

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ALINE JULIANA DA SILVA OMAR**

**BALANÇO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÃO URBANA COM  
COBERTURA VERDE SIMULADA**

**RECIFE  
Fevereiro/2017**

**BALANÇO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÃO URBANA COM  
COBERTURA VERDE SIMULADA**

**ALINE JULIANA DA SILVA OMAR**

Engenheira Florestal

Orientador(a): Profa. Dra. **CRISTIANE GUISELINI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RECIFE

Fevereiro/2017

**ALINE JULIANA DA SILVA OMAR**

**BALANÇO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÃO URBANA COM  
COBERTURA VERDE SIMULADA**

Banca examinadora:

---

Profa. Dra Cristiane Guiselini – UFRPE  
Orientadora

---

Prof. Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura – UFRPE  
Examinador

---

Prof. Dr. Héilton Pandorfi – UFRPE  
Examiador

---

Pror. Dr. Ricardo Brauer Vigoderis – UFRPE  
Examinador

Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que  
melhor se adapta às mudanças.

**(Charles Darwin)**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que me concedeu saúde e força para não desistir da minha grande vontade de ser mestre;

Aos meus pais Maysa e Omar, e ao meu companheiro, Rogério Araújo, por serem meu porto seguro, pelo incentivo, carinho e compreensão;

À minha orientadora Prof. Dra. Cristiane Guiselini, por aceitar me orientar e compartilhar seus conhecimentos, pelo apoio, amizade, dedicação, por acreditar no meu potencial e pela confiança em mim depositada para realização dessa dissertação;

Ao Prof. Dr. Héilton Pandorfi, pelo auxílio e esclarecimentos durante as etapas da pesquisa;

À Construtora Rio Ave Empreendimentos pela parceria e por ceder a área experimental para a realização dessa pesquisa e a todos os colaboradores ligados direta e indiretamente ao Empresarial Charles Darwin, por toda assistência necessária para realização do experimento em campo;

Aos professores e colegas do Grupo de Pesquisa em Ambiência – GPESA, em especial aos que se dedicam aos estudos da ambiência vegetal;

À UFRPE pelo ensino gratuito de qualidade e aos professores da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEA/UFRPE, por compartilharem seus conhecimentos;

À Manuel Cunegundes, pelo empenho e colaboração nos serviços de secretaria;

Aos colegas do PGEA, pela amizade construída e pelas agradáveis convivências que tornaram mais leve todo esse percurso;

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos;

A todos que, de alguma forma, colaboraram para que eu pudesse concluir mais uma etapa da minha vida, meus mais sinceros agradecimentos.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Perfil de ocorrência de uma ilha de calor. Adaptado e traduzido. Fonte: United States Environmental Protection Agency (EPA, 2011). .....	21
Figura 2. Localização do Edifício Garagem Empresarial Charles Darwin, da construtora Rio Ave Empreendimentos, no Recife, PE. ....	28
Figura 3. Extrato do balanço hídrico mensal (2016) e da normal climatológica para o Município de Recife/PE.....	29
Figura 4. Estudo de sombra do complexo empresarial e localização da instalação da estação meteorológica (x), Edf. Isaac Newton, Alfred Nobel e Charles Darwin, no dia 17 de maio, ao meio dia.....	30
Figura 5. Esquema dos cálculos para determinação do balanço de energia da área não vegetada (Laje) e da área vegetada simulada (TVs), respectivamente.....	31
Figura 6. Variação da radiação solar global ( $Q_g$ ) média no decorrer do período de monitoramento.....	39
Figura 7. Variação diária da temperatura ( $T_{ar}$ ) e umidade relativa (UR) média do ar no decorrer do período de monitoramento.....	40
Figura 8. Precipitação diária acumulada no decorrer do período de monitoramento.....	41
Figura 9. Variação diária da velocidade do vento no decorrer do período de monitoramento.....	42
Figura 10. Variação diária dos componentes do balanço de energia durante o período de monitoramento na laje não vegetada.....	43
Figura 11. Variação mensal dos valores médios dos fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) durante o período de monitoramento na laje não vegetada.....	44
Figura 12. Precipitação diária acumulada e evapotranspiração média durante o período de monitoramento com telhado verde simulado. ....	44
Figura 13. Variação diária dos balanços de onda curta (BOC) e ondas longas (BOL) durante o período de monitoramento no telhado verde simulado. ....	45
Figura 14. Variação diária dos componentes do balanço de energia durante o período de monitoramento no telhado verde simulado.....	46
Figura 15. Variação diária do saldo de radiação ( $R_n$ ) durante o período de monitoramento na laje e no telhado verde simulado. ....	46
Figura 16. Variação mensal dos fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE), durante o período de monitoramento na laje e no telhado verde simulado.....	47
Figura 17. Variação percentual dos fluxos de calor sensível, latente e do solo na Laje (a) e Telhado verde simulado (b).....	48

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Característica climática quanto à radiação solar e a insolação de Recife-PE. ....	29
Tabela 2. Variação média mensal da radiação solar global (Qg), temperatura média do ar (Tar), acumulado mensal da precipitação pluviométrica (PREC) e normal climatológica .....	38

## **LISTA DE SIGLAS**

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima

BOC – Balanço de ondas curtas

BOL – Balanço de ondas longas

ET<sub>o</sub> – Evapotranspiração de referência

FAO – Food and Agriculture Organization

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PAR - Radiação Fotossinteticamente Ativa

PROGCLIMA - Boletim de prognóstico climático do INPE

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\beta$  – Razão de bowen

$\Delta$  – Declividade da curva de pressão de vapor

$e_a$  – Pressão atual de vapor

$e_s$  – Pressão de saturação de vapor d'água

$G$  – Fluxo de calor no solo

$H$  – Fluxo de calor sensível

$LE$  – Fluxo de calor latente

$n$  – insolação

$N$  – Fotoperíodo

$P_o$  – Pressão atmosférica

$Q_g$  – Radiação solar global

$r$  - Albedo

$R_n$  – Saldo de radiação

$T_{ar}$  – Temperatura do ar

$UR$  – Umidade relativa do ar

$Y$  – Constante psicrométrica

$VV$  – Velocidade do vento

## RESUMO

O telhado verde, tecnologia que consiste na aplicação e uso de solo e vegetação instalada na cobertura de edificações, é uma ótima solução para combater as ilhas de calor, além de atuar como isolante termo acústico, ou seja, dificulta a transferência de calor, frio e ruído. Objetivou-se com essa pesquisa comparar as alterações micrometeorológicas e seu efeito no balanço de energia na cobertura de uma edificação predial não vegetada (Laje) e na cobertura vegetada (Telhado Verde simulado, TVs), por meio do modelo de simulação calculado em função da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), determinada pelo método de Penman-Monteith. A pesquisa foi desenvolvida entre 01 de fevereiro e 30 de setembro 2016, no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, Rio Ave Empreendimentos, Recife, PE, Brasil. Foi instalada uma estação meteorológica automática completa, na laje externa do edifício, foi registrado os seguintes elementos meteorológicos: saldo de radiação, radiação solar global, velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação. A temperatura e umidade relativa do ar foram registradas a 20 cm e a 160 cm. Os componentes do balanço de energia obtidos por meio do método da razão de bowen. Os resultados indicam que na laje, o fluxo de calor sensível é corresponde a 75% do balanço de energia, o fluxo de calor latente a 22 % e o fluxo de calor no solo a 3 %. Na área de telhado verde simulado, o fluxo de calor sensível é corresponde a 6% do balanço de energia, o fluxo de calor latente a 87 % e o fluxo de calor no solo a 7 %. O saldo de radiação para o telhado verde simulado foi inferior ao da laje, com redução da energia disponível para o fluxo de calor sensível, concomitante ao maior fluxo de calor latente ocasionado pela maior quantidade de água disponível nos processos evaporativos.

Palavras-chave: Balanço de radiação, Clima urbano, fluxos de energia

## ABSTRACT

The green roof, technology that consists of the application and use of soil and vegetation installed in the covering of buildings, is a great solution to combat heat islands, in addition to acting as an acoustic insulation, which hinders the transfer of heat, cold and noise. The purpose of this study was to evaluate the micrometeorological changes and the effect on the energy balance on a non-vegetated building (slab) and vegetated roof (simulated green roof), by reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), by the Penman-Monteith method. The study was carried out between February 1st and september 30th 2016, on the Charles Darwin building garage of Rio Ave Empreendimentos, in Recife, PE, Brazil. A micrometeorological tower were installed for measurement of radiation balance, solar radiation, wind speed, atmospheric pressure and precipitation. The temperature and relative humidity was measured in 20 cm and 160 cm. The components of energy balance were obtained by the Bowen ratio method. The results on the non-vegetation building indicate the sensible heat flux accounts for 75 % of the net radiation, the latent heat flux corresponds to 22 % and heat flow in the ground corresponds to 3%. In the simulated green roof area the sensible heat flux accounts for 6 % of the net radiation, the latent heat flux corresponds to 87 % and heat flow in the ground accounts for 7 %. The radiation balance for the simulated green roof was lower than that of the slab, reducing the available energy for the sensible heat flow, concomitant to the greater latent heat flux caused by the greater amount of water available in the evaporative processes.

Key-words: Radiation balance, urban climate, energy fluxes

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVO .....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1. Balanço de radiação e energia.....	15
3.1.1. Evapotranspiração .....	18
3.2. Microclima urbano .....	19
3.3. Ilhas de calor .....	21
3.4. Telhado verde .....	22
3.4.1. Tipos de telhado verde.....	26
3.4.2. Legislação para o uso de telhado verde .....	27
4. METODOLOGIA .....	28
4.1. Caracterização da área .....	28
4.2. Variáveis micrometeorológicas.....	29
4.3. Cálculo dos balanços de energia .....	31
4.3.1. Balanço de energia na cobertura não vegetada (Laje) .....	31
4.3.2. Balanço de energia na cobertura vegetada simulada (TVs) .....	33
4.4. Análise dos dados .....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
5.1. Análise física do ambiente estudado.....	37
5.2. Componentes do balanço de energia na laje .....	42
5.3. Componentes do balanço de energia no telhado verde .....	44
5.4. Comparação entre laje e telhado .....	46
6. CONCLUSÕES.....	48
7. REFERÊNCIAS .....	49

## 1. INTRODUÇÃO

As transformações decorrentes do processo de urbanização concentrada e desordenada trouxeram mudanças para algumas cidades, devido às intervenções mais intensas da sociedade moderna nos grandes centros e perímetro urbano (RAMPAZZO; SANT'ANNA NETO, 2012).

Nesse novo espaço construído e constantemente modificado pelas variadas formas de ocupação do solo, modificam os elementos meteorológicos, interferem no balanço de radiação e de energia da superfície, o que resulta em diferentes microclimas (SILVEIRA et al, 2012; MAITELLE, 2010).

O processo de intensa urbanização promove variação de temperatura, sobretudo, pela circulação de carros e pessoas, o que resulta na adição da energia antrópica ao balanço de radiação (CARMO et al. 2011). Além disso, a superfície natural torna-se predominantemente impermeabilizada devido à concentração de áreas construídas, associada à maior inércia térmica dos materiais de pavimentação e modificação da paisagem, que dificulta a infiltração, retenção e armazenamento da água, além da alteração da transferência de energia durante os horários de maior incidência de radiação solar e, principalmente, pela redução da vegetação (RAMPAZZO; SANT'ANNA NETO, 2012).

Dessa forma, surgem as ilhas de calor, que são definidas como as áreas mais aquecidas da cidade em razão das alterações nos atributos naturais originais, como na cobertura e uso do solo (LUCENA et al., 2011). Essa mudança na distribuição da vegetação altera o balanço de radiação do ambiente local, que resulta no aumento da temperatura do ar (SANTOS et al., 2010) em decorrência da alteração do saldo de radiação disponível.

O saldo de radiação –  $R_n$  ( $W m^{-2}$ ) na superfície terrestre representa a quantidade de energia na forma de ondas eletromagnética (MACHADO et al., 2014), nada mais é do que a adição entre o balanço de energia de ondas curtas (BOC) e o balanço de energia de ondas longas (BOL) e tem grande importância nos processos de evaporação (evapotranspiração), fotossíntese e aquecimentos do solo e do ar (SANTOS et al., 2013a).

Assim, Machado et al. (2012) afirmam que o clima da cidade é produto da transformação da energia por meio da interação entre a atmosfera e o ambiente urbano construído. Lima (2011) aponta que uma das soluções para

compensar a diminuição da vegetação devido ao crescimento urbano seria usar os telhados para plantar gramas, flores, a fim de melhorar o ambiente.

O telhado verde trata-se de uma tecnologia que consiste na aplicação e uso de solo e vegetação instalada na cobertura de edificações (LIMA, 2011). Portanto, é uma ótima solução para combater as ilhas de calor (BARROS et al., 2014), além de atuar como isolante termo acústico, ou seja, dificulta a transferência de calor, frio e ruído para o interior da edificação e minimiza o consumo de energia com o aquecimento e a refrigeração (FREITAS et al., 2015).

Entre as inúmeras variáveis ambientais que podem influenciar o crescimento e o desenvolvimento vegetal, as variáveis climáticas têm sido fundamentais em vários estudos (MENEZES et al., 2011). Nesse sentido, a evapotranspiração é um fenômeno natural que é afetado por fatores climáticos, fatores da planta e do solo (LEMOS FILHO, et al., 2010). Refere-se à passagem de água do estado líquido para o estado gasoso por meio da combinação de dois processos distintos: evaporação (solo úmido) e transpiração (plantas) (MACHADO & PACHECO 2010). ALENCAR, et al. (2015) ressaltam que a radiação solar e a temperatura ar são os principais elementos meteorológicos que afetam a evapotranspiração. Para estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) leva-se em consideração uma superfície gramada, de altura uniforme (8 cm), com superfície do solo totalmente coberta pela vegetação e sem restrição hídrica (SOUZA et al., 2011).

Nesse contexto, a necessidade de combater o fenômeno de ilhas de calor e atenuar os efeitos das altas temperaturas nas grandes cidades, pode ser alcançada pela implantação de telhados verdes, simplesmente pelo fato de contar com coberturas vegetais que promovem alto índice de evaporação, com conseqüente modificação do balanço de energia e redução da temperatura do ar.

## **2. OBJETIVO**

Objetivou-se com esta pesquisa comparar as alterações micrometeorológicas e seu efeito no balanço de energia na cobertura de uma edificação predial não vegetada (Laje), com cobertura vegetada (Telhado verde simulado).

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Balanço de radiação e energia

A radiação solar é a principal fonte de energia para todos os processos físicos e biológicos ocorrentes na biosfera.

Segundo a lei de Stefan Boltzmann, toda superfície emite radiação proporcionalmente à quarta potência da sua temperatura absoluta (Kelvin); a quantidade de energia emitida é proporcional à área da superfície e ao intervalo de tempo considerado. A radiação que incide numa superfície pode ser absorvida, transmitida e refletida. A soma dessas três quantidades será sempre igual ao total de energia incidente.

O balanço de radiação para uma determinada superfície corresponde à soma de toda energia líquida radiante recebida e perdida e resulta no saldo de radiação, ou seja, o saldo de radiação nada mais é do que a adição entre o balanço de energia de ondas curtas (BOC) e o balanço de energia de ondas longas (BOL) e tem grande importância nos processos de evaporação, fotossíntese e aquecimentos do solo e do ar (SANTOS et al., 2013a).

No entanto, depende de fatores químicos e físicos associados ao sistema superfície-atmosfera como: elementos de rugosidade, albedo de superfície, difusividade térmica e emissividade (ALVES; VECCHIA, 2012).

As modificações do balanço de radiação das cidades são causadas por vários fatores, como os diferentes tipos de cobertura do solo, assim como a influência da substituição da cobertura em um ambiente urbano. Dessa forma, torna-se necessário a identificação de mudanças que podem estar ocorrendo no clima local (OLIVEIRA et al., 2012), particularmente ocasionadas pelo uso intensivo do solo e desmatamento (MESQUITA et al., 2013).

A determinação do balanço de energia na superfície terrestre envolve duas partes: a primeira consiste em quantificar a energia líquida (saldo de radiação -  $R_n$ ) dos fluxos das radiações de onda curta e de onda longa recebida e emitida pela superfície, enquanto a segunda estima os fluxos de calor no solo ( $G$ ), calor sensível ( $H$ ) e calor latente ( $LE$ ) de utilização da radiação líquida disponível na superfície terrestre (MACHADO et al., 2014).

O  $R_n$  pode ser medido por meio de saldos radiômetros, que podem ser empregados em estações meteorológicas convencionais e automatizadas (OLIVEIRA et al., 2015).

O fluxo de calor latente ( $LE$ ;  $W m^{-2}$ ) é calculado como resíduo da equação geral do balanço de energia, a partir do qual se obtém a fração evaporativa instantânea. Considera-se, ainda, que essa fração evaporativa instantânea ( $FE_i$ ), pode ser considerada igual a fração evaporativa ( $FE_d$ ) diária, em dias com poucas ou completa ausência de nuvens.

O fluxo de calor no solo ( $G$ ;  $W m^{-2}$ ), por sua vez, representa a fração do balanço de energia transferida por processos de condução ou difusão térmica no solo (MACHADO et al., 2014). Métodos micrometeorológicos quantificam estes fluxos e permitem avaliar as transformações da energia radiante em calor latente e sensível, simulando assim, a contabilidade destas interações (FIRMINO et al., 2013).

Ressalta-se que os fluxos de energia na interface superfície terrestre-atmosfera caracterizam as trocas energéticas que determinam os regimes térmicos do solo, da vegetação e do ar atmosférico (GOMES et al., 2013). A fração de energia que é transferida por processos de condução ou difusão térmica, no solo (fluxo de calor no solo,  $G$ ) é importante para as atividades metabólicas das células das raízes, assim como para a germinação das sementes (FURLAN, et al., 2011).

Em consequência das trocas de calor e alterações apresentadas no balanço de energia, o clima da cidade apresenta características específicas que o fazem diferir das áreas rurais, com a formação de ilhas de calor urbana um dos fenômenos climáticos mais característicos dessa modificação térmica (GIUNTA et al., 2010).

Alfaro et al. (2013), propuseram um modelo matemático para estimar a radiação líquida em uma superfície gramada utilizando elementos meteorológicos monitorados por uma estação meteorológica automática instalada em Piracicaba, na Universidade de São Paulo, SP. Os valores estimados pela metodologia proposta foram confrontados com os valores medidos por um saldo radiômetro e os resultados revelaram que esta se mostrou eficiente para a estimativa da radiação líquida com rapidez e simplicidade.

Outro método bastante utilizado para os cálculos de estimativa do balanço de energia é a Razão de Bowen. Maitelli (2010), assim como outros autores, utilizou a razão de Bowen como forma de estimar os fluxos de calor

sensível e de calor latente para cálculos de balanço de energia, para tanto tem-se que a razão de Bowen é a partição de energia absorvida na superfície, entre os fluxos de calor latente (quantidade de calor que causa mudança de estado físico, mas não de temperatura) e sensível (quantidade de calor que não causa mudança de estado físico, apenas de temperatura) (MASHIKI; CAMPOS, 2013).

Silva Filho (2015) estimou o balanço de energia pelo método da razão de Bowen, para três dias em novembro de 2014, em uma área de cana-de-açúcar e em uma área urbana no município de Barra do Bugres/MT. Os resultados dos testes de campo constataram que o saldo de radiação foi utilizado prioritariamente para o fluxo de calor latente, 56,7 % e 43,8 %, seguido pelo fluxo de calor sensível, 39,6 % e 25,6 %, e no solo, 3,6 % e 30,5 % na área de cana-de-açúcar e urbana, respectivamente.

Biudes et al. (2009) estimaram o balanço de energia pelo método da razão de Bowen em uma área de vegetação de Cambará na RPPN SESC-Pantanal e uma área de pastagem na Fazenda Experimental da UFMT, durante o período de janeiro a dezembro/2007 e, constataram que a energia disponível aos dois sítios foi destinada prioritariamente ao fluxo de calor latente, 80,0 % no cambarazal e 56,6 % na pastagem, seguido pelo fluxo de calor sensível, 19,1 e 42,9 %, e pelo fluxo de calor no solo, 0,3 e 7,2 %.

Lima et al., (2011) objetivaram obter os componentes do balanço de energia pelo método da razão de Bowen em uma área de 4 ha cultivada com feijão-caupi, em Areia-PB, no período de julho a novembro/2010 e verificaram que o  $R_n$  foi utilizado, em média, como 65 % do fluxo de calor latente, 23 % como fluxo de calor sensível e 12 % como fluxo de calor no solo.

Pereira (2013) estimou o balanço de energia pelo método da razão de Bowen em floresta de transição entre o cerrado e a floresta amazônica, na cidade de Sinop/MT, no período de janeiro a dezembro de 2007 e, verificou que a partição da energia líquida disponível ao meio priorizou o LE (90,0 %) seguidos pelo H (4,7 %) e G (1,3 %).

Oliveira (2012) analisou a variação dos componentes do balanço de energia para uma cobertura de gramado (jun.2010 a jul.2011) e cobertura asfáltica (ago.2010 a jul.2011), em área urbana na cidade de Recife-PE, por meio do método da razão de Bowen. Os resultados indicaram que na área de

gramado o  $R_n$  foi utilizado em média, 49 % para H, 40 % para LE e 11 % para G. Já para área de cobertura asfáltica o  $R_n$  foi utilizado em média, 51 % para H, 37 % para LE e 11 % para G.

### 3.1.1. Evapotranspiração

A evapotranspiração é o processo de transferência de água para a atmosfera resultante da evaporação direta da água do solo e da transpiração dos tecidos vegetais (TAGLIAFARRE et al, 2011).

A produção de uma cultura depende fortemente da realização da evapotranspiração pela planta, que para ocorrer necessita de um suprimento adequado de água no solo (SILVA et al., 2011).

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é definida pela perda de água de uma superfície extensa de solo, coberta por vegetação rasteira, com altura entre 8 e 15 cm, sem restrição hídrica (SOUZA et al., 2011), uma resistência de superfície de 70 s.m<sup>-1</sup> e um albedo de 0,23 (ALENCAR et al., 2011).

A ET<sub>o</sub> pode ser medida diretamente por métodos micrometeorológicos ou estimada indiretamente por modelos matemáticos (LACERDA & TURCO, 2015).

O método direto mais comum é o método lisimétrico que determina a evapotranspiração por meio da variação do balanço de massa ou volume de água (NASCIMENTO et al., 2011). Este método, apesar de apresentar ótimos resultados, utiliza equipamentos de custo muito elevado, tornando muitas vezes inviável sua utilização (SILVA et al., 2014).

Além disso, o interesse na utilização de métodos indiretos se justifica pelo fato do método padronizado pela FAO para estimava da ET<sub>o</sub> exigir a disponibilidade de diversas variáveis meteorológicas, tornando-o muitas vezes pouco aplicável em regiões nas quais não existe essas informações (CHAGAS et al., 2013).

Dessa forma, a escolha do método mais adequado depende, entre outras coisas, da disponibilidade de dados meteorológicos, da precisão exigida, da finalidade, bem como do custo de aquisição de equipamentos (ALENCAR, 2011).

Dentre os vários métodos que existem para se estimar a ET<sub>o</sub>, destaca-se o método de Penman-Monteith, por apresentar um melhor desempenho

quando aplicado em diversos tipos de clima, sendo, por este motivo, recomendado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) (FANAYA JÚNIOR et al., 2012).

Diversos trabalhos comparando os vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência são encontrados na literatura, para diferentes regiões.

Moura et al. (2013) determinaram a ETo por métodos indiretos em várias escalas de tempo na bacia experimental do riacho Gameleira, Vitória de Santo Antão, PE e constataram que, dentre os métodos baseados na temperatura do ar, Hargreaves-Samani (1985) apresentou desempenho "ótimo".

Pilau et al. (2012) compararam métodos mais simples de estimativa da evapotranspiração de referência com o método Penman-Monteith (FAO 56) em duas localidades do Rio Grande do Sul e constataram que, em qualquer escala temporal, os métodos de Makking e da Radiação FAO 24 podem substituir o modelo de Penman-Monteith. Porém, o mesmo autor afirma que, em clima subtropical úmido, é recomendado utilizar o modelo de Penman-Monteith em substituição aos métodos de Thornthwaite e Camargo.

Araújo et al. (2011) compararam o desempenho dos métodos Radiação-FAO 24, Blaney-Criddle-FAO 24, Hargreaves & Samani, Camargo e Irrigâmetro, em relação ao método padrão proposto pela FAO, Penman-Monteith, no sul do Espírito Santo e concluíram que os métodos da Radiação-FAO 24 e Hargreaves & Samani superestimam a evapotranspiração em relação ao método padrão.

Segundo Oliveira et al. (2014), ao longo dos anos vários métodos diretos e indiretos foram desenvolvidos para estimar a evapotranspiração (i.e. Thornthwaite, Penman-Monteith, Balanço de Energia baseado na Razão de Bowen, dentre outros).

Nesse sentido, o método da razão de Bowen é amplamente utilizado para a determinação da evapotranspiração em cultivos agrícolas e em vegetação nativa (SANTOS, 2011; AMAZONAS et al., 2014).

### **3.2. Microclima urbano**

Os fatores climáticos, como radiação, latitude, altitude e vegetação condicionam o microclima, isto é, o clima em um local restrito. Ao concentrar

suas atividades em um lugar só, o homem modifica seu microclima, ou seja, acontecem temperaturas médias mais elevadas, há modificação do regime de chuvas, aumento da nebulosidade devido à poluição do ar e bairros inteiros podem sofrer com o calor intenso, tornando-se quentes e poluídos (PERROTTA NETO, 2011).

Nesse sentido, coberturas vegetais apresentam características de impacto positivo no clima urbano, no sentido de interceptar e absorver parte da energia que chega ao seu entorno (THOMAZELLI, 2013).

Quando a energia radiante incide sobre um corpo, ela é absorvida, refletida e transmitida (ABREU et al., 2011). No caso das plantas, parte da radiação que incide sobre a planta é refletida, parte é absorvida de modo a tornar-se fisiologicamente eficaz, e o restante é irradiado de volta a atmosfera (ROMERO et al., 2011). Assim, por meio da arborização, tem-se atenuação da radiação de onda curta, evitando os efeitos de ofuscamento e reverberações em virtude do contraste sombra/sol e, em relação à radiação de onda longa, há uma redução no aquecimento das superfícies e, conseqüentemente, do calor emitido por estas (LABAKI et al., 2011).

A substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, como pavimentos asfálticos e concreto, faz com que parte do calor latente que seria utilizado para evaporação de áreas úmidas, acentue o efeito do calor sensível, que aquece os materiais e o ar (MACIEL et al., 2014).

Araújo et al. (2010) realizaram estudos na cidade de Presidente Prudente, no estado de São Paulo, detectaram que as diferenças térmicas na área urbana estão ligadas diretamente ao tipo de uso e ocupação do solo.

Souza & Alvalá (2011), estudaram o efeito da expansão urbana na cidade de Manaus, AM e a evolução do seu microclima. Os autores detectaram que nas últimas décadas houve um acréscimo superior a 2,0 °C na temperatura do ar naquela cidade, devido ao processo de urbanização e aumento da população.

Quando os diversos fatores que estão ligados ao processo de urbanização se intensificam, ocorre o fenômeno de ilhas de calor. Um desses fatores é a impermeabilização, ou seja, a substituição de áreas verdes por superfícies compostas por concreto e asfalto (TASSI et al., 2014).

### 3.3. Ilhas de calor

A substituição por grande quantidade de casas e prédios, ruas e avenidas, pontes e viadutos e uma série de outras construções, que geralmente é maior quanto mais se aproxima do centro das grandes cidades, faz aumentar significativamente a irradiação de calor para a atmosfera em comparação com as zonas periféricas ou rurais, onde, em geral, é maior a cobertura vegetal (BEZERRA et al., 2013).

Essa impermeabilização modifica o balanço de energia devido à mudança do albedo dessa área transformada pelo homem (PIVETTA, 2010). Desta forma, Moreira & Nobrega (2011) afirmam que dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície.

Assim, as ilhas de calor se intensificam no centro das grandes metrópoles, onde os materiais de baixa reflexão ou baixo albedo estão mais concentrados, e à medida que nos afastamos do centro, a tendência é de diminuição da temperatura (SANTANA, 2014), como mostra na Figura 1. Isso porque a vegetação é capaz de resfriar o ar pelo processo de evapotranspiração (LABAKI et al., 2011), alterar os índices de calor e favorecer a manutenção da umidade relativa do ar (SILVA et al., 2014).

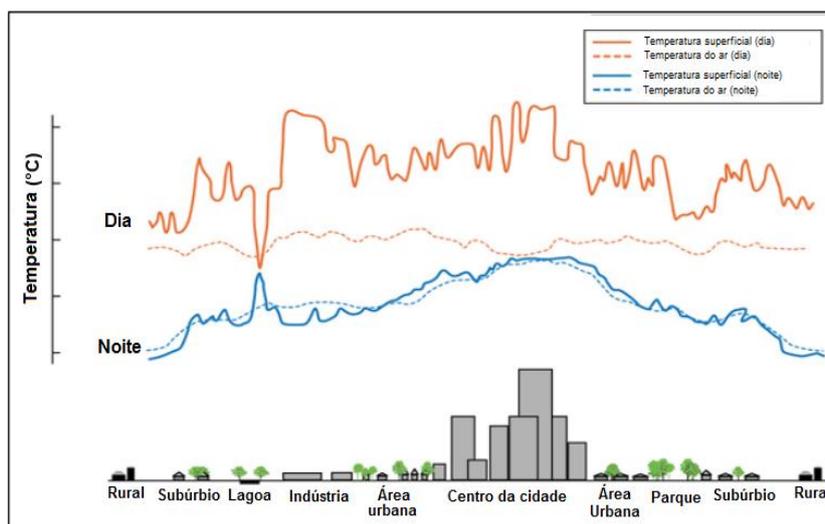


Figura 1. Perfil de ocorrência de uma ilha de calor. Adaptado e traduzido. Fonte: United States Environmental Protection Agency (EPA, 2011).

De acordo com Gartland (2010), as principais estratégias difundidas atualmente, no que diz respeito à mitigação de ilhas de calor são: adoção de

materiais leves para pavimentação de superfícies e telhados e incremento da quantidade de vegetação, seja por meio de parques urbanos, seja por meio da incorporação de elementos verdes às diferentes partes de uma edificação, como, por exemplo, os telhados e fachadas verdes.

O fenômeno ilha de calor é o reflexo de mudanças microclimáticas em consequência de alterações da superfície urbana feita pelo homem. Tais mudanças estão relacionadas com as alterações do balanço de energia e de radiação que ocorrem na zona urbana (COSTA et al., 2010b)

Dentre as causas que favorecem a formação de ilha de calor estão as fontes antrópicas. A combustão de combustíveis fósseis e uso intenso de equipamentos elétricos (como exemplo, o ar condicionado) podem contribuir em um saldo maior de energia, aumentando o efeito da ilha de calor (NOBREGA; VITAL, 2010).

A tendência dos valores de albedo é de aumentar com o aumento da cobertura do solo. No caso do valor de albedo menor do que uma área vegetada implicará em maior absorção de energia na área urbanizada e menor reflexão (ANDRÉ et al., 2010). Nesse caso, as alterações na cobertura vegetal também influenciam e favorecem a formação de ilhas de calor.

O uso de materiais que absorvem muito a radiação solar, como asfalto e concreto, irá acumular calor durante o dia e sua emissão durante a noite, tornando a área muito mais quente (COSTA et al., 2010).

Com isso, uma das soluções para minimizar o fenômeno de ilhas de calor é a utilização de vegetação como telhado verde, por se tratar de uma alternativa usada para diminuir a temperatura do microclima local e do conforto térmico nas residências (BINS, et al., 2012).

### **3.4. Telhado verde**

Desde a antiguidade, várias civilizações têm aprimorado diversas técnicas de tecnologias arquitetônicas que, de alguma forma, favoreçam o resfriamento de ar em ambientes construídos (BEATRICE, 2011). Dentre as técnicas conhecidas destaca-se a aplicação de telhados verdes.

Os telhados verdes surgiram, de acordo com Espíndola (2010), na antiga Mesopotâmia tendo sido construídos de 600 a.C e 450 a.C. pelo rei

Nabucodonosor, na forma de jardins suspensos, sendo o mais famoso o localizado na Babilônia chamado Etemenanki.

Entretanto, Oliveira Neto (2014) afirma que a cobertura verde moderna se originou nas habitações da Islândia e Escandinávia, que utilizavam de recursos locais, como grama e pedra, para construir suas casas e desta forma, garantiam condições térmicas agradáveis dentro de suas moradias, comparadas as temperaturas muito baixas encontradas no entorno das residências.

Um pouco mais recente, segundo Mello et al. (2010), os telhados verdes eram utilizados pelos povos tradicionais da América Central com o objetivo de criar um isolamento térmico nas residências. Os mesmos autores ainda afirmam que esse tipo de cobertura também era utilizado pelos povos nórdicos na Europa, desde o século XIX, que colocavam plantas nos telhados para garantir a manutenção da temperatura antes da invenção dos aquecedores.

No Brasil, os principais referenciais de coberturas verdes foram através do paisagista Burle Marx, tendo como exemplar o Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro, dos arquitetos Afonso Reidy, Carlos Leão, Ernani de Vasconcelos, Jorge Moreira, Lúcio Costa e Oscar Niemeyer (SAVI; TAVARES 2013).

No ano de 1990, quando questões ecológicas se tornaram evidentes no cenário mundial, a tecnologia "Telhado Vivo" passou a ser novamente resgatada como uma proposta mais sustentável na área da construção civil (ROSA D' AVILA, et al. 2010), de forma que hoje são considerados uma importante ferramenta de planejamento que pode ser usada para ajudar os centros urbanos, face às alterações climáticas e melhorar a qualidade de vida nas cidades (ROSSETI et al., 2013c).

A composição mais comum e simples de um telhado verde consiste em cinco camadas: vegetação, substrato, camada de filtragem, de drenagem e de impermeabilização (TASSI, 2014), e ainda, outras variações como a utilização de mais camadas como manta anti-raiz ou uma camada de substrato rígido (FERRAZ & LEITE, 2011).

Sistemas de telhados verdes são conhecidos por apresentar diversos benefícios, tais como, contenção da água de chuva. Tassi et al. (2014), em estudos recentes realizado em Porto Alegre feitos em escala reduzida,

conseguiram reduzir, em média, 62 % do escoamento superficial, o que promoveu um retardo no escoamento e reduziu as vazões de pico em relação à telha de fibrocimento.

Santos et al. (2010) utilizaram o software Hydrus 1D para simular o fluxo de água e também concluíram que, ao comparar um telhado convencional com um telhado verde, este apresentou capacidade de retenção de água superior.

Costa et al. (2012) mostraram em seus estudos que, mesmo em telhados com inclinações entre 12 e 15 %, os telhados verdes são eficientes e ainda ressaltam que estes são muito importantes para as regiões urbanas que sofrem com inundações, porque ajuda a reduzir as demandas dos sistemas convencionais de drenagem urbana, o que pode representar economia nos custos de funcionamento e possíveis diminuições de alagamento.

O telhado verde contribui para a absorção do CO<sub>2</sub>, visto que o processo de fotossíntese possui papel fundamental para a redução do efeito estufa. A cobertura verde contribui também para a limpeza do ar, já que parte das partículas adere à superfície das folhas e são lavadas pela chuva (AUGUSTO et al., 2012).

O telhado verde também se caracteriza pelo processo de isolamento acústico, que diminui altas frequências sonoras dentro de edifícios (FRANÇA, 2012). Piovesan et al. (2014) realizaram experimentos de medição de absorção sonora em dois tipos de telhado verde, com duas medições que consideraram as espessuras diferenciadas de substrato e uma medição do conjunto com planta. Os resultados indicaram um alto coeficiente de absorção, o que sugere que a utilização de telhados verdes pode ser uma ótima alternativa de controle de ruído urbano.

A fauna também é afetada pela utilização de telhados verdes que são geralmente habitados por várias espécies de insetos: besouros, formigas, moscas, abelhas, aranhas e cigarrinhas, que contribui para o aumento da biodiversidade urbana (BEILFUSS & LINCK, 2013).

Tavares et al. (2014) compararam a Energia Embutida (EE) e a emissão do CO<sub>2</sub> de sete coberturas: um telhado convencional com cobertura cerâmica, cobertura com laje, sistemas de telhado verde, e sistemas combinados. Para isso foram utilizadas tabelas de composição e quantificação dos materiais em 7 sistemas de cobertura analisados, para em seguida calcular os valores de EE e

emissão de CO<sub>2</sub> desses materiais. Conclui-se que três dos sistemas de cobertura verdes tiveram índices de EE e emissão de CO<sub>2</sub> menores do que as coberturas convencionais com laje cerâmica.

As coberturas verdes nas edificações são capazes de otimizar as condições de conforto térmico no entorno da construção, que eleva os níveis de umidade relativa e reduz a temperatura do ar, nas estações secas (ROSSETI et al., 2013b), melhorando assim o clima e a qualidade do ar (HENKES & GENGO, 2013).

Catuzzo (2013) testaram dois tipos de telhados para verificar suas contribuições na redução da temperatura interna onde foram instalados. Os resultados apontaram que o telhado convencional apresentou médias de temperatura 5,3°C maior que o edifício com o telhado verde.

Os telhados verdes também são eficientes para amenizar a temperatura interna de alguns ambientes. Guiselini et al. (2015), verificaram por meio de termografia infravermelho, que os telhados verdes proporcionam melhor desempenho térmico em relação à telhados de fibrocimento. Para esses mesmos tipos de telhado, Mello et al. (2010) utilizaram modelagem numérica que resultou, num desempenho de 48,4 % na redução no consumo de energia elétrica. Vieira et al. (2014) afirmam que isso só é possível porque a vegetação reduz o fluxo de calor através do telhado, promovendo a evapotranspiração e o aumento do isolamento térmico, que gera melhor conforto para o ambiente.

Outro benefício do telhado verde é a atenuação do efeito de ilha de calor (ARAÚJO et al., 2013), fenômeno causado pela substituição da vegetação por materiais de construção e faz com que grande parte da radiação solar seja absorvida por esses materiais e tornam-se muito quentes, portanto, contribui para o acontecimento desse fenômeno (BALDESSAR, 2012). Como consequência, a qualidade da vida humana pode ser afetada no decorrer de períodos mais longos (KATZSCHNER, 2011). Dessa forma, a substituição de superfícies de telhado convencional por telhados verdes poderia ajudar a inverter este quadro.

Esse tipo de cobertura pode ser aplicado em residências, indústrias, escritórios, e propriedades comerciais (AUGUSTO et al., 2011) que também possuem benefícios estéticos, terapêuticos, de lazer e social, como forma de suavizar as paisagens dos centros urbanos.

Dessa forma, o telhado verde torna-se uma solução eficiente para o aumento das áreas verdes, havendo a possibilidade de criar jardins onde antes não havia espaço (RANGEL et al., 2015).

### **3.4.1. Tipos de telhado verde**

A escolha do telhado verde vai depender do tipo de laje onde deverá ser instalado e o objetivo que quer ser alcançado. Dessa forma, após avaliação estrutural, o telhado poderá ser do tipo extensivo, semi-intensivo ou intensivo.

Os telhados com coberturas extensivas têm uma fina camada de solo e são projetadas para serem praticamente autossustentáveis, por exigirem o mínimo de manutenção, além de necessitarem de um volume de água menor e ser composta por vegetação rasteira, de menor porte (MILLER, 2014), resistentes a situações climáticas severas (TASSI et al., 2014), sendo mais comumente usada as de tipo Sedum aromática (VACILIKIO & FLEISCHFRESSER, 2011).

Entre as categorias de cobertura verde, a extensiva é a que menos sobrecarrega a estrutura, pois, neste tipo de cobertura o substrato será de 5 a 15 cm (SILVA et al., 2013). Necessitam de camada drenante e retentora de água de materiais pré-fabricados capazes de proporcionar o efeito de eliminar a água excedente, que pode ser captada, possibilitando seu retorno para o sistema de irrigação da cobertura (ROSSETI et al., 2013a).

Além disso, a cobertura extensiva também atende a projetos com telhados inclinados até 30° e dependendo da resistência da estrutura pode se criar um espaço para o acúmulo de água abaixo do sistema da cobertura verde (OLIVEIRA NETO, 2014).

As coberturas verdes semi-intensivas seriam o meio termo entre as intensivas e as extensivas, uma combinação entre os dois tipos de coberturas verdes. Se comparadas as extensivas elas necessitam de mais manutenção, os custos são mais elevados e o peso é maior (OLIVEIRA NETO, 2014), porém, permitem que seja feito um paisagismo mais elaborado na área, de acordo com a Associação Internacional de Telhados Verdes (IGRA, 2016). Na cobertura semi-intensiva a vegetação utilizada são as gramas, ervas e arbustos e a camada de vegetação fica entre 12 e 20 cm.

O sistema intensivo é definido por alta manutenção; usa-se uma camada mais profunda entre 15 e 120 cm de espessura de substrato, para poder suportar até algumas espécies de árvores (SILVA et al., 2013). As coberturas intensivas precisam de uma profundidade considerável de solo e requer mão de obra qualificada, irrigação e manutenção constante (MILLER, 2014). Este sistema é complexo e caracteriza-se por altos custos de instalação e manutenção (PEREIRA et al., 2015). Não são limitados em termos de variedades de plantas e recebem os mesmos tratamentos paisagísticos que os jardins convencionais (JOBIM, 2013).

### **3.4.2. Legislação para o uso de telhado verde**

Em 10 de Março de 2009, a vereadora Sandra Tadeu apresentou à Câmara de Vereadores de São Paulo um Projeto de Lei com sete artigos que tratava acerca da obrigatoriedade da implementação de coberturas verdes em determinadas circunstâncias, visando implantar compulsoriamente a utilização de telhados verdes em edificações com mais de três unidades agrupadas verticalmente, construídas após a publicação da Lei. O referido Projeto recebeu na Câmara o nº 115/2009, tendo sido aprovado em primeira discussão pelos vereadores (STAHLHÖFER & PEREIRA, 2013).

No Sul do país, a Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007 do estado de Santa Catarina, dispõe sobre a implantação da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina. Como demonstra o Art. 1º, fica criado, no âmbito do Estado de Santa Catarina, o Programa Estadual de Incentivo a Adoção de Telhados Verdes em espaços urbanos densamente povoados objetivando, entre outras coisas, a minimização do fenômeno de ilhas de calor e a atuação como isolantes térmicos (BAROSKY, 2011).

Na cidade do Recife, em Pernambuco, os telhados verdes passaram a ser obrigatórios, de acordo com a Lei Nº 18.112/2015, para edifícios habitados com mais de quatro pavimentos ou edifícios não habitados, como por exemplo, estacionamentos, com mais de 400 m<sup>2</sup> de área coberta.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Caracterização da área

A pesquisa foi desenvolvida entre 01 de fevereiro e 31 de outubro 2016, no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, da construtora Rio Ave Empreendimentos, no Recife, PE (latitude  $-8,05^{\circ}$ , longitude  $-34,95^{\circ}$ , altitude 33,30 m), onde futuramente será implantado um telhado verde do tipo extensivo numa área de 2.800 m<sup>2</sup> (Figura 2).



Figura 2. Localização do Edifício Garagem Empresarial Charles Darwin, da construtora Rio Ave Empreendimentos, no Recife, PE.

O clima da região é do tipo As', tropical chuvoso, de acordo com Köppen. A temperatura média anual no Recife é de 25,5 °C. As temperaturas mais elevadas na região ocorrem em janeiro, com média de 26,6 °C, julho é o mês mais frio na capital de Pernambuco, média de 24 °C. Na Figura 3, observa-se as médias mensais climatológicas para o ano de 2016. A Tabela 1 apresenta as características climáticas quanto à radiação solar e a insolação no município do Recife, PE (CHESF, 1987).

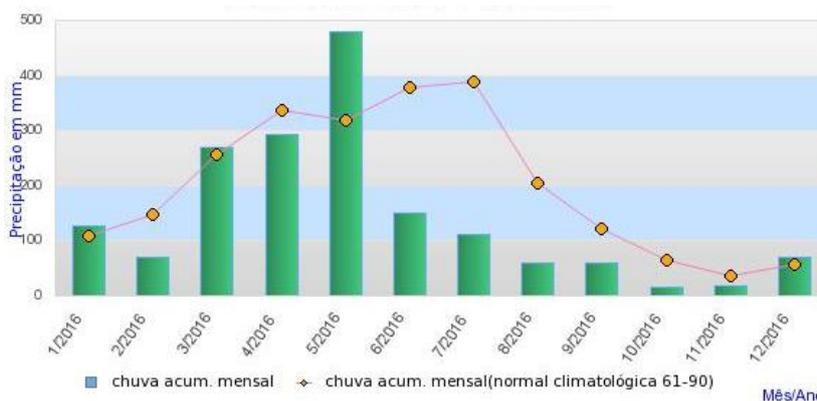


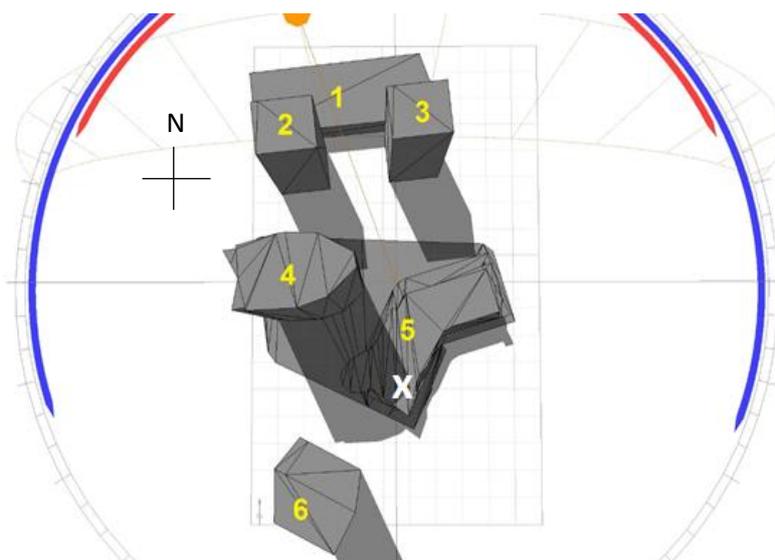
Figura 3. Extrato do balanço hídrico mensal (2016) e da normal climatológica para o Município de Recife/PE.

Tabela 1. Característica climática quanto à radiação solar e a insolação de Recife-PE.

Mês	Duração do Dia, N (h)	Insolação Diária (h)	Fração de Insolação (n N <sup>-1</sup> )	Normal climatológica Radiação Solar Global Diária (MJ m <sup>-2</sup> )
Jan	12,4	8,3	0,67	22,30
Fev	12,3	7,8	0,64	21,50
Mar	12,1	6,9	0,57	20,20
Abr	11,8	6,5	0,55	17,70
Mai	11,6	6,3	0,54	15,90
Jun	11,5	5,7	0,49	14,50
Jul	11,6	5,3	0,46	14,60
Ago	11,7	7,1	0,61	18,50
Set	12,0	7,5	0,63	20,50
Out	12,2	8,3	0,68	22,20
Nov	12,4	9,3	0,75	23,00
Dez	12,5	8,5	0,68	21,90
Ano	12,0	7,3	0,61	19,50

#### 4.2. Variáveis micrometeorológicas

Foi instalada uma estação meteorológica automática completa, na laje externa do edifício. Para que a estação ficasse o maior tempo possível exposta à radiação solar e a sombra das construções circunvizinhas não interferisse na qualidade dos dados registrados, foi necessário realizar uma avaliação da sombra gerada pelos edifícios vizinhos, ao longo do ano (janeiro – dezembro). O estudo de sombra do cenário proposto foi realizado por meio de simulações computacionais nos horários das 12h00min, 15h00min e 17h00min, em 3 dias de cada mês, nos 12 meses do ano, o que gerou 36 imagens e indicou a localização ideal para instalação da estação meteorológica (Figura 4).



1. Edf. Garagem do Isaac Newton e Alfred Nobel
2. Isaac Newton
3. Alfred Nobel
4. Charles Darwin

5. Edf. Garagem do Charles Darwin
6. Futuras instalações do Charles Darwin
- X. Localização da estação meteorológica

Figura 4. Estudo de sombra do complexo empresarial e localização da instalação da estação meteorológica (x), Edf. Isaac Newton, Alfred Nobel e Charles Darwin, no dia 17 de maio, ao meio dia.

Os dados meteorológicos foram registrados pela estação meteorológica automática a cada 10 min, no decorrer do período experimental, que consistiu de 1 de fevereiro a 31 de outubro de 2016.

Um saldo radiômetro foi instalado para a coleta de dados do balanço de radiação (radiação global [ $Q_g$ ,  $W\ m^{-2}$ ;  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ], radiação de ondas curtas [BOC  $W\ m^{-2}$ ;  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ] e radiação de ondas longas [BOL  $W\ m^{-2}$ ;  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ]).

Além dessas variáveis também foram registrados a precipitação pluviométrica (PREC, mm), velocidade e direção dos ventos (VV,  $m\ s^{-1}$ ), pressão atmosférica ( $P_{atm}$ , mbar; Kpa) e albedo ( $r$ ). As medidas de temperatura do ar ( $T_{ar}$ ,  $^{\circ}C$ ) e a umidade relativa do ar (UR, %) foram realizadas em dois níveis acima do solo (20 cm e 160 cm). Para os valores de fluxo de calor no solo ( $G$ ,  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ) foi seguido a recomendação de Pereira et al (2002) que considera o valor de  $G$  em torno de 3 % do valor do saldo de radiação ( $R_n$ ).

Todas essas medidas foram armazenadas como valores instantâneos e como média ao final de 24h, com exceção da pluviometria, que foi adotado os valores acumulados diário, mensal e do período.

Calculou-se o balanço de energia para a cobertura da edificação predial não vegetada (Laje), por meio do método da razão de Bowen. Para a cobertura vegetada simulada (Telhado Verde simulado, TVs), por meio do modelo de simulação proposto, o cálculo foi em função da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), determinada pelo método de Penman-Monteith, como mostrado no esquema da Figura 5.

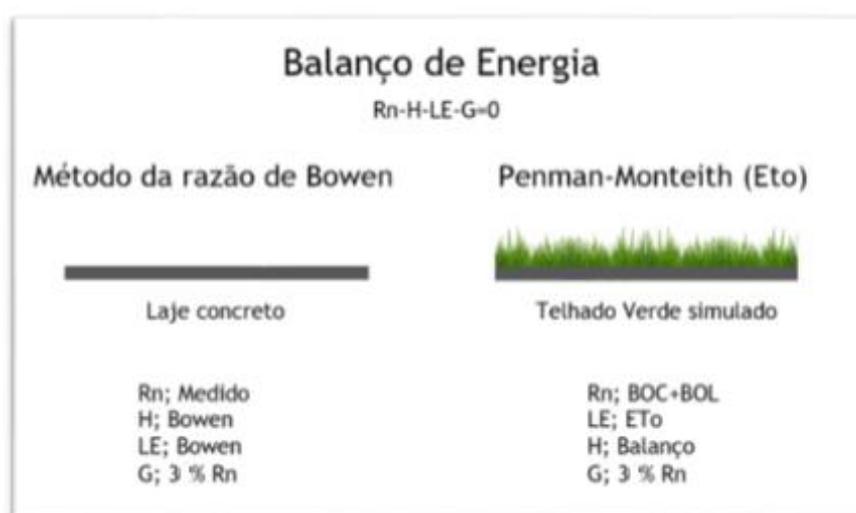


Figura 5. Esquema dos cálculos para determinação do balanço de energia da área não vegetada (Laje) e da área vegetada simulada (TVs), respectivamente.

### 4.3. Cálculo dos balanços de energia

#### 4.3.1. Balanço de energia na cobertura não vegetada (Laje)

A estimativa do balanço de energia na laje externa do edifício garagem do Empresarial Charles Darwin, foi obtida em função dos elementos meteorológicos registrados pela estação meteorológica automática: R<sub>n</sub>, VV, UR, Tar, Q<sub>g</sub> e PREC. Ao considerar o fluxo de calor no solo (G) como 3 % do valor do saldo de radiação (R<sub>n</sub>), pôde-se calcular o balanço de energia para a cobertura não vegetada (Laje) por meio do método da razão de Bowen.

A razão de Bowen é a relação entre os fluxos de calor sensível (H, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e latente (LE, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), e foi calculada de acordo com as equações 1 e 2.

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (1)$$

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T_{ar}}{\Delta e_a} \quad (2)$$

Em que,

$\beta$  = razão de Bowen

H = fluxo de calor sensível ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

LE = fluxo de calor latente ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$\Delta T_{ar}$  = diferença de temperatura do ar entre dois níveis ( $T_{ar160\text{cm}} - T_{ar20\text{cm}}$ ; °C)

$\Delta e_a$  = diferença de pressão de vapor d'água entre dois níveis ( $e_{a160\text{cm}} - e_{a20\text{cm}}$ ; kPa)

$\gamma$  = constante psicométrica ( $0,0626 \text{ kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ )

A pressão de vapor de água saturada de ar ( $e_s$ , kPa) foi calculada de acordo com a equação 3.

$$e_s = 0,6108 * 10^{\left(\frac{7,5t_{ar}}{237,3 + t_{ar}}\right)} \quad (3)$$

Em que,

$e_s$  = pressão de vapor d'água saturada de ar (kPa)

$T_{ar}$  = temperatura do ar (°C)

A pressão de ar de vapor de água ( $e_a$ , kPa) foi calculada de acordo com a equação 4.

$$e_a = (e_s \times UR)/100$$

(4)

Em que,

$e_a$  = pressão de ar de vapor de água (kPa)

$e_s$  = pressão de vapor d'água saturada de ar (kPa)

UR = a umidade relativa do ar (%)

A equação do balanço de energia (Equação 5) foi combinada com o fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) e os dois últimos foram calculados por meio das equações 6 e 7.

$$Rn = H + LE + G \quad (5)$$

$$H = \frac{\beta}{1+\beta} (Rn - G) \quad (6)$$

$$LE = Rn - G - H \quad (7)$$

Em que,

$Rn$  = saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$H$  = fluxo de calor sensível ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$LE$  = fluxo de calor latente ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$G$  = fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$\beta$  = razão de bowen

#### 4.3.2. Balanço de energia na cobertura vegetada simulada (TVs)

A simulação da evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (ET<sub>o</sub>) foi considerada como curva característica da dissipação de calor latente (LE) pelo modelo simulado com cobertura vegetal (TVs), dessa forma, considerou-se ET<sub>o</sub> como LE, obtido em função dos elementos meteorológicos medidos por uma estação meteorológica automática. A estação meteorológica forneceu os seguintes elementos meteorológicos:  $Q_g$ ,  $P_{atm}$ ,  $VV$ ,  $UR$ ,  $Tar$ . Além dos dados fornecidos pela estação, adotou-se valores constantes para:  $G$ ; 3 % de  $Rn$ , Albedo da grama;  $r = 0,25$ , Insolação ( $n$ ;  $h$ ) e Número de dias do ano (NDA).

O saldo de radiação ( $Rn$ ) foi calculado pela equação 8.

$$Rn = BOC + BOL \quad (8)$$

Em que,

$Rn$  = saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$BOC$  = balanço de ondas curtas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

BOL = balanço de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

O balanço de ondas curtas (BOC) foi calculado pela equação 9.

$$BOC = Qg (1 - r) \quad (9)$$

Em que,

BOC = balanço de ondas curtas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$Qg$  = radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$r$  = albedo da grama; 0,25

O balanço de ondas longas (BOL) foi calculado pela equação 10.

$$BOL = - [ 4,903 \times 10^{-9} \times T^4 \times (0,56 - 0,25 \sqrt{ea}) \times (0,1 + 0,9 n/N) \quad (10)$$

Em que,

BOL = balanço de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$T$  = temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{K}$ )

$ea$  = pressão atual de vapor média diária (kPa)

$n$  = insolação (h)

$N$  = fotoperíodo (h)

A pressão do ar de vapor d'água ( $ea$ , kPa) foi calculada de acordo com a equação 11.

$$ea = (e_s UR)/100 \quad (11)$$

em que,

$ea$  = pressão do ar de vapor d'água (kPa)

$e_s$  = pressão de vapor de água saturada de ar (kPa)

$UR$  = umidade relativa do ar (%)

A pressão de vapor de água saturada de ar ( $e_s$ , kPa) foi calculada de acordo com a equação 12.

$$e_s = 0,6108 * 10^{\left(\frac{7,5t_{ar}}{237,3+t_{ar}}\right)} \quad (12)$$

Em que,

$e_s$  = pressão de vapor de água saturada de ar (kPa)

$T_{ar}$  = temperatura do ar (°C)

O fotoperíodo (N) foi calculado a partir da equação 13.

$$N = 0,134 \times hn \quad (13)$$

Em que,

N = fotoperíodo (h)

hn = ângulo horário do nascer do sol

E hn foi calculado em função da declinação solar ( $\delta$ ), como mostra a equação 14 e 15.

$$hn = \arcsin[-\tan(\phi) \times \tan(\delta)] \quad (14)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left[ \frac{360}{365} (NDA - 80) \right] \quad (15)$$

Em que,

hn = ângulo horário do nascer do sol

$\phi$  = latitude (°)

$\delta$  = declinação solar (°)

NDA = número de dia do ano

A evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ; mm) foi estimada por meio do modelo Penman-Monteith (FAO 56), conforme a equação 16.

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T_{ar} + 273} wv (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 wv)} \quad (16)$$

Em que,

$E_t$  = evapotranspiração de referência (mm)

$R_n$  = saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$G$  = fluxo de calor no solo (3 % de  $R_n$ ;  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$T_{ar}$  = temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$v_v$  = velocidade média diária do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ )

$e_s$  = pressão de saturação do vapor média diária (kPa)

$e_a$  = pressão atual de vapor média diária (kPa)

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor no ponto correspondente a temperatura ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$\gamma$  = constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

A declividade da curva de pressão de vapor ( $\Delta$ ,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) é obtida em função da expressão 17 e 18 a constante psicrométrica ( $\gamma$ ,  $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), em função da expressão 19.

$$\Delta = \left( \frac{40,98 \times e_s}{237 + T} \right)^2 \quad (17)$$

$$T = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \quad (18)$$

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P_{atm} \quad (19)$$

Em que,

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$e_s$  = pressão de saturação do vapor média diária (kPa)

$\gamma$  = constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$T_{max}$  = temperatura do ar máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{min}$  = temperatura do ar mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )

$P_{atm}$  = pressão atmosférica (kPa)

#### 4.4. Análise dos dados

A caracterização do ambiente foi apresentada por meio da variação dos elementos meteorológicos registrados pela plataforma automática de registro de dados, por meio de representação gráfica da temperatura média do ar, da umidade relativa do ar, da precipitação, da velocidade do ar, da radiação

global, pressão atmosférica e do saldo de radiação, que permitiu a apresentação de todo o perfil de variação no decorrer do período de estudo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise física do ambiente estudado

Verifica-se na Tabela 2, a variação média mensal da radiação solar global ( $Q_g$ ), do acumulado da precipitação pluviométrica (PREC), da temperatura média do ar ( $T_{ar}$ ) registrada ao longo do período de monitoramento e os apresentados na normal climatológica.

A  $Q_g$  média mensal apresentou menor valor para o mês de junho,  $13,30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e maior média para fevereiro,  $22,03 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . A média do período de registro de dados foi da ordem de  $17,37 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Os valores encontrados mantiveram-se próximos a média climatológica do período.

Observa-se que os valores de precipitação presentes na normal climatológica para os meses de abril, maio, junho e julho ( $337,6$ ;  $318,5$ ;  $337,9$  e  $338,1 \text{ mm}$ ), período chuvoso característico da região, foi de  $1330 \text{ mm}$  acumulado nos quatro meses. Ao comparar os valores registrados em 2016 a normal climatológica para os meses em questão, nota-se que a precipitação acumulada foi inferior à média dos 30 anos, que totalizou  $647 \text{ mm}$ , o que indica que 2016 foi um ano atípico, com totais mensais muito abaixo dos valores esperados (Tabela 2).

Porém, a Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC, afirma que julho é o mês em que ocorre o maior volume de chuva na Região Metropolitana do Recife (APAC, 2016).

O mês de maio apresentou acumulado equivalente a  $40,5 \%$  de todo o período de monitoramento, sendo que os meses de agosto e setembro foram os mais secos, com precipitação acumulada da ordem de  $16,76 \text{ mm}$ . Apesar da concentração de chuva no mês de maio, o volume acumulado no período de monitoramento registrou decréscimo da ordem de  $48,6\%$  ao esperado.

Verifica-se que a  $T_{ar}$  não apresentou variação expressiva no decorrer do período de monitoramento, em que o mês de abril contabilizou a maior média

(28,04 °C) e junho a menor (27,97 °C), com diferença entre esses meses de apenas 0,08 °C.

A variação média da Tar registrada na laje comparada as normais climatológicas, apontam valores superiores, da ordem de 2,75 °C, em decorrência do balanço de energia promovido pela superfície concretada, quando se compara às condições de referência, no posto meteorológico (normais climatológicas).

Ainda assim, com base no histórico climatológico (Tabela 2), nota-se que os meses de junho e julho apresentaram os menores valores de Tar (24,5 e 23,9 °C), o que se justifica pelo fato de registrar os maiores índices de precipitação acumulada nesses meses (337,9 e 338,1; mm). Porém, em decorrência da redução da precipitação acumulada nos meses de junho e julho em 2016 (93,05 e 43,18 mm), observa-se que os valores de Tar foram superiores aos apresentados pela normal climatológica. Alves & Vecchia (2012) afirmam que parte da energia oriunda da radiação solar absorvida pela superfície é usada como calor latente na evaporação da água, reduzindo a sua temperatura.

Tabela 2. Variação média mensal da radiação solar global (Qg), temperatura média do ar (Tar), acumulado mensal da precipitação pluviométrica (PREC) e normal climatológica

MESES	Qg (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	QG normal (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PREC (mm)	PREC normal (mm)	Tar (°C)	Tar normal (°C)
Fev	22,03	21,5	44,7	148,2	28,02	26,5
Mar	20,88	20,2	119,8	256,9	28,03	26,4
Abr	17,1	17,7	162,56	337,6	28,04	25,9
Mai	13,52	15,9	349,51	318,5	27,97	25,2
Jun	13,3	14,5	93,05	337,9	27,96	24,5
Jul	13,47	14,6	43,18	338,1	27,97	23,9
Ago	16,97	18,5	32,01	204,8	27,98	23,9
Set	22,01	20,5	16,76	122	27,99	25,6

Na Figura 6 é apresentada a variação média diária da radiação solar global (Qg; MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) de todo período de monitoramento. O dia que

apresentou maior média de  $Q_g$  foi 05/02, com intensidade de  $27,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , assim foi considerado como dia de céu limpo. Já o dia de céu nublado, registrou menor média de  $Q_g$ , com intensidade de  $4,58 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (24/05).

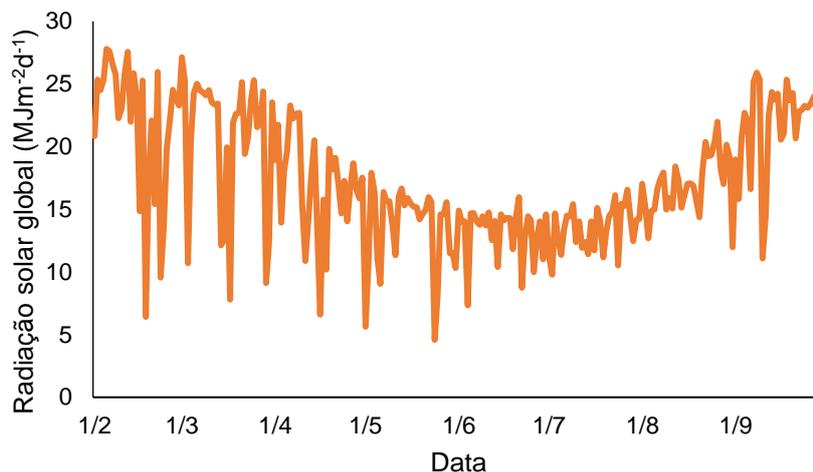


Figura 6. Variação da radiação solar global ( $Q_g$ ) média no decorrer do período de monitoramento.

Observa-se na Figura 7 a variação diária da temperatura e da umidade relativa média do ar. Assim, tem-se o menor valor médio diário da Tar no dia 27/05 ( $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ). O maior valor médio diário ocorreu no dia 11/03 ( $29,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Os valores temperatura e umidade relativa do ar variaram de forma inversa, ou seja, com o aumento da Tar ocorre um decréscimo na UR. A umidade relativa do ar apresentou grande variabilidade, com o valor mínimo de 69,2 % (12/08) e máximo de 99,9 % (09/05).

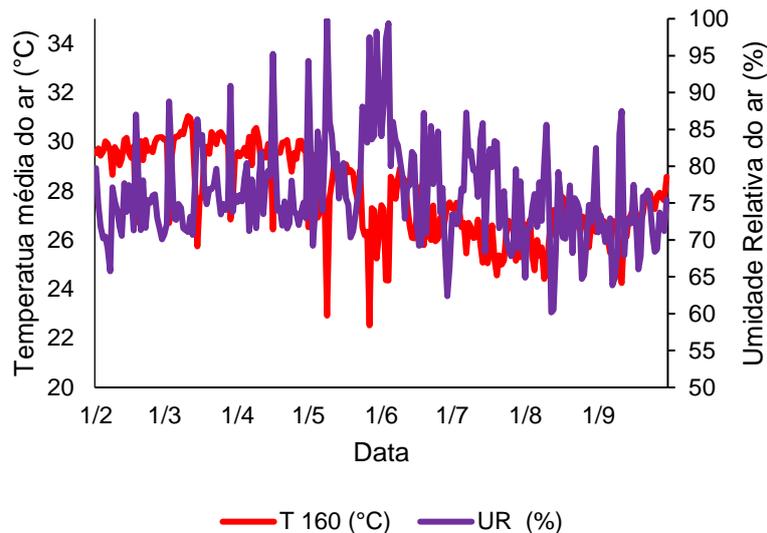


Figura 7. Variação diária da temperatura (Tar) e umidade relativa (UR) média do ar no decorrer do período de monitoramento.

Ao longo de todo período de monitoramento ocorreu um total acumulado de precipitação de 862 mm. Pode-se observar na Figura 8 que ocorreu intensa precipitação no dia 30/05, o acumulado em apenas 6 horas foi de 170 mm, o que representa 19,7% de todo período. Segundo a PROGCLIMA (2016), a formação de episódios de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) favoreceu o excesso de chuva entre os estados da Paraíba e de Pernambuco, no mês de maio de 2016. Contudo, em praticamente toda a faixa leste da Região Nordeste, os totais pluviométricos foram inferiores à média histórica.

Reis et al (2012) afirmam que a precipitação influencia diretamente no balanço de energia, de forma que se observa uma maior diferença percentual entre os fluxos de calor latente e sensível quando há um aumento da disponibilidade de água no sistema.

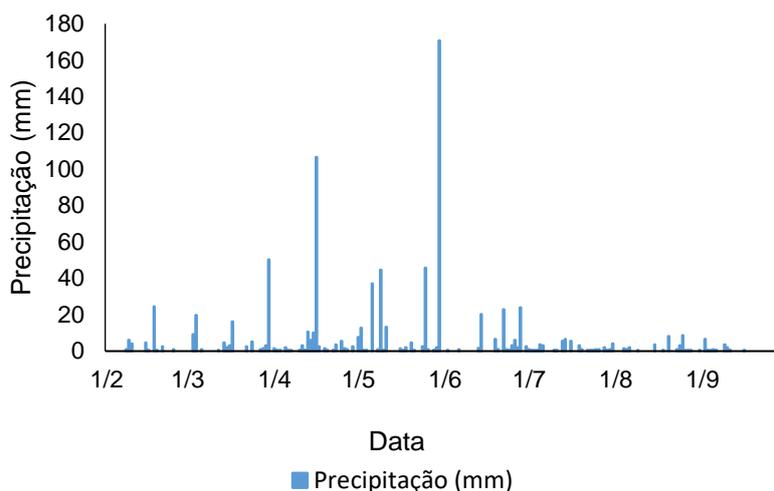


Figura 8. Precipitação diária acumulada no decorrer do período de monitoramento.

Os dados de velocidade do ar (VV) são apresentados na Figura 9. Nota-se que a velocidade média diária variou entre  $0,80 \text{ m s}^{-1}$  (18/07) a  $3,61 \text{ m s}^{-1}$  (03/08), com média de  $1,97 \text{ m s}^{-1}$  para todo o período. Também se verifica menores valores médios nos dias de maior precipitação. Oliveira et al., (2000) afirmam que esta redução da VV é uma consequência da diminuição do balanço total de radiação, em função da elevada quantidade de dias chuvosos. Esses mesmo autores ainda afirmam que VV é maior durante o período diurno, devido ao aquecimento e menor durante o período noturno devido o resfriamento do ar.

Silva Junior et al (2006) relatam que as maiores velocidades médias dos ventos ocorrem em meses na época seca, tais como agosto e setembro, devido ao maior aquecimento diferencial da superfície, o que proporciona maiores diferenças de pressão e, conseqüentemente, maiores velocidades do vento.

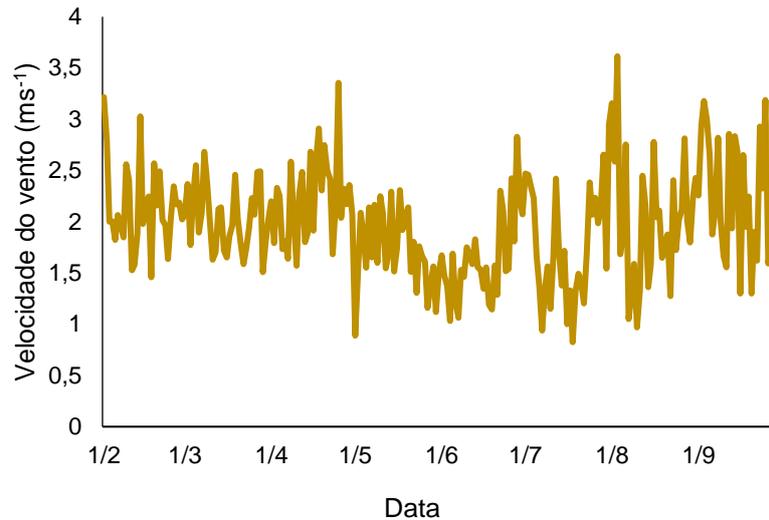


Figura 9. Variação diária da velocidade do vento no decorrer do período de monitoramento.

## 5.2. Componentes do balanço de energia na laje

Observa-se que os valores de  $R_n$  variaram entre  $5,71$  e  $37,87 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  com média da ordem de  $22,82 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Os valores de  $LE$  variaram entre  $1,15$  e  $20,83 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , com média de  $5,21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Os valores mais baixos de  $LE$  são devido à condição nublada com baixos níveis de radiação solar global (Figura 12). Para o fluxo de calor sensível ( $H$ ), os valores ficaram entre  $-0,21$  e  $30,87 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e média de  $17,38 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e, o fluxo de calor no piso ( $G$ ) apresentou média de  $0,23 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e variou entre  $0,05$  e  $0,37 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Figura 10).

O balanço de energia nos centros urbanos, em decorrência da natureza, geometria e propriedades térmicas dos materiais promovem o aumento do fluxo do calor sensível em detrimento do fluxo do calor latente, devido à pavimentação e impermeabilização das superfícies envolvidas. Pesquisa realizada por Ferreira (2010), analisando os componentes do balanço de energia no dossel da cidade de São Paulo, encontrou para o mês de novembro os valores máximos de  $5,54 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para  $H$  e  $2,66 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para  $LE$ . Isto reforça o fato de se verificar valor superior para  $H$  em relação a  $LE$ , independente da magnitude dos valores encontrados.

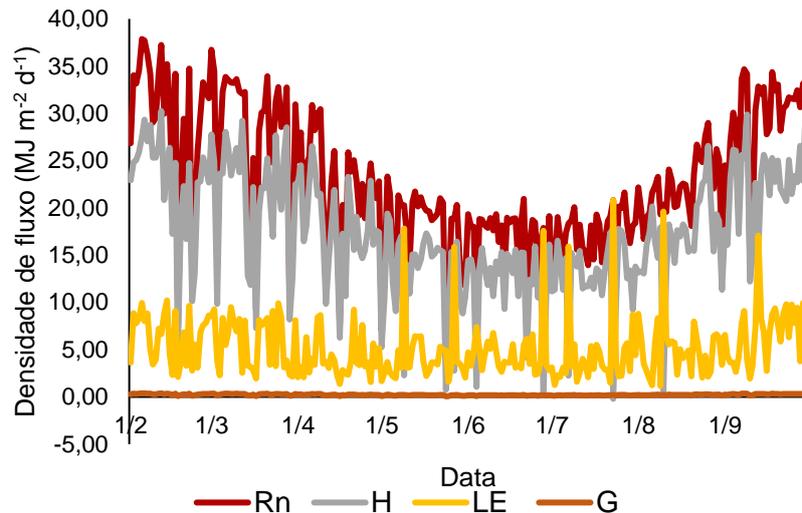


Figura 10. Variação diária dos componentes do balanço de energia durante o período de monitoramento na laje não vegetada.

A variação dos valores diários médios mensais de H e LE é apresentada na Figura 11. Observa-se que o H apresenta valor máximo mensal de  $22,82 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  em fevereiro e um valor mínimo de  $12,28 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  em junho. Para LE os valores máximos de  $6,55 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  ocorreu no mês de abril e o mínimo ocorreu em setembro de com  $5,99 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

Durante todo o período de monitoramento a demanda de energia para o LE superou a demanda para o H, o que corrobora os valores encontrados por Costa et al. (2010), uma vez que estes autores afirmam que LE e H apresentaram variações ao longo do ano, com valores mínimos no início do período chuvoso aumentando gradualmente até atingir os valores máximos no período estiagem.

O mês de fevereiro de 2016 foi o mês com maior quantidade de energia direcionada para o H, com temperatura média mensal de  $28,02 \text{ }^\circ\text{C}$  (Tabela 1) e total pluviométrico de  $44,7 \text{ mm}$  (Figura 8). Tendo em vista a diminuição da disponibilidade de água no sistema, ocasionada pela baixa precipitação que ocorre neste período, boa parte dos valores totais de Rn passam a ser destinados para o aquecimento do ar (SILVA JUNIOR, 2006).

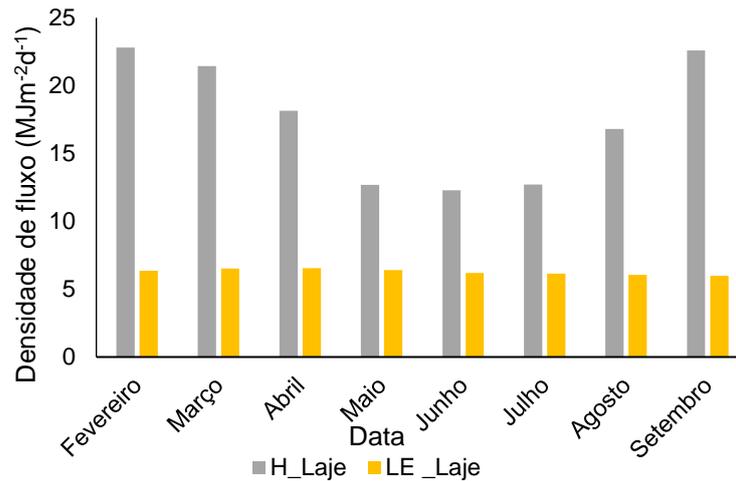


Figura 11. Variação mensal dos valores médios dos fluxos de calor sensível (H) e latente (LE) durante o período de monitoramento na laje não vegetada.

### 5.3. Componentes do balanço de energia no telhado verde

A variação da evapotranspiração e da precipitação durante o período experimental, no telhado verde simulado é mostrada na Figura 12.

A evapotranspiração média diária foi  $3,57 \text{ mm dia}^{-1}$ , com mínima de  $0,60 \text{ mm dia}^{-1}$ , em maio e máxima de  $5,87 \text{ mm dia}^{-1}$ , em fevereiro. Isto se deu devido a maior disponibilidade de  $Q_g$  e alta  $T_{ar}$ . Esses resultados estão condizentes com estudo de Machado et al., (2016), em Cuiabá/MT, cuja evapotranspiração máxima em área de vegetação rasteira foi de  $5,7 \text{ mm dia}^{-1}$ .

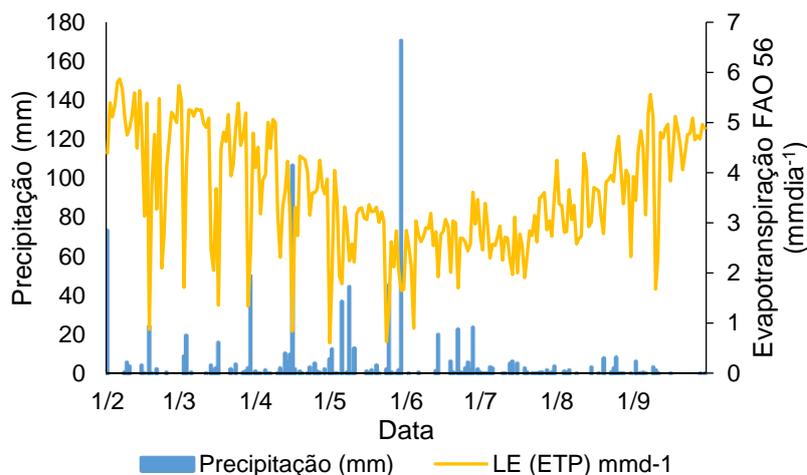


Figura 12. Precipitação diária acumulada e evapotranspiração média durante o período de monitoramento com telhado verde simulado.

Normalmente, o valor diário do BOL em uma superfície gramada é negativo. Isso faz com que o valor de diurno de BOC (maior do que o BOL) torne o Rn positivo nesse período do dia (a superfície tem um ganho líquido de energia) enquanto que a noite, BOC é igual a zero e BOL negativo, tem-se Rn negativo (a superfície tem perda de energia), por isso, quando considera-se a média diária de BOC e BOL (Figura 13) nota-se o BOL sempre negativo e BOC sempre positivo. Esse é um modo da superfície eliminar parte da energia solar absorvida que se transformou em calor sensível (Pereira, 2002).

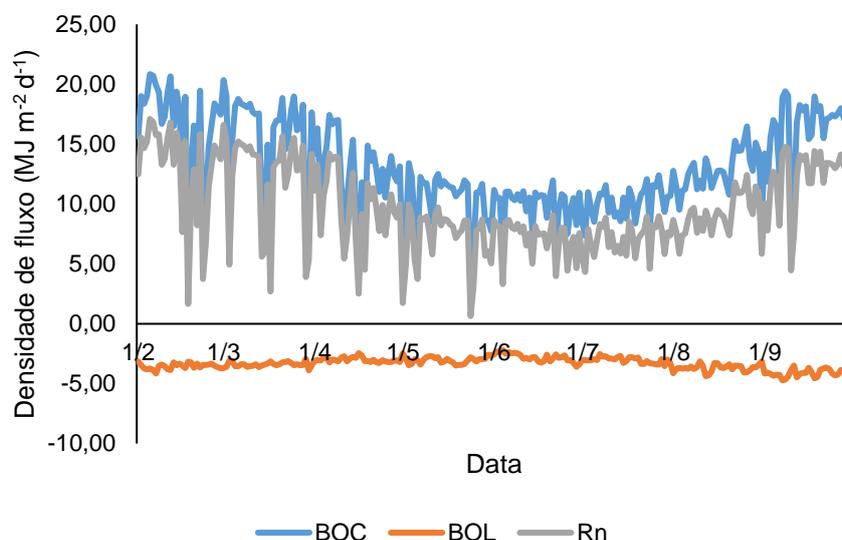


Figura 13. Variação diária dos balanços de onda curta (BOC) e ondas longas (BOL) durante o período de monitoramento no telhado verde simulado.

Em relação aos componentes do balanço de energia no telhado verde simulado, os valores de Rn variaram entre 0,64 e 17,11  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$  para todo período de monitoramento (Figura 14). Esses valores estão condizentes com os encontrados por Oliveira (2012) que analisou o balanço de energia em área de pasto, em Tapacurá/PE, e encontrou Rn entre 1,2 e 16,5  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ .

O H negativo ocorre quando a superfície perde calor por meio de processos de convecção e advecção, por outro lado é positivo quando a superfície ganha calor (ALCÂNTARA et al., 2011). Nota-se na Figura 17 que H mínimo e máximo foi de -2,79 e 3,21  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , respectivamente. E os valores de LE variaram entre 1,48 e 14,38  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , com média de 8,74  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ .

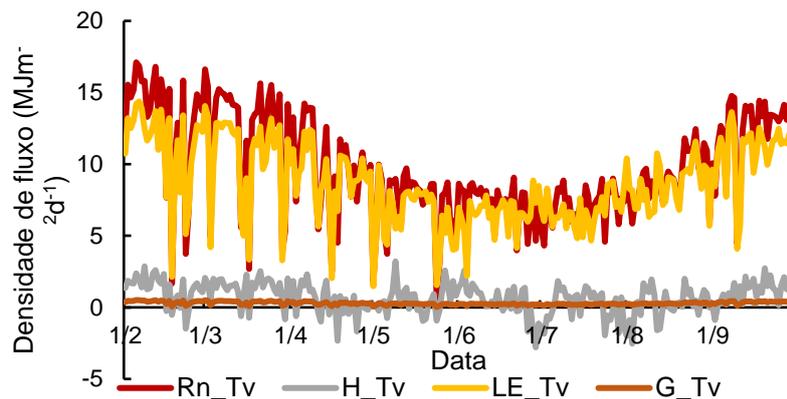


Figura 14. Variação diária dos componentes do balanço de energia durante o período de monitoramento no telhado verde simulado.

#### 5.4. Comparação entre laje e telhado

Verifica-se que o saldo de radiação médio mensal no mês de fevereiro apresentou o maior valor de 29,47 e 12,98 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, para laje e telhado verde simulado, respectivamente (Figura 15).

Devido ao efeito combinado de radiação de ondas curtas e longas, geralmente o Rn em superfícies urbanizadas são ligeiramente maiores que as verificadas em regiões rurais adjacentes (CALLEJAS et al., 2012). Assim como se observa na Figura 15. Brest (1987) salienta que a presença da vegetação nas regiões urbanas diminui a radiação líquida na superfície, principalmente porque o albedo efetivo da superfície com vegetação é maior do que em superfície sem vegetação.

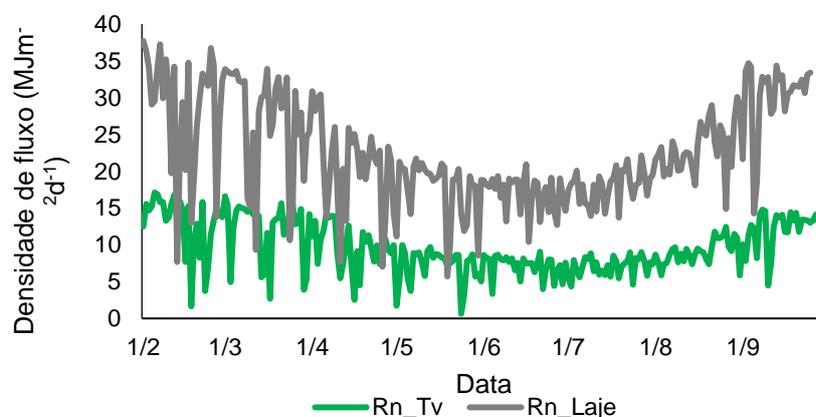


Figura 15. Variação diária do saldo de radiação (Rn) durante o período de monitoramento na laje e no telhado verde simulado.

Para todo período de monitoramento, o fluxo do calor sensível (H) no telhado verde simulado foi menor do que na laje (Figura 16). Arraes et al. (2012), ao analisar área com e sem vegetação num município no sul do Ceará/CE, verificaram que a retirada da vegetação resultou no aumento do H no local, o que reforça o efeito do fluxo de energia para o aquecimento do ar em áreas urbanas.

O fluxo de calor sensível é maior no ambiente urbano, enquanto o fluxo de calor latente é maior em área vegetada, influenciando, assim, os componentes do balanço de energia e afetando o ciclo diário da intensidade da ilha de calor (CORRÊIA, 2013).

O LE apresentou maiores valores para o telhado verde simulado ao longo de todo o monitoramento, com exceção do mês de maio (Figura 16). O maior diferencial entre telhado verde simulado e laje ocorreu nos meses de fevereiro ( $4,94 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) e setembro ( $4,89 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), devido a alta disponibilidade de  $Q_g$  (Tabela 2), em contrapartida no mês de maio verifica-se a menor diferença entre LE\_Tv e LE\_Laje ( $0,07 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Se ocorresse a precipitação esperada (normal climatológica) os meses que apresentariam menor diferença seriam de abril, maio, junho e julho.

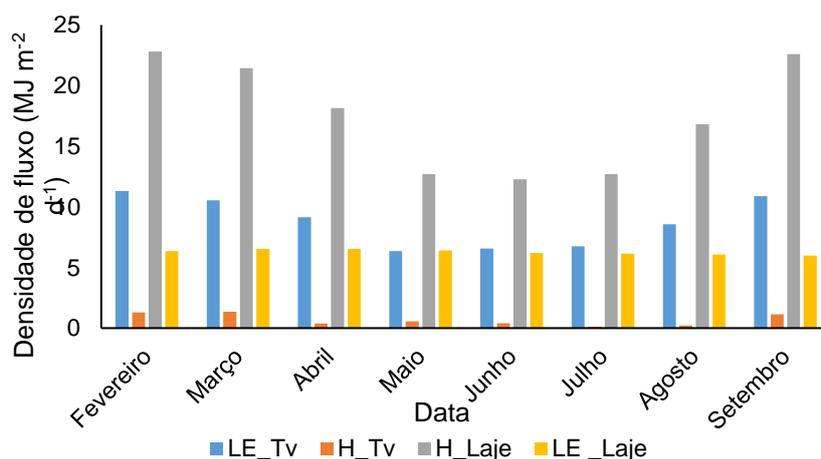


Figura 16. Variação mensal dos fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE), durante o período de monitoramento na laje e no telhado verde simulado.

Em termos percentuais o fluxo de calor sensível (H), na Laje, foi o termo dominante durante todo o período analisado, onde H correspondeu a 76% do balanço de energia, o fluxo de calor latente (LE) durante todo o período correspondeu a 23% e, por ser uma superfície concretada, o fluxo de calor no piso (G) correspondeu a 1% (Figura 17a).

Áreas com superfície vegetada apresentam elevadas taxas de fluxo de calor latente e menor intensidade de fluxo de calor sensível em relação às áreas urbanas (CALLEJAS et al., 2016).

No telhado verde simulado, o H correspondeu 7% do balanço de energia, o LE 90% e o G 3%. Arruda (2011) menciona que, independente da estação, o G num gramado é sempre bastante pequeno, limitando-se a 5 % da energia total disponível.

Oliveira (2012) destaca que áreas com presença de vegetação favorecem a diminuição da temperatura da superfície, em decorrência do alto índice de fluxo latente, devido a uma maior quantidade de água disponível nos processos evaporativos.

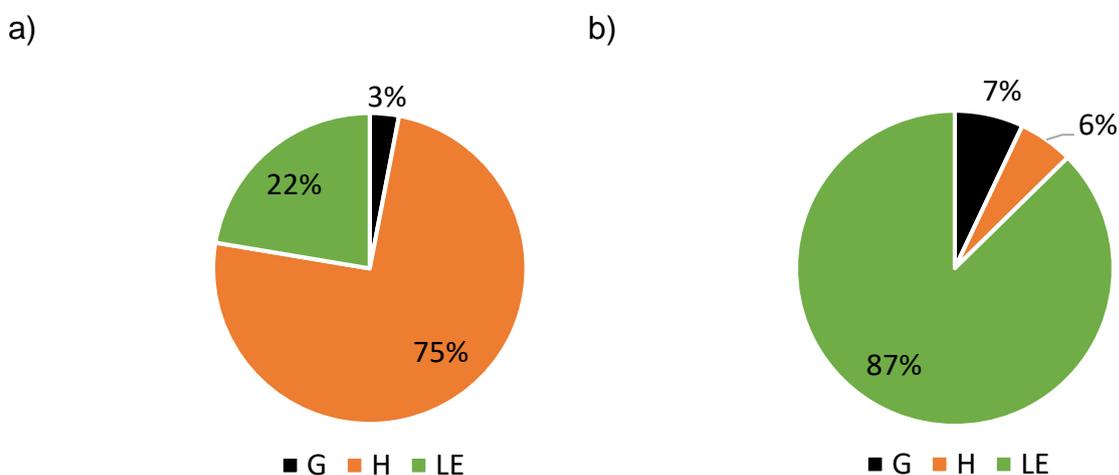


Figura 17. Variação percentual dos fluxos de calor sensível, latente e do solo na Laje (a) e Telhado verde simulado (b).

## 6. CONCLUSÕES

Com base nas variáveis meteorológicas registradas, ao longo do período de monitoramento, admite-se que a precipitação acumulada o ano de 2016 foi atípico em relação às normais climatológicas, o que pode repercutir na alteração do balanço de energia.

O saldo de radiação para o telhado verde simulado foi inferior ao da laje, com redução da energia disponível para o fluxo de calor sensível, concomitante ao maior fluxo de calor latente ocasionado pela maior quantidade de água disponível nos processos evaporativos.

O telhado verde simulado apresenta grande potencial de mitigação do fenômeno de ilhas de calor, pois promovem alto índice de evaporação, com consequente modificação do balanço de energia.

## 7. REFERÊNCIAS

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A.; LOPES, L. S.; CONCEIÇÃO, V.; TOMAZELLI, I. L.. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 1193-1198, 2011.

ALCÂNTARA, E.H.; Stech, J.L.; Lorenzetti, J.A.; Novo, E.M.L.M.; Souza, A.F. (2011). Estimativa dos fluxos de calor sensível e latente na superfície da água do reservatório de Itumbiara (GO) por meio de dados MODIS/Terra. **Anais. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 5185.

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C.. Estimativa da evapotranspiração de referência (Eto padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.39-50, jan./fev. 2015

ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C. ; WANDERLEY, H. S.. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. **Revista Agrária**, v. 6, p. 337-343, 2011.

ALFARO, A. T. S.; VILLA NOVA, N. ; PEREIRA, A. B. ; BERUSK, C. G. . Modelo baseado no método do balanço de energia para estimar a radiação

líquida em superfície gramada. **Scientia Rural**, Ponta Grossa, v.8, p.1-14, 2013.

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S.. Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental. **Ambiência Guarapuava**, v.8 n.1 p. 101 - 111 Jan./Abr. 2012

AMAZONAS, I. B. A.; Antonino, A. C. D.; Soares, W. A.; Lima, J. R. S.; Montenegro, S. M. G. L. Avaliação da Evapotranspiração de Pastagem pelo Método do Domo. **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 07 N. 04 (2014) 716-723, 2014.

ANDRÉ, R. G. B. ; MENDONÇA, J. C. ; MARQUES, V. S. ; PINHEIRO, F. M. A. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Pater1: Balanço de radiação e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 375-382, 2010.

APAC. **Informe climático de junho de 2016**. 28 de junho de 2016. Disponível em:

<[http://www.apac.pe.gov.br/down/not\\_819\\_14671416625772ce1e90092\\_inform\\_e\\_climatico\\_junho\\_2016.pdf](http://www.apac.pe.gov.br/down/not_819_14671416625772ce1e90092_inform_e_climatico_junho_2016.pdf)>. Acesso em: 21/01/2017.

ARAÚJO, A. P.; ALEIXO, N. C. R.; MENEZES, B. B.; SOUZA, C. G.; RIVERO, C. A. V.; MONTEZANI, E.; BRAIDO, L. M. H.; TEODORO, P. H. M.; AMORIM, M. C. C. T. Ensaio metodológico sobre a utilização de transectos móveis no período diurno em Presidente Prudente-SP. **Revista Formação**, n.17, v.1, p.77-95, 2010

ARAÚJO, A. P. C. S.; PUZZI, L. C. M.; BALDIN, M. G.; SQUIZZATO, R.; SOTTI, G.; COSTANZI, R. N. **Aproveitamento de Água Pluvial em Sistema Modular de Telhado Verde com Aplicação em Sistemas de Drenagem Urbana**. In: 4th Internacional Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2013.

ARAÚJO, G. L.; REIS, E. F. ; MARTINS, C. A. S. ; BARBOSA, V. S. ; RODRIGUES, R. R. . Desempenho comparativo de métodos para a estimativa

da evapotranspiração de referência (Eto). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, p. 84-95, 2011.

ARRAES, F.D.D.; ANDRADE, E.M.; SILVA, B.B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 119-127, 2012.

ARRUDA, J.C. **Estudo do fechamento do balanço de energia pelo método de covariância de vórtices turbulentos em uma floresta de transição em Mato Grosso**. 2011.113p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso.

AUGUSTO, W. F. C.; SANTOS, M. R. ; SAMPAIO, A. V. C. F. . Ecotelhado, o uso do teto verde na arquitetura. **Assentamentos Humanos** (Marília), v. 13, p. 127-137, 2011.

AUGUSTO, W. F. C.; DOS SANTOS, M. R.; SAMPAIO, A. V. C. F.. O uso do teto verde na arquitetura. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ANTAC, 2012.

BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 2012. 125f. Dissertação para conclusão de curso (Mestrado em Construção civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BAROSKY, T. K. **Plasticidade ornamental e propagação de herbáceas para utilização em telhado verde**. 2011. 149f. Dissertação (mestrado). Faculdade de medicina e veterinária. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

BARROS, H.; LICCO, E. A.; STOEBER, O.. Soluções práticas para retenção de águas pluviais como medida alternativa para mitigação de alagamentos: Um estudo de viabilidade aplicado ao bairro do Boqueirão em Santos/SP. **Revista Iniciação**, v. 4, p. 1-11, 2014.

BEATRICE, C. C.; VECCHIA, F.. Avaliação do potencial de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações. RCA. **Revista de ciências ambientais** (Unilasalle), v. 5, p. 5-24, 2011.

BEILFUSS, B. L. ; LINCK, Ieda Márcia Donati . **Telhado verde: cobertura de edificações ecologicamente corretas.** In: XVIII Seminário Interinstitucional De Ensino, Pesquisa e Extensão. Cruz Alta: Unicruz, 2013.

BEZERRA, M. I. L.; SANTOS, J. S.; AGUIAR, A. P.. Ilhas de Calor: Importância da Vegetação na Amenização Climática em João Pessoa\PB. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.06, n.05 (2013) 1499-1516

BINS, F. H. ; TEIXEIRA, L. C. ; TEIXEIRA, M. C. ; SANTIAGO, M. R. . Dimensionamento de telhados verdes em um ponto crítico de Santa Maria - RS. In: XVI Simpósio De Ensino, Pesquisa e Extensão: Aprender e Empreender na Educação e na Ciência, 2012, Santa Maria. **Anais**. Simpósio De Ensino, Pesquisa e Extensão Unifra. Santa Maria: UNIFRA, 2012. v. 3.

BIUDES, M. S.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; NOGUEIRA, J. S.; SANCHES, L.. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 135-143, 2009.

BREST, C. L. 1987: Seasonal albedo of an urban/rural landscape from satellite observations. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, 26, 1169-1187.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L.C.; OLIVEIRA, A.S.; NOGUEIRA, M.C.J.A. Uso do solo e Temperatura Superficial em Área Urbana. **Mercator**. v. 10, n. 23, p. 207-223, 2012.

CALLEJAS I. J., DURANTE L. C., ROSSETI K. A. C., Contribuição da Pavimentação Asfáltica para o Aquecimento de Áreas Urbanas. **E&S - Engineering and Science**, v1, n.3, p. 64-72, 2015.

CALLEJAS, I. J. A.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; BIUDES, M. S.; DURANTE, L. C.. Variação sazonal do balanço de energia em cidade localizada na região central do Brasil. **Mercator** (Fortaleza), v. 15, n. 3, p. 85-106, 2016.

CARMO, A. M. R. ; SOUZA, A. H. ; ALBERTO, F. L. A. ; MEDEIROS, A. L. N.; JARDIM, C. H. . influência do sombreamento dos edifícios na variação dos elementos climáticos no interior de canyons urbanos em Belo Horizonte-MG. In:

Simpósio Internacional De Climatologia, 2011, JOÃO PESSOA. **Anais - IV SIC**, 2011.

CATUZZO, H.. Os Impactos Positivos do Telhado Verde no Microclima. In: X Encontro Nacional da Associação de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, 2013, Campinas/SP. **Anais X ENANPEGE**, 2013. p. 9174-9184.

CHAGAS, R. M.; Faccioli, G. G. ; Aguiar Netto, A. O. ; Sousa, I. F. ; Vasco, A. N. ; Silva, M. G. . Comparação entre métodos de estimativa da Evapotranspiração de Referência (ETO) no município de Rio Real-BA. **Irriga (UNESP Botucatu)**, v. 18, p. 351-363, 2013.

CORRÊA, P. B.. Ilhas de calor na cidade de Manaus: aspectos observacionais e de modelagem. 2013. 69f. Dissertação de mestrado (Clima e ambiente). Instituto Nacional De Pesquisas Da Amazônia - INPA, Universidade Do Estado Do Amazonas/UEA, 2013.

COSTA, A. C. L.; UCHÔA, P. W. ; SILVA JÚNIOR, J. A.; ABREU, J. R. . **Sazonalidade termohigrométrica em cidades de diferentes dimensões no Estado do Pará**. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém. A Amazônia e o clima Global, 2010b.

COSTA, D. F.; SILVA, H. R.; PERES, L. F.. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 30, n. 5, p. 974-985, 2010.

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

DQA Arquitetura. **Telhado verde**, 2013. Disponível em: <<http://www.dca.arq.br/index.php/telhado-verde/>>. Acesso em Mar.2016.

ESPÍNDOLA, D. M. **Telhados verdes, uma proposta para redução térmica em Foz do Iguaçu**. 2010. 52f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado

em Engenharia Ambiental). Faculdade Dinâmica das Cataratas. Foz do Iguaçu, 2010.

Environmental Protection Agency (USA/EPA). 2011. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies - Urban Heat Island Basics**. Disponível em:<<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014.06/documents/basicscompendum.pdf>>. Acesso em 10 abr. 2016.

FANAYA JÚNIOR, E. D.; LOPES, A. S.; JUNG, L. H.; OLIVEIRA, G. Q. . Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana-ms. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 418 - 434, outubro - dezembro, 2012.

FERRAZ, I. L.; LEITE, B. C. C.. **Amendoim no telhado: O comportamento da grama-amendoim (arachis repens) na cobertura verde extensiva**. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Vitória, Set. 2011.

FERREIRA, M. J. **Balço de energia na superfície da cidade de São Paulo**. 2010. 183f. Tese (Doutorado) - Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

FIRMINO, F. H. T.; RIBEIRO, A. A.; MACHADO, C. B. ; SILVA, R. M. ; OLIVEIRA, J. E. S. ; SOUZA, E. S. ; SOUSA, J. R. . **Determinação dos componentes do balanço de energia em pastagens no semiárido pernambucano..** In: XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão - JEPEX 2013 – UFRPE, 2013.

FRANÇA, L. C. J. O uso do telhado verde como alternativa sustentável aos centros urbanos: opção viável para a sociedade moderna do século XXI. **Revista Húmus**. 2012; 4: 104-113.

FREITAS, C. J., SANTOS, J. A., CÂNDIDO, S. M., RAMOS, D. P.. Energias renováveis, clima e mudanças climáticas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, V.4, p. 317-329, 2015.

FURLAN, D. N.; BALLESER, M. V. R. ; ANDRADE, R. G. . Estimativa dos valores de saldo de radiação e fluxo de calor no solo em diferentes condições antrópicas na bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Anais**. In: simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011. p.6301-6308.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GIUNTA, M. B.; TENTE, C.M. ; NAKATA, C. M. ; Fator de visão do céu e intensidades de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, v. 10, p. 155-167, 2010.

GOMES, L. C. F.; SANTOS, C. A. C. ; ALMEIDA, H. A. . Balanço de Energia à Superfície para a Cidade de Patos - PB usando Técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 15-28, 2013.

GUISELINI, C.; LOGES, V. ; CARNEIRO, T. A. ; PANDORFI, H. Análise térmica de instalações rurais com diferentes coberturas. **Anais**. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2015, São Pedro. Jubileu de Ouro da SBEA. Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015.

HENKES, J.A.; GENGO, R. de C. . A utilização do paisagismo como ferramenta na preservação e melhoria ambiental em área urbana. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 1, p. 55-81, 2013.

IGRA. **Tipos de telhado verde**. Disponível em: [http://www.igra-world.com/types\\_of\\_green\\_roofs/index.php](http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php) .Site traduzido. Acesso em: 04 março 2016.

INMET. **Normal Climatológica do Brasil**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 18/02/2017.

JOBIM, A. L. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. 2013. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil). 76f. Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

KATZSCHNER, L.. Avaliação de conforto térmico para o planejamento urbano sob a consideração da mudança climática global. **Fórum Patrimônio**, vol. 3, nº. 2. Publicado em 24.nov.2011.

LABAKI, L. C.; Santos, R. F. S.; Bueno-bartholomei, C. L.; Abreu, Loyde V. A.. Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio**, Belo Horizonte, 2011.

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

LEMOS FILHO, Luis C. A.; Carvalho, Luiz G. ; Evangelista, Adão W. P. ; Alves Júnior, José . Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1294-1303, 2010.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. O.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F.. Balanço de energia e evapotranspiração do feijão caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 65-74, 2011.

LIMA, M. C. P. B.. Século XXI Cupinzeiro: Estrutura e Construção Sustentável. **E-xacta** (Belo Horizonte), v. 4, p. 75-85, 2011.

LUCENA, A. J.; CORREA, E. B. ; ROTUNNO FILHO, O. C.; Peres, L. F. ; França, J. R. A.; JUSTI da SILVA, M. G. A. . Ilhas de Calor e Eventos de Precipitação na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). In: XIV IWRA Congresso Mundial da Água, 2011, Porto de Galinhas. **Anais**. XIV IWRA Congresso Mundial da Água, 2011.

MACHADO, A. L. A.; PACHECO, J. B.. serviços ecossistêmicos e o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica Amazônica - The Biotic Pump. **Revista GEONORTE**, Vol.01, N.01, Ano 01, p. 71-89, 2010.

MACHADO, N. G., BIUDES, M. S.; ANGELINI, L. P.; SOUZA, D.M. S. NASSARDEN, D. C. S., BILIO, R. S.; SILVA, T. J.; NEVES, G. A. R.; ARRUDA, P. H. Z.; NOGUEIRA, J. S.. Sazonalidade do Balanço de Energia e Evapotranspiração em Área Arbustiva Alagável no Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, 82-91, 2016.

MACHADO, C. C.; SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, M. B.; GALVÍNCIO, J. D.. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM - Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 55-67, 2014.

MACHADO, L. A.; CARMO, A. M. R. ; JARDIM, C. H. . Tendências e variações na temperatura e precipitação em Montes Claros e Sete Lagoas - MG. **Revista GeoNorte**, v. 2, p. 613-625, 2012.

MACIEL, C. R.; LUZ, V. S. ; SANTOS, F. M. M. ; NOGUEIRA, M. C. J. A. ; NOGUEIRA, J. S. . Interação das variáveis microclimáticas e cobertura do solo em região urbana e limítrofe-urbana na cidade de Cuiabá/MT. **Caminhos de Geografia** (UFU), v. 1, p. 1-1, 2014.

MAITELLE, G. T. Balanço de energia estimado para cidade de Cuiabá: uma abordagem de balanço de energia pelo método de Bowen. **Fórum Patrimônio**, v.4, n.1, p.1-34, 2010.

MASHIKI, M. Y.; CAMPOS, S.. Geoprocessamento aplicado na influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície do Município de Botucatu (SP).. **Energia na Agricultura** (UNESP. Botucatú. CD-Rom), v. 28, p. 143-149, 2013.

MELLO, G. B. P., COSTA, M. D. P., ALBERTI, M. S., FILHO, R. D. G. F. Estudo da Implantação de um Telhado Verde na Faculdade de Engenharia Mecânica. **Revista Ciências do Ambiente** On-Line, p. 39-43, dezembro 2010, Vol. 6, Número 2.

MENEZES, S. J. M. C.; ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.. Estimativa dos componentes do balanço de energia e da

evapotranspiração em plantios de eucalipto utilizando o algoritmo sebal e imagem landsat 5 - TM. **Revista Árvore**. 2011, vol.35, n.3, p.649-657.

MESQUITA, F. L. L.; MARQUES FILHO, E. P.; KARAM, H. A.; ALVALÁ, R. C. S.. Balanço de radiação no Pantanal Sul Mato-grossense durante a estação seca. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 65-74, 2013.

MILLER, A. P. R. R. **Análise do comportamento de substrato para retenção de água pluvial para coberturas verdes extensivas em Curitiba - PR**, 2014. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MOREIRA, E. B. M.; NOBREGA R. S.. Uso de imagens multiespectrais aplicada à análise espaço-temporal dos padrões de temperatura e albedo da superfície. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE, 2011. p. 776-782.

MOURA, A. R. C. et al. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco-Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013.

MOURA, R.G. **Estudo das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma floresta tropical úmida**. 2007. 147f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, SP, 2007.

NASCIMENTO, E. F.; CAMPECHE, L. F. S. M. ; BASSOI, L. H. ; SILVA, J. A. ; LIMA, A.C.M. ; PEREIRA, F. A. C. . Construção e calibração de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração e coeficiente de cultivo em videira de vinho cv. Syrah. **Irriga** (UNESP. CD-ROM), v. 16, p. 271-287, 2011.

NÓBREGA, R. S.; VITAL, L. A. B.. Influência da Urbanização sobre o Microclima de Recife e Formação de Ilha de Calor. **Revista Brasileira de Geografia Física** 03 (2010) 151-156

OLIVEIRA, G.; MORAES, E. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; RUDORFF, B. F. T.; ALVALÁ, R. C. S.; SANTOS, T. V.. Avaliação do albedo em diferentes tipos de uso e cobertura da terra no sudoeste da Amazônia. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

OLIVEIRA, I. A.. **Balanco de Energia em área urbana na cidade de Recife-PE**. Tese (Doutorado). Departamento de Energia Nuclear. Universidade Federal de Pernambuco, 88p. 2012.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; MOURA, A. E. S. S. . Balanço de radiação por sensoriamento remoto em bacia hidrográfica da zona da mata nordestina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 16-28, 2015.

OLIVEIRA, M. C. F.; COSTA, A. C. L.; COSTA, J. P. R.; PALHETA, M. C. P.; PEREIRA, M. G. P., 2000: Variabilidade Média Horária e Mensal dos Elementos Meteorológicos em Caxiuanã, Melgaço-PA. **Anais**. Revista Anual do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA. IX Congresso da Federação Latino Americana.

OLIVEIRA, T. H.; GALVINCIO, J. D.; SILVA, B. B. . Balanço de radiação e de energia. In: Josiclêda Domiciano Galvêncio. (Org.). **Sensoriamento remoto e análise ambiental**. 01ed.Recife: Editora Universitária da UFPE, 2012, v. 01, p. 31-37.

OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. da; ANTONINO, A. C. D.; MOURA, A. E. S. S. de. Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.1039-1046, 2014.

OLIVEIRA NETO, A. C. **Cobertura verde: estudo de caso no município de São José dos Campos - SP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). 95f. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, O. A. **Estimativas do balanço de energia e fluxo de co2 por diferentes métodos em floresta de transição no sudoeste da Amazônia**. Cuiabá, 2013. 107f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

PEREIRA, P. G. G.; VIAIS NETO, D. S.; CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A. . Análise financeira e ambiental para a instalação de telhado verde no ambiente construído a partir do projeto casa PET. **Cidades Verdes**, v. 3, p. 70-84, 2015.

PERROTTA NETO, A. **Conforto térmico em edificações sustentáveis: um estudo de caso do prédio central e laboratórios da ampliação do Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello - CENPES/PETROBRÁS**. Dissertação para conclusão de curso (mestrado em Engenharia Urbana). 157f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PILAU, F. G. ; BATTISTI, R. ; SOMAVILLA, L. ; RIGHI, E. Z. . Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões, RS. **Ciência Rural**, v. 42, p. 283-290, 2012.

PIOVESAN, T. R.; SILVA, A. R.; BRUM, R.; PAUL, S.. Absorção sonora de dois sistemas modulares de telhados verdes brasileiros. In: XXV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 2014, Campinas-SP. **Anais**. Acústica e Vibrações: Qualidade de ambientes internos e externos. Campinas-SP: UNICAMP, 2014.

PIVETTA, J.; BARBOSA, M. J.. Influência de elementos paisagísticos arbóreos no desempenho térmico de edificação térrea. **Anais**. ENTAC: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v. 1, p. 194-203, 2010.

PROGCLIMA. **Boletim de Prognóstico Climático**. MCT/INPE/CPTEC-INMET. Ano 13, Número 06, 2016. Acesso em: 22/01/2017

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, J. K. A. da Silva. Impacto do desmatamento de uma área de mangue no albedo superficial. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 401-408, 2013.

RAMPAZZO, C. R.; SANT ANNA NETO, J. L.. Clima e qualidade ambiental urbana em Alfredo Marcondes/SP: análise em episódio de inverno. **Revista Geonorte**, v. 2, p. 194-206, 2012.

RANGEL, A. C. L. C.; ARANHA, K. C.; SILVA, M. C. B. C.. Políticas ambientais para o desenvolvimento sustentável: telhados verdes. **Desenvolvimento e Meio Ambiente** (UFPR), v.35, p. 397-409, dez. 2015.

REIS, M. G.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y.G ; VASONCELOS, A. A. ; SILVA, I. R.; LOOS, R. A. . Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto no estado do Mato do Grosso do Sul. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2012, Gramado. **Anais**, 2012.

ROMERO, M. A. B.. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. **Fórum Patrimônio**, v. 5, p. 1, 2011.

ROSA D' AVILA, M.; CUNHA, S. C. C.; FRITSCHER, J. P.C.; PERALTA, E. S. Sustentabilidade na Edificação: Estudo e Execução da Tecnologia Telhado Vivo na Região Metropolitana de Porto Alegre. In: 54th World Congress IFHP 2010 Porto Alegre, Building Communities for the Cities of the Future, 2010, Porto Alegre. **Anais**. 54th World Congress IFHP 2010 Porto Alegre, Building Communities for the Cities of the Future. Porto Alegre: ediPUCRS, 2010.

ROSSETI, K. A. C.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; NOGUEIRA, M. C. J. A. ; NOGUEIRA, J. S. . Abordagens sistêmicas dos efeitos da implantação dos telhados vegetados. **Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium**, v. 4, p. 55-77, 2013a

ROSSETI, K. A. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; FRANCO, F. M.; NOGUEIRA, J. S. Análise da interferência da cobertura verde na temperatura e umidade relativa do ar do entorno da edificação - estudo de caso em protótipo no município de Cuiabá, MT. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, p. 1959-1970, 2013b.

ROSSETI, K. A. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S.. Interferência microclimática na utilização do telhado verde para regiões tropicais: estudo de caso em Cuiabá, MT. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, p. 1959-1970, 2013c.

SANTANA, N. C.. Investigação de Ilhas de Calor em Brasília: Análise Multitemporal com Enfoque na Cobertura do Solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, p. 1044, 2014.

SANTOS, C. A. C.. Análise das necessidades hídricas da vegetação Tamarisk através da razão de Bowen e do modelo SEBAL. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 85-94, 2011.

SANTOS, F. A. C.; SANTOS, C. A. C. ; ARAUJO, A. L. ; Braga, A. C. . Alterações no Balanço Radiativo em Áreas de Pastagem e Floresta Obtidas por meio de Imagens Orbitais MODIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1023, 2013a.

SANTOS, P.T.S; SANTOS, S. M. ; MONTENEGRO, S. M. G. L. ; COUTINHO, A. P.; MOURA, G. S. S. ; ANTONINO, A. C. D. . Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, v. 13, p. 161-174, 2013b.

SANTOS, T.V.; FONTANA, D.C.; ALVES, R.C.M. Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.488- 496, 2010.

SAVI, A. C.; TAVARES, S. F. . Telhados verdes: análise comparativa de custo e peso com sistemas tradicionais de cobertura. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**. VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. Conforto & Projeto, 2013. p. 1030-1039.

SILVA, J. A. B. ; BARROSO, R. C. A.; RODRIGUES, A. J. ; COSTA, S. S. ; FONTANA, R. L. M. . A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. **Caderno de Graduação (UNIT)**, v. 2, p. 197, 2014.

SILVA, V . J. da; CARVALHO, H. de P.; SILVA, C. R. da; CAMARGO, R. de; TEODORO, R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal Uberlândia**, v.27, n.1, p.95-101, 2011.

SILVA, I. A.; SOUZA, P. A.; AVILA, S. R. D.; ZUCCHETT, T. W.; ROSA D'AVILA, M. R.. Tecnologia "telhado vivo": estudo e potencial de integração de plantas nativas na cobertura e resgate da fauna. In: Encontro Latino Americano de Edificações e Comunidades Sustentáveis, 5., 2013, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2013. p. 1 - 11.

SILVA, M. V. T.; CARNEIRO, M. A. ; FERREIRA, P. P. B. ; CONCEICAO, G. C. ; OLIVEIRA, F. L. ; MARACAJA, P. B. . Comparação de métodos evapotranspiração de referência para cidade de Piracicaba-SP. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, p. 61-65, 2014.

SILVA FILHO, A. **Estimativa do balanço de energia a partir de medidas de protótipo de estação micrometeorológica**. Dissertação (Mestrado). 63f. Instituto de física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2015.

SILVA JÚNIOR, J.A.; COSTA, R.F.; COSTA, A.C.L.; GONÇALVES, P.H.L.; BRAGA, A.P.; MALHI,Y.; ARAGÃO, L.E.O.E.C.; MEIER, P. Sazonalidade de elementos meteorológicos em ecossistema de Manguezal na Região Equatorial, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p.241-247, 2006.

SILVEIRA, A. H. M.; SILVA, F. M. ; SILVA, B. C. O. . Dinâmica espectral-temporal nos campos de umidade, temperatura e vegetação na cidade de Natal/RN por geoprocessamento. **Revista Geonorte**, v. V.1, p. 1421, 2012.

SOUZA, A.P.; CARVALHO, D. F. ; SILVA, L. D. B ; TERRA, F. A. ; ROCHA, H. S. . Estimativas da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 219-228, 2011.

SOUZA, D. O.; ALVALÁ, R. C. S. **A expansão urbana e a evolução do microclima de Manaus**. IV Simpósio Internacional de Climatologia, João Pessoa-PB, 2011.

STAHLHÖFER, I. S.; PEREIRA, M. F. B.. Políticas públicas de implementação de coberturas verdes: o Projeto de Lei nº 115/2009 da Câmara de Vereadores de São Paulo. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, v. 08, p. 386-398, 2013.

TAGLIAFERRE, C. et al. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis - BA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 103-111, jan./mar. 2011

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G.. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 139-154, 2014.

TAVARES, S. F.; OLIVEIRA, E.; LOPES, T. V.; SAVI, A. C.. Telhado verde, energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub>: análise comparativa a coberturas convencionais. **Anais**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014. p. 3267.

THOMAZELLI, L. M. “**Telhado verde**”, o telhado ecológico: um modelo prático, sustentável e de baixo custo. **São Paulo**: Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, 2013.

VACILIKIO, D. V. ; FLEISCHFRESSER, L. . Comparação entre Telhado Verde e Convencional nas Temperaturas Internas de Ambientes. In: Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011, Campo Mourão. **Anais** do II Simpósio Ambiental da UTFPR, 2011.

VIEIRA, N. L.; QUEIROZ, TADEU M. DE ; FAGUNDES, M. C. ; SANCHES, J. C. M. . Potencial da utilização do excesso hídrico para irrigação de tetos ecológicos em duas zonas bioclimáticas no estado de Mato Grosso. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 1389-1394, 2014.