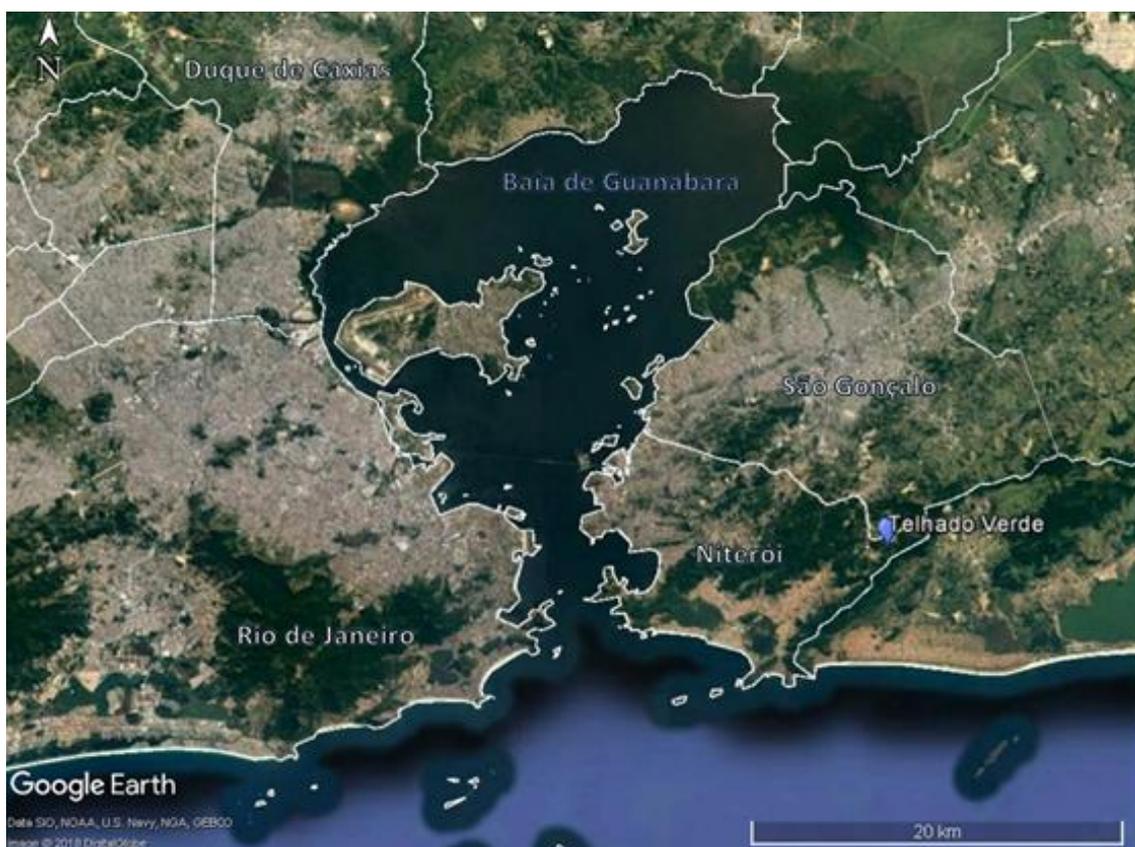


Figura 3.1 - Localização do Telhado Verde no dia 20 de julho de 2018. Fonte: Google Earth.

O telhado, já maturado, compreende  $118\text{m}^2$  de área fechada e  $235\text{m}^2$  de cobertura distribuídos na forma de 2 planos inclinados apresentando 10% de declividade, formando 2 águas orientadas no sentido norte e sul, segundo a planta de cobertura da Figura 3.2. A laje de resistência foi calculada para  $500\text{ Kgf/m}^2$ . Sendo um telhado semi-intensivo, contém um sistema de irrigação e caminhos de pedra.

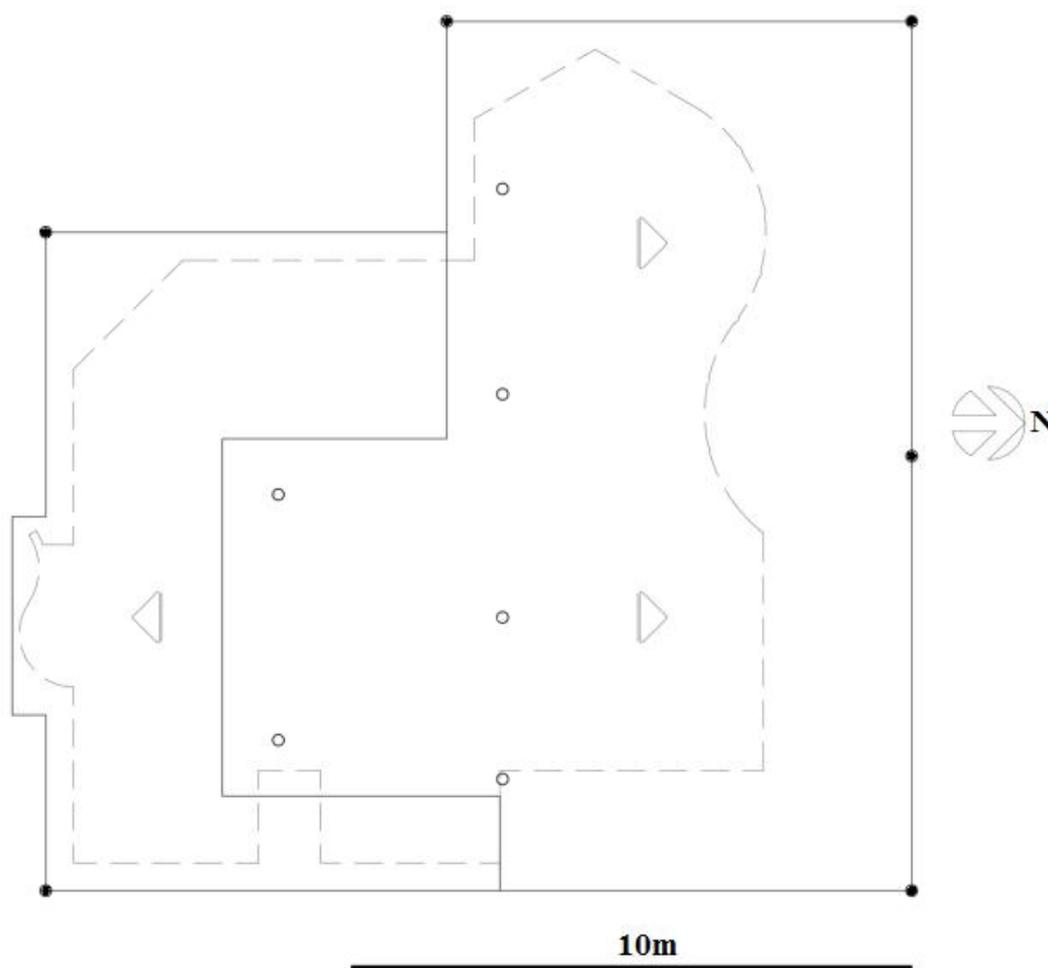


Figura 3.2 - Área de estudo.

Planta de cobertura mostrando o caimento em 2 águas (setas triangulares) e área fechada pontilhada. Posições dos aspersores de irrigação indicadas por  $\circ$  (internos) e  $\bullet$  (externos).

Fonte: (a) SILVA (2016).

O tipo de telhado proposto por SILVA (2016), que foi utilizado neste trabalho, baseia-se na hidroponia, com enraizamento superficial em material fibroso sintético, um

telhado verde “livre de substrato”<sup>1</sup>. O sistema contém uma variedade de flora epífita e litófito, adaptada para o crescimento em árvores e rochas, respectivamente, com potencial de sobrevivência, funções ecossistêmicas de ambientes estressantes. Também pode contribuir para a conservação de espécies em perigo (TAN e SIA, 2009).

A Figura 3.3 mostra a estrutura, constituída de 3 camadas; geotêxtil RT10 de assentamento (primeira camada); membrana impermeabilizante de PVC (segunda camada); e geotêxtil RT16 como o meio de enraizamento (terceira camada), o qual é baseado em simplificações e adaptações de tecnologias disponíveis (THURING e DUNNETT, 2014; DOUGLAS, 1986; BENZING, 1990), tendo a tecnologia MEG como ponto de partida (KÖHLER e POLL, 2010).

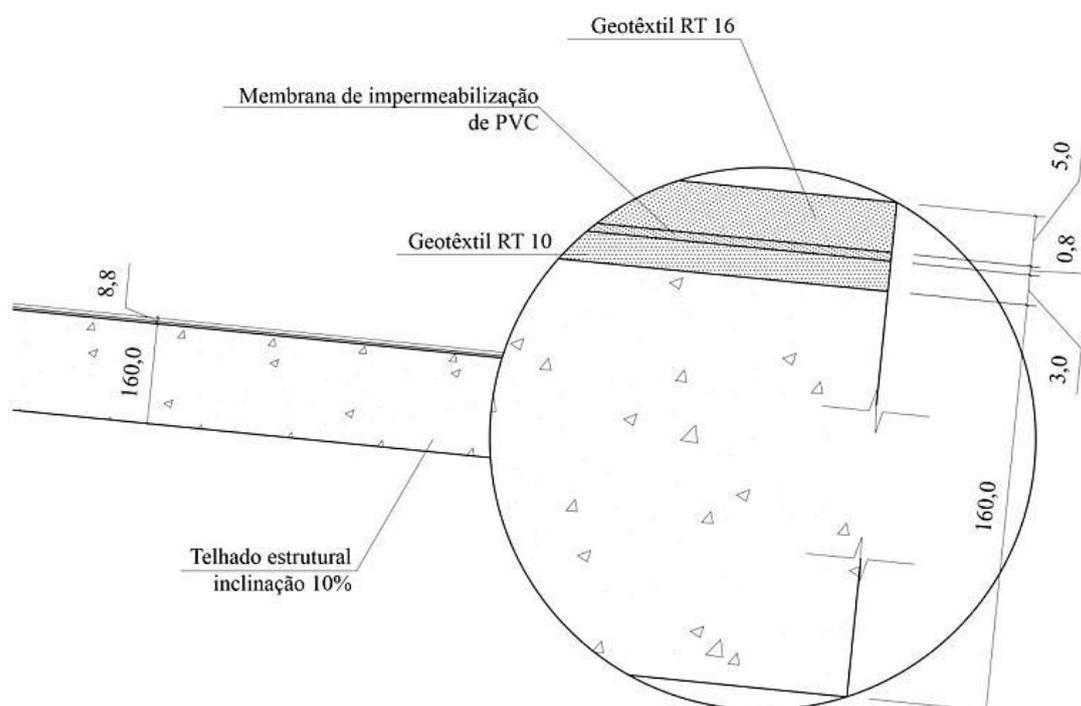


Figura 3.3 - Sistema em corte transversal mostrando o telhado estrutural com as três camadas, Geotêxtil RT10 de assentamento; Membrana impermeabilizante de PVC; e Geotêxtil RT16 como o meio de enraizamento.

Fonte: SILVA, 2016.

<sup>1</sup> A formação de substrato ocorrerá com o tempo, podendo alterar positivamente a maior retenção de umidade e nutrientes (SILVA, 2016).

### 3.1.1 *Micro ecossistema*

SILVA (2016) cultivou uma ampla diversidade de espécies nativas e exóticas (Figura 3.4). Das 230 espécies, 12 não sobreviveram. Consistiam de cultivares do gênero *Sedum*, amplamente utilizadas em telhados verdes sob clima temperado (GETTER e ROWE, 2008 e 2009). No ANEXO II se apresenta uma lista com as 218 espécies sobreviventes no telhado verde, além das características de cada uma.

A Figura 3.4 apresenta o telhado verde utilizado na pesquisa e exhibe a alta diversidade de vegetação dispostas na forma de manchas mono-específicas, além do detalhamento dos caminhos e o equipamento instalado.



Figura 3.4 - Caso de estudo, foto de 29 de julho de 2018.

A Figura 3.5 exemplifica os diferentes hábitos das espécies. Plantadas espécies psamófilas, e na maioria epífitas e litófitas. Segundo CANARACHE *et al.* (2006), as psamófilas se desenvolvem em substratos arenosos, geralmente contam com mobilidade (dunas, areia), além de salinidade quando são causados pela influência do mar, as epífitas crescem em outro vegetal ou objeto usando-a apenas como suporte, mas não a parasita nutricionalmente, e as litófitas, crescem diretamente sobre rochas, ou em rachaduras de rochas, onde um mínimo de matéria orgânica e umidade são acumulados.



Figura 3.5 - Plantas com diferentes hábitos das espécies existentes no telhado verde  
 A)Psamófila; B)Epífita; C)Litófito.  
 Fotos de 29 de julho de 2018.

As plantas segundo o tipo de metabolismo fotossintético podem ser divididas em três grandes grupos; C3, C4 e CAM (“*Crassulacean Acid Metabolism*”). A maioria das espécies são CAM, onde os estômatos se abrem principalmente à noite, captando o CO<sub>2</sub> e minimizando assim a perda de água caso este processo ocorresse prioritariamente de dia (CRAYN *et al.*, 2015). Também diversas espécies de hábito terrestre com metabolismo C3, nos quais existe uma abertura estomática e fixação de CO<sub>2</sub> e transpiração ocorrendo durante o dia (SILVA, 2016). A Figura 3.6 apresenta a diversidade da vegetação no telhado.



Figura 3.6 - Diversidade da vegetação no telhado verde experimental.  
 Fotos: 29 de julho de 2018.

A forma de crescimento e desenvolvimento de cada espécie assim como a família botânica varia. Segundo o CASTRO (2014) as plantas se classificam de três formas dependendo da disponibilidade de água no ambiente: xerófitas, mesófitas e hidrófilas. As primeiras são espécies adaptadas às condições de alta transpiração e escassez de água, os cactos são as plantas xerófitas mais conhecidas, as mesófitas, tem considerável

suprimento hídrico do solo e umidade relativamente alta, já as hidrófilas são plantas que vivem parcialmente ou totalmente submersas na água. De acordo com SILVA (2016) o caso de estudo é comparado a um costão rochoso pelo tipo de vegetação, sendo na maioria plantas xerófitas e mesófitas.

No telhado predomina as suculentas e as bromélia-tanque (Figura 3.7). As suculentas apresentam um tecido especializado para o armazenamento de água, no caule ou folhas, assim como nas *Cactaceae*, e em folhas e raízes de plantas epífitas e xerófitas (AOYAMA e MAZZONI-VIVEIROS, 2006).



Figura 3.7 - Plantas predominantes no telhado verde; A)Suculentas, B)Bromelia-tanque.  
Foto: 29 de julho de 2018.

As bromélia-tanque aparecem como epífitas, terrestre ou litófitas e têm grande capacidade de acúmulo de água pela disposição das folhas em roseta, permitindo o acúmulo de água em suas bainhas na porção central (Figura 3.8) (ZOTZ e THOMAS, 1999).

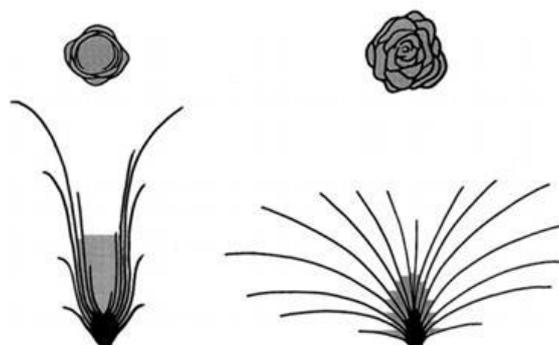


Figura 3.8 - Esquema de dois tipos de Bromelias-tanque.  
Fonte: ZOTZ e THOMAS,1999.

## 3.2 Metodologia experimental

### 3.2.1 Sensores térmicos

SILVA (2016) analisou a atenuação térmica em três áreas da casa, os sensores térmicos utilizados na pesquisa, forneceram os dados térmicos da superfície interna e externa. Em cada uma das três áreas estão instalados seis sensores térmicos do tipo termistor ativo (HIODO *et al.*, 2007), seguindo a distribuição: três imediatamente sobre a superfície externa, o geotêxtil superior, abaixo da vegetação, quando presente e três na superfície interna do telhado, ou seja, da laje concretada, sobre os tijolos cerâmicos da mesma. Além de dois sensores idênticos instalados a 1,5m do piso em local protegido de insolação (ABNT NBR 15220-3) para o monitoramento das temperaturas do ar interno e externo (Figura 3.9). Registrando as leituras térmicas em um sistema de aquisição de dados (datalogger) a cada 15 minutos.



Figura 3.9 - Sensores térmicos da superfície do telhado.  
a) Superfície externa, b) Superfície interna.

A edificação possui: na área sul, três quartos com janelas; na área norte, uma cozinha com plano aberto ao comedor; uma sala de estar com muitas janelas e duas portas, as quais favorecem a ventilação e iluminação da casa.

### 3.2.2 Estação meteorológica

A estação meteorológica *Ambient Weather Observe WS 1001 Wifi*, instalada em setembro de 2017 no topo da casa, fornece temperatura externa, umidade, velocidade e direção do vento, precipitação, radiação solar e UV, entre outros, a Tabela 3.1 apresenta as unidades, o alcance, a precisão e a resolução.

Tabela 3.1 - Especificações dos parâmetros medidos pela estação meteorológica *Ambient Weather Observe WS 1001 Wifi*.

Medições	Unidades	Alcance	Precisão	Resolução
Temperatura interior	°C, °F	32 para 140°F	± 2°F	0,1°F
Temperatura exterior	°C, °F	-40 para 149°F	± 2°F	0,1°F
Umidade interna	%	1 para 99%	± 5%	1%
Umidade ao ar livre	%	1 para 99%	± 5%	1%
Pressão barométrica	hpa, inHg, mmHg	8,85 para 32,50inHg	± 0,08inHg (dentro do alcance de 27,13 para 32,50inHg)	0,01inHg
Radiação Solar	w/m <sup>2</sup> ,Lux,fc	0 para 400.000Lux	± 15%	1Lux
Precipitação	mm, in	0 para 394in.	± 10%	0,001in
Direção do vento	graus	0 para 360°	1°	1°
Velocidade do vento	km/h, mph, bft, ft/s, m/s, knot	0 para 100mph	±2,2 mph ou 10% (o que for maior)	0,1mph

Tradução própria do manual de uso.

A Figura 3.10 e a Tabela 3.2 descrevem os componentes da estação antes mencionada e o mostram a zona onde ela fica. Todos os dados da estação como o nome INITERI8 são registrados via online no site *Weather Underground* ([www.wunderground.com](http://www.wunderground.com)). No ANEXO III estão apresentadas duas imagens da coleta de dados da estação meteorológica, mostrando a relação com outras estações.

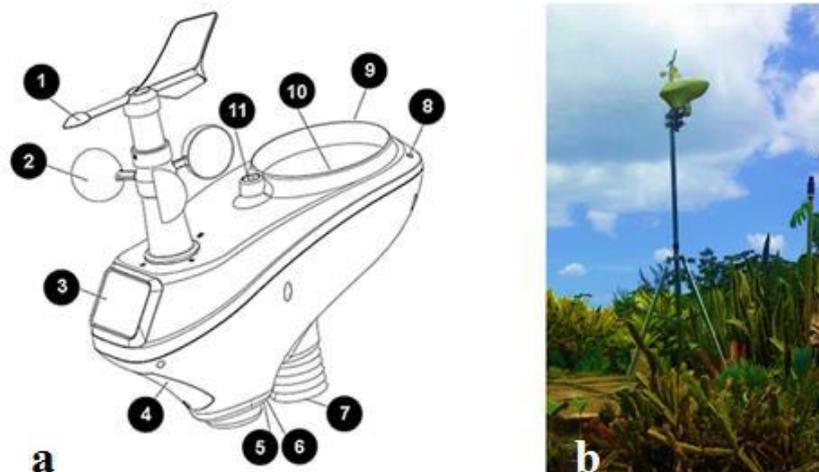


Figura 3.10 - Estação meteorológica.

a) Descrição dos componentes da estação WS 1001; b) Estação instalada no topo da casa.

Tabela 3.2 - Componentes da estação meteorológica Ambiente Weather WS 1001.

Nº	Descrição	Nº	Descrição
1	Cata-vento	7	Sensor termo higrômetro
2	Sensor de velocidade do vento	8	Sensor UV
3	Coletor solar	9	Sensor de radiação solar
4	Compartimento das pilhas	10	Coletor de chuva
5	Indicador de transmissão de LEED	11	Nível de bolha
6	Botão Reset		

### 3.2.3 Reservatório

A Figura 3.11 mostra a instalação do reservatório. Nas porções norte e sul do telhado, calhas de PVC foram fixadas (Fig. a.1), e destas, aos condutores de PVC (Fig. a.2), e finalmente, ao reservatório (Fig. a.3), uma caixa d'água de 2500 litros para comportar um volume de chuva de aproximadamente 10mm e possibilitar as medições se instalou uma coluna com medição a cada 1 cm (Fig. b.1).

No reservatório foi instalado, em janeiro de 2018, uma Sonda de Nível Tipo Hidrostático VKL-214 (Fig. c), a qual forneceu a leitura de pressão, registrando os dados no *datalogger*, o mesmo que recebe as leituras térmicas, com o mesmo tempo de registro (15 minutos), além disso, foi armado na caixa d'água um visor de nível com escala graduada em centímetros (Fig. b.2). Um condutor de PVC sai do reservatório, quando o sistema está no limite de armazenamento de água (Fig. d.1). A Figura 3.12 apresenta o sistema de coleta de água e a estação meteorológica.



Figura 3.11 - Componentes do sistema de coleta de água de chuva. Sendo a.1) Calha de PVC; a.2) Condutores de PVC; a.3) Entrada ao reservatório, b.1) Coluna com medição a cada 1cm; b.2) Caixa d'água com capacidade de 2500L, c) Sonda de Nível Tipo Hidrostático VKL-214 e d.1) Conductor de saída do reservatório.

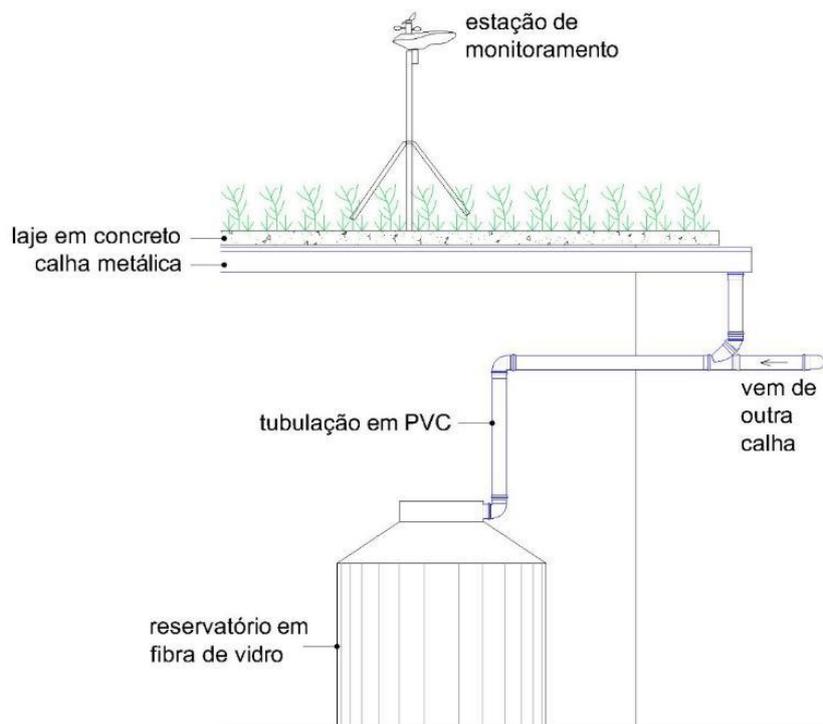


Figura 3.12 - Esquema do sistema de coleta de água, o reservatório e a ubição da estação meteorológica utilizada na pesquisa.

### 3.3 Metodologia Numérica

#### 3.3.1 Métodos de Evapotranspiração

Pela confiabilidade na revisão de artigos de estimativas de evapotranspiração, o equipamento instalado e os dados necessários para determiná-la, avaliou-se a evapotranspiração média de referência diária ( $ET_o$ ) obtida por diferentes métodos: Hargreaves (H), Hargreaves-Samani (HS), Bristow-Campbell (B), Turc, Priestley-Taylor (PT), Jensen-Haise (JH), Makkink (MK) e por dois métodos de Blaney-Criddle (BC). Os resultados foram comparados e avaliados utilizando como referência o método de Penman-Monteith (PM), adoptado pela FAO 56.

A Tabela 3.3 mostra o uso dos dados obtidos na estação meteorológica e a utilização deles nos métodos anteriormente mencionados.

Tabela 3.3 - Variáveis necessárias da estação meteorológica para determinar a  $ET_o$ .

Dados meteorológicos	Métodos de evapotranspiração ( $ET_o$ )								
	PM	H	JH	BC <sub>1,2</sub>	MK	PT	Turc	B	HS
Temperatura máxima	+	+	+			+	+	+	+
Temperatura mínima	+	+	+			+	+	+	+
Temperatura média	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Velocidade média do vento	+			+		+			
Umidade relativa	+			+	+	+			+

Sendo os métodos utilizados para diferentes regiões; (+) áridas ou semiáridas; (+) úmidas ou costeiras; (+) diversas regiões.

#### Método Penman-Monteith FAO-56

Utilizou-se a equação de Penman Monteith (equação 4), divulgada pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) das Nações Unidas como o método padrão para obtenção dos valores de evapotranspiração de referência, conhecido universalmente como método de Penman-Monteith FAO-56 parametrizada por ALLEN *et al.* (1998):

$$ET_{o(PM)} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left[ \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T_m + 273} \right]}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (4)$$

Em que,  $ET_{o(PM)}$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $\Delta$  é a curva de pressão de vapor na temperatura do ar ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $R_n$  é a radiação solar líquida total ou a radiação líquida ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );  $\gamma$  é a constante psicométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $U_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor de água ( $\text{kPa}$ );  $e_a$  é a pressão de vapor de água atual ( $\text{kPa}$ ) e  $T_m$  é a temperatura média ( $^\circ\text{C}$ ).

Os valores da velocidade do vento são transformados de 10m para 2m, que é a altura padrão para o cálculo pelo método Penman-Monteith (equação 5).

$$U_2 = U_z \frac{4,87}{\ln(67,8 * Z - 5,42)} \quad (5)$$

Em que:  $U_z$  é a velocidade obtida na estação automática ou convencional e  $Z$  a altura em que foi coletado o dado.

Conforme SHUTTLEWORTH (1993) o fluxo de calor recebido em um mês pelo solo pode ser estimado pela equação 6:

$$G = 0,14 (T_i - T_{i-1}) \quad (6)$$

Em que:  $G$  é o fluxo de calor recebido durante o período considerado ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $T_i$  é a temperatura do ar no mês ( $^\circ\text{C}$ ) e  $T_{i-1}$  é a temperatura do ar no mês anterior ( $^\circ\text{C}$ ).

O valor de  $G$  tem sinal positivo quando a temperatura do mês é maior que a anterior, caso contrário será negativo.

A pressão de vapor de saturação para temperatura máxima do ar foi obtida pela equação 7. A mesma equação serve para obter a pressão de vapor de saturação para temperatura mínima do ar e para temperatura média, substituindo o  $T_{\max}$  por  $T_{\min}$ , e  $T_{\max}$  por  $T_m$ , respectivamente.

$$e_s(T_{\max}) = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,27 * T_{\max}}{T_{\max} + 237,3}\right)} \quad (7)$$

Em que:  $e_s(T_{\max})$  é a pressão de vapor de saturação para temperatura do ar (kPa) e  $T_{\max}$  é a temperatura máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

A pressão de vapor de saturação de atmosfera foi obtida pela equação 8:

$$e_s = \frac{e_s(T_{\max}) + e_s(T_{\min})}{2} \quad (8)$$

A pressão de vapor atual é determinada pela equação 9:

$$e_a = e_s(T_m) \frac{UR_m}{100} \quad (9)$$

Em que:  $e_a$  é a pressão de vapor atual (kPa),  $e_s(T_m)$  é a pressão de vapor de saturação da temperatura média (kPa) e  $UR_m$  é a umidade relativa do ar média mensal (%).

Com os valores de pressão de vapor de saturação ( $e_s$ ) e pressão atual de vapor ( $e_a$ ) calculados, se consegue calcular o déficit da pressão de vapor (DVP) pela equação 10:

$$DVP = e_s - e_a \quad (10)$$

A inclinação da curva de pressão de vapor à saturação ( $\Delta$ ), pode ser determinada pela equação 11:

$$\Delta = \frac{4098 * e_s}{(T_m + 237,3)^2} \quad (11)$$

O cálculo da pressão atmosférica é descrito na equação 12:

$$P_a = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 * z}{293} \right)^{5,26} \quad (12)$$

Em que:  $P_a$  é a pressão atmosférica estimada (kPa),  $z$  é a altitude da estação de coleta dos dados meteorológicos (m).

Para obter a constante psicométrica ( $\gamma$ ) é utilizada a equação 13:

$$\gamma = 0,664742 * 10^{-3} * P_a \quad (13)$$

A obtenção dos valores da radiação solar extraterrestre, ou seja, a radiação solar no topo da atmosfera, denominada  $R_a$ , é consequência da determinação de diferentes variáveis (equações 14 a 17).

$$R_a = 37,6 * d_r * (\omega_s * \text{sen}\varphi * \text{sen}\sigma + \text{cos}\sigma * \text{sen}\omega_s) \quad (14)$$

$$d_r = 1 + 0,033 * \text{cos}(0,0172 * j) \quad (15)$$

$$\omega_s = \text{acos}\left(-\tan\left(\text{lat} * \frac{\pi}{180}\right) * (\tan \delta)\right) \quad (16)$$

$$\delta = 0,4093 * \text{sen}((0,0172 * j) - 1,405) \quad (17)$$

Em que:  $j$  é o dia Juliano,  $\text{lat}$  é a latitude da estação meteorológica e  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4}\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ).

A radiação de onda longa para dias claros ( $R_{so}$ ) utiliza a altitude ( $z$ ) e a radiação solar extraterrestre ( $R_a$ ), conforme a equação 18.

$$R_{so} = \left(0,75 + 2 * \frac{z}{100000}\right) * R_a \quad (18)$$

Para determinar a radiação solar que atinge a superfície ( $R_s$ ), utiliza-se a equação 19.

$$R_s = \left(0,25 + 0,50 \frac{n}{N}\right) R_a \quad (19)$$

Com isso pode-se calcular a radiação de onda curta ( $R_{nc}$ ) e a radiação de onda longa ( $R_{nl}$ ) pelas equações 20,21 e 22:

$$R_{nc} = 0,77 * R_s \quad (20)$$

$$R_{nl} = \sigma * \left[ \frac{(T_{\text{max}} + 273,16)^4 + (T_{\text{min}} + 273,16)^4}{2} \right] * \text{acr} \quad (21)$$

$$acr = (0,34 - 0,14 * \sqrt{e_a}) * \left(1,35 * \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35\right) \quad (22)$$

Em que:  $R_s$  é a radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ),  $R_{so}$  é a radiação de onda longa em um dia claro ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ),  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann e  $e_a$  é a pressão de vapor atual (kPa).

Finalmente, para se obter a radiação líquida ( $R_n$ ), utiliza-se a equação 23:

$$R_n = R_{nc} - R_{nl} \quad (23)$$

### Método Hargreaves

O método é baseado apenas em dados de temperatura, utilizado para obtenção diária da  $ET_o$ . Não é recomendável em regiões com condições climáticas úmidas porque pode chegar a subestimar os valores (HARGREAVES e ALLEN, 2003) (equações 24 e 25).

$$ET_{o(H)} = 0,0056 R_s H (T_m + 17,8) \quad (24)$$

$$R_s H = 0,16 (T_{max} - T_{min})^{0,5} R_a \quad (25)$$

Em que:  $R_a$  é a radiação extraterrestre média ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), que é uma função da latitude;  $T_{max}$  é a temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $T_{min}$  é a temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### Método Hargreaves-Samani

HARGREAVES e SAMANI (1985), propuseram estimar a  $ET_o$  quando há falta de parâmetros climáticos para estimar a  $ET_{o(PM)}$ -FAO 56. Na estimativa da  $ET_o$  utilizando lisímetros, na escala mensal, este método superestima a  $ET_o$  (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). Para facilitar o cálculo PEREIRA *et al.* (1997) propuseram a equação 26.

$$ET_{o(HS)} = 0,0023 R_n (T_m + 17,8) \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (26)$$

Em que  $R_n$  é a radiação solar líquida total ou a radiação líquida ( $\text{mm d}^{-1}$ ), no ANEXO IV se encontra a tabela de conversões.

## Método Bristow-Campbell

BRISTOW e CAMPBELL (1984), propuseram um método para estimar a radiação solar a partir de medições da temperatura do ar. Eles desenvolveram uma relação empírica para expressar a transmissão atmosférica diária total em função do alcance diário na temperatura do ar.

Para facilitar o cálculo CONCEIÇÃO e MARIN (2007) propuseram as equações 27 e 28.

$$ET_{o(B)} = 0,0056 R_s B(T_m + 17,8) \quad (27)$$

$$R_s B = 0,7[1 - \exp(-0.005(T_{\max} - T_{\min})^{2.4})]R_a \quad (28)$$

## Método Turc

O método TURC (1961) é baseado na umidade relativa do ar, nebulosidade, temperatura média mensal, latitude. Apresenta boa estimativa da  $ET_o$  diária para regiões costeiras e úmidas. XU (2002) propõe duas equações (29 e 30), uma para umidade relativa menor que 50% e outra para maior que 50%.

$$ET_{o(Turc)} = 0,013 \left( \frac{T_m}{T_m + 15} \right) (R_s + 50) \left[ 1 + \frac{50 - UR_m}{70} \right] \quad UR_m < 50\% \quad (29)$$

$$ET_{o(Turc)} = 0,013 \left( \frac{T_m}{T_m + 15} \right) (R_s + 50) \quad UR_m > 50\% \quad (30)$$

Em que:  $R_s$  é a radiação solar ao nível do solo ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );  $UR_m$  é a umidade relativa do ar média mensal (%).

## Método Priestley-Taylor

O modelo PRIESTLEY e TAYLOR (1972) propôs uma abordagem ao método de Penman por meio da simplificação da equação de Penman. O modelo tende a subestimar os valores da  $ET_o$  em climas áridos, onde a advecção da temperatura é mais elevada. O refinamento do método foi feito por JENSEN *et al.* (1990) e ALLEN (2000) (equação 31).

$$ET_o (PT) = 1,26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) \quad (31)$$

### Método Jensen-Haise

Este método foi desenvolvido por JENSEN e HAISE (1963) para regiões áridas e semiáridas, utilizando dados de temperatura do ar e radiação solar. Os valores de  $ET_o$  podem ser obtidos usando a equação 32.

$$ET_o (JH) = R_{se} (0,0252 T_m + 0,078) \quad (32)$$

Em que:  $R_{se}$  é a radiação solar ao nível do solo ( $mm d^{-1}$ ).

### Método Blaney-Criddle

O método BLANEY e CRIDDLE (1950) foi desenvolvido para regiões semiáridas no oeste dos Estados Unidos. Como resultado, a  $ET_o$  varia diretamente com a soma dos produtos da temperatura média mensal do ar e a porcentagem mensal de horas diurnas (equação 33).

$$ET_o (BC1) = p (0,46 T_m + 8) \quad (33)$$

Para facilitar o cálculo, FREVERT *et al.* (1983) propuseram a seguinte modificação (equação 34):

$$ET_o (BC2) = a + b p (0,46 T_m + 8,13) \quad (34)$$

Os coeficientes "a" e "b" podem ser obtidos pelas equações 35 e 36:

$$a = 0,0043 UR_{\min} - \frac{n}{N} - 1,41 \quad (35)$$

$$b = a_0 + a_1 UR_{\min} + a_2 \frac{n}{N} + a_3 U_2 + a_4 RH_{\min} \frac{n}{N} + a_5 UR_{\min} U_2 \quad (36)$$

Em que:  $UR_{\min}$  é a umidade relativa mínima mensal (%); p é a porcentagem do total médio foto período mensal ( $^{\circ}C$ ) acima do total anual de foto períodos, obtido na

Tabela 3.4; n é a insolação total (h); N é o foto período (h). Coeficientes:  $a_0= 0,81917$ ,  $a_1= -0,0040922$ ,  $a_2= 1,0705$ ,  $a_3= 0,065649$ ,  $a_4= -0,0059684$  e  $a_5= -0,0005967$ .

Tabela 3.4 - Média de Porcentagem Diária das Horas Diurnas Anuais (p) para Meses Diferentes

Latitude	Norte	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	Sul	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun
60°		,15	,20	,26	,32	,38	,41	,40	,34	,28	,22	,17	,13
55		,17	,21	,26	,32	,36	,39	,38	,33	,28	,23	,18	,16
50		,19	,23	,27	,31	,34	,36	,35	,32	,28	,24	,20	,18
45		,20	,23	,27	,30	,34	,35	,34	,32	,28	,24	,21	,20
40		,22	,24	,27	,30	,32	,34	,33	,31	,28	,25	,22	,21
35		,23	,25	,27	,29	,31	,32	,32	,30	,28	,25	,23	,22
30		,24	,25	,27	,29	,31	,32	,31	,30	,28	,26	,24	,23
25		,24	,26	,27	,29	,30	,31	,31	,29	,28	,26	,25	,24
20		,25	,26	,27	,28	,29	,30	,30	,29	,28	,26	,25	,25
15		,26	,26	,27	,28	,29	,29	,29	,28	,28	,27	,26	,25
10		,26	,27	,27	,28	,28	,29	,29	,28	,28	,27	,26	,26
5		,27	,27	,27	,28	,28	,28	,28	,28	,28	,27	,27	,27
0		,27	,27	,27	,27	,27	,27	,27	,27	,27	,27	,27	,27

Fonte: DOORENBS e PRUITT (1984) \*

### Método Makkink

Este método é baseado no Penman usa dados de temperatura e radiação solar no nível da superfície, sendo recomendado para condições climáticas úmidas. Foi desenvolvido por MAKKINK (1957) que propôs as equações (37 e 38).

$$ET_{o(MK)} = 0,61 W R_s - 0,12 \quad (37)$$

$$W = 0,493 + 0,01 T_m \quad (38)$$

Em que W é o fator de ponderação, para facilitar o cálculo PEREIRA *et al.* (1997) propuseram a temperatura média do ar.

### 3.3.2 Análise estatística

A avaliação de desempenho dos modelos foi realizada considerando quatro meses, comparando os valores obtidos pela ET<sub>o</sub> empírica com o método padrão de Penman-Monteith (FAO 56), utilizando o Software *Statistica 7*, análise de regressão simples e séries estatísticas propostas por WILLMOTT *et al.* (1985).

Calculou-se o coeficiente de determinação de Pearson ( $R^2$ ), erro padrão estimado (ESE) e o coeficiente de massa residual (CRM). O  $R^2$  varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o  $R^2$ , mais explicativo é o modelo, melhor ele se ajusta à amostra. Quanto maior o  $R^2$ , mais explicativo é o modelo, melhor ele se ajusta à amostra dada pela equação 39 (HOWELL *et al.*, 2015).

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - P) (O_i - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - P)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O)^2}} \right]^2 \quad (39)$$

O ESE mede o grau de precisão com que o modelo estima o valor desconhecido do coeficiente, sempre é positivo, quanto menor o erro padrão, mais precisa é a estimativa. O CRM é menor ou igual a 1, com o valor zero indicando a condição ótima, ele representa a medida da tendência do modelo em superestimar ou subestimar os valores observados, os valores positivos indicam tendência à superestimação pelo modelo, determina-se pelas equações 40 e 41 (GAVILÁN *et al.*, 2008; BACK, 2008).

$$ESE = \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)}{N - 1} \right)^2} \quad (40)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N O_i - \sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad (41)$$

Para  $R^2$ , ESE e CRM, as variáveis;  $O_i$  é a ET<sub>o</sub> estimada pelo método padrão (mm d<sup>-1</sup>);  $P_i$  é a ET<sub>o</sub> estimada pelo método considerado (mm d<sup>-1</sup>), N é o número de observações.

A precisão dos métodos foi dada pelo coeficiente de correlação ( $r$ ) e índice de concordância ( $d$ ) proposto por WILLMOTT *et al.* (1985), calculado de acordo com a equação 42.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)} \right] \quad (42)$$

Em que:  $O$  é a média dos valores observados ( $\text{mm d}^{-1}$ ).

O índice de concordância é uma medida da eficácia com a qual o método estima os valores observados da  $ET_o$ . Para analisar a confiabilidade de cada método, considerou-se o índice de confiança ( $c$ ) proposto por CAMARGO e SENTELHAS (1997), sendo o produto  $r$  e  $d$ , calculado pela equação 43:

$$c = r \cdot d \quad (43)$$

Os critérios utilizados para interpretar o desempenho dos métodos pelo índice de confiança ( $c$ ) são apresentados na Tabela 3.5

Tabela 3.5 - Classificação do índice de confiança ( $c$ )

<i>Valor de "c"</i>	<i>Performance</i>
<b>&gt; 0,85</b>	Ótimo
<b>0,76 a 0,85</b>	Muito Bom
<b>0,6 a 0,75</b>	Bom
<b>0,61 a 0,65</b>	Mediano
<b>0,51 a 0,60</b>	Sofrível
<b>0,41 a 0,50</b>	Mau
<b>&lt;0,41</b>	Péssimo

Fonte: CAMARGO e SENTELHAS (1997)

## 4 RESULTADOS E DISCUSÃO

A análise do estudo foi de 123 dias, de 1º de outubro a 31 de janeiro de 2018, nas estações de Primavera (21/09 a 20/12) e Verão (21/12 a 20/03), sendo clima tropical com estação seca, também conhecido por clima de savana, clima tropical de estações húmida e seca ou ainda clima tropical semiúmido segundo a classificação climática de Köppen-Geiger; com estação seca no período em que o Sol está mais baixo (está no hemisfério oposto) e os dias são mais curtos.

Segundo o *clima-data.org*, Niterói tem uma temperatura média é 23.4 °C e uma pluviosidade média anual é 1204 mm, sendo o mês de fevereiro o mais quente, com a maior temperatura média 26.5 °C, e março o mês com a maior média pluviométrica de 147 mm.

### 4.1 Resultados meteorológicos

Os dados mostram a variação do desempenho do telhado verde, o qual é sensível ao clima local. Segundo as pesquisas de KOEHLER e SCHMIDT (2008) e FASSMAN e SIMCOCK (2008), os principais parâmetros meteorológicos que afetam as taxas de evapotranspiração são: radiação solar, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento, explicando que as diferenças geográficas influenciam na resposta de retenção de água e no desempenho térmico nos telhados verdes.

De acordo com LOCATELLI *et al.* (2014), a resposta da retenção da água de telhado verde é maior em condições mais quentes e em climas áridos ou semiáridos em comparação com climas temperados.

Além da temperatura, os padrões sazonais de precipitação influenciam a retenção com maior incidência de eventos de tempestades intensas deverá resultar em menor retenção de água (HAKIMDAVAR *et al.*, 2014).

No período de estudo, o mês de outubro, teve os dias com a máxima temperatura e a máxima precipitação, 2 de outubro e 22 de outubro, respectivamente, além da maior precipitação mensal (73,2mm) e uma temperatura média mensal de 29,3°C. No mês de novembro diminuíram as chuvas, 17,1mm de precipitação mensal. Esse mês também teve

os dias com menor temperatura no período de estudo, 6 de novembro e 20 de novembro, ambas com  $22,9^{\circ}\text{C}$ , sendo o mês com menor temperatura média mensal ( $28,7^{\circ}\text{C}$ ). A precipitação mensal e a temperatura média,  $34,3\text{mm}$  e  $30,2^{\circ}\text{C}$  respectivamente, foi incrementada no mês de dezembro em relação ao mês anterior. No último mês de estudo a precipitação mensal teve um incremento além de ser o mês com maior temperatura média mensal, além de ter o dia com a maior umidade relativa,  $70,7\text{mm}$ ,  $31,7^{\circ}\text{C}$  e  $97,75\%$ , respectivamente.

A Figura 4.1 mostra a performance de alguns parâmetros meteorológicos; temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, e a precipitação, em todo o período do estudo, além dos dias com temperatura máxima, precipitação máxima e o dia com a maior umidade relativa do ar.

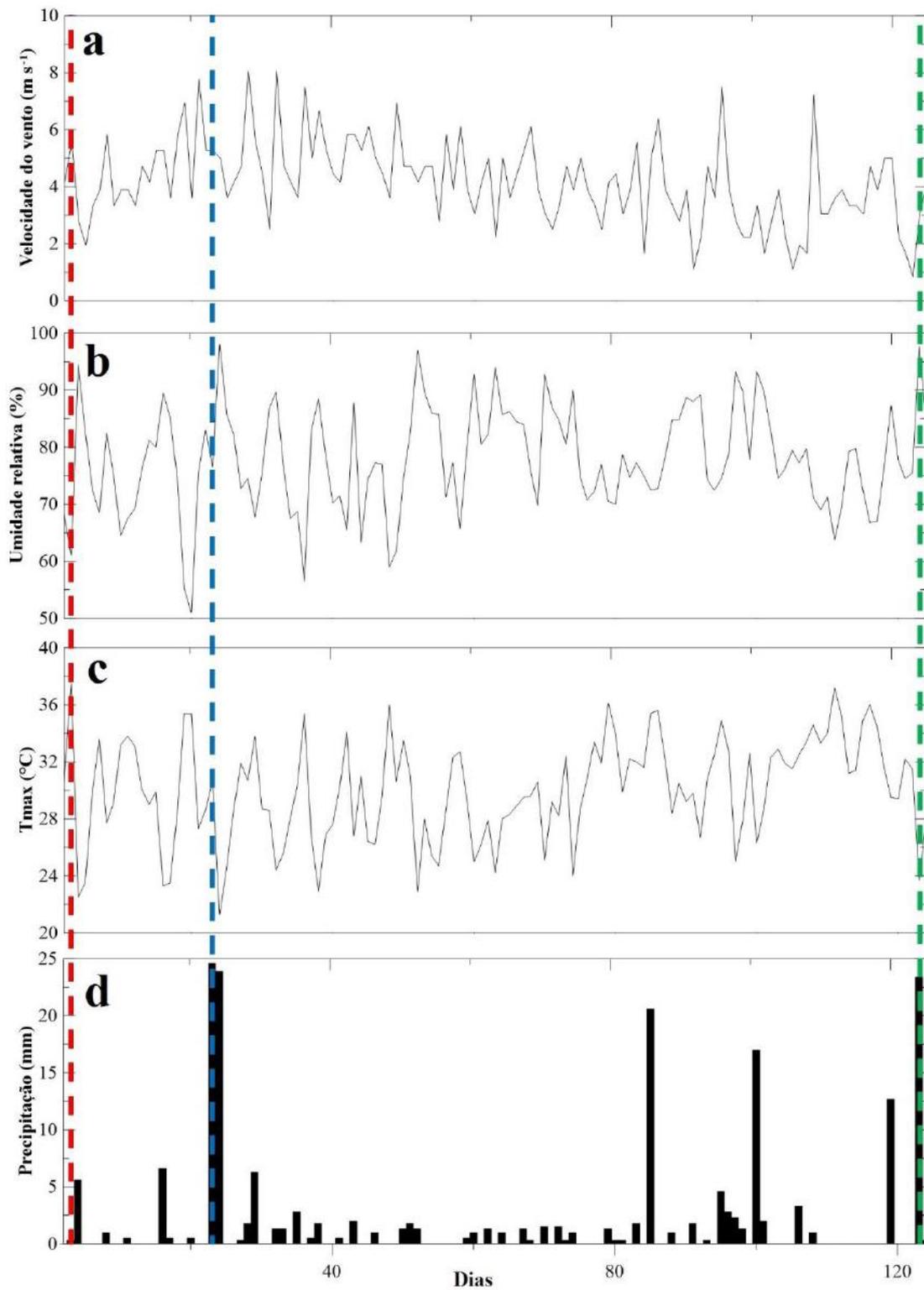


Figura 4.1 - Média diária dos parâmetros que afetam a evapotranspiração (Total de valores das variáveis a) Velocidade do vento, b) Umidade relativa, c) Temperatura máxima e d) Precipitação. As linhas pontilhadas vermelhas (azuis, verdes) demarcam o dia com a temperatura máxima (precipitação máxima, umidade relativa máxima).

## 4.2 Resultados térmicos

A atuação da temperatura na evapotranspiração, e em consequência na melhora da temperatura interna da casa, foi monitorada. A estação meteorológica e os sensores internos, registravam os dados da temperatura do ar externo e interno, respectivamente.

A relação da temperatura externa do ar com a temperatura interna da casa, foi registrada do 17 de novembro até 15 de dezembro, entre 13:40h e 13:45h (horário de verão Brasileiro). Foi utilizado esse período devido ao problema no sensor interno. A Figura 4.2 apresenta o a influência da temperatura do ar com a temperatura interna.

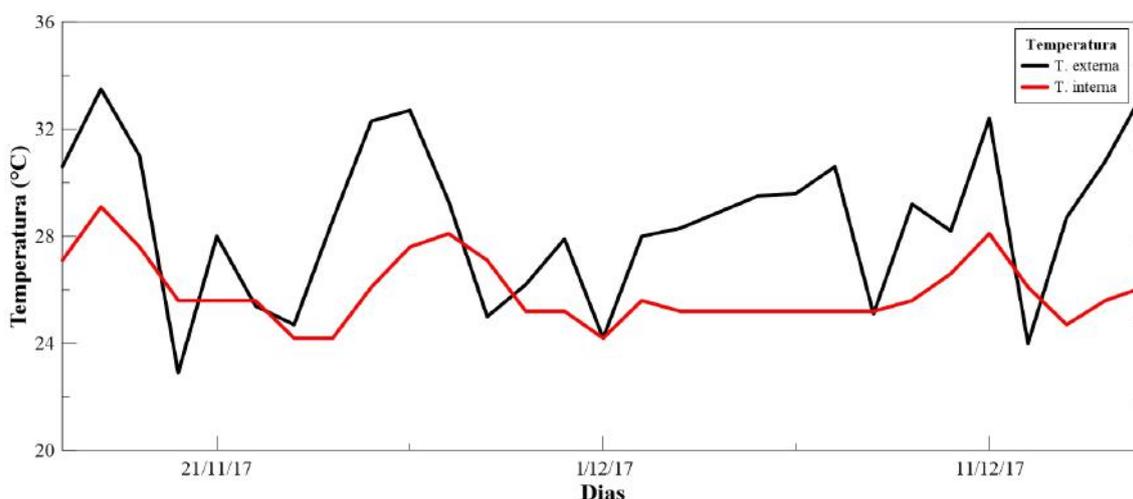


Figura 4.2 - Relação da temperatura do ar externa e interna.

A diferença das temperaturas do ar entre os dias 2 (33,5 °C) e o dia 4 (22,9°C) foram de 10,6 °C, mostrando uma diferença interna no dia 2 (28,6) e no dia 4 (26,6) apenas 2°C. Interessante notar que, o ar interno com eventos de temperatura máxima ou mínima, permaneceu em torno aos 26°C. Essa relação de temperatura externa e interna foi avaliada por SILVA (2016) apresentando no verão uma diferença de 5°C. Em outro período curto analisado, no dia 18 de janeiro de 2018, quando a temperatura externa estava ao redor dos 37,2°C, a temperatura interna na casa ficou em torno aos 29,6°C, sendo uma diferença maior de 7°C.

Neste trabalho foi analisado a interação da temperatura com a performance da evapotranspiração de referência. A Figura 4.3 apresenta a relação da temperatura máxima

do ar com o método de evapotranspiração de Penman-Monteith (FAO-56), todos os métodos indicam uma dependência da elevação da evapotranspiração com a elevação da temperatura, como era se de esperar. O ANEXO III mostra os métodos utilizados e a relação deles com a temperatura máxima do ar.

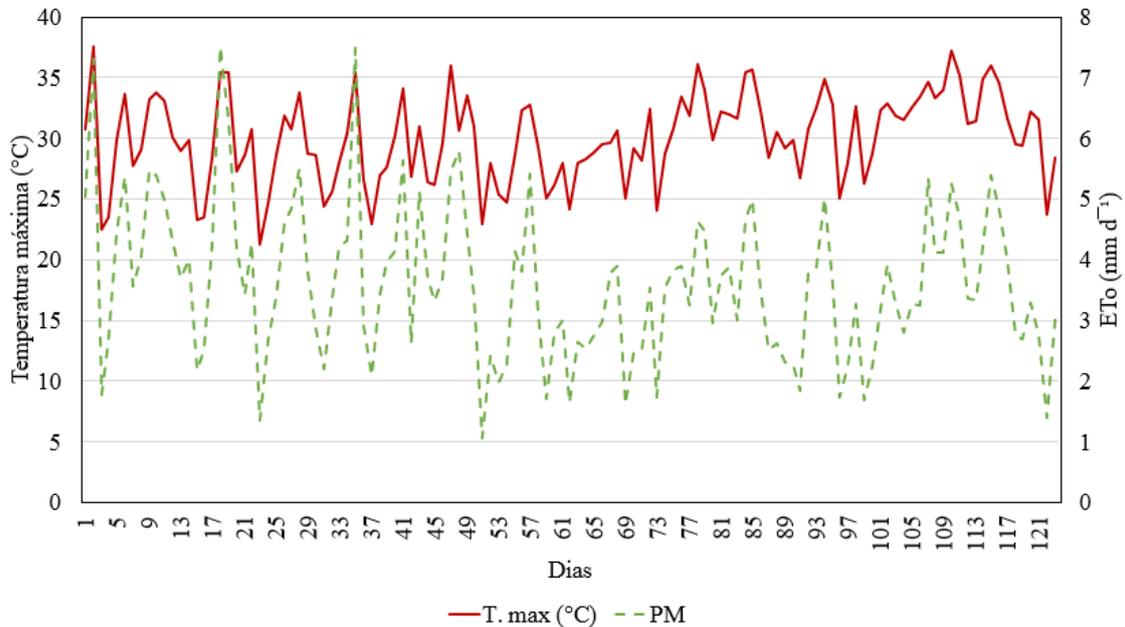


Figura 4.3 - Relação temperatura do ar-ETo (PM).

O ANEXO V mostra um resumo dos métodos empregados e as recomendações dos autores. Considerando a relação dos métodos de evapotranspiração com o emprego deles por regiões, podemos classificar os métodos empregados por regiões áridas-semiáridas, úmidas-costeiras e aqueles que podem ser utilizados em diversas regiões. A Figura 4.4 apresenta a relação da temperatura máxima com os métodos empregados nas regiões áridas e semiáridas.

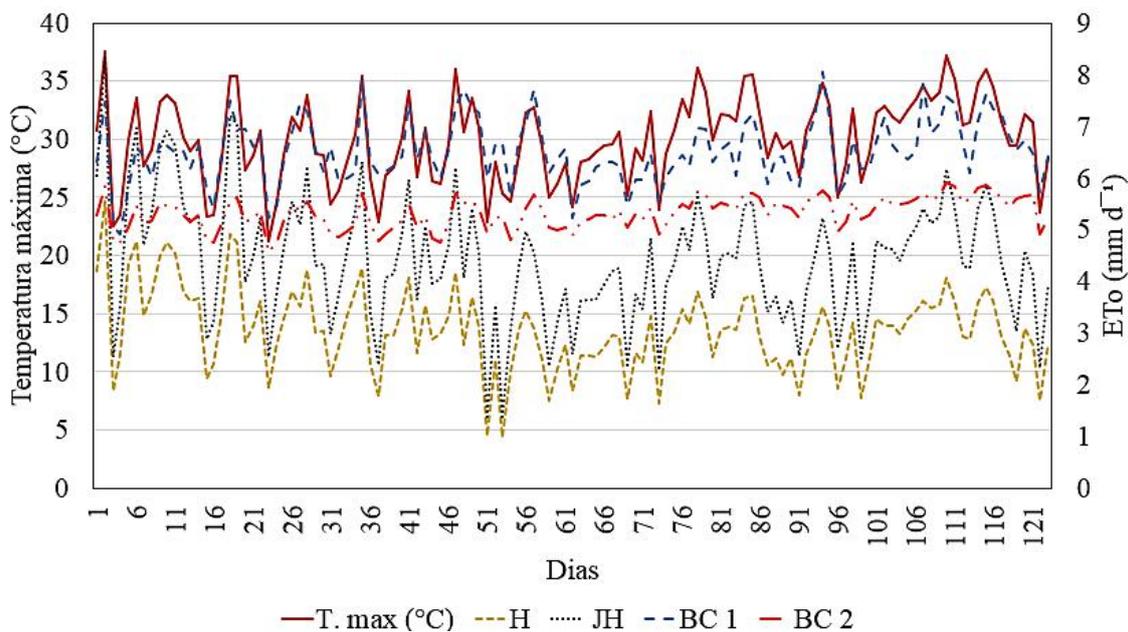


Figura 4.4 - Relação Temperatura máxima-ET<sub>0</sub> regiões áridas-semiáridas.

Nos métodos empregados nas regiões áridas e as semiáridas, é possível notar que a ET<sub>0</sub> (BC2) tem uma resposta imperturbada pelos eventos máximos e mínimos de temperatura máxima do ar, em relação a ET<sub>0</sub> (H), ET<sub>0</sub> (JH) e ET<sub>0</sub> (BC).

A Figura 4.5 apresenta a relação da temperatura máxima com os métodos empregados nas regiões úmidas e costeiras.

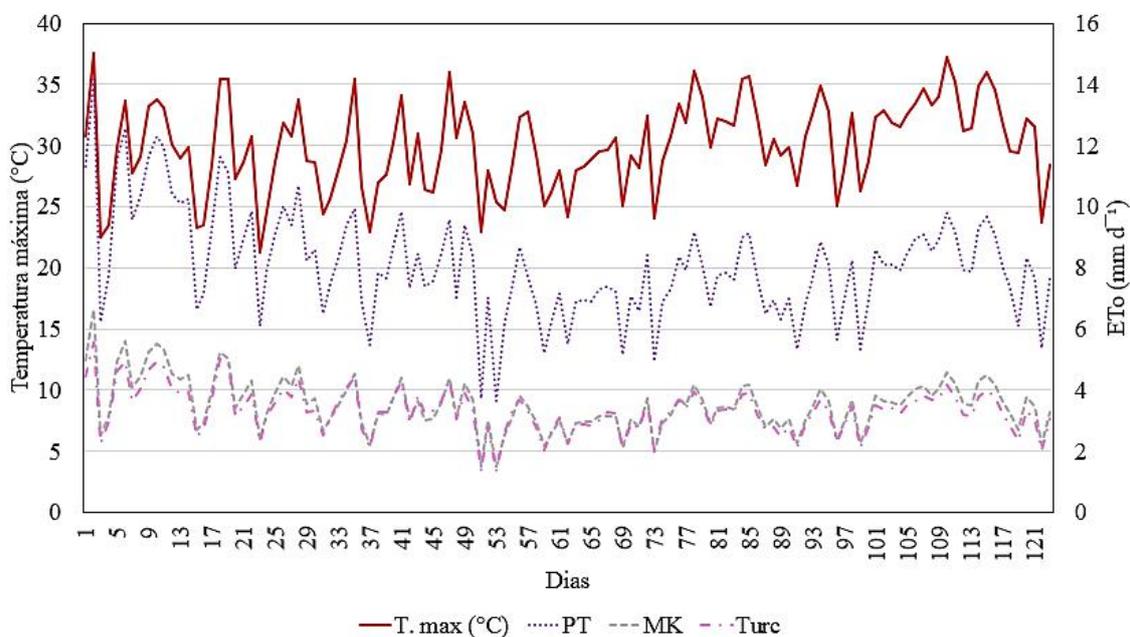


Figura 4.5 - Relação Temperatura máxima-ET<sub>0</sub> regiões úmidas-costeiras.

Na Figura 4.5 pode-se observar uma diferença entre os valores de  $ET_o$ , o  $ET_o(PT)$  apresenta maior  $ET_o$ , enquanto os métodos de  $ET_o(MK)$  e  $ET_o(Turc)$ , apresentam valores baixos e uma resposta semelhante.

A Figura 4.6 mostra a relação da temperatura máxima com os métodos empregados em diversas regiões. Percebe-se uma maior semelhança entre a resposta deles e a temperatura máxima, em comparação com os outros métodos.

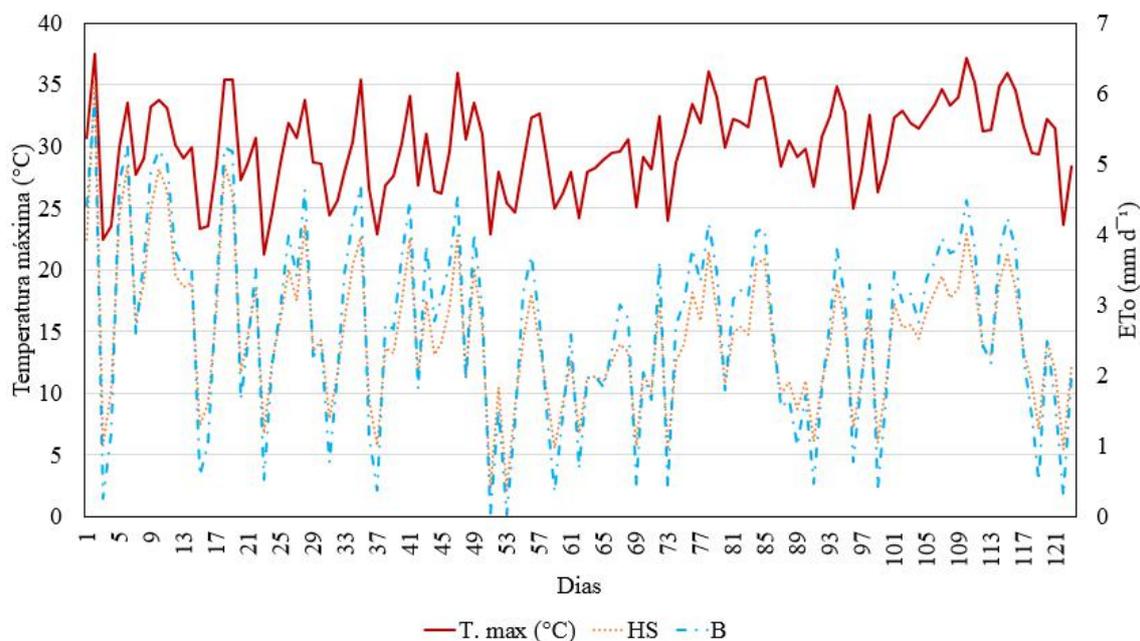


Figura 4.6 - Relação Temperatura máxima- $ET_o$  diversas regiões.

### 4.3 Resultado pluviométrico

O dia 30 de janeiro, teve a maior chuva registrada no reservatório. A estação meteorológica no local de estudo mostrou 23,4mm. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no mesmo dia, as estações próximas; São Gonçalo, Saquarema e Copacabana, apresentaram, 26mm, 17,6mm e 24,6mm, respectivamente.

A Figura 4.7 mostra o evento de chuva, o qual começa com 1mm aproximadamente às 4h. Na Tabela 4.1 são apresentados os valores de precipitação acumulada para os pontos A, B e C, indicados no gráfico. Com base nesses dados, é possível estabelecer uma relação entre a voltagem, a coluna d'água e a capacidade no reservatório.

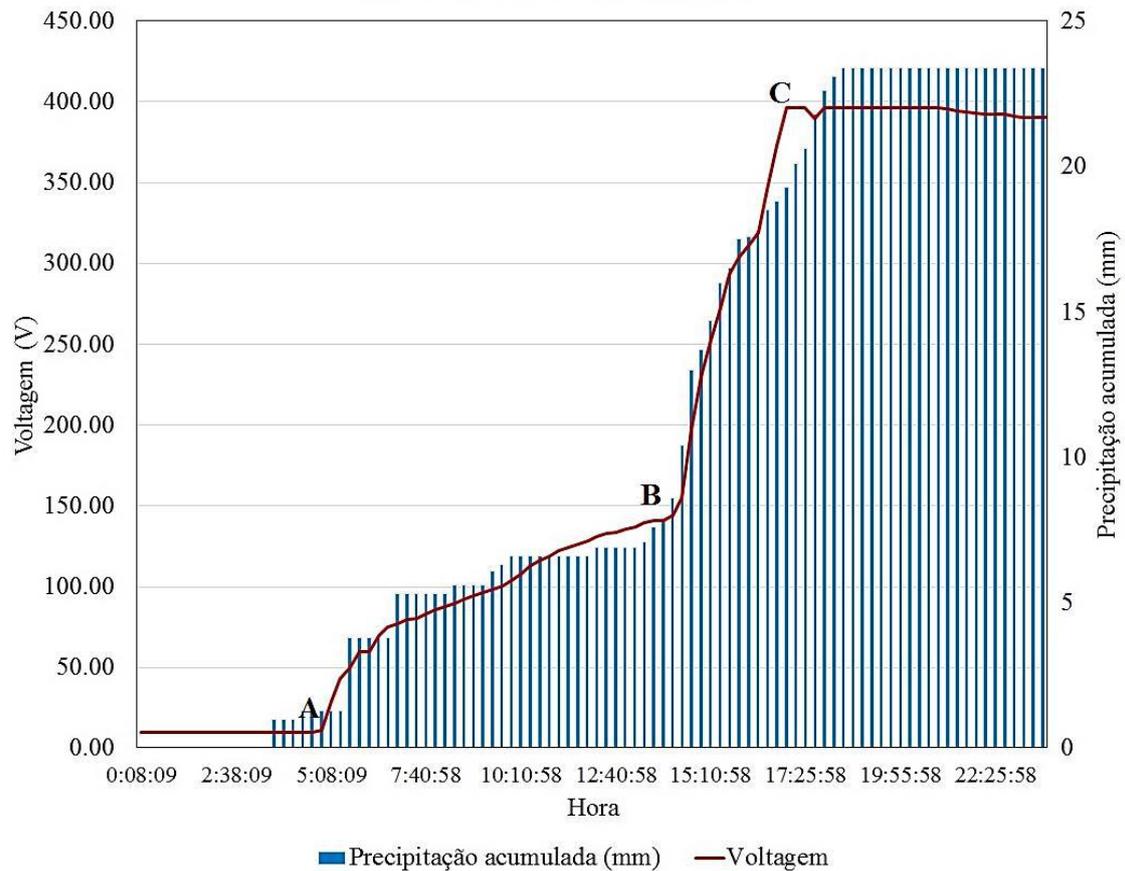


Figura 4.7 - Evento de chuva do 30 de janeiro.

Tabela 4.1 - Eventos de chuva do dia 30 de janeiro

Ponto	Horário (h)	Precipitação acumulada (mm)
A	5:08	1,3
B	14:40	10,4
C	16:10	22,5

Dado que o telhado possui uma área de  $235\text{m}^2$ , uma precipitação acumulada no ponto B de  $10,4\text{mm}$  corresponde a  $2444\text{L}$  d'água. Nesse mesmo ponto, o volume de água no reservatório representava  $56\%$  de sua capacidade, aproximadamente  $1400\text{L}$ . Sabendo que não houve nenhuma irrigação nem precipitação nos 5 dias anteriores as medições, estima-se que o volume de água retido nas plantas e na manta foi de aproximadamente  $1044\text{L}$ . Vale ressaltar que os valores de água retirados nas plantas poderiam ser maiores caso, por exemplo, as bromélias tanque estivessem em seu estado máximo de

crescimento. Segundo SILVA (2016) após alcançar seu crescimento máximo, uma bromélia tanque pode captar até 30L d'água.

Quando o reservatório ficou no ponto máximo de armazenamento (ponto C), começou a vazar pela tubulação de PVC instalada.

#### 4.4 Resultados dos Métodos de Evapotranspiração

A quantidade de água necessária para o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento da cultura vai depender da medição da evapotranspiração. A  $ET_o$  é afetada por inúmeros fatores naturais e humanos que geralmente variam com o local e o tempo, sendo importante a medição dos eventos de chuva e irrigação (BLANEY, 1955).

HUXMAN *et al.* (2004) concluem que a água tem potencial maior de absorção pela vegetação quando se encontra em ecossistemas de terras secas. Por outro lado, uma compilação dos valores da literatura de HUXMAN *et al.* (2005) mostrou que a eficiência do uso da água pode ser variável, dependendo da composição de espécies de plantas sobre a paisagem.

A Figura 4.8 apresenta a precipitação e as temperaturas, máxima e mínima, no período de estudo.

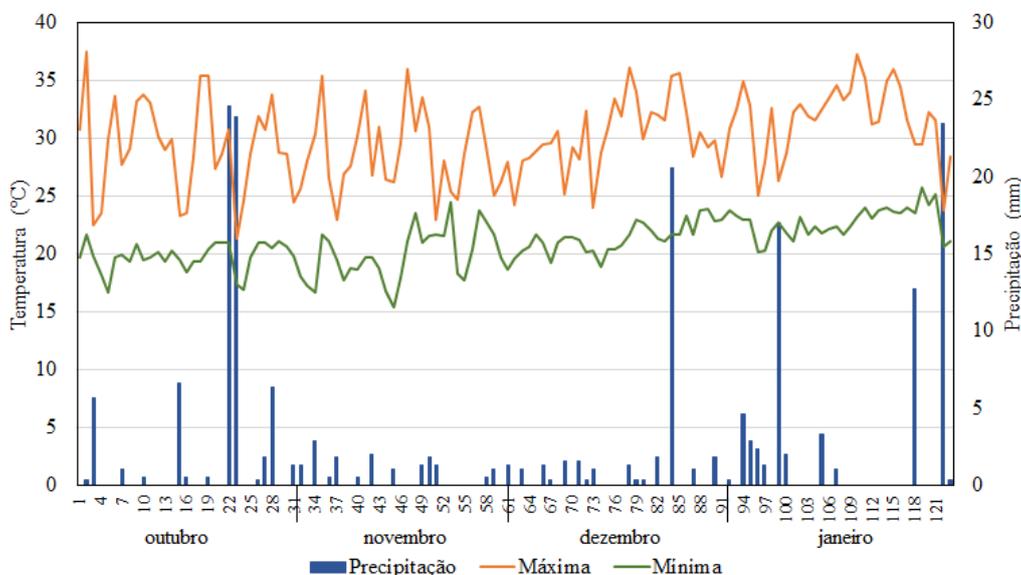


Figura 4.8 - Precipitação e temperatura no período de estudo.

Sendo os principais parâmetros meteorológicos que influenciam na resposta das taxas de evapotranspiração, a Figura 4.9 e a Tabela 4.2 mostram a resposta dos métodos médios mensais de evapotranspiração comparados com o método padrão PM.

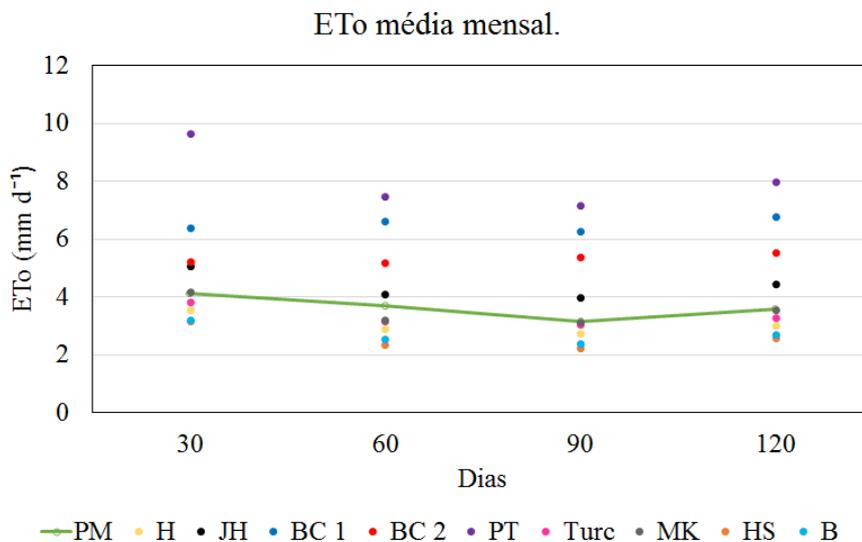


Figura 4.9 - Métodos médios mensais de ET<sub>o</sub> comparados com o método de ET<sub>o</sub>(PM).

Tabela 4.2 - ET<sub>o</sub> média mensal (mm d<sup>-1</sup>).

Aplicação	Mês				
	ET <sub>o</sub>	outubro	novembro	dezembro	janeiro
Regiões áridas ou semiáridas	<b>PM</b>	4,128	3,694	3,155	3,582
	<b>H</b>	3,558	2,881	2,759	3,032
	<b>JH</b>	5,090	4,095	3,998	4,463
	<b>BC 1</b>	6,394	6,621	6,260	6,789
	<b>BC 2</b>	5,207	5,174	5,368	5,540
Regiões úmidas ou costeiras	<b>PT</b>	9,657	7,498	7,183	7,985
	<b>Turc</b>	3,817	3,177	3,037	3,268
	<b>MK</b>	4,195	3,209	3,137	3,569
Diversas regiões	<b>HS</b>	3,177	2,352	2,249	2,572
	<b>B</b>	3,225	2,554	2,373	2,707

Observa-se que no mês de dezembro houve uma queda na evapotranspiração, em relação aos outros meses. O clima nesse mês não apresentou nenhum evento extremo de  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  ou precipitação.

Nos métodos empregados nas regiões áridas ou semiáridas nota-se que a diferença de  $ET_o$  média entre o método H e BC 1, a qual é de ao redor de  $3 \text{ mm d}^{-1}$ . Tendo em comum a utilização da temperatura média do ar, mas sabendo que o método H precisa da radiação solar no topo da atmosfera e o método BC 1 precisa da porcentagem média foto período mensal, podendo ser essa a causa da diferença deles.

A maior diferença de  $ET_o$  média mensal observou-se nos modelos utilizados nas regiões úmidas ou costeiras. Entre o método Turc e o PT percebe-se no mês de outubro uma diferença maior de  $5 \text{ mm d}^{-1}$ , já nos meses seguintes a diferença fica entorno a  $4 \text{ mm d}^{-1}$ . O método Turc considera a umidade média relativa do ar e a temperatura média do ar, além da radiação solar ao nível do solo em  $\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , enquanto o método PT tem maior complexidade pela quantidade de variáveis além de precisar a radiação líquida em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . De acordo com VILLA NOVA e PEREIRA (2006), para obter melhor benefício do método PT, é possível ajustá-lo as condições climáticas locais, fazendo-o extremamente dependente da temperatura e da umidade relativa do ar.

A resposta da  $ET_o$  dos métodos HS e B, usados em diversas regiões, além de ser semelhante está abaixo do método padrão PM. Em quanto o método HS precisa da radiação solar líquida total em  $\text{mm d}^{-1}$ , o método B necessita da radiação solar no topo da atmosfera em  $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , podendo ser uma causa da baixa resposta da  $ET_o$ .

A  $ET_o$  média mensal medida neste estudo foi semelhante a outros valores encontrados na literatura, em telhados verdes tipo MEG. BOAFO *et al.* (2017) fizeram medições na cidade de Incheon, Coreia do Sul, na época de verão, em dois cenários, um telhado com irrigação e outro sem irrigação com variação de IAF (Índice de Área de Folha), encontrando valores de  $4,28 \text{ mm d}^{-1}$  e  $4,79 \text{ mm d}^{-1}$ , respectivamente. O clima local é continental úmido, com um verão quente ( $\sim 38^\circ\text{C}$ ) e chuvas que concentram 70% da precipitação anual, além de um inverno frio ( $\sim 3^\circ\text{C}$ ) e seco. Já MARASCO *et al.* (2015) realizaram estudo entre junho e julho de 2013, em Nova York, com elevadas temperaturas e uma maior frequência de precipitação, se comparado a anos anteriores, alcançando uma

$ET_0$  média de  $7,16\text{mm d}^{-1}$ . Esses mesmos autores encontraram valores de cerca de  $5\text{mm d}^{-1}$ , em 2014, para outro caso de estudo em Manhattan durante o verão, que apresenta clima temperado continental úmido, cujo verão é quente e úmido com temperaturas que podem alcançar os  $35^\circ\text{C}$ .

A Figura 4.10 apresenta o comportamento dos métodos de evapotranspiração, com valores máximos, mínimos e as médias ao longo do estudo.

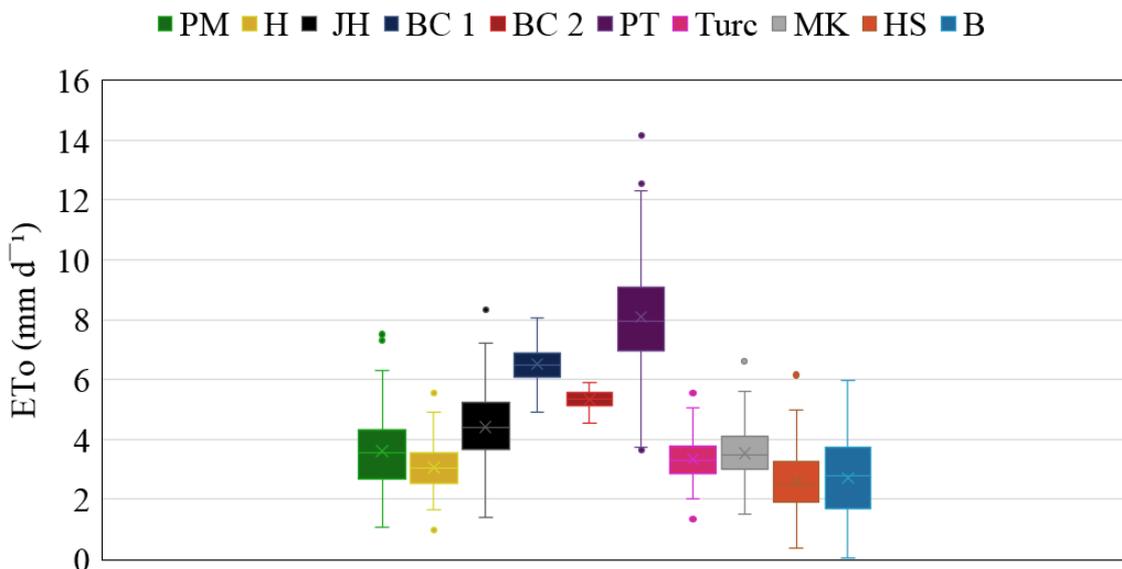


Figura 4.10 - Métodos de  $ET_0$ . Método padrão; PM, métodos empregados em regiões áridas ou semiáridas; H, JH, BC1 e BC 2, métodos empregados em regiões úmidas ou costeiras; PT, Turc e MK, métodos empregados em diversas regiões; HS e B.

Todos os métodos estudados de  $ET_0$  encontraram valores máximos de evapotranspiração no dia 18 de outubro, e os valores mínimos no dia 20 de novembro. Porém, os valores máximos e mínimos encontrados nesses dias divergem consideravelmente quando comparadas as diferentes metodologias empregadas. O valor máximo encontrado por Priestley Taylor, por exemplo, foi de  $11,65\text{mm d}^{-1}$  enquanto o valor encontrado por Hargreaves foi de  $4,91\text{mm d}^{-1}$ . Em relação aos valores mínimos, Bristow Campbell encontrou valores de evapotranspiração de  $0,03\text{mm d}^{-1}$ , ao passo que Blaney Criddle obteve  $5,99\text{mm d}^{-1}$  de evapotranspiração. Em relação à comparação dos valores obtidos de evapotranspiração, pelos diferentes métodos, nos meses restantes não existiram grandes diferenças.

Percebe-se outliers maiores na resposta dos métodos PM, H, JH, PT, Turc, MK e HS no dia 2 de outubro, o qual foi o dia com maior temperatura ( $37,5^\circ\text{C}$ ) no período de

estudo podendo ser consequência dela. No dia 22 de novembro os métodos H, PT e Turc apresentam outliers menores, esse dia não teve nenhum parâmetro climatológico dentro da faixa de incidência habitual.

#### 4.5 Resultados do Análise estatístico

##### 4.5.1 Software Statistica 7

Os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o Software *Statistica 7*. A Figura 4.11 mostra a análise dos componentes principais, o fator 1 afeta aproximadamente 66% de toda a variabilidade do conjunto de amostras, no qual os parâmetros  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $UR_m$  e  $ET_o$  foram enquadrados. Por outro lado, a umidade relativa apresentou um comportamento inverso ( $\uparrow T_{max}$   $\uparrow ET_o$   $\downarrow RH$ ), conforme a temperatura aumenta, a taxa de evapotranspiração aumenta e a umidade relativa diminui.

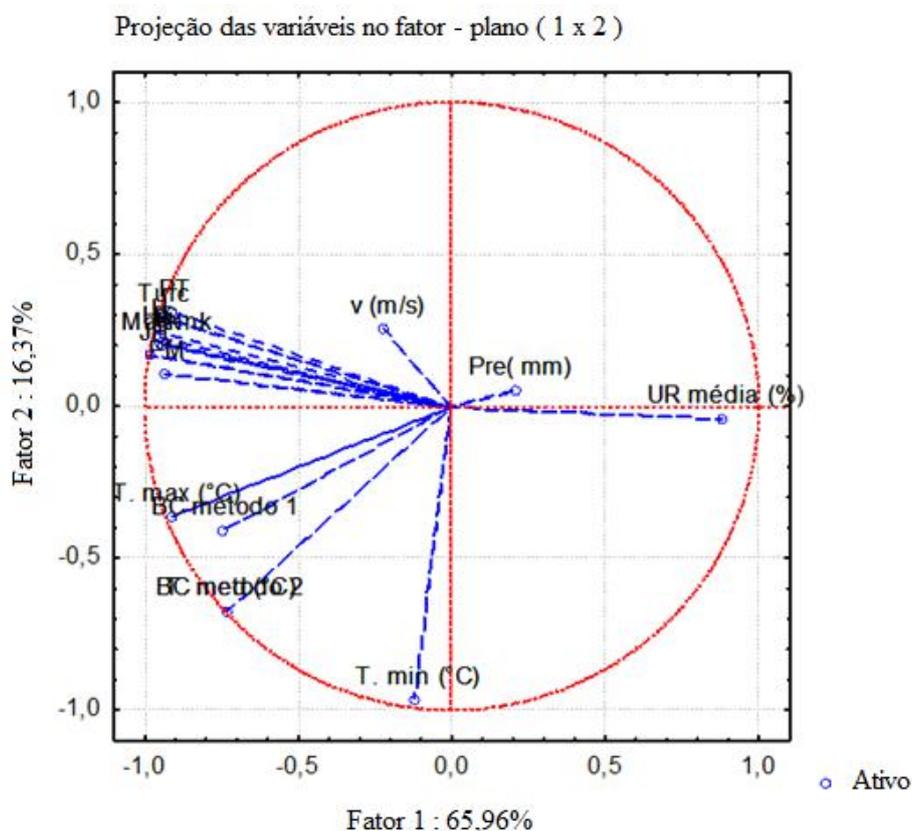


Figura 4.11 - Análises dos principais parâmetros climatológicos e os métodos de evapotranspiração de referência empregados.

Com o teste de Lilliefors, verifica-se a distribuição normal dos dados nos diferentes parâmetros, retornando ao valor  $p > 0,2$  na maioria dos casos, a partir dos

resultados, foi realizada a normalização de todas as variáveis para trabalhar com um conjunto de amostras, sem redundâncias. No ANEXO VI se encontram todos os resumos estatísticos dos parâmetros meteorológicos e os métodos de  $ET_0$ . A Figura 4.12 exemplifica um histograma de dados de evapotranspiração que se aproxima da distribuição normal, a qual mostra uma linearidade.

### Resumo: PM

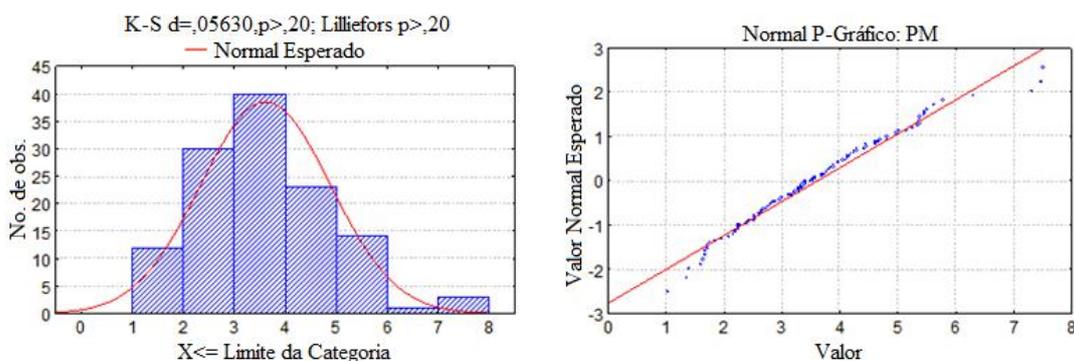


Figura 4.12 - Histograma dos dados com o método de  $ET_0$  Penman-Monteith. Tradução própria.

Ao se analisar o dendograma (Figura 4.13) pode-se observar que há uma divisão clara entre os agrupamentos. Mostrou-se a similaridade de comportamento que existe em seis métodos de cálculo de evapotranspiração, indicando, que os parâmetros medidos pela estação meteorológica ( $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_m$ , Pre, UR e v) afetam menos os seus cálculos.

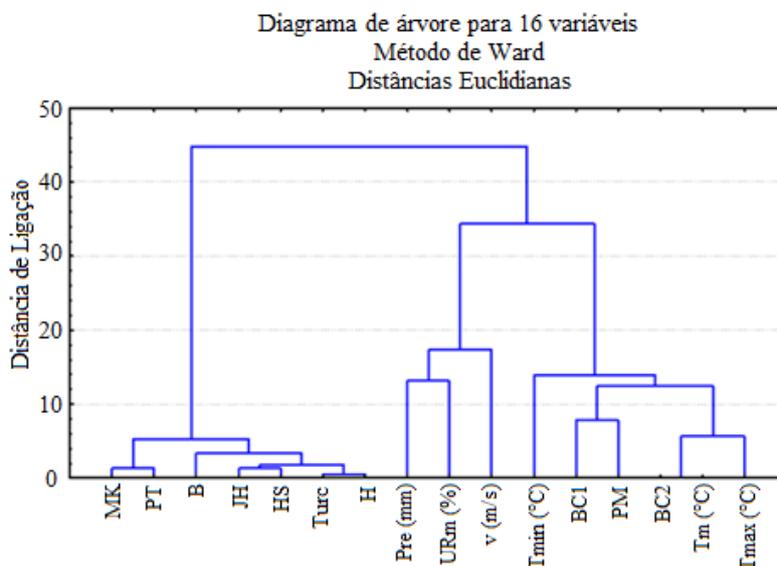


Figura 4.13 - Dendograma (Método Ward).

Verificou-se que o método PM-FAO56, utilizado universalmente para a obtenção de  $ET_o$ , utiliza muitas variáveis meteorológicas, em uns casos impossibilitando seu cálculo. Além disso pode-se notar a correlação dos métodos  $BC_{(1,2)}$  e PM, o qual é recomendado pela FAO quando o método PM não pode ser calculado.

#### 4.5.2 Métodos estatísticos

Apresenta-se os resultados dos métodos de evapotranspiração empregados nas regiões áridas ou semiáridas, úmidas ou costeiras e nas diversas regiões, as correlações de Pearson ( $r$ ), as concordâncias de Willmott ( $d$ ), índice de concordância ( $c$ ), os desempenhos de Camargo e Sentelhas (1997), o coeficiente de massa residual (CRM), o erro padrão da estimado (ESE) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), todas as correlações foram feitas entre os valores de  $ET_o$  média diária dos métodos empregados com o método padrão Penman-Monteith-FAO 56. Sendo que  $ET_o$  (PM) tem uma média diária para 30 dias de  $4,13\text{mm d}^{-1}$ ; 60 dias de  $3,91\text{mm d}^{-1}$ ; 90 dias de  $3,66\text{mm d}^{-1}$ ; e em 120 dias de  $3,61\text{mm d}^{-1}$ . A Tabela 4.3 expõe a correlação entre os métodos empregados nas regiões áridas ou semiáridas com o método padrão PM.

Tabela 4.3 - Análise estatística da correlação entre os métodos empregados nas regiões áridas ou semiáridas e o método Penman-Monteith FAO 56, nas escalas mensal, bimestral, trimestral e quadrimestral.

$ET_o$	Dias	$ET_o$	$r$	$d$	$c$	Desempenho	CRM	ESE	$R^2$
<b>H</b>	30	3,558	0,942	0,872	0,822	Muito bom	0,138	0,430	0,888
	60	3,225	0,884	0,821	0,726	Bom	0,176	0,997	0,780
	90	3,068	0,898	0,836	0,750	Bom	0,161	0,597	0,806
	120	3,059	0,897	0,831	0,746	Bom	0,154	0,560	0,804
<b>JH</b>	30	5,090	0,950	0,877	0,834	Muito bom	-0,233	1,962	0,903
	60	4,600	0,899	0,893	0,803	Muito bom	-0,175	1,003	0,808
	90	4,397	0,908	0,879	0,799	Muito bom	-0,202	0,747	0,825
	120	4,414	0,906	0,857	0,776	Muito bom	-0,221	0,806	0,820
<b>BC<sub>1</sub></b>	30	6,394	0,791	0,333	0,263	Péssimo	-0,549	3,266	0,625
	60	6,506	0,719	0,253	0,182	Péssimo	-0,662	1,011	0,517
	90	6,423	0,761	0,221	0,168	Péssimo	-0,756	2,795	0,579
	120	6,515	0,749	0,202	0,151	Péssimo	-0,803	2,925	0,560
<b>BC<sub>2</sub></b>	30	5,207	0,915	0,378	0,346	Péssimo	-0,261	2,079	0,836
	60	5,190	0,802	0,298	0,239	Péssimo	-0,326	1,005	0,642
	90	5,250	0,646	0,197	0,127	Péssimo	-0,435	1,609	0,416
	120	5,323	0,595	0,177	0,105	Péssimo	-0,473	1,723	0,353

Pode-se observar que método H apresentou um ótimo CRM além do menor ESE, a diferença do método BC<sub>1</sub>, quem indicou uma tendência a subestimar os valores observados. Já LACERDA e TURCO (2015) e BORGES e MENDIONO (2007) apresentaram o método H como o método com menor ESE.

Nos métodos empregados nas regiões áridas ou semiáridas encontraram-se os métodos com a maior e a menor R<sup>2</sup> em todo o período de estudo. O método JH alcançou o maior R<sup>2</sup>= 0,82, indicando um 82% de relação com a resposta de evapotranspiração com o método padrão PM. Em quanto o método BC<sub>2</sub> obteve o menor R<sup>2</sup>=0,35.

Na Tabela 4.4 observe-se os resultados achados na literatura do desempenho dos métodos empregados nas regiões áridas ou semiáridas no Brasil.

Tabela 4.4 - Resultados na literatura do desempenho dos métodos empregados nas regiões áridas ou semiáridas no Brasil.

<b>Autores</b>	<b>MELO e FERNANDES (2012)</b>	<b>PEREIRA et al. (2009)</b>	<b>ALENCAR et al. (2011)</b>
<b>Parâmetros</b>			
<b>H</b>	-	-	Sofrível
<b>JH</b>	Péssimo	Ótimo	-
<b>BC<sub>1</sub></b>	Péssimo	Ótimo	Ótimo
<b>BC<sub>2</sub></b>	Péssimo	Ótimo	Ótimo
<b>Temperatura</b>	16°C-30°C	11°C-19°C	-
<b>Lugar de estudo</b>	Minas Gerais	Minas Gerais	Minas Gerais
<b>Observações</b>	Dados de 21 anos	Dados de 2 anos	Dados de 5 anos de 20 estações meteorológicas

(-) Sem informação.

Segundo o desempenho de CAMARGO e SENTELHAS (1997), no estudo o método JH foi que obteve uma melhor resposta na classificação a qual foi "muito bom", apresentando o melhor ajuste ao método padrão de Penman-Monteith (FAO 56).

PEREIRA *et al.* (2009) mostraram um melhor ajuste ao método padrão de Penman-Monteith (FAO 56). Por outro lado, segundos MELO e FERNANDES (2012) obtiveram um desempenho classificado como "péssimo". Podendo ser a diferença dos desempenhos pela quantidade de dados e da variação da temperatura.

A Tabela 4.5 expõe a correlação entre os métodos empregados nas regiões úmidas ou costeiras com o método padrão PM.

Tabela 4.5 - Análise estatística da correlação entre os métodos empregados nas regiões úmidas ou costeiras e o método Penman-Monteith FAO 56, nas escalas mensal, bimestral, trimestral e quadrimestral

<b>ET<sub>o</sub></b>	<b>Dias</b>	<b>ET<sub>o</sub></b>	<b>r</b>	<b>d</b>	<b>c</b>	<b>Desempenho</b>	<b>CRM</b>	<b>ESE</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>PT</b>	30	9,657	0,894	0,249	0,223	Péssimo	-1,340	6,530	0,799
	60	8,596	0,798	0,289	0,231	Péssimo	-1,196	1,020	0,636
	90	8,120	0,823	0,285	0,235	Péssimo	-1,219	4,510	0,677
	120	8,086	0,828	0,261	0,216	Péssimo	-1,237	4,508	0,685
<b>Turc</b>	30	3,817	0,936	0,884	0,827	Muito bom	0,075	0,689	0,876
	60	3,502	0,873	0,844	0,736	Bom	0,105	0,998	0,761
	90	3,346	0,889	0,860	0,764	Muito bom	0,086	0,316	0,790
	120	3,326	0,888	0,854	0,759	Bom	0,080	0,290	0,788
<b>MK</b>	30	4,195	0,913	0,920	0,840	Muito bom	-0,016	1,068	0,833
	60	3,710	0,829	0,871	0,723	Bom	0,052	0,999	0,688
	90	3,517	0,850	0,883	0,750	Bom	0,039	0,143	0,721
	120	3,530	0,852	0,881	0,751	Bom	0,023	0,084	0,725

Nos métodos empregados nas regiões úmidas ou costeiras encontram-se os métodos com a maior e o menor CRM e ESE em todo o período de estudo. O método MK foi que apresentou o melhor CRM além do menor ESE, em contraste o método PT indicou o maior CRM e ESSE, tendo uma maior tendência a subestimar os valores observados. Foi interessante analisar que ainda tendo os dois métodos uma alta correlação no dendograma os resultados foram opostos.

O método Turc alcançou o maior  $R^2 = 0,788$  nos métodos empregados nas regiões úmidas ou costeiras, indicando um 78,8% de relação com a resposta de evapotranspiração com o método padrão PM. Em quanto os métodos MK e PT obtiveram 0,72 e 0,68, respectivamente.

Na Tabela 4.6 observe-se os resultados achados na literatura do desempenho dos métodos empregados nas regiões úmidas ou costeiras no Brasil.

Tabela 4.6 - Resultados na literatura do desempenho dos métodos empregados nas regiões úmidas ou costeiras no Brasil.

<b>Autores</b>	<b>MELO e FERNANDES (2012)</b>	<b>PEREIRA <i>et al.</i> (2009)</b>	<b>BRAGANÇA (2007)</b>
<b>Parâmetros</b>			
<b>MK</b>	Bom	Muito bom	Muito bom
<b>PT</b>	Mediano	Bom	Muito bom
<b>Turc</b>	-	-	Muito bom
<b>Temperatura</b>	16°C-30°C	11°C-19°C	16°C-31°C
<b>Lugar de estudo</b>	Minas Gerais	Minas Gerais	Espirito Santo
<b>Observações</b>	Dados de 21 anos	Dados de 2 anos	Dados de 3 meses

(-) Sem informação.

No período de estudo o método PT apresentou desempenho "péssimo". Os melhores resultados foram obtidos por PEREIRA *et al.* (2009) com um conjunto de dados mensais de 2 anos e por BRAGANÇA (2010) considerando a estação chuvosa e uma menor escala de tempo.

BRAGANÇA (2010) obteve melhor desempenho classificado como "Muito bom" em os três métodos empregados nas regiões úmidas e costeiras, podendo ser consequência da escala de tempo menor estudo.

A Tabela 4.7 mostra a correlação entre os métodos empregados nas regiões úmidas ou costeiras com o método padrão PM.

Tabela 4.7 - Análise estatística da correlação entre os métodos empregados em diversas regiões e o método Penman-Monteith FAO 56, nas escalas mensal, bimestral, trimestral e quadrimestral

ET <sub>o</sub>	Dias	ET <sub>o</sub>	r	d	c	Desempenho	CRM	ESE	R <sup>2</sup>
<b>HS</b>	30	3,177	0,931	0,853	0,794	Muito bom	0,230	0,049	0,866
	60	2,771	0,869	0,768	0,667	Bom	0,292	0,995	0,755
	90	2,595	0,882	0,771	0,680	Bom	0,291	1,075	0,778
	120	2,590	0,882	0,764	0,674	Bom	0,283	1,033	0,777
<b>B</b>	30	3,225	0,919	0,877	0,805	Muito bom	0,219	0,098	0,843
	60	2,895	0,873	0,827	0,722	Bom	0,260	0,996	0,762
	90	2,719	0,882	0,833	0,734	Bom	0,257	0,950	0,777
	120	2,716	0,878	0,830	0,729	Bom	0,248	0,905	0,770

Nos métodos empregados em diversas regiões o resultado do CRM e ESE ficaram na faixa regular dos modelos empregados. Os dois métodos alcançaram um R<sup>2</sup>= 0,77, indicando um 77% de relação com a resposta de evapotranspiração com o método padrão PM, maior que a resposta dos métodos empregados em regiões úmidas e costeiras.

Na Tabela 4.8 observe-se os resultados achados na literatura do desempenho dos métodos empregados em diversas regiões no Brasil.

Tabela 4.8 - Resultados na literatura do desempenho dos métodos empregados em diversas regiões no Brasil.

<b>Autores</b>	<b>MELO e FERNANDES</b>	<b>PEREIRA <i>et al.</i></b>	<b>BRAGANÇA</b>
<b>Parâmetros</b>	<b>(2012)</b>	<b>(2009)</b>	<b>(2007)</b>
<b>HS</b>	Mediano	Sofrível	Sofrível
<b>B</b>	-	-	-
<b>Temperatura</b>	16°C-30°C	11°C-19°C	16°C-31°C
<b>Lugar de estudo</b>	Minas Gerais	Minas Gerais	Espirito Santo
<b>Observações</b>	Dados de 21 anos	Dados de 2 anos	Dados de 3 meses

(-) Sem informação.

No período de estudo os métodos HS e B apresentaram melhor desempenho que os resultados obtidos por PEREIRA *et al.* (2009) e por BRAGANÇA (2010), tendo diferença no tempo de estudo e na temperatura média.

## 5 CONCLUSÕES

A escolha dos métodos a serem implementados no estudo se deu principalmente considerando a economicidade de implementação de cada uma das alternativas disponíveis. Avaliou-se a interação dos parâmetros climatológicos com a resposta de dez métodos de evapotranspiração de referência, sendo nove deles comparados com o método padrão de Penman-Monteith, adotado pela FAO 56.

Utilizando dados de uma estação meteorológica instalada no topo da casa, além de sensores térmicos internos e externos da casa, e um sensor hidrostático no reservatório da água de chuva.

De acordo com os resultados no Software *Statistica 7*, a maior parte das respostas (aproximadamente 82%) da evapotranspiração de referência está relacionada com a variação da temperatura, principalmente da temperatura máxima. O uso de telhados verdes em climas tropicais, oferece muitas vantagens. Comprovando o que SILVA (2016) apresentou, a atenuação térmica no telhado vegetado livre de substrato tem significativas reduções na temperatura interna da edificação, ao redor de 4°C a 7°C, quando a temperatura externa sofre aumento acima dos 30°C e tende a se manter constante quando ocorre uma variação abrupta de aproximadamente 10°C em poucos dias.

O período de análise do telhado verde não levou em consideração a média mensal máxima possível para os meses observados para a região (147mm). Porém, a maior chuva observada (73,2mm) no mês de outubro serviu para representar adequadamente a reserva da água no telhado verde. Por mais que a chuva máxima registrada seja inferior à média mensal de Niterói, seu máximo valor diário foi de 24,6mm indicando uma boa resposta da reserva da água no telhado verde livre de substrato, em consequência as Bromélia-tanque são as principais plantas em acumular a água nos eventos de chuva extrema. Vale ressaltar que os valores calculados da retenção de água no telhado verde poderiam ser maiores caso as bromélias tanque estivessem em seu estado máximo de crescimento. Segundo GUIMARAES-SOUZA *et al.* (2006) após alcançar seu crescimento máximo, uma bromélia tanque pode captar mais de 30L d'água. O uso de bromélia-tanque sugere que a irrigação poderia ser reduzida, em relação ao MEG (“*Modern Extensive Greenroofs*”), considerando que os tanques das bromélias ficarão plenamente cheios a

maior parte do tempo, devido à sua alta eficiência em captar e armazenar água (ZOTS e THOMAS, 1999), uma vez que essa planta está adaptada ao telhado verde.

O telhado verde analisado neste estudo, de acordo aos padrões de CAMARGO e SENTELHAS (1997), mostra que os resultados dos métodos desenvolvidos da  $ET_o$  para regiões áridas e úmidas tiveram "bom" desempenho sob condições tropicais. Observou-se no estudo que o melhor método foi o  $ET_{o(JH)}$ , empregado em regiões áridas e semiáridas, utilizando dados de temperatura do ar e radiação solar. O  $ET_{o(Turc)}$ , utilizado para estimar  $ET_o$  em regiões úmidas e  $ET_{o(H)}$ , para regiões áridas, também teve desempenho considerado bom. Ao contrário dos métodos de Blaney-Criddle, 1 e 2, e Priestley-Taylor, os quais tiveram os maiores resultados de  $ET_o$  e um "péssimo" desempenho.

A complexidade do método de Penman-Monteith, pela quantidade de parâmetros para estimar a  $ET_o$  foi constatada. O método  $ET_{o(JH)}$  alcançou o maior  $R^2=0,82$ , indicando um 82% de relação com a resposta de evapotranspiração com o método padrão  $ET_{o(PM)}$ , mas o método  $ET_{o(MK)}$ , apresentou o melhor coeficiente de massa residual 0,023 além do menor erro padrão estimado em 120 dias,  $0,084 \text{ mm d}^{-1}$ , indicando o menor desvio e melhor ajuste em relação ao método padrão  $ET_{o(PM)}$ , além que as respostas de  $ET_o$  ficaram próximas ao método padrão. Neste caso do estudo, se recomenda a utilização deste método, em zonas tropicais, quando não seja possível o uso do método Penman-Monteith. Estes resultados mostram que o telhado verde livre de substrato tem evapotranspiração semelhante ao dos telhados verdes com substrato, para as condições avaliadas na região tropical estudada. Sendo eles viáveis pelo baixo custo de implementação (SILVA, 2016), o conforto térmico, a sobrevivência das plantas e a captação da água de chuva.

## 6 RECOMENDAÇÕES

A fim de se dar continuidade a esta pesquisa, propõe-se alguns estudos que poderão ser realizados para completar este trabalho:

- Determinar do coeficiente de cultivo do ecossistema, usando algoritmos de índice de vegetação como o NDVI com mapas de drone;
- Medir a água de irrigação utilizada;
- Medir a evapotranspiração real;
- Avaliar o balanço hídrico e térmico deste tipo de telhado verde;
- Quantificar a captação da água pelos diferentes tipos de bromélia-tanque cultivados no telhado;
- Avaliar a qualidade da água de chuva depois de escorrer no telhado verde;
- Reproduzir o estudo com um tipo de planta para analisar o comportamento térmico e hídrico.
- Aumentar o período de análise (se for necessário mais de um ano) de forma a avaliar o comportamento do telhado verde em relação à valores mais intensos de precipitação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTEW, W., OBEYSEKERA, J. "Lysimeter study of evapotranspiration of cattails and comparison of three estimation methods", **Transactions of the ASAE** v.38, n.1, pp.121-129, 1995.

ALBRECHT, F. "Die methoden zur bestimmung der verdunstung der natürlichen erdoberfläche" **Archiv fur Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie Serie B** v.2, pp.1-38, 1950.

ALENCAR, L.P., DELGADO, R.C., ALMEIDA, T.S., WANDERLEY, H.S. "Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba", **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.6, n.2, pp.337-343, 2011b.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M., **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**, In: FAO. Irrigation and Drainage. Paper; 56, Rome, 1998.

ALLEN, R.G., **REF-ET: Reference evapotranspiration calculation Software for FAO and ASCE Standardized Equations**, In: University of Idaho Research and Extension Center, USA, 2000.

AOYAMA, E.M., MAZZONI-VIVEIROS, S.C. Adaptações estruturais das plantas ao ambiente. Curso de Capacitação de monitores e educadores. Instituto de Botânica, 2006 Disponível em: <<http://www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br>> Acesso em 10 fevereiro 2018.

ARAÚJO, S.R. **Telhados verdes**, Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio Janeiro, 2007.

AROURI, M.E.H., YOUSSEF, A.B., NGUYEN-VIET, C., SOUCAT, A., **Effects of urbanization on economic growth and human capital formation in Africa**. In: Working Paper 1 P30 AG024409-09, Program on the global demography of aging at Harvard University, 2014.

BACK, A.J. "Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga", **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage** v.13, n.4, pp.449-466, 2008.

BAIK, J., KWAK, K., PARK, S., RYU, Y. "Effects of building roof greening on air quality in street canyons", **Atmospheric Environment** v.61, pp.48-55, 2012.

BENAVIDES, J.G., DÍAZ, J.L. "Formula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15° N - 15° S)", **Agronomia Tropical** v. 20, n. 5, pp. 335-345, 1970.

BENZING, D.H., **Vascular epiphytes**. Cambridge University Press, New York, 1990.

BERNDTSSON, J.C. "Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review", **Ecological Engineering** v.36, n.4, pp.351-360, 2010.

BERLATO, M.A., MOLION, L.C.B. "Evaporação e evapotranspiração". In: **Porto Alegre: IPAGRO**, pp.95, 1981.

BERTI, A., TARDIVO, G., CHIAUDANI, A., RECH, F., BORIN, M. "Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy", **Agricultural Water Management** v.140, pp.20-25, 2014.

BESIR, A.B., CUCE, E. "Green roofs and facades: A comprehensive review", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v.82, pp.915-939, 2018.

BLANEY, H.F. "Climate as an index of irrigation needs, in water", **The Yearbook of Agriculture**, pp.341-345, 1955.

BLANEY, H.F., CRIDDLE, W.O. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data**. In:USDA Soil Conservation Service, Technical paper, Washington, pp.48, 1950.

BOAFO, F.E., KIM, J.T., KIM, J.H. "Evaluating the impact of Green Roof Evapotranspiration on Annual Building Energy Performance", **International Journal of Green Energy** v.14, n. 5, pp. 479-489, 2017.

BORGES, A.C., MENDIONDO, E.M. "Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga", **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.11, n.3, pp.293-300, 2007.

BRAGANÇA, R., **Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência no período chuvoso para três localidades no Estado do Espírito Santo**. M.Sc. dissertação, Universidade de Espírito Santo, Brasil, 2010.

BRISTOW, K.L., CAMPBELL, G.S. "On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature", **Agricultural and Forest Meteorology** v.31, pp.159-166, 1984.

BROWN, K.H., JAMETON, A.L. "Public health implications of urban agriculture", **Journal of public health policy** v.21, n.1, pp.20-39, 2000.

BUTLER, D., MEMON, F.A., **Water Demand Managment**. 1 ed. London, International Water Association, 2006.

CAMARGO, A.P., **Balanco hídrico no Estado de São Paulo**. 3 ed. Brasil, São Paulo: Instituto Agronômico, 1971.

CAMARGO, A.P., SENTELHAS, P.C. "Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo", **Revista Brasileira de Agrometeorologia** v.5, n.1, pp. 89-97, 1997.

CANARACHE, A., VINTILA, I.I., MUNTEANU, I. *Elsevier's Dictionary of Soil Science*. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=L-W47LTHVEMC&dq=define+:+psamofilas&hl=pt-BR&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.br/books?id=L-W47LTHVEMC&dq=define+:+psamofilas&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s)>  
Acesso em: 10 de janeiro 2018.

CASTLETON, H.F., STOVIN, V., BECK, S.B.M., DAVISON, J.B. "Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit", **Energy and buildings** v.42, n.10, pp.1582-1591, 2010.

CASTRO, K.C., **Serapilheira e estoque de carbono ao longo de um gradiente latitudinal na floresta ombrófila densa, no parque nacional do Caparaó, ES**. M.Sc. dissertação, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, Brasil, 2014.

CHARLESWORTH, S.M., HARKER, E., RICKARD, S. "A Review of Sustainable Drainage Systems (SuDS): A Soft Option for Hard Drainage Questions?", **Geography** v.88, n.2, pp.99-107, 2003.

CHEN, C.F. "Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: a review", **Ecological Engineering** v.52, pp.51-58, 2013.

CHRISTEN, A., VOGT, R. "Energy and radiation balance of a central European city", **International Journal of Climatology** v.24, n.11, pp.1395-1421, 2004.

CONCEIÇÃO, M.A.F. "Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP", **Revista Brasileira de Agrometeorologia** v.11, n.2, pp.229-236, 2003.

CONCEIÇÃO, M.A.F., MARIN, F.R. "Evaluation of models for the estimation of daily values of global solar radiation based on air temperature", **Revista Brasileira de Agrometeorologia** v.15, n.1, pp.103-108, 2007.

COSTA, J., COSTA, A., POLETO, C. "Telhado Verde: redução e retardo do escoamento superficial", **Revista de Estudos Ambientais**, v.14, n.2, edição especial, pp.50-56, 2012.

CRAYN, D.M., WINTER, K., SCHULTE, J., SMITH, A.C. "Photosynthetic pathways in Bromeliaceae: phylogenetic and ecological significance of CAM and C<sub>3</sub> based on carbon isotope ratios for 1893 species", **Botanical Journal of the Linnean Society** v.178, n.2, pp.169-221, 2015.

CURRIE, B.A., BASS, B. "Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model", **Urban Ecosystem** v.11, pp.409-422, 2008.

DE BRUIN, H.A., STRICKER, J.N. "Evaporation of grass under non-restricted soil moisture conditions", **Hydrological Sciences** v.45, n.3, pp.391-406, 2000.

DENICH, C., BRADFORD, A. "Estimation of evapotranspiration from bioretention areas using weighing lysimeters", **Journal of Hydrologic Engineering** v.15, n.6, pp. 522-530, 2010.

DIGIOVANNI, K., GAFFIN, S.R., MONTALTO, F., ROSENZWEIG, C. "Green Roof Hydrology: Results from a Small-Scale Lysimeter Setup (Bronx, NY)", **Million Trees NYC, Green Infrastructure, and Urban Ecology: A Research Symposium**, pp.1328-1341, New York, NY, 5 e 6 de março, 2010.

DIGIOVANNI, K., MONTALTO, F., GAFFIN, S., ROSENZWEIG, C. "Applicability of classical predictive equations for the estimation of evapotranspiration from urban green spaces: Green roof results", **Journal of Hydrologic Engineering** v.18, n.1, pp.99-107, 2013.

DOCIU, M., DUNARINTU, A. "The Socio-Economic Impact of Urbanization", **International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences** v. 2, Special Issue 1, pp.47-52, 2012.

DONNELLY, M., **Architecture in the Scandinavian Countries**. 1 ed. Cambridge, The MIT Press, 1992.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O., **Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO**, In: FAO Irrigation and Drainage paper, pp.178, 1984.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O., **Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO**, In: FAO Irrigation and Drainage Paper 24, pp.179, 1977.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O., **Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO**, In: FAO Irrigation and Drainage Paper 24, pp.179, 1975.

DORFMAN, R., **Critérios de avaliação de alguns métodos de cálculo da evapotranspiração potencial**. M.Sc. dissertação em Ciência Espacial e da Atmosfera, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 1977.

DOUGLAS, J. S., **Advanced guide to hydroponics**. 1 ed. Pelham, 1986.

DURU, J.O. "Blaney-Morin-Nigeria evapotranspiration model", **Journal of Hydrology** v.70, pp.71-83, 1984.

EICHINGER, W.E., PARLANGE, M.B., STRICKER, H. "On the concept of equilibrium evaporation and the value of the Priestley Taylor coefficient", **Water Resources Research** v. 32, n.1, pp.161-164, 1996.

FASSMAN, E., SIMCOCK, R. "Development and implementation of a locally sourced extensive green roof substrate in New Zealand". In: **World Green Roof Congress**, London, setembro 2008.

FENG, C., MENG, Q., ZHANG, Y. "Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs", **Energy and Buildings** v.42, n.6, pp.959-965, 2010.

FENG, Y., BURIAN, S.J., PARDYJAK, E.R. "Observation and Estimation of Evapotranspiration from an Irrigated Green Roof in a Rain-Scarce Environment ", **Water** v.10, n.3, pp.262-285, 2018.

FISHER, J.B., MELTON, F., MIDDLETON, E., HAIN, C., ANDERSON, M., ALLEN, R., MCCABE, M.F., HOOK, S., BALDOCCHI, D., TOWNSEND, P.A., KILIC, A., TU, K., MIRALLES, D.D., PERRET, J., LAGOUARDE, J. P., EALISER, D., PURDY, A.J., FRENCH, A., SCHIMEL, D., FAMIGLIETTI, J.S., STEPHENS, G., WOOD, E.F. "The future of evapotranspiration: Global requirements for ecosystem functioning, carbon and climate feedbacks, agricultural management, and water resources", **Advancing Earth and Space Science** v.53, n.4, pp. 2618-2626, 2017.

FREVERT, D.R., HILL, R.W., BRAATEN, B.C. "Estimation of FAO evapotranspiration coefficients", **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.109, n.2, pp.265-270, 1983.

GANGOPADHYAYA, M., HARBECK Jr, G.E., NORDENSON, T.J., OMAR, M.H., URYVAEV, V.A., **Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration**. In: Technical Note 83, Genova, WMO, pp.121, 1966.

GAVILAN, P., ESTÉVEZ, J., BERENGENA, J. "Comparison of standardized reference evapotranspiration equations in southern Spain", **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.134, pp.1-12, 2008.

GETTER, K.L., ROWE, D.B. "Media depth influences *Sedum* green roof establishment", **Urban ecosystems** v.11, n.4, pp.361-372, 2008.

GETTER, K.L., ROWE, D.B. "Substrate depth influences *Sedum* plant community on a green roof", **HortScience** v.44, n.2, pp.401-407, 2009.

GREEN ROOF INDONESIA. *Green roof types and conception*. Disponível em: < <http://greenroofindonesia.com/> > Acesso em 18 de julho 2018.

GUIMARAES-SOUZA, B.A., MENDES, G.B., BENTO, L., MAROTTA, H., SANTORO, A. L., ESTEVES, F. A., ENRICH-PRAST, A. "Limnological parameters in the water accumulated in tropical bromeliads", **Acta Limnologica Brasiliensia** v.18, pp.47-53, 2006.

HAKIMDAVAR, R., CULLIGAN, P.J., FINAZZI, M., BARONTINI, S., RANZI, R. "Scale dynamics of extensive green roofs: quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modelled green roof hydrologic performance", **Ecological Engineering** v.73, pp.494-508, 2014.

HAMON, W.R. "Estimating potential evapotranspiration", **Journal of the Hydraulics Division** v.87, pp.107-120, 1961.

HANSON, R.L., **Evapotranspiration and droughts**, In: R. W. Paulson, E. B. Chase, R. S. Roberts, & D. W. Moody (Eds.), Compilers, National Water Summary 1988–89: Hydrologic events and floods and droughts: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2375, USA , 1991.

HARGREAVES, G.H., SAMANI, Z.A. "Reference crop evapotranspiration from temperature", **Journal of Applied Engineering in Agriculture** v.1, n.2, pp.96-99, 1985.

HARGREAVES, G.H., ALLEN, R.G. "History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation", **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.129, n.1, pp.53-63, 2003.

HIODO, F.Y., ARAÚJO, R.L.C., SILVA, J.E., BLANE, K. "Construção de um sistema automático para monitoração geotermal rasa". In: **10th International Congress of the Brazilian Geophysical Society**, pp.1112-1116, Rio de Janeiro, Nov. 2007.

HOWELL, T.A., EVETT, S.R., TOLK, J.A., COPELAND, K.S., MAREK, T.H. "Evapotranspiration, water productivity and crop coefficients for irrigated sunflower in the US southern high plains", **Agricultural Water Management** v.162, pp.33-46, 2015.

HUXMAN, T., SMITH, M., FAY, P., KNAPP, A., SHAW, M., LOIK, M., SMITH, S., TISSUE, D., ZAK, J., WELTZIN, J., POCKMAN, W., SALA, O., HADDAD, B., HARTE, J., KOCH, G., SCHWINNING, S., SMALL, E., WILLIAMS, D., "Convergence across biomes to a common rain-use efficiency", **Nature** v.429, pp.651-654, 2004.

HUXMAN, T., WILCOX, B., BRESHEARS, D., SCOTT, R., SNYDER, K., SMALL, E., HULTINE, K., POCKMAN, W., JACKSON, R., "Ecohydrological implications of woody plant encroachment", **Ecology** v.86, pp.308-319, 2005.

IBGE. *Censo demográfico 2010*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/saude/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=o-que-e>> Acesso: 09 março 2018.

IBGE. *IBGE divulga as estimativas populacionais dos municípios para 2017*. Disponível em:<<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/2013-agencia-de-noticias/releases/16131-ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municipios-para-2017.html>> Acesso: 09 março 2018.

IRMAK, S., HAMAN, D.Z., **Evapotranspiration: Potential or Reference?**, In: IFAS Extension University of Florida, Agricultural and Biological Engineering pp.343, 2003.

JACKSON, R. B., JOBBÁGY, E.G., AVISSAR, R., ROY, S.B., BARETT, D.J., COOK, C.W., FARLEY, K.A., LE MAITRE, D.C., MCCARL, B.A., MURRAY, B.C. "Trading water for carbon with biological sequestration", **Science** v.310, n.5756, pp.1944-1947, 2005.

JACKSON, R.B., RANDERSON, J.T., CANADELL, J.G., ANDERSON, R.G., AVISSAR, R., BALDOCCHI, D.D., BONAN, G.B., CALDEIRA, K., DIFFENBAUGH, N.S., FIELD, C.B., HUNGATE, B.A., JOBBÁGY, E.G., KUEPPERS, L.M., NOSETTO, M.D., PATAKI, D.E. "Protecting climate with forests", **Environmental Research Letters** v.3, n.4, 2008.

JACOBS, J.M., SATTI, S.R., **Evaluation of reference evapotranspiration methodologies and AFSIRS crop water use simulation model**. In: Final Report Gainesville: Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, pp.114, 2001.

JAFFAL, I., OULDBOUKHITINE, S., BELARBI, R. "A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance", **Renewable Energy** v.43, pp.157-164, 2012.

JENSEN, M.E., BURMAN, R.D. AND ALLEN, R.G. "Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements". In: **American Society of Civil Engineers Manual and Reports on Engineering Practice No. 70**, New York, 360, 1990.

JENSEN, M.E., HAISE, H.R. "Estimating evapotranspiration from solar radiation", **Journal of the Irrigation and Drainage Division** v.89, n.4, pp.15-41, 1963.

JIM, C.Y., TSANG, S.W. "Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof", **Building and Environment** v.46, n.6, pp.1263-1274, 2011c.

JIM, C.Y. "Green roof evolution through exemplars: Germinal prototypes to modern variants", **Sustainable Cities and Society** v.35, pp.69-82, 2017.

KHARRUFA, N.S. "Simplified equation for evapotranspiration in arid regions", **Beiträge zur Hydrologie: Sonderheft** v.5, n.1, pp.39-47, 1985.

KOEHLER, M., SCHMIDT, M. "Benefits for sustainable water management – green roof technology". In: **World Green Roof Congress**, London, setembro 2008.

KÖHLER, M. "Plant survival research and biodiversity: Lessons from Europe", **Paper presented at the First Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show**. Chicago, USA, 20–30 maio, 2003.

KÖHLER, M., POLL, P. "Long-term performance of selected old Berlin greenroofs in comparison to younger extensive greenroofs in Berlin", **Ecological Engineering** v.36, n.5, pp.722-729, 2010.

KOSAREO, L., RIES, R. "Comparative environmental life cycle assessment of green roofs", **Building and environment** v.42, n.7, pp.2606-2613, 2007.

KSIAZEK, K., FANT, J., SKOGEN, K. "An assessment of pollen limitation on Chicago green roofs", **Landscape Urban Planning** v.107, n.4, pp.01–8, 2012.

LAAR, M., GRIMME, F. W. "Thermal comfort and reduced flood risk through green roofs in the tropics", **Idea. PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Geneva, Switzerland, 6-8 setembro, 2006.

LACERDA, Z.C., TURCO, J.E.P. "Estimation methods of reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) for Uberlândia -MG", **Revista Engenharia Agrícola** v.35, n.1, pp.27-38, 2015.

LI, J.F., WAI, O.W.H., LI, Y.S., ZHAN, J.M., HO, Y.A., LI, J., LAAM, E. "Effect of green roof on ambient CO<sub>2</sub> concentration". **Building and Environment** v.45, n.12, pp.2644-2651, 2010.

LINACRE, E. T. "A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone", **Agricultural Meteorology** v.18, n.6, pp.409-424, 1977.

LOCATELLI, L., MARK, O., MIKKELSEN, P.S., ARNBJERG-NIELSEN, K., JENSEN, M.B., BINNING, P.J. "Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications", **Journal of Hydrology** v.519, pp.3237-3248, 2014.

MAHRINGER, W. "Verdunstungs studien am Neusiedler See", **Theoretical and Applied Climatology** v.18, n.1, pp.1-20, 1970.

MAKKINK, G.F. "Ekzamento de la formulo de Penman", **Netherlands Journal of Agricultural Science** v.5, pp.290-305, 1957.

MARASCO, D.E., HUNTER, B.N., CULLIGAN, P.J., GAFFIN, S.R., MCGILLIS, W.R. "Quantifying Evapotranspiration from Urban Green Roofs: A Comparison of Chamber Measurements with Commonly Used Predictive Method", **Environmental Science & Technology** v.48, n.17, pp.10273-10281, 2014.

MARASCO, D.E., CULLIGAN, P.J., MCGILLS, W.R. "Evaluation of common evapotranspiration models based on measurements from two extensive green roofs in New York City", **Ecological Engineering** v.84, pp.451-462, 2015.

MELO, G.deL., FERNANDES, A.L.T. "Evaluation of empirical methods to estimate reference evapotranspiration in Uberaba, State of Minas Gerais, Brazil", **Revista Engenharia Agrícola** v.32, n.5, pp.875-888, 2012.

MITCHELL, V.G., CLEUGH, H.A., GRIMMOND, C.S.B., XU, J. "Linking urban water balance and energy balance models to analyse urban design options", **Hydrological Process** v.22, n.16, pp.2891-2900, 2008.

MOGHBEL, M., SALIM, R.E. " Environmental benefits of green roofs on microclimate of Tehran with specific focus on air temperature, humidity and CO<sub>2</sub> content", **Urban Climate** v.20, pp.46-58, 2017.

MOLINEUX, C.J., FENTIMAN, C.H., GANGE, A.C. "Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the UK", **Ecological Engineering** v.35, n.10, pp.1507-1513, 2009.

MONTEITH, J.L. "Evaporation and Environment". In: **Michael AM (ed) Irrigation theory and practice second edition, 2008. Cochin: Vikas Publishing House Pvt. Ltd, New Delhi, pp.499, 1965.**

MORAU, D., RAKOTONDRAMMIARANA, H., ANDRIAMAMONJY, A.L. "Simple model for the theoretical survey of the green roof thermal behavior", **Journal of Technology Innovations in Renewable Energy** v.1, n.2, pp.92-102, 2012.

NOWAK, D.J., CRANE, D.E. "Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA", **Environmental Pollution** v.116, n.3, pp.381-389, 2002.

NOWAK, M., **Urban agriculture on the rooftop**. Tese de D.Sc., Cornell University, Ithaca, 2004.

OBERNDORFER, E., LUNDHOLM, J., BASS, B., COFFMAN, R.R., DOSHI, H., DUNNETT, N., GAFFIN, S., KÖHLER, M., LIU, K.K.Y., ROWE, B. "Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services", **Bioscience** v.57, n.10, pp.823-833, 2007.

OLIVEIRA, E.W.N., **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. M.Sc. dissertação, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

OSMUNDSON, T., **Roof garden: history, design and construction**. 1ed. New York, WW Norton & Company, 1999.

LOUDIN, L., HIERVIEU, F., MICHEL, C., PERRIN, C., ANDRÉASSIAN, V., ANCTIL, F., LOUMAGNE, C. "Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part2- Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling", **Journal of Hydrology** v.303, pp.290-306, 2005.

PARIZOTTO, S., LAMBERTS, R. "Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil", **Energy and Buildings** v.43, n.7, pp.1712-1722, 2011.

PATAKI, D.E., ALIGR.J., FUNG, A.S., GOLUBIEWSKI, N.E., KENNEDY, C.A., MCPHERSON, E.G., NOWAK, D.J., POUYAT, R.V., ROMERO LANKAO, P. "Urban ecosystems and the North American carbon cycle", **Global Change Biology** v.12, n.11, pp.2092-2102, 2006.

PECK, L.S., PÖRTNER, H.O., HARDEWIG, I. "Metabolic demand, oxygen supply, and critical temperatures in the Antarctic bivalve *Laternula elliptica*", **Physiological and Biochemical Zoology** v.75, pp.123-133, 2002.

PECK, S.W., CALLAGHAN, C., KUHN, M.E., ARCH, B., BASS, B., **Greebacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada**. 1ed. Canada, Canada Mortgage and Housing Corporation, 1999.

PENMAN, H.L. "Natural evaporation from open water, bare soil and grass", **Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences** v.193, pp.120-145, 1948.

PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C., **Evapo(transpi)-ração**, 1.ed. Piracicaba: FEALQ, 1997.

PEREIRA, D.R., YANAGI, S.N.M., MELLO, C.R., SILVA, A.M., SILVA, L.A. "Desempenho de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para a região da Serra Mantiqueira, MG ", **Ciência Rural** v.39, n.9, pp.2488-2493, 2009.

PIEPER, J., "The Nature of Hanging Gardens; in Daidalos", Cap. 23, pp.94-109, 1987.

PISELLO, A.L., PISELLI, C., COTANA, F. "Thermal-physics and energy performance of an innovative green roof system: The Cool-Green Roof", **Solar Energy** v.116, pp.337-356, 2015.

POLETO, C., TASSI, R. **Sustainable Urban Drainage Systems**, In: ISBN 978-953-51-0243-4, Drainage Systems, INTECH, 2012.

POPULATION DIVISION OF THE UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. *Revision of the World Urbanization Prospects*, 2018. Disponível em <<https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>> Acesso em 17 jul, 2018.

PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. "On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters", **Monthly Weather Review** v.100, n.2, pp.81-92, 1972.

RAJI, B., TENPIERIK, M.J., VAN DE DOBBELSTEEN, A. "The impact of greening systems on building energy performance: A literatura review", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v.45, pp.610-623, 2015.

RAVAZZANI, G., CORBARI, C., MORELLA, S., GIANOLI, P., MANCINI, M. "Modified Hargreaves-Samani equation for the assessment of reference evapotranspiration in Alpine River Basins", **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE** v.138, n.7, pp.592-599, 2012.

ROCHA, S. *Os números do mercado de telhados verdes no mundo*, 2016. Disponível em: < <http://blog.institutocidadejardim.com.br/2016/09/13/um-telhado-verde-nao-faz-verao-2-os-numeros-do-mercado-de-telhados-verdes-no-mundo/> > Acesso em 10 jan, 2002.

ROLA, S.M., **A natureza como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: estudo da capacidade do sistema de natureza em filtrar a água de chuva**. 209f. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2008.

ROMANENKO, V.A. "Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area", **Kiev: Ukrainian Hydrometeorological Research Institute**, 1961.

SCHENDEL, U. **Vegetations Wasserverbrauch und Wasserbedarf**. In: Habilitation, Kiel, pp.137, 1967.

SHUTTLEWORTH, W.J., **Evaporation**, In: Maidment, D.R. (ed.) *Handbook of Hydrology*. New York, McGraw-Hill Inc., 1993.

SILVA, R.B., **Telhados verdes em clima tropical: uma nova técnica e seu potencial de atenuação térmica**, Tese de D.Sc., UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.

SLATYER, R.O., MCCILROY, I.C., **Practical Microclimatology**. In: UNESCO, CSIRO, Melbourne, pp.310, 1961.

SNYDER, R.L., ORANG, M., MATYAC, S., GRISMER, M.E. "Simplified estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation data in California", **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.131, n.3, pp.249-253, 2005.

STEFFERUD, S., **Soil Moisture and Evapotranspiration in Extensive Green Roofs**. M.Sc. dissertação, Norwegian University of Science and Technology, Norway, 2016.

STEPHENS, J.C., STEWART, E.H. **A comparison of procedures for computing evaporation and evapotranspiration**. In: Publication 62, International Association of Scientific Hydrology. International Union of Geodesy and Geophysics, California, USA, pp.123-133, 1963.

SUN, T., BOU-ZEID, E., WANG, Z.H., ZERBA, E., NI, G.H. "Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport", **Building and Environment** v.60, pp.211-24, 2013.

SZOTA, C., FARRELL, C., WILLIAMS, N.S.G., ARNDT, S.K., FLETCHER, T.D. "Drought-avoiding plants with low water use can achieve high rainfall retention without jeopardising survival on green roofs ", **Science of the Total Environment** v.603-604, pp.340-351, 2017.

TAN, P. Y., SIA, A. A pilot green roof research project in Singapore. In: **Proceedings of third annual greening rooftops for sustainable communities' conference**, Awards and Trade Show, Washington DC, 4-6 maio, 2005.

TAN, P.Y., SIA, A. "Understanding the performance of plants on non-irrigated green roofs in Singapore using a biomass yield approach", **Nature in Singapore**, v.2, pp.149-153, 2009.

TANG, X., QU, M. "Phase change and thermal performance analysis for green roofs in cold climates", **Energy and Buildings** v.121, pp.165-175, 2016.

TANNER, C.B. "Factors affecting evaporation from plants and soils", **Journal of Soil and Water Conservation** v.12, pp.221-227, 1957.

THE WORLD BANK GROUP. *Population Estimates and Projections, 2018*. Disponível em <<https://datacatalog.worldbank.org/dataset/population-estimates-and-projections>> Acesso em 17 julho 2018.

THEODOSIOU, T. "Green roofs in buildings: thermal and environmental behavior", **Advances in Building Energy Research** v.3, pp.271-288, 2009.

THURING, C.E., DUNNETT, N. "Vegetation composition of old extensive green roofs (from 1980s Germany)", **Ecological Processes** v.3, n.1, pp.1-11, 2014.

TOMAR, V.S., O'TOOLE, J.C. "Water use in lowland rice cultivation in Asia: a review of evapotranspiration", **Agricultural Water Management** v.3, pp.83-106, 1980.

TRABERT, W. "Neue beobachtungen über verdampfungsgeschwindigkeiten" **Meteorol. Z** v.13, pp.261-263, 1989.

TRAJKOVIC, S. "Hargreaves versus Penman–Monteith under humid conditions", **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.133, n.1, pp.38-42, 2007.

TURC, L. "Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date", **Annals of Agronomy** v.12, pp.13-49, 1961.

UTTARA, S., BHUVANDAS, N., AGGARWAL, V. "Impacts of Urbanization on Environment", **International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences** v.2, n.2, pp.1637-1645, 2012.

VAN RENTERGHEM, T., BOTTELDOOREN, D. "In situ measurements of sound propagating over extensive green roofs", **Building and Environment** v.46, n.3, pp.729-738, 2011.

VAN RENTERGHEM, T., BOTTELDOOREN, D." Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs", **Building and Environment** v.44, n.5, pp.1081- 1087, 2009.

VIJAYARAGHAVAN, K., JOSHI, M., BALASUBRAMANIAN, R. "A field study to evaluate runoff quality from green roofs", **Water Research** v.46, n.4, pp.1337-1345, 2012.

VIJAYARAGHAVAN, K. "Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v.57, pp.740-752, 2016.

VILLA NOVA, N.A., PEREIRA, A.B. "Adjustment of the Priestley-Taylor method to local climatic conditions", **Engenharia Agrícola** v.26, n.2, pp.395-405, 2006.

VIÑOLY, R. *Rafael Viñoly Architects at Transformative Visions for Resilience Conference*. Disponível em: <<https://vinoly.com/article/rafael-violy-architects-at-transformative-visions-for-resilience-conference/>> Acesso em 20 de julho, 2018.

WADZUK, B., SCHNEIDER, D., FELLER, M., TRAVER, R. "Evapotranspiration from a Green Roof Storm-Water Control Measure", **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.139, n.12, pp.995-1003, 2013.

WHITTINGHILL, L.J., ROWE, D.B., CREGG, B.M. "Evaluation of vegetable production on extensive green roofs", **Agroecology and Sustainable Food Systems** v.37, n.4, pp.465-484, 2013.

WILLMOTT, C. J., ACKLESON, S.G., DAVIS, R.E. "Statistics for the evaluation and comparison of models", **Journal of Geophysical Research** v.90, n.5, pp.8995-9005, 1985.

WINTER, T.C., ROSENBERRY, D.O., STURROCK, A.M. "Evaluation of 11 equations for determining evaporation for a small lake in the north central United States", **Water Resources Research** v.31, n.4, pp.983-993, 1995.

WOODS-BALLARD, B., KELLAGHER, R., MARTIN, P., JEFFERLES, C., BRAY, R., SHAFFER, P., **The SUDS Manual (C697)**, In: Construction Industry Research and Information Association, London, 2007.

XU, C.Y., SINGH, V.P. "Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland", **Water Resources Management** v.16, pp.197-219, 2002.

YANG, J., YU, Q., GONG, P. "Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago", **Atmos Environ** v.42, n.31, pp.7266-7273, 2008.

YILMAZ, D., SABRE, M., TÉTARD, Y. "Actual Evapotranspiration measurement from experimental green roofs". **8th International Conference on Urban Climates**, Dublin, Irlanda, 6-10 Agosto 2012.

ZAREMBA, G., **Evapotranspiration Measurement and Modeling for a Green Roof System**. M.Sc. dissertação, Villanova University, USA, 2015.

ZHANG, X., SHEN, L., TAM, V.W., LEE, W.W.Y. "Barriers to implement extensive green roof systems: a Hong Kong study", **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v.16, n.1, pp.314-319, 2012.

ZIMMERMANN, E.D. **Evaporación, transpiración y evapotranspiración en Orsolini**. In: ZIMMERMANN, E.D., BASILE, P.A. (Ed.). *Hidrología: procesos y métodos*. Rosario: UNR Editora, pp.65-89, 2000.

ZOTZ, G., THOMAS, V. "How much water is in the tank? Model calculations for two epiphytic bromeliads". **Annals of Botany** v.83, n.2, pp.183-192, 1999.

**ANEXO I – Classificação do tipo de telhado verde dependendo o tipo de uso,  
fatores de construção e requerimentos de manutenção.**



	<b>Extensivo</b>	<b>Semi-intensivo</b>	<b>Intensivo</b>
<b>Manutenção</b>	Baixo	Periodicamente	Alta
<b>Irrigação</b>	Não	Periodicamente	Regularmente
<b>Tipo de vegetação</b>	Musgo, sedum, ervas e grama	Gramma, ervas e arbustos	Gramado ou perenes, arbustos e árvores
<b>Custo</b>	Baixo	Meio	Alta
<b>Peso</b>	60-150 kg m <sup>-2</sup>	120-200 kg m <sup>-2</sup>	180-500 kg m <sup>-2</sup>
<b>Uso</b>	Camada de proteção ecológica	Telhado verde desenhado	Considera-se um jardim
<b>Profundidade de substrato</b>	60-200 mm	120-250 mm	150-400 mm garagens subterrâneas ≥ 1000 mm

Fonte: PISELLO *et al.*, 2015.  
Tradução própria.

**ANEXO II – Listagem das espécies sobreviventes no telhado verde e suas características (Nomes científicos atualizados segundo o banco de dados taxonômicos online <http://tropicos.org/>); Grau de conservação obtidos a partir de IUCN red list, Martinelli & Moraes (2013), CNCFLORA ou CITES Apêndice II.**

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Origem</b>	<b>Forma de crescimento</b>	<b>Hábito</b>	<b>Conservação</b>
Acanthaceae	<i>Ruellia simplex</i> Wright	Nativa não endêmica	Erva	Terrestre	Não listada
Amaryllidaceae	<i>Allium fistulosum</i> L.	Exótica	Erva	Terrestre	Não listada
Amaryllidaceae	<i>Allium tuberosum</i> Rottler ex Spreng.	Exótica	Erva	Terrestre	Não listada
Apocynaceae	<i>Adenium obesum</i> (Forssk.) Roem. & Schult.	Exótica	Arbusto suculento	Litófita	Não listada
Apocynaceae	<i>Huernia macrocarpa</i> Schweinfurth ex K. Schum.	Exótica	Suculenta	Litófita	Não listada
Apocynaceae	<i>Orbea caudata</i> subsp. <i>Rhodesiaca</i> (L.C. Leach) Bruyns	Exótica	Suculenta	Litófita	Não listada
Apocynaceae	<i>Pachypodium geayi</i> Costantin & Bois	Exótica	Árvore suculenta	Litófita	CITES Apêndice II
Apocynaceae	<i>Pachypodium lamerei</i> Drake	Exótica	Árvore suculenta	Litófita	CITES Apêndice II
Apocynaceae	<i>Pachypodium saundersii</i> N.E. Br.	Exótica	Arbusto suculento	Litófita	Não listada
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra</i> L.	Exótica	Árvore pequena	Terrestre	Não listada
Apocynaceae	<i>Stapelia hirsuta</i> L.	Exótica	Suculenta	Litófita	Não listada
Araceae	<i>Alocasia 'Amazonica'</i> ( <i>Alocasia sanderiana</i> x <i>Alocasia lowii</i> )	Híbrido artificial	Erva	Terrestre	Não aplicável

Araceae	<i>Colocasia esculenta</i> var. <i>aquaticilis</i> Hassk.	Exótica	Aquática	Aquatic	Menor preocupação (LC)(IUCN)
Araceae	<i>Philodendron crassinervium</i> Lindl.	Nativa endêmica	Liana	Epífita / Litófito / HemiEpífita	Não listada
Araceae	<i>Philodendron warszewiczii</i> K. Koch & C.D. Bouché	Exótica	Liana	Epífita / Litófito	Não listada
Arecaceae	<i>Bismarckia nobilis</i> Hildebrandt & H. Wendl.	Exótica	Árvore pequena	Terrestre	Menor preocupação (LC)(IUCN)
Arecaceae	<i>Chamaedorea seifrizii</i> Burret	Exótica	Arbusto grande	Terrestre	Não listada
Asparagaceae	<i>Agave americana</i> var. <i>marginata</i> Trel.	Exótica	Arbustogrande	Litófito / Terrestre	Não listada
Asparagaceae	<i>Agave attenuata</i> Salm-Dyck	Exótica	Arbusto grande	Litófito / Terrestre	Não listada
Asparagaceae	<i>Agave franzosinii</i> P.Sewell	Exótica	Arbusto grande	Litófito / Terrestre	Não listada
Asparagaceae	<i>Agave gypsophila</i> Gentry	Exótica	Arbusto pequeno	Litófito	Não listada
Asparagaceae	<i>Agave vilmoriniana</i> (leaves erect) A. Berger	Exótica	Arbusto grande	Litófito	Não listada
Asparagaceae	<i>Agave vilmoriniana</i> (spiraled leaves) A. Berger	Exótica	Arbusto grande	Litófito	Não listada
Asparagaceae	<i>Agave weberi</i> F. Cels ex J. Poiss.	Exótica	Arbusto grande	Litófito / Terrestre	Não listada
Asparagaceae	<i>Beaucarnea recurvata</i> Lem.	Exótica	Arbusto grande	Litófito / Terrestre	Não listada
Asparagaceae	<i>Dracaena draco</i> (L.) L.	Exótica	Árvore pequena	Litófito / Terrestre	Vulnerável (VU) (IUCN)
Asparagaceae	<i>Dracaena reflexa</i> var. <i>angustifolia</i> Baker	Exótica	Árvore pequena	Litófito / Terrestre	Não listada

Asparagaceae	<i>Sansevieria 'Alva'</i>	Híbrido artificial	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não aplicável
Asparagaceae	<i>Sansevieria ehrenbergii Schweinf. ex Baker</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Asparagaceae	<i>Sansevieria 'Fernwood'</i>	Cultivar artificial	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não aplicável
Asparagaceae	<i>Sansevieria masoniana Chahinian</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Asparagaceae	<i>Sansevieria parva N.E. Br.</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Asparagaceae	<i>Sansevieria trifasciata 'Bantel's Sensation'</i>	Cultivar artificial	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não aplicável
Asparagaceae	<i>Sansevieria trifasciata 'Black Coral'</i>	Cultivar artificial	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não aplicável
Asparagaceae	<i>Sansevieria trifasciata 'Moonshine'</i>	Cultivar artificial	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não aplicável
Asparagaceae	<i>Sansevieria trifasciata var. laurentii (De Wild.) N.E. Br.</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Asteraceae	<i>Senecio crassissimus Humbert</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Asteraceae	<i>Senecio serpens G.D. Rowley</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Asteraceae	<i>Senecio sp.</i>				
Bromeliaceae	<i>Acanthostachys strobilacea (Schult. &amp; Schult.f.) Klotzsch</i>	Nativa não endêmica	Suculenta	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea amicornum B. R. Silva &amp; H. Luther</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Arenícola	Em perigo (EN)
Bromeliaceae	<i>Aechmea bambusoides L.B. Sm. &amp; Reitz</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Vulnerável (VU)

Bromeliaceae	<i>Aechmea blanchetiana</i> (Baker) L.B. Sm.	Nativa endêmica	Erva (broméliatanque)	Arenícola	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea cephaloides</i> J.A.Siqueira & Leme	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Terrestre	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea chantinii</i> (Carrière) Baker	Nativa não endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea comata</i> (Gaudich.) Baker	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófito	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea correia-araujo</i> E.Pereira & Moutinho	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea depressa</i> L.B. Sm.	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Terrestre	Em perigo (EN)
Bromeliaceae	<i>Aechmea distichantha</i> Lem.	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófito / Epiphyte / Terrestre	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea floribunda</i> Mart. ex Schult. & Schult. f.	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Terrestre/ Arenícola	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea leptantha</i> (Harms) Leme & J.A. Siqueira	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófito / Terrestre	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea nudicaulis</i> (cv. 1) (L.) Griseb.	Nativa não endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófito	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea nudicaulis</i> (cv. 2) (L.) Griseb.	Nativa não endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófito	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea orlandiana</i> L.B. Sm.	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Criticamente em perigo (CR)
Bromeliaceae	<i>Aechmea pectinata</i> Baker	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Terrestre	Não listada
Bromeliaceae	<i>Aechmea pineliana</i> (Brongn. ex Planch.) Baker	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófito/ Arenícola	Não listada

Bromeliaceae	<i>Aechmea</i> 'Purple Gem'	Híbrido artificial	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não aplicável
Bromeliaceae	<i>Aechmea tocanina</i> Baker	Nativa não endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófito	Não listada
Bromeliaceae	<i>Alcantarea glaziouana</i> (Leme) J.R.Grant	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófito	Em perigo (EN)
Bromeliaceae	<i>Alcantarea nahoumii</i> (Leme) J.R.Grant	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófito	Vulnerável (VU)
Bromeliaceae	<i>Alcantarea odorata</i> (Leme) J.R.Grant	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófito	Não listada
Bromeliaceae	<i>Alcantarea vinicolor</i> (E.Pereira & Reitz) J.R.Grant	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófito	Em perigo (EN)
Bromeliaceae	<i>Ananas</i> (Nahoum)	Cultivar artificial	Erva	Litófito / Terrestre	Não aplicável
Bromeliaceae	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.	Cultivar artificial	Erva	Litófito / Terrestre	Não aplicável
Bromeliaceae	<i>Billbergia amoena</i> var. <i>rubra</i> M.B. Foster	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Billbergia</i> 'Hallelujah'	Cultivar artificial	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não aplicável
Bromeliaceae	<i>Billbergia</i> sp. 1		Erva (bromélia tanque)	Epífita	
Bromeliaceae	<i>Brocchinia micrantha</i> (Baker) Mez	Exótica	Erva (bromélia tanque)	Litófito / Terrestre	Não listada
Bromeliaceae	<i>Canistrum alagoanum</i> Leme & J.A.Siqueira	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófito	Em perigo (EN)
Bromeliaceae	<i>Canistrum aurantiacum</i> E. Morren	Nativa endêmica	Erva (bromélia-tanque)	Epífita / Terrestre	Em perigo (EN)
Bromeliaceae	<i>Cryptanthus schwackeanus</i> Mez	Nativa endêmica	Erva	Litófito	Não listada
Bromeliaceae	<i>Deuterocohnia meziana</i> Kuntze ex Mez	Nativa não endêmica	Suculenta	Litófito	Vulnerável (VU)

Bromeliaceae	<i>Dyckia brevifolia Baker</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Litófita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Dyckia choristaminea Mez</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Litófita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Encholirium horridum L.B.Sm.</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Litófita	Em perigo(EN)
Bromeliaceae	<i>Fosterella sp.</i>	Erva	Litófita		
Bromeliaceae	<i>Hechtia rosea E. Morren ex Baker</i>	Exótica	Suculenta	Litófita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Hohenbergia castellanosii L.B. Sm. &amp; Read</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Arenícola	Em perigo (EN)
Bromeliaceae	<i>Hohenbergia correia-araujoi E. Pereira &amp; Moutinho</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Criticamente em perigo (CR)
Bromeliaceae	<i>Hohenbergia penna E. Pereira</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Hohenbergia sp. 1</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófita	
Bromeliaceae	<i>Hohenbergia sp. 2</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófita	
Bromeliaceae	<i>Hohenbergia sp. 3</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófita	
Bromeliaceae	<i>Hohenbergia sp. 4</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófita	
Bromeliaceae	<i>Neoregelia camorimiana E. Pereira &amp; I.A. Penna</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Neoregelia carcharodon (Baker) L.B. Sm.</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Terrestre	Não listada
Bromeliaceae	<i>Neoregelia compacta (Mez) L.B. Sm.</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Neoregelia concentrica (Vell.) L.B. Sm.</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Terrestre	Não listada

Bromeliaceae	<i>Neoregelia cruenta</i> (R.Graham) L.B.Sm.	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Arenícola / Litófita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Neoregelia cv. 1</i>	Cultivar artificial	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófita	Não aplicável
Bromeliaceae	<i>Neoregelia 'Fireball'</i>	Cultivar artificial	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófita	Não aplicável
Bromeliaceae	<i>Neoregelia leviana</i> L.B. Sm.	Nativa não endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Neoregelia pendula</i> L.B. Sm.	Exótica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Neoregelia 'Sarada'</i>	Cultivar artificial	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófita	Não aplicável
Bromeliaceae	<i>Orthophytum sp. 1</i>		Erva	Litófita	
Bromeliaceae	<i>Orthophytum vagans</i> M.B. Foster	Nativa endêmica	Erva	Litófita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Pitcairnia encholirioides</i> L.B. Sm.	Nativa endêmica	Erva	Litófita	Em perigo (EN)
Bromeliaceae	<i>Pitcairnia 'Rhubarb'</i>	Cultivar artificial	Erva	Litófita	Não aplicável
Bromeliaceae	<i>Pitcairnia sp. 1</i>		Erva	Litófita	
Bromeliaceae	<i>Pitcairnia staminea</i> Lodd.	Nativa endêmica	Erva	Litófita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Portea alatisepala</i> Philcox	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Terrestre	Vulnerável (VU)
Bromeliaceae	<i>Quesnelia edmundoi</i> var. <i>intermedia</i> E. Pereira & Leme	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Quesnelia marmorata</i> (Lem.) R.W.Read	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia andreana</i> E. Morren ex André	Exótica	Erva	Epífita	Não listada

Bromeliaceae	<i>Tillandsia araujei</i> Mez	Nativa endêmica	Erva	Litófita	Em perigo (EN)
Bromeliaceae	<i>Tillandsia bulbosa</i> Hook.	Nativa não endêmica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia ehlersiana</i> Rauh	Exótica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia filifolia</i> Schldl. & Cham.	Exótica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia funckiana</i> Baker	Exótica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia ionantha</i> Planch.	Nativa não endêmica	Erva	Epífita	Menor preocupação (LC)(IUCN)
Bromeliaceae	<i>Tillandsia jonesii</i> T. Strehl	Nativa endêmica	Erva	Litófita	Criticamente em perigo (CR)
Bromeliaceae	<i>Tillandsia juncea</i> (Ruiz & Pav.) Poir.	Exótica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia nidus</i> Rauh & Lehmann	Exótica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia schiedeana</i> Steud.	Exótica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia seleriana</i> Mez	Exótica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia streptophylla</i> Scheidw. ex C. Morren	Exótica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia tricholepis</i> Baker	Nativa não endêmica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Tillandsia xerographica</i> Rohweder	Exótica	Erva	Epífita	Não listada
Bromeliaceae	<i>Vriesea costae</i> B. R. Silva & Leme	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófita	Criticamente em perigo (CR)
Bromeliaceae	<i>Vriesea saundersii</i> (Carrière) E. Morren ex Mez	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófita	Não listada

Bromeliaceae	<i>Vriesea sp. 1</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Litófita	
Bromeliaceae	<i>Wittrockia superba Lindm.</i>	Nativa endêmica	Erva (bromélia tanque)	Epífita / Litófita	Em perigo (EN)
Cactaceae	<i>Cactacea sp. 1</i>				CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Cactacea sp. 2</i>				CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Cactacea sp. 3</i>				CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Cactacea sp. 4</i>				CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Coleocephalocereus fluminensis (Miq.) Backeb.</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Litófita	Em perigo (EN)
Cactaceae	<i>Consolea macracantha A. Berger</i>	Exótica	Suculenta	Litófita / Terrestre	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Echinopsis pachanoi (Britton &amp; Rose) Friedrich &amp; G.D. Rowley</i>	Exótica	Suculenta	Litófita / Terrestre	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Hatiora sp. 1</i>		Suculenta	Epífita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Hylocereus polyrhizus (F.A.C. Weber) Britton &amp; Rose</i>	Exótica	Suculenta	Epífita / Litófita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Hylocereus undatus (Haw.) Britton &amp; Rose</i>	Nativa não endêmica	Suculenta	Epífita / Litófita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Lepismium cruciforme (Vell.) Miq.</i>	Nativa não endêmica	Suculenta	Epífita	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Mammillaria elongata DC.</i>	Exótica	Suculenta	Litófita	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II

Cactaceae	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	Nativa não endêmica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Dados insuficientes (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Pereskia aculeata</i> Mill.	Nativa não endêmica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Pereskia grandifolia</i> Haw.	Nativa endêmica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Pilosocereus pachycladus</i> F. Ritter	Nativa endêmica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Pilosocereus ulei</i> (K. Schum.) Byles & G.D. Rowley	Nativa endêmica	Suculenta	Litófito	Em perigo (EN) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis baccifera</i> (Sol.) Stearn	Nativa não endêmica	Suculenta	Epífita	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis cereoides</i> (Backeb. & Voll) Backeb.	Nativa endêmica	Suculenta	Litófito	Quase em perigo (NT) (IUCN); Criticamente em perigo (CR) (Martinelli & Moraes, 2013); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis clavata</i> F.A.C. Weber	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	Quase em perigo (NT) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis elliptica</i> G. Lindb. Ex K. Schum.	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis ewaldiana</i> Barthlott & N.P. Taylor	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	Dados insuficientes (IUCN); CITES Apêndice II

Cactaceae	<i>Rhipsalis flagelliformis</i> N.P.Taylor & Zappi	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis grandiflora</i> Haw.	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis oblonga</i> Loefgr.	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	Vulnerável (VU) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis paradoxa</i> (Salm Dyck ex Pfeiff.) Salm-Dyck	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita / Litófito	Em perigo (EN) (Martinelli & Moraes, 2013); Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis pentaptera</i> A.Dietr.	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	Criticamente em perigo (CR) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis sp. 1</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis sp. 2</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis sp. 3</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis sp. 4</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis sp. 5</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis sp. 6</i>	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis sulcata</i> F.A.C.Weber	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	Dados insuficientes (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis teres</i> (Vell.) Steud.	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita	Menor preocupação (LC) (IUCN);

					CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Rhipsalis triangularis</i> Werderm.	Nativa endêmica	Suculenta	Litófita	Criticamente Em perigo (EN) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Schlumbergera truncata</i> (Haw.) Moran	Nativa endêmica	Suculenta	Epífita / Litófita	Vulnerável (VU) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Selenicereus anthonyanus</i> (Alexander) D.R. Hunt	Exótica	Suculenta	Epífita	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Selenicereus grandiflorus</i> (L.) Britton & Rose	Exótica	Suculenta	Epífita / Litófita	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Selenicereus megalanthus</i> (K. Schum. ex Vaupel) Moran	Exótica	Suculenta	Epífita / Litófita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Selenicereus sp.</i> 1	Suculenta	Epífita	CITES Apêndice II	
Cactaceae	<i>Weberocereus bradei</i> (Britton & Rose) G.D. Rowley	Exótica	Suculenta	Epífita	Vulnerável (VU) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Winterocereus aureispinus</i> (F. Ritter) Backeb.	Exótica	Suculenta	Litófita	Em perigo (EN) (IUCN); CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Winterocereus colademononis</i> (Diers & Krahn) Metzinger & R. Kiesling	Exótica	Suculenta	Epífita / Litófita	CITES Apêndice II
Cactaceae	<i>Winterocereus</i> sp.		Suculenta	Epífita / Litófita	CITES Apêndice II
Clusiaceae	<i>Clusia fluminensis</i> (landscape clone)	Nativa endêmica	Árvore pequena		Não listada
Clusiaceae	<i>Clusia fluminensis</i> Planch. & Triana	Nativa endêmica	Árvore pequena	Litófita	Não listada

Commelinaceae	<i>Callisia fragrans</i> (Lindl.) Woodson	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Commelinaceae	<i>Callisia repens</i> (Jacq.) L.	Exótica	Erva	Litófito / Terrestre	Não listada
Commelinaceae	<i>Callisia warszewicziana</i> (Kunth & Bouché) D. R. Hunt	Exótica	Erva	Litófito / Terrestre	Não listada
Commelinaceae	<i>Tradescantia pallida</i> var. <i>purpurea</i> (Rose) D.R. Hunt	Exótica	Erva	Litófito / Terrestre	Não listada
Commelinaceae	<i>Tradescantia zebrina</i> Heynh.	Exótica	Erva	Litófito / Terrestre	Não listada
Convolvulaceae	<i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.) R. Br.	Nativa não endêmica	Liana	Arenícola	Não listada
Crassulaceae	<i>Bryophyllum beauverdii</i> (Raym.-Hamet) A. Berger	Exótica	Liana	Epífita / Litófito	Não listada
Crassulaceae	<i>Bryophyllum daigremontianum</i> (Raym.-Hamet & H. Perrier) A. Berger	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Crassulaceae	<i>Crassula obliqua</i> Aiton	Exótica	Arbusto suculento	Litófito / Terrestre	Não listada
Crassulaceae	<i>Graptopetalum paraguayense</i> (N.E. Br.) E. Walther	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Crassulaceae	<i>Kalanchoe fedtschenkoi</i> Hamet & H. Perrier	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Crassulaceae	<i>Kalanchoe orgyalis</i> Baker	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Crassulaceae	<i>Kalanchoe tubiflora</i> Raym.-Hamet	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada
Didiereaceae	<i>Alluaudia procera</i> (Drake) Drake	Exótica	Árvore suculenta	Litófito / Terrestre	Quase em perigo (NT) (IUCN); CITES Apêndice II

Doryanthaceae	<i>Doryanthes palmeri</i> W. Hill ex Benth.	Exótica	Suculenta	Litófita / Terrestre	Vulnerável (VU) (New South Wales Threatened Species Act, 1995)
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia enterophora</i> Drake	Exótica	Arbusto suculento	Litófita / Terrestre	Menor preocupação (LC) (IUCN); CITES Apêndice II
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i> sp. 2		Arbusto suculento	Litófita / Terrestre	CITES Apêndice II
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i> sp. 3		Arbusto suculento	Litófita / Terrestre	CITES Apêndice II
Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis</i> L.	Exótica	Árvore pequena	Terrestre	Não listada
Iridaceae	<i>Neomarica caerulea</i> (Ker Gawl.) Sprague	Nativa/endêmica	Erva	Litófita / Terrestre	Não listada
Lamiaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Exótica	Arbusto grande	Litófita / Terrestre	Não listada
Melastomataceae	<i>Heterocentron elegans</i> (Schltr.) Kuntze	Exótica	Liana	Litófita / Terrestre	Não listada
Melastomataceae	<i>Tibouchina heteromalla</i> (D. Don) Cogn.	Nativa endêmica	Arbusto grande	Litófita / Terrestre	Não listada
Orchidaceae	<i>Aganisia cyanea</i> (Schltr.) Rchb.f.	Nativa não endêmica	Erva	Epífita	CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Arundina bambusifolia</i> Lindl.	Exótica	Erva	Terrestre	CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Brassavola tuberculata</i> Hook.	Nativa endêmica	Erva	Epífita / Litófita	CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Cattleya intermedia</i> Grah.	Nativa endêmica	Erva	Epífita / Litófita	Vulnerável (VU) (Martinelli & Moraes, 2013); CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Cattleya schilleriana</i> Rchb. f.	Nativa endêmica	Erva	Epífita	Em perigo (EN) (Martinelli & Moraes, 2013);

					CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Coilostylis parkinsoniana</i> (Hook.) Withner & P.A.Harding	Exótica	Erva	Epífita	CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Cyrtopodium glutiniferum</i> Raddi	Nativa endêmica	Erva	Litófita	CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Dendrobium anceps</i> Sw.	Exótica	Erva	Epífita	CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Epidendrum ibaguense</i> Kunth	Nativa não endêmica	Erva	Litófita / Terrestre	CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Epidendrum secundum</i> Jacq.	Nativa não endêmica	Erva	Epífita	Menor preocupação (LC) CNCFLORA; CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Epidendrum sp. 1</i>	Nativa endêmica	Erva	Litófita	CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Epidendrum vesicatum</i> Lindl.	Nativa endêmica	Erva	Epífita	Least concern: Red list CNCFLORA; CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Myrmecophila tibicinis</i> (Bateman) Rolfe	Exótica	Erva	Epífita	CITES Apêndice II
Orchidaceae	<i>Vanilla chamissonis</i> Klotzsch	Nativa não endêmica	Liana	Epífita / Litófita	CITES Apêndice II
Pandanaceae	<i>Pandanus baptistii</i> Misonne	Exótica	Erva	Litófita / Terrestre	Não listada
Pandanaceae	<i>Pandanus utilis</i> Bory	Exótica	Árvore pequena	Terrestre	Não listada
Piperaceae	<i>Peperomia serpens</i> (Sw.) Loudon	Nativa não endêmica	Liana	Epífita	Menor preocupação (LC): Red list CNCFLORA
Polypodiaceae	<i>Phlebodium decumanum</i> (Willd.) J. Sm.	Nativa não endêmica	Erva	Epífita	Não listada
Polypodiaceae	<i>Platyserium bifurcatum</i> (Cav.) C. Chr.	Exótica	Erva	Epífita	Não listada

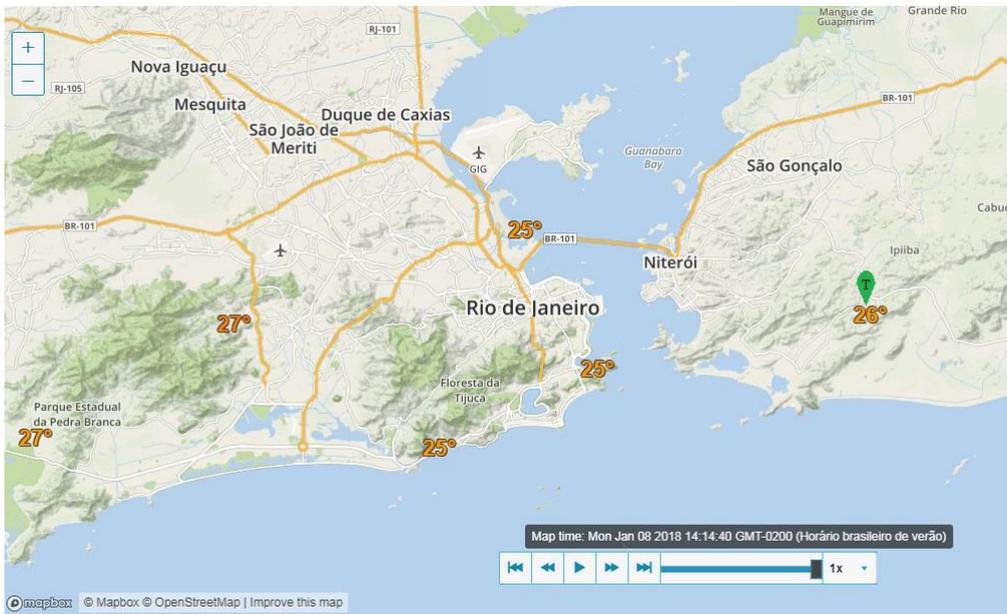
Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe (longo)</i>	Exótica	Suculenta	Terrestre	
Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe aculeata</i> <i>Pole-Evans</i>	Exótica	Suculenta	Litófito	CITES Apêndice II
Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe</i> <i>arborescens</i> <i>Mill.</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	CITES Apêndice II
Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe aristata</i> <i>Haw.</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	CITES Apêndice II
Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe dawei</i> A. <i>Berger</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	CITES Apêndice II
Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe petrophila</i> <i>Pillans</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	CITES Apêndice II
Xanthorrhoeaceae	<i>Aloe vera</i> (L.) <i>Burm. f.</i>	Exótica	Suculenta	Litófito / Terrestre	Não listada

Fonte: SILVA, 2016.

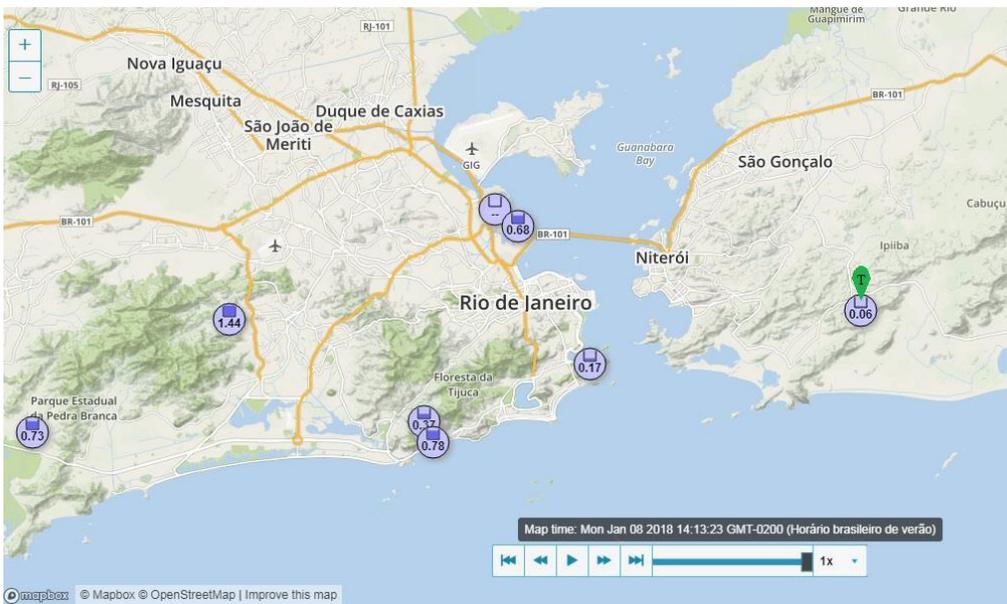
**ANEXO III – Imagens dos dados climatológicos do 08/01/18 as 14 horas via online no site *Weather Underground*.**

Sendo  a ubiquação da estação meteorológica utilizada na pesquisa.

Mapa com temperatura atual no Rio de Janeiro



Mapa com precipitação atual no Rio de Janeiro



## ANEXO IV – Tabela de conversões.

### Fatores de conversão para radiação solar

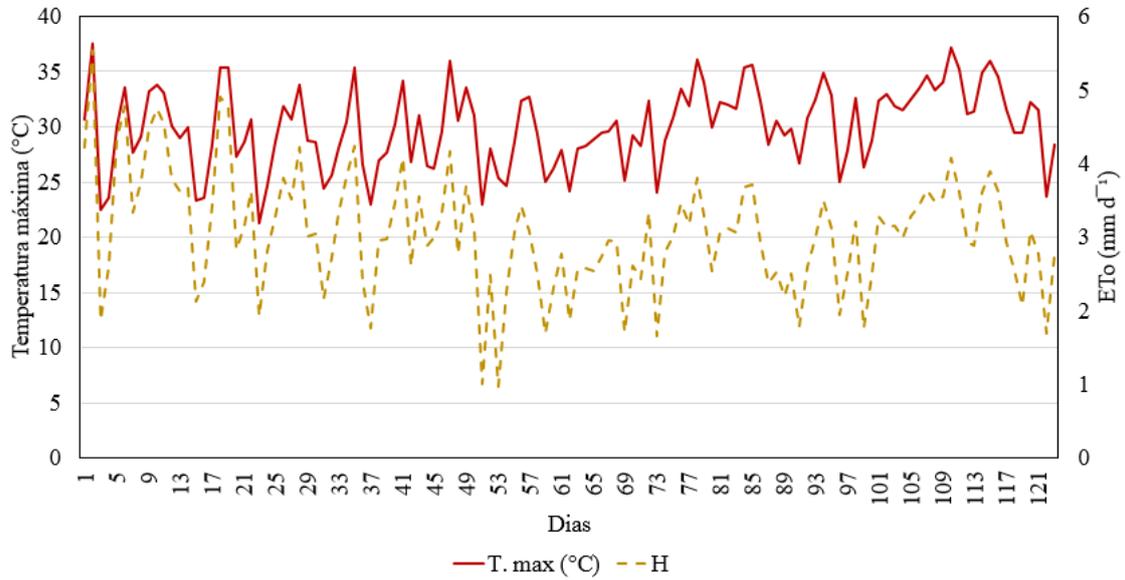
Unidades	Fator multiplicativo para obter energia recebida sobre uma superfície unitária por unidade de tempo				Equivalente de lâmina d'água evaporada
	MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	J cm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	cal cm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	W m <sup>-2</sup>	mm d <sup>-1</sup>
1 MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	1	100	23,9	11,6	0,408
1 cal cm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	4,1868·10 <sup>-2</sup>	4,1868	1	0,485	0,0171
1 W m <sup>-2</sup>	0,0864	8,64	2,06	1	0,035
1 mm d <sup>-1</sup>	2,45	245	58,5	28,4	1

Fonte: ALLEN *et al.*, 1998.

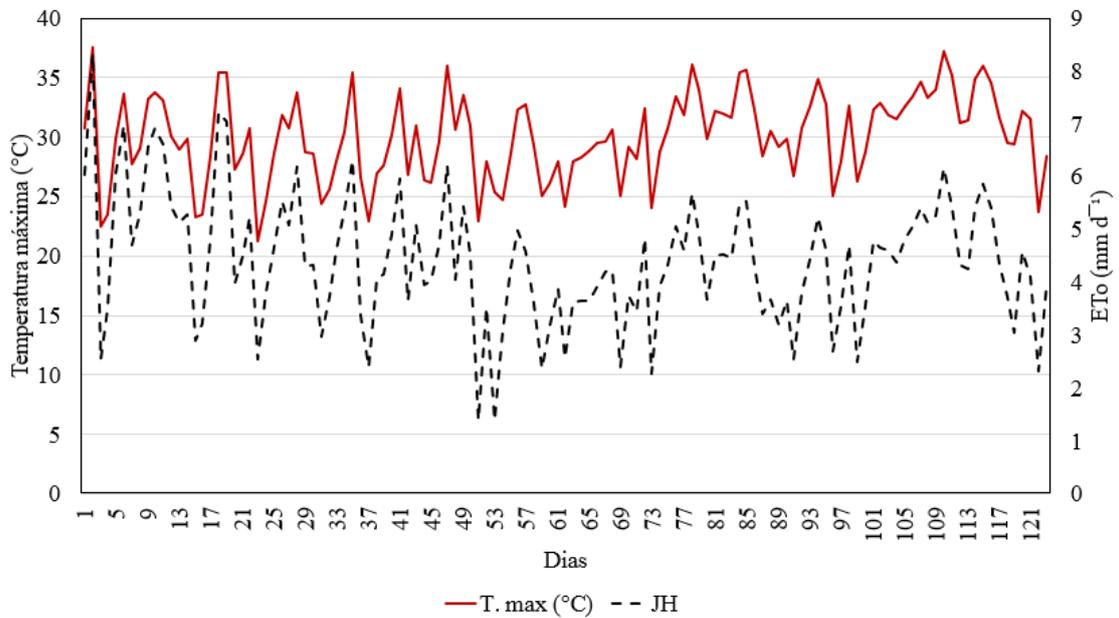
**ANEXO V – Relação da Temperatura máxima do ar com os métodos de ET<sub>o</sub> empregados.**

**Métodos empregados em regiões áridas ou semiáridas.**

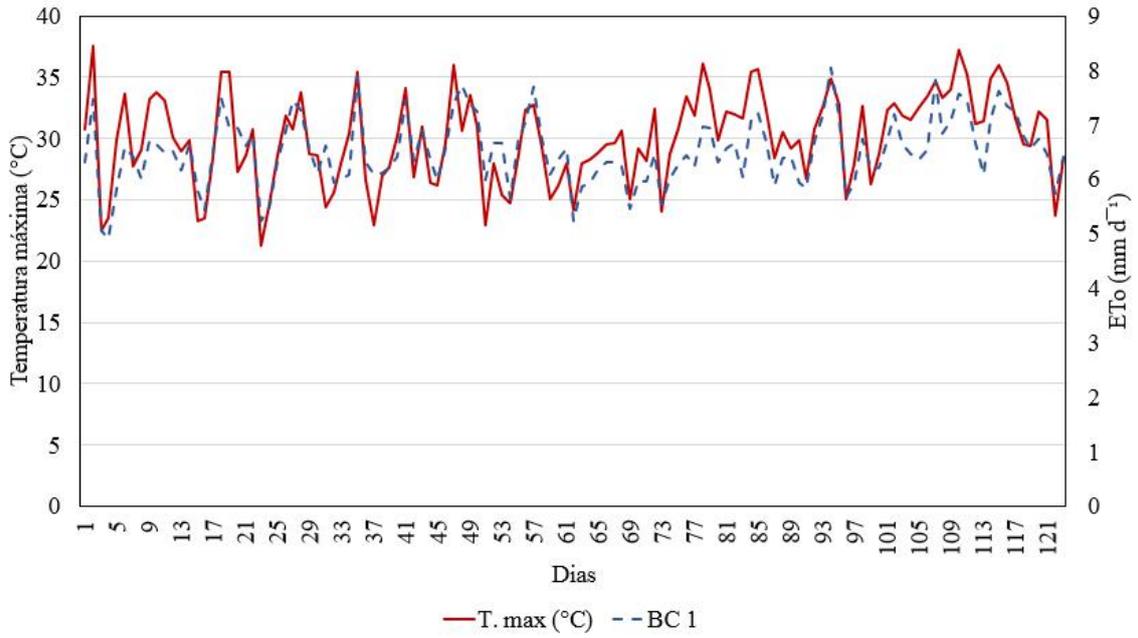
Relação Temperatura máxima - ET<sub>o</sub> (H).



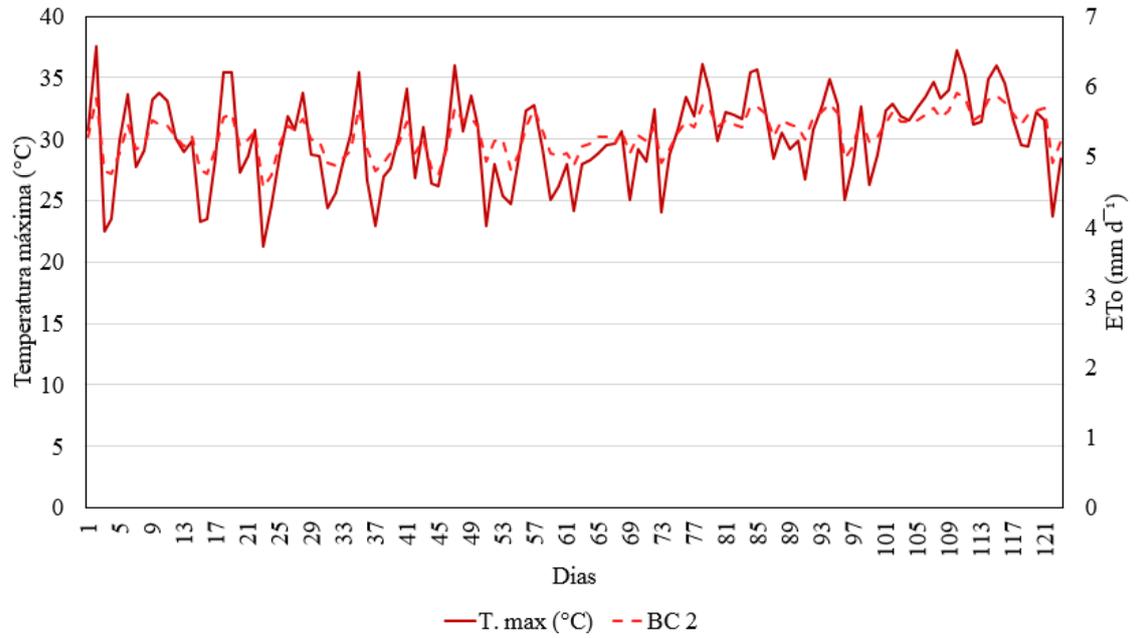
Relação Temperatura máxima-ET<sub>o</sub> (JH).



Relação Temperatura máxima-ET<sub>o</sub> (BC 1).

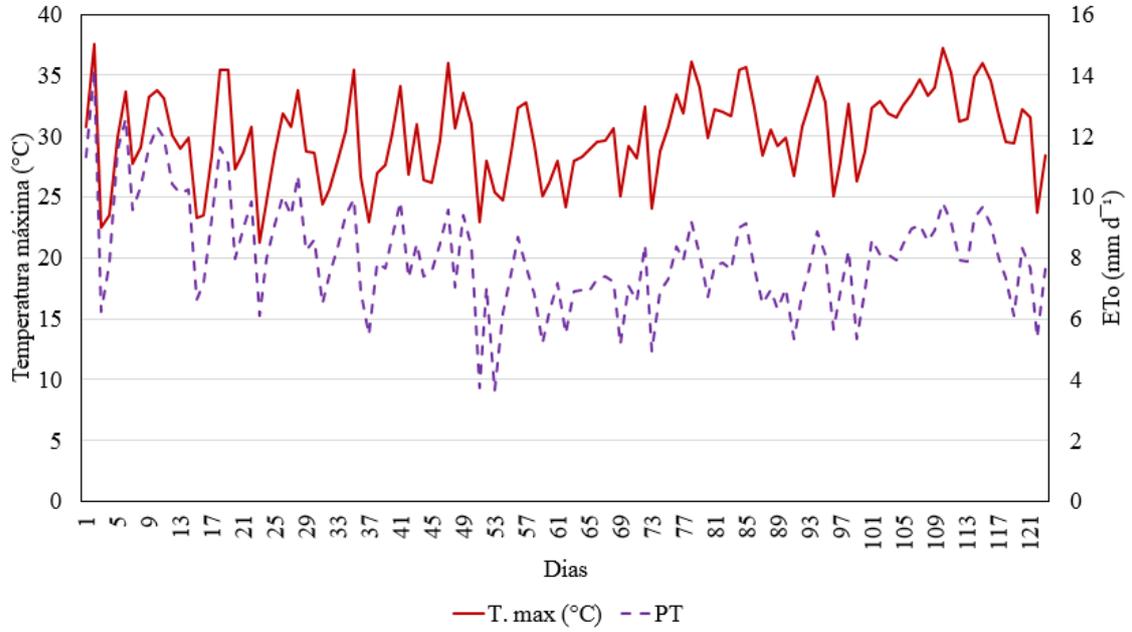


Relação Temperatura máxima-ET<sub>o</sub> (BC 2).

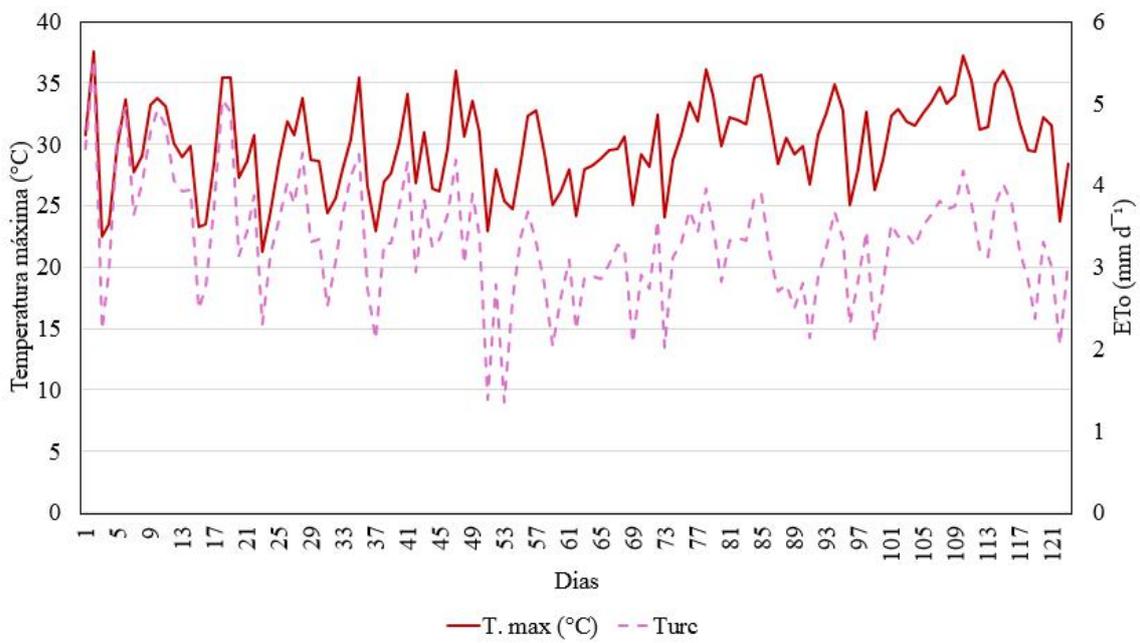


## Métodos empregados em regiões úmidas ou costeiras.

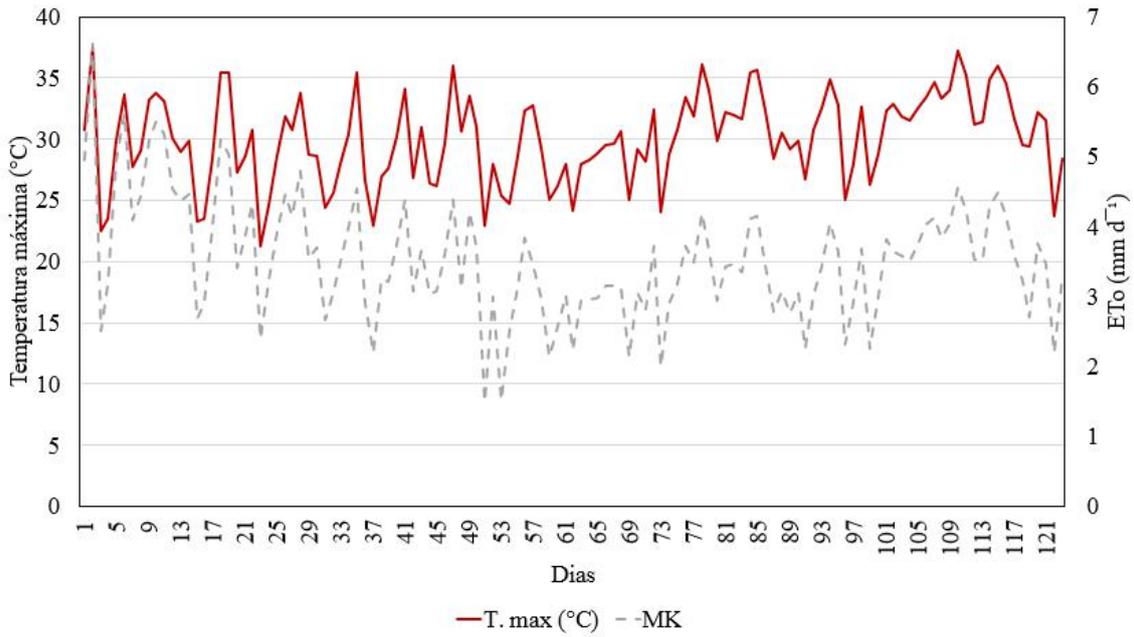
Relação Temperatura máxima- $ET_o$  (PT).



Relação Temperatura máxima- $ET_o$  (Turc).

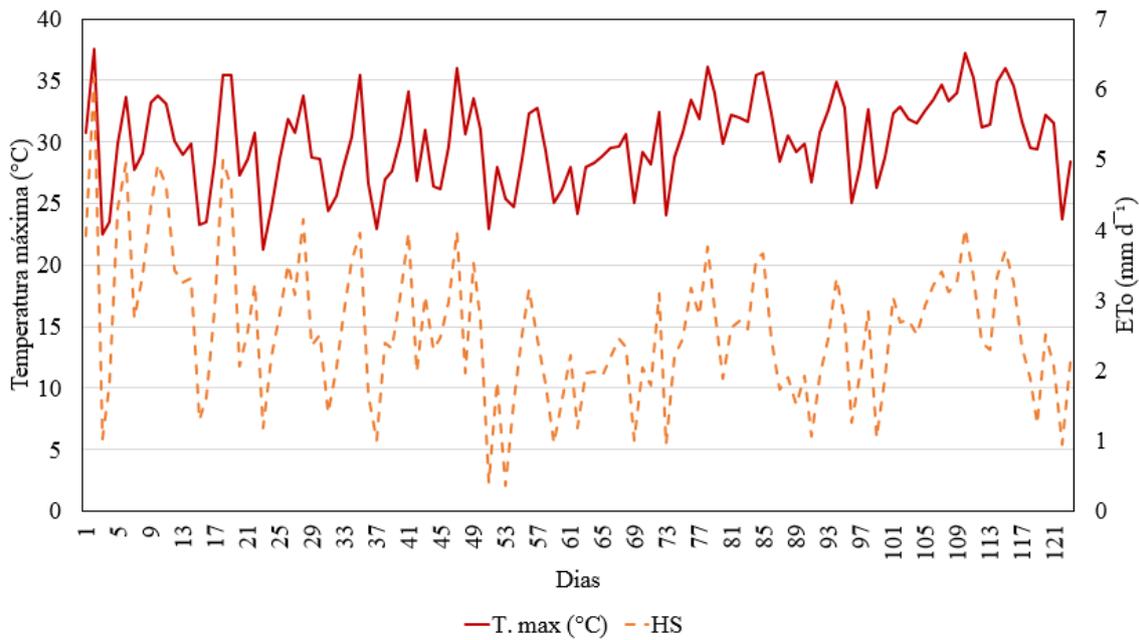


Relação Temperatura máxima-ET<sub>o</sub> (MK).

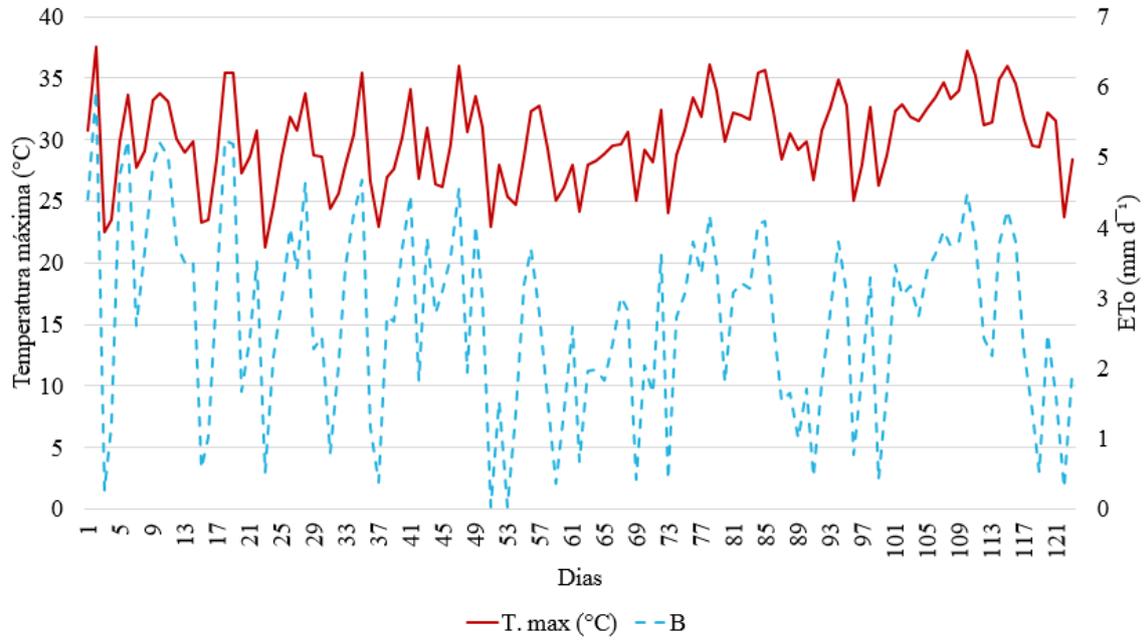


**Métodos empregados em diversas regiões.**

Relação Temperatura máxima - ET<sub>o</sub> (HS).



Relação Temperatura máxima -  $ET_o(B)$ .



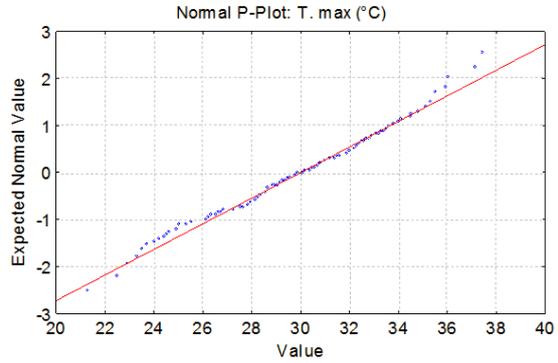
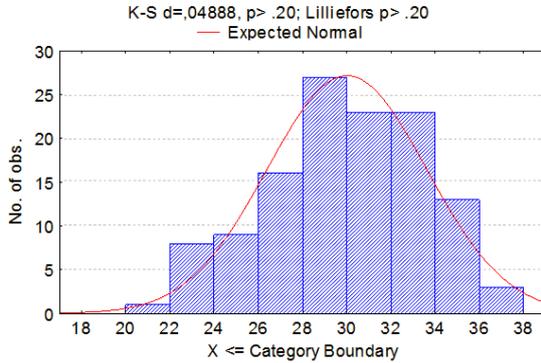
**ANEXO VI – Métodos de ETo empregados e observações.**

	Equação	Observações	Referencia
<b>Regiões áridas ou semiáridas</b>	$ET_o (PM) = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left[ \frac{\gamma^{900} U_2 (e_s - e_a)}{T_m + 273} \right]}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$	Padrão da FAO 56	ALLEN <i>et al.</i> , 1998
	$ET_o (H) = 0,0056 R_s H (T_m + 17,8)$	Não recomendado para regiões úmidas	HARGREAVES e ALLEN, 2003
	$ET_o (JH) = R_{se} (0,0252 T_m + 0,078)$	Utilizado em regiões áridas.	JENSEN e HAISE, 1963
	$ET_o (BC1) = p (0,46 T_m + 8)$ $ET_o (BC2) = a + b p (0,46 T_m + 8,13)$	Utilizado para regiões semiáridas.	<sup>1</sup> BLANEY e CRIDDLE, 1950 <sup>2</sup> FREVERT <i>et al.</i> , 1983
<b>Regiões úmidas ou costeiras</b>	$ET_o (PT) = 1,26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G)$	Tende a subestimar a ETo em climas áridos.	ALLEN, 2000
	$ET_{o1} (Turc) = 0,013 \left( \frac{T_m}{T_m + 15} \right) (R_s + 50) \left[ 1 + \frac{50 - UR_m}{70} \right]$ $ET_{o2} (Turc) = 0,013 \left( \frac{T_m}{T_m + 15} \right) (R_s + 50)$	Apresenta boa estimativa para regiões costeiras e úmidas.	XU, 2002 <sup>1</sup> UR <sub>m</sub> < 50% <sup>2</sup> UR <sub>m</sub> > 50%
	$ET_o (MK) = 0,61 W R_s - 0,12$	Não é recomendado para regiões áridas	MAKKINK, 1957
<b>Diversas regiões</b>	$ET_o (HS) = 0,0023 R_n (T_m + 17,8) \sqrt{T_{max} - T_{min}}$	Estimam a R <sub>s</sub> com base na amplitude térmica, sendo	PEREIRA <i>et al.</i> , 1997
	$ET_o (B) = 0,0056 R_s B (T_m + 17,8)$	capaz de estimar a ETo em diversas regiões.	CONCEIÇÃO e MARIN, 2007

## ANEXO VII – Histogramas dos parâmetros com o Software *Statistica 7*.

### Histograma da temperatura máxima:

Summary: T. max (°C)



Summary Statistics:T. max (°C)

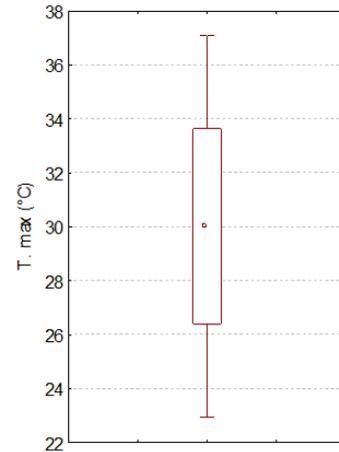
Valid N=123

Mean= 30,013821

Minimum= 21,300000

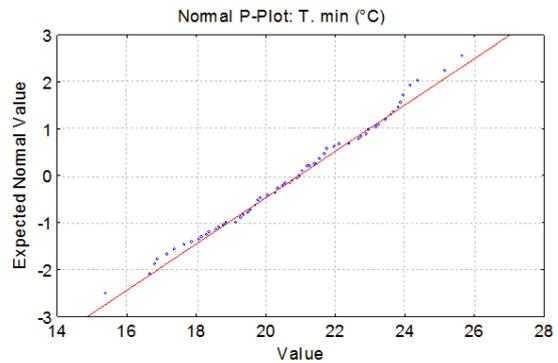
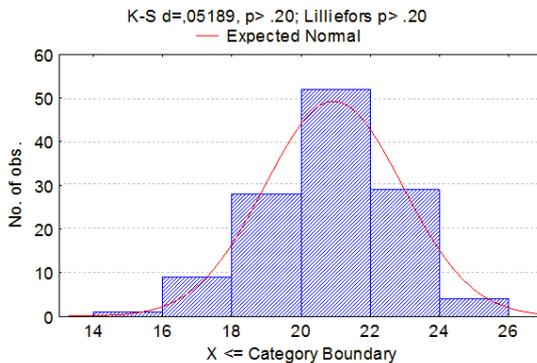
Maximum= 37,500000

Std.Dev.= 3,610965



### Histograma da temperatura mínima:

Summary: T. min (°C)



**Summary Statistics:T. min (°C)**

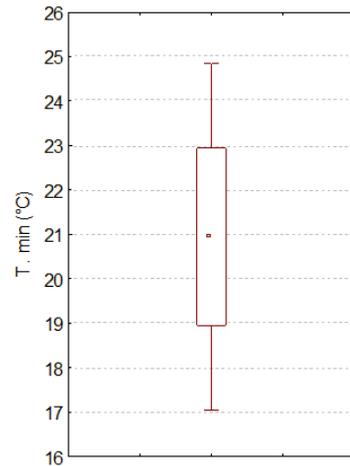
Valid N=123

Mean= 20,947154

Minimum= 15,400000

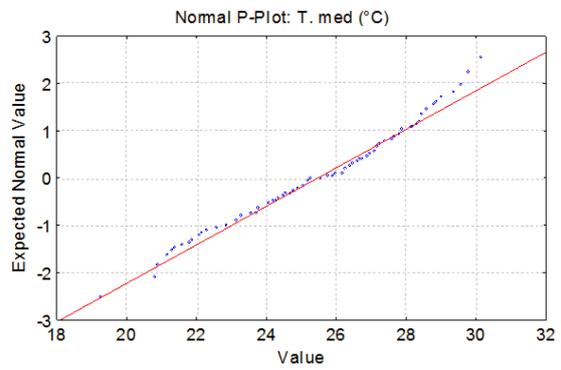
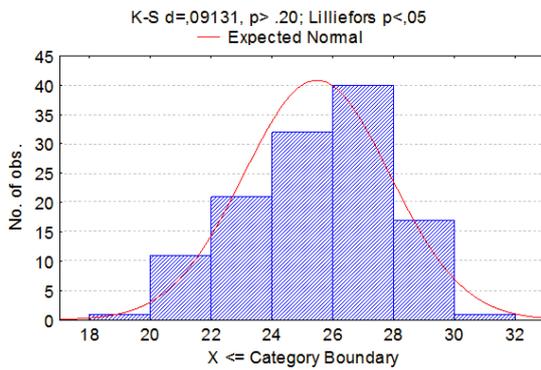
Maximum= 25,700000

Std.Dev.= 1,991471



**Histograma da temperatura média:**

**Summary: T. med (°C)**



**Summary Statistics:T. med (°C)**

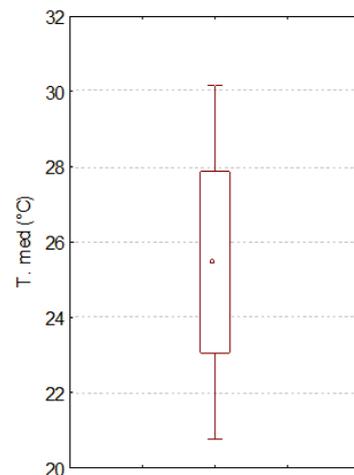
Valid N=123

Mean= 25,467480

Minimum= 19,300000

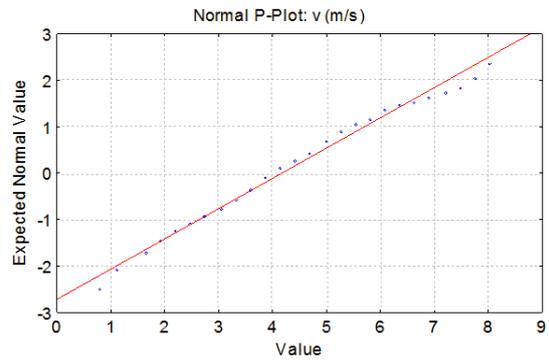
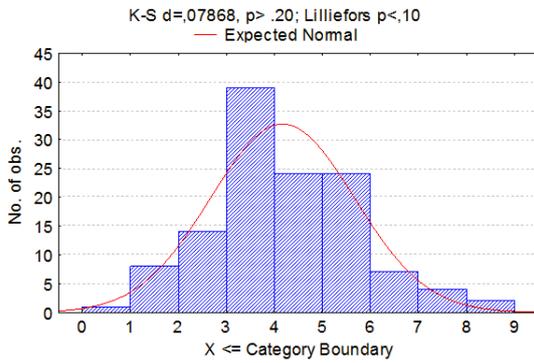
Maximum= 30,200000

Std.Dev.= 2,402850



## Histograma da velocidade do vento:

Summary: v (m/s)



### Summary Statistics:v (m/s)

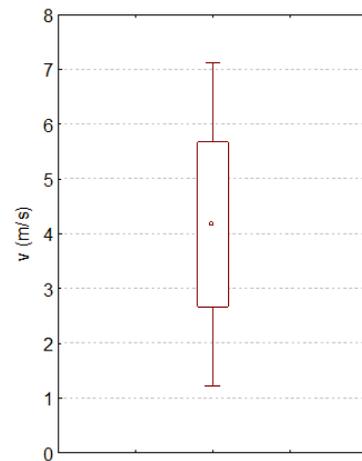
Valid N=123

Mean= 4,171187

Minimum= 0,833334

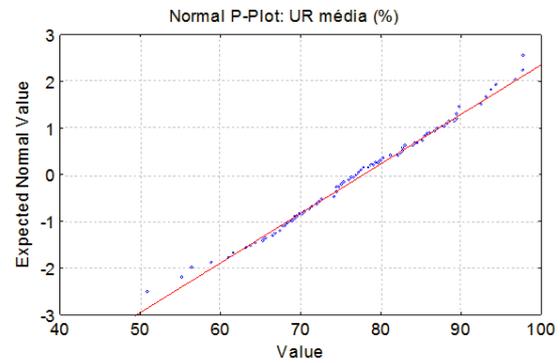
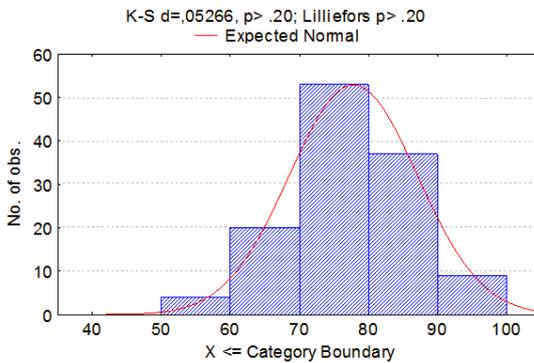
Maximum= 8,055562

Std.Dev.= 1,500517



## Histograma da umidade relativa.

Summary: UR média (%)



Summary Statistics:UR média (%)

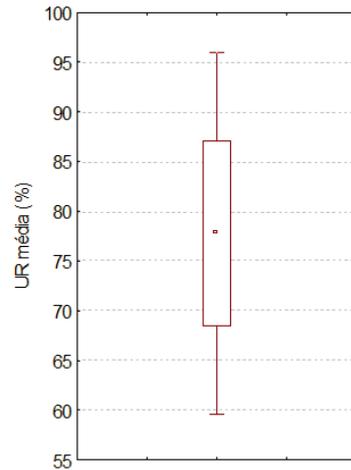
Valid N=123

Mean= 77,813008

Minimum= 51,000000

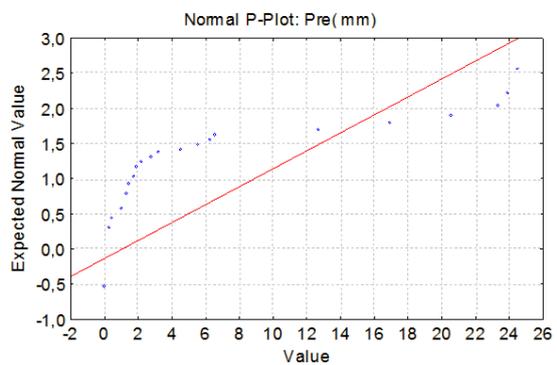
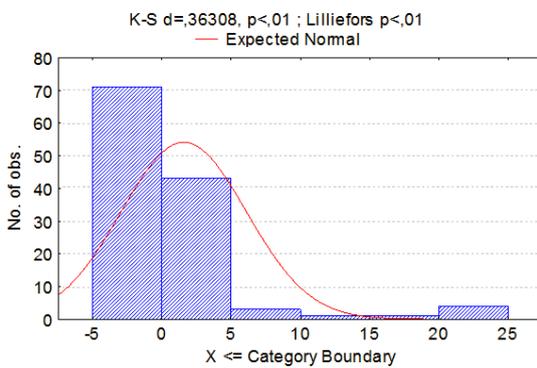
Maximum= 98,000000

Std.Dev.= 9,273651



**Histograma da precipitação.**

Summary: Pre( mm)



Summary Statistics:Pre( mm)

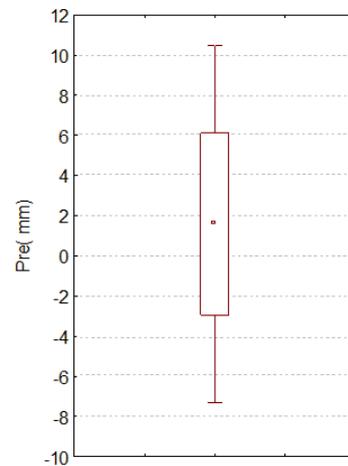
Valid N=123

Mean= 1,587805

Minimum= 0,000000

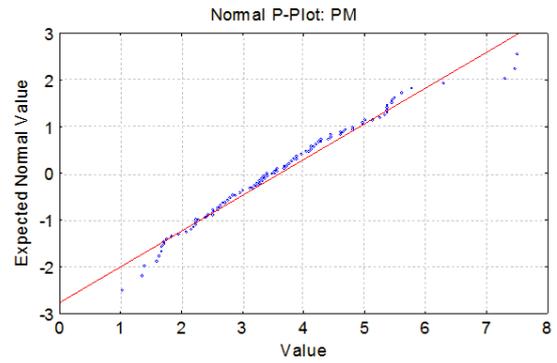
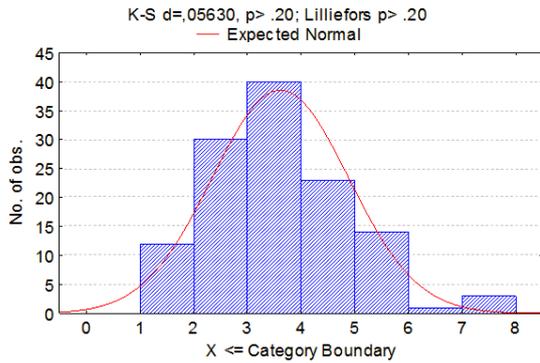
Maximum= 24,600000

Std.Dev.= 4,533619



## Histograma do método de evapotranspiração Penman-Monteith:

Summary: PM



### Summary Statistics:PM

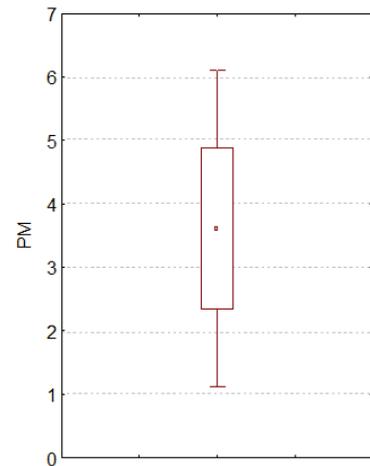
Valid N=123

Mean= 3,614062

Minimum= 1,052102

Maximum= 7,505750

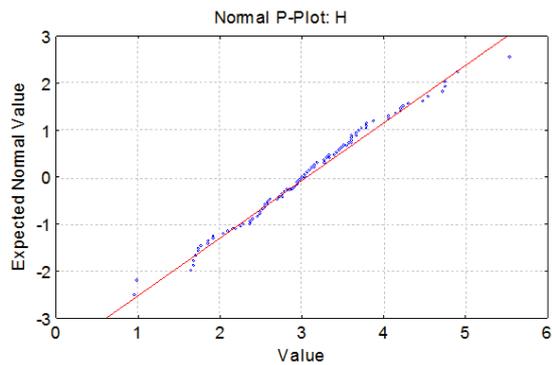
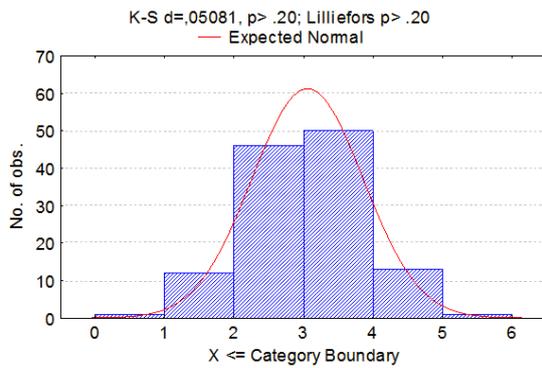
Std.Dev.= 1,273661



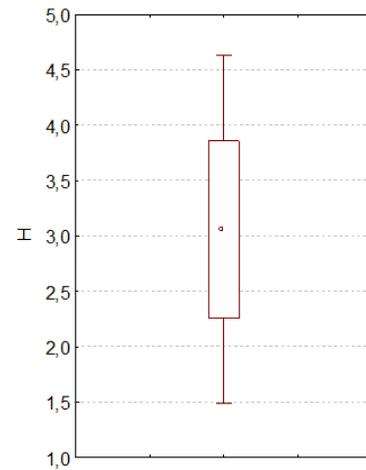
*Métodos empregados em regiões áridas ou semiáridas.*

## Histograma do método de evapotranspiração Hargreaves:

Summary: H

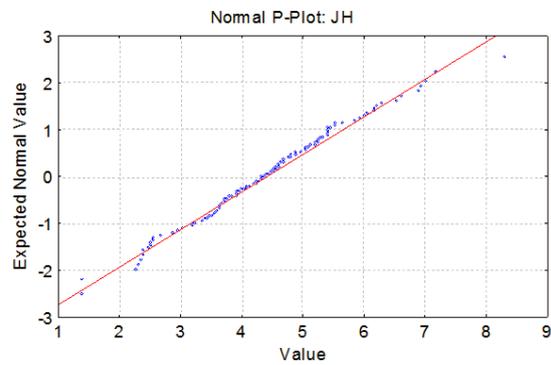
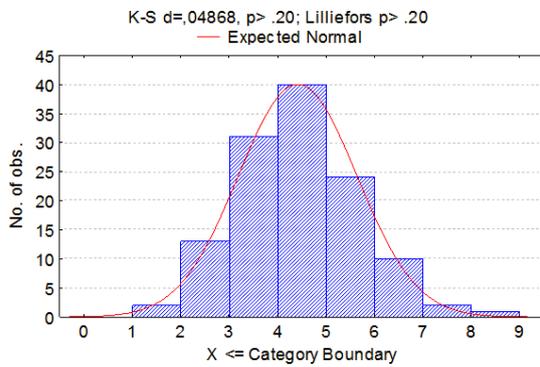


Summary Statistics:H  
 Valid N=123  
 Mean= 3,059006  
 Minimum= 0,972247  
 Maximum= 5,538790  
 Std.Dev.= 0,801731

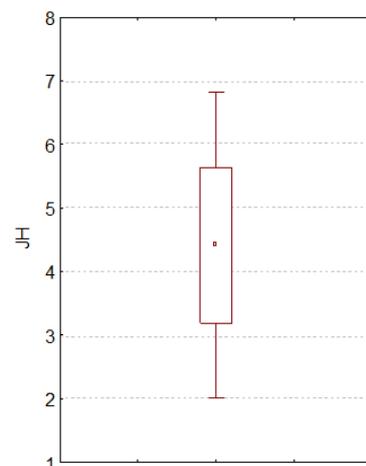


**Histograma do método de evapotranspiração Jensen-Haise:**

Summary: JH

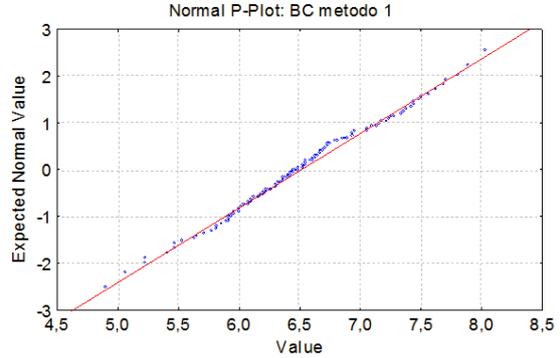
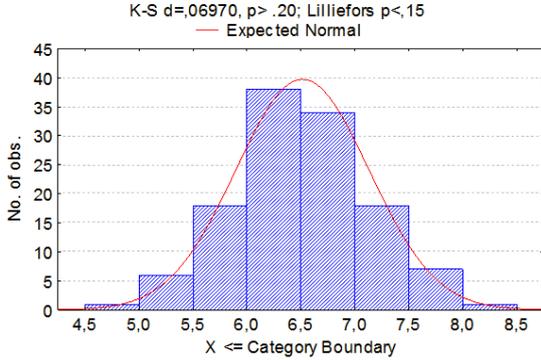


Summary Statistics:JH  
 Valid N=123  
 Mean= 4,413874  
 Minimum= 1,389758  
 Maximum= 8,329662  
 Std.Dev.= 1,225217

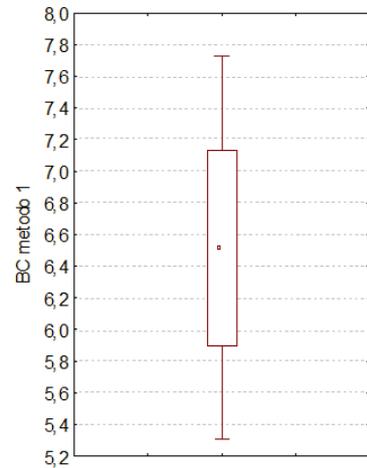


## Histograma do método de evapotranspiração Blaney-Criddle (1):

Summary: BC metodo 1

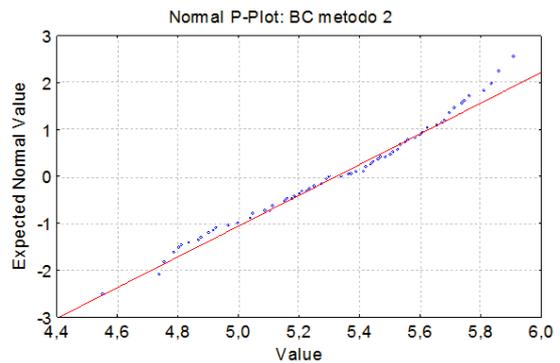
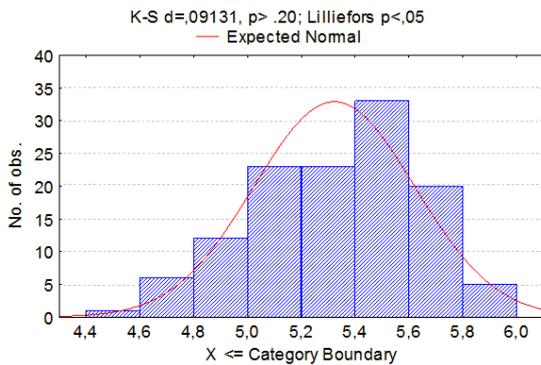


Summary Statistics:BC metodo 1  
 Valid N=123  
 Mean= 6,515300  
 Minimum= 4,905300  
 Maximum= 8,041770  
 Std.Dev.= 0,617553

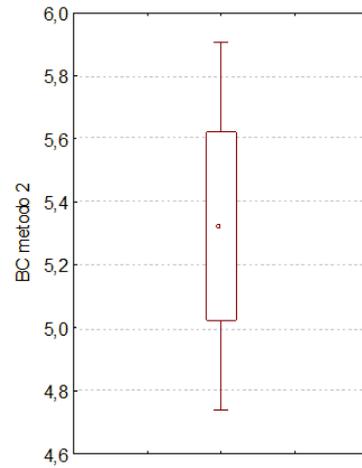


## Histograma do método de evapotranspiração Blaney-Criddle (2):

Summary: BC metodo 2



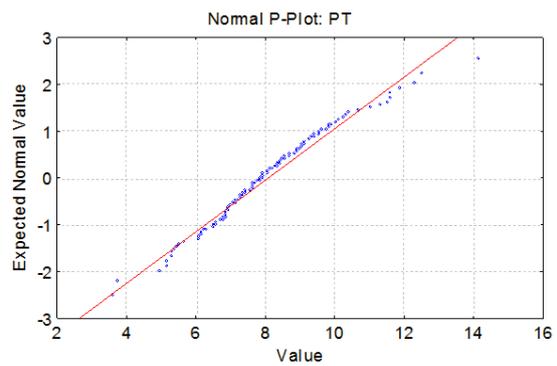
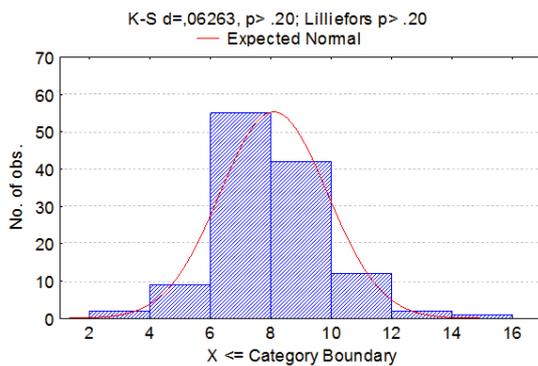
Summary Statistics:BC método 2  
 Valid N=123  
 Mean= 5,323061  
 Minimum= 4,557060  
 Maximum= 5,910840  
 Std.Dev.= 0,298434



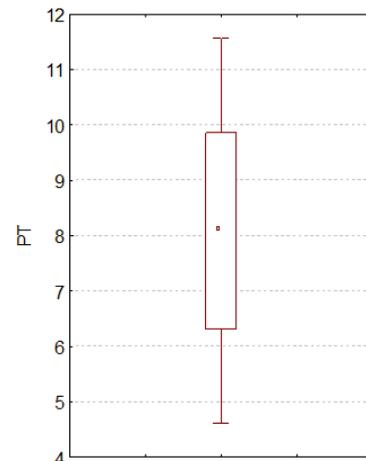
*Métodos empregados em regiões úmidas ou costeiras.*

**Histograma do método de evapotranspiração Priestley-Taylor:**

Summary: PT

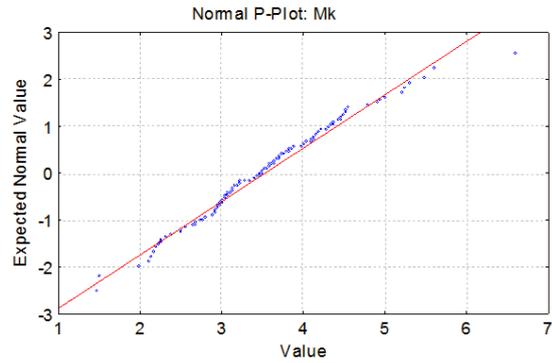
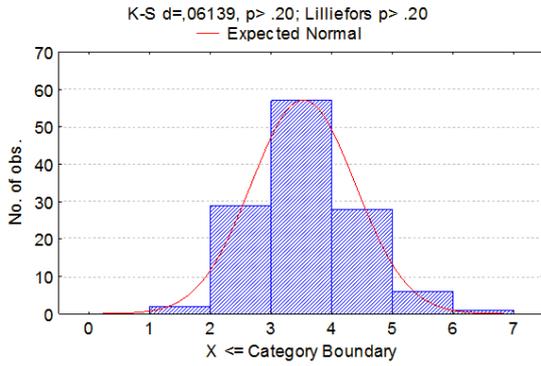


Summary Statistics:PT  
 Valid N=123  
 Mean= 8,085658  
 Minimum= 3,652651  
 Maximum= 14,163724  
 Std.Dev.= 1,773782



## Histograma do método de evapotranspiração Makkink:

Summary: Mk



### Summary Statistics:Mk

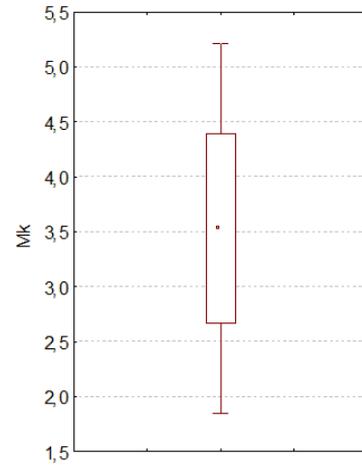
Valid N=123

Mean= 3,530322

Minimum= 1,491579

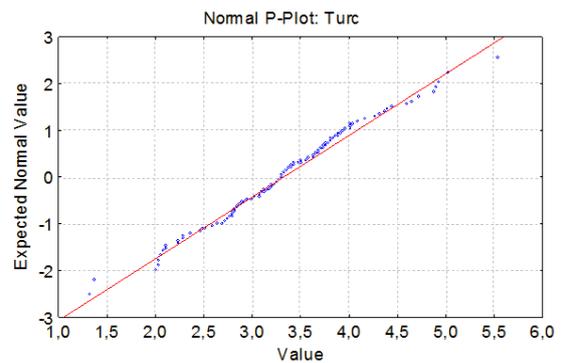
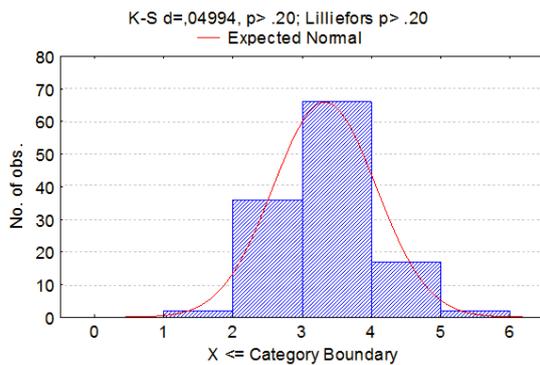
Maximum= 6,610460

Std.Dev.= 0,858965

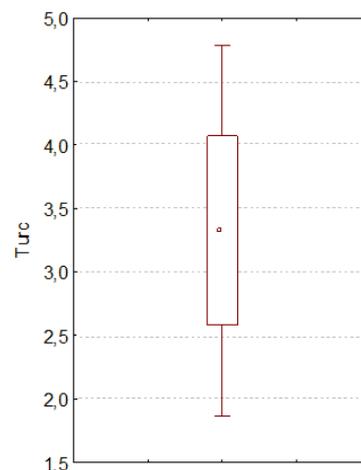


## Histograma do método de evapotranspiração Turc:

Summary: Turc



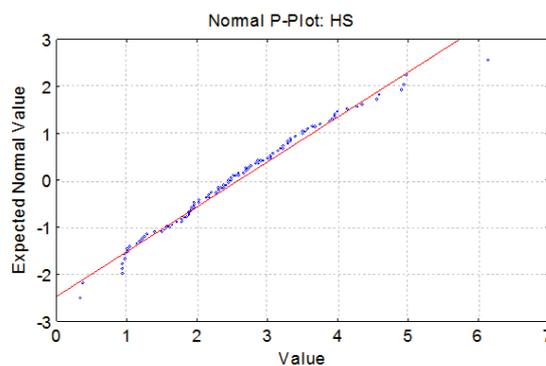
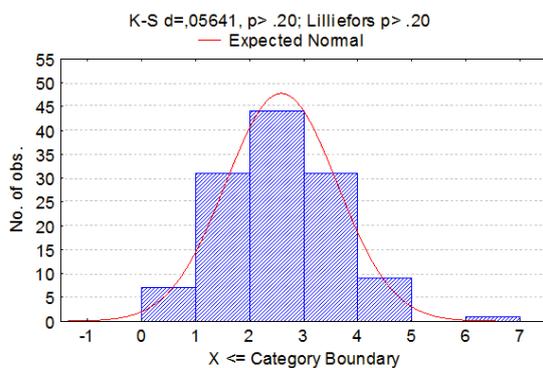
Summary Statistics:Turc  
 Valid N=123  
 Mean= 3,325959  
 Minimum= 1,341042  
 Maximum= 5,536637  
 Std.Dev.= 0,744344



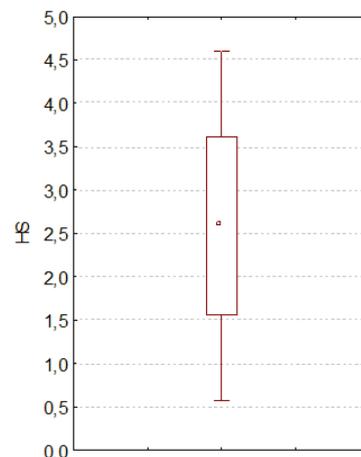
*Métodos empregados em diversas regiões.*

**Histograma do método de evapotranspiração Hargreaves-Samani:**

Summary: HS

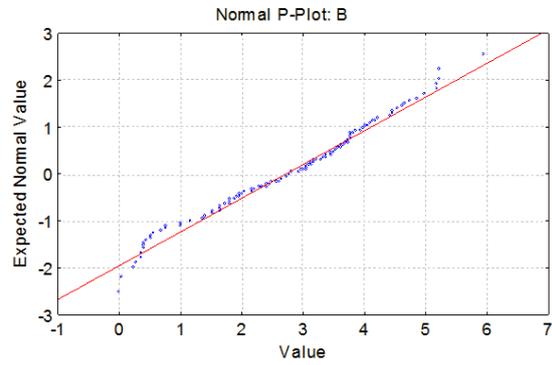
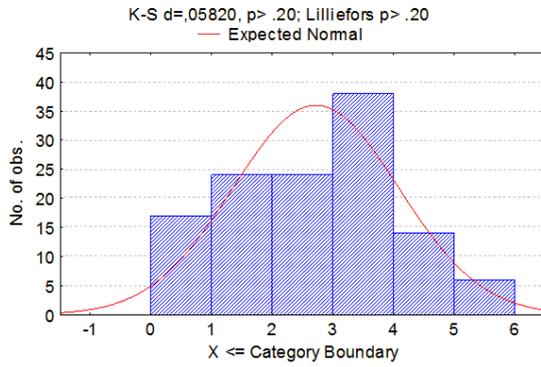


Summary Statistics:HS  
 Valid N=123  
 Mean= 2,589511  
 Minimum= 0,368938  
 Maximum= 6,154647  
 Std.Dev.= 1,026920



## Histograma do método de evapotranspiração Bristow-Campbell:

Summary: B



### Summary Statistics:B

Valid N=123

Mean= 2,716257

Minimum= 0,021215

Maximum= 5,955015

Std.Dev.= 1,363765

