Curso de Agronomia

Relatório de Iniciação Científica para Equiparação de ESO

Aluna: Maria Eduarda Borges de Almeida

Recife

Março de 2022

MARIA EDUARDA BORGES DE ALMEIDA

Relatório de Iniciação Científica para Equiparação de ESO

Relatório de Pesquisa PET IC-PET AgroEnergia apresentado para equiparação do Estágio Supervisionado (Bacharelado) do Curso de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Dois Irmãos-Sede.

Professora Orientadora:

CRISTIANE GUISELINI

Período: Agosto de 2019 a Junho de 2020

Recife

2022

DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que Maria Eduarda Borges de Almeida, aluna do curso de Agronomia, está autorizada a entregar o Relatório de Pesquisa PET IC-PET AgroEnergia para equiparação do Estágio Supervisionado do Curso de Agronomia.

Recife, 15 de Março de 2022.

Cristiane Guiselini

Nome da orientadora de Iniciação Científica

(Assinatura)

UFRPE

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PROCESSO 23082.007426/2022-41
Nome(s) do Interessado(s): MARIA EDUARDA BORGES DE ALMEIDA

Tipo do Processo:
EQUIPARAÇÃO AO ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

PARECER

A COMISSÃO DE EQUIPARAÇÃO DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO composta por Professor **Álvaro Carlos Gonçalves Neto** (Presidente), os Professores **Lilian Margarete Paes Guimaraes** (Titular) e **Veronildo Souza de Oliveira** (Titular), avaliaram a solicitação da discente MARIA EDUARDA BORGES DE ALMEIDA**,** portadora de CPF**:** 703.413.47-400, que no Processo 23082.007426/2022-41 requer equiparação das atividades de pesquisa (Programa de Iniciação Cientifica/PET AgroEnergia, no período de agosto de 2019 a julho de 2020), com a disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório (ESO), através de trabalho intitulado "*Pré-validação do modelo de predição do balanço de energia para telhado verde*", sob orientação da Profª. Drª Cristiane Guiselini/DEAGRI/UFRPE.

A avaliação seguiu a Resolução N.425/2010-CEPE, baseada na lei N.11.788, de setembro de 2008. Considerando que a requerente cumpriu os prazos estabelecidos, apresentou toda documentação prevista na normativa vigente, e considerando que o tema abordado em seu trabalho é relevante e fortemente ligado as Habilidades e competências do curso de agronomia, somos de parecer **FAVORÁVEL** a equiparação de atividades de ensino, pesquisa ou extensão com o estágio supervisionado obrigatório (ESO) da discente do curso de Agronomia MARIA EDUARDA BORGES DE ALMEIDA, no qual atribuímos nota 9,0 (Nove).

Recife, 05 de abril de 2022

Álvaro Carlos Gonçalves Neto (Presidente)

Lilian Margarete Paes Guimarães (Titular)

Veronildo Souza de Oliveira (Titular)

Emitido em 07/04/2022

CÓPIA DE PARECER Nº 4/2022 - CCBAG-CGCG (11.01.30.06.02)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 07/04/2022 13:40)
ALVARO CARLOS GONCALVES NETO
COORDENADOR DE CURSO DE GRADUAÇÃO - TITULAR
PREG (11.01.30)
Matrícula: 1783243

Para verificar a autenticidade deste documento entre em https://sigs.ufrpe.br/documentos/ informando seu número: **4**, ano: **2022**, tipo: **CÓPIA DE PARECER**, data de emissão: **07/04/2022** e o código de verificação: **259a7d6d38**

AGRADECIMENTOS

É humanamente impossível eu conseguir nomear todos aqueles e aquelas que de alguma maneira foram importantes e fizeram parte de minha tragétória até aqui.

Quero agradecer primeiramente a Deus, por me conceder a vida e oportunidade de encontrar pessoas tão especiais. Agradeço a minha mãe maravilhosa Maria Borges da Silva. Ela é parte essêncial de minha vivência, grande fonte de inspiração e a maior incentivadora de meus projetos. Sou grata e tenho imenso orgulho de ser sua filha, te amo. Agradeço aos meus irmãos Pedro Guimarães de Santana Júnior e André Santiago Guimarães de Santana e minha irmã Ângela Guimarães de Santana. À eles, devo parte dos melhores momentos de minha infância.

Agradeço as minhas tias Kina (que nunca esquece de mim quando faz alguma receita) e Silvana. Agradeço as minhas sobrinhas Maria Clara, Maria Beatriz, Débora Vitória e Laura, e meu sobrinho Tiaguinho por me proporcionarem momentos de diversão. Agradeço aos meus queridos pets que me proporcionaram calmaria em todos os momentos que precisei, minhas cadelas Negona, Fofuxa, Pátila - (*in memoriam*). Aos meus gatos(as) Cheshire, Sherlocka, Páris, Aquiles, Sherlock - (*in memoriam*) e Mignon (apareceu no muro e resolveu ficar). Agradeço a todos os meus familiares e parentes, incluo aqui meu pai Sandro.

Agradeço aos meus amigos e amigas de longa data. Agradeço também aos que conheci na universidade e tenho certeza que serão amizades duradouras. Agradeço a todos(as) os(as) meus professores e professoras, dos quais a maioria são para mim fonte de inspiração como pessoa e também profissional; aqui agradeço a zeladora da escola onde aprendi a ler e escrever, sem a companhia dela eu era só uma criança chorona que gritava desperadamente pela mãe. Não posso deixar de citar minha vivência no PET AgroEnergia durante a graduação, que me proprocionou a oportunidade de adquirir conhecimentos não apenas para o âmbito acadêmico. Junto ao PET e ao GPESA, agradeço também a tutora, orientadora e também amiga profª. Cristiane Guiselini.

Durante a graduação realizei um intercâmbio. Dessa vez para a Universidade de Roma La Sapienza, Itália. Lá pude conhecer pessoas de diversos países, encontrar amigas pela primeira vez e não menos importante me conhecer melhor. Foi uma experiência que vou guardar por toda a vida e que só foi possível porque foi um sonho também sonhado por várias pessoas queridas que me rodeiam. À elas meu agradecimento.

Registro aqui toda minha gratidão.

“A vida é o dever que nós trouxemos para fazer em casa.

Quando se vê, já são seis horas!

Quando se vê, já é sexta-feira!

Quando se vê, já é natal...

Quando se vê, já terminou o ano...

Quando se vê perdemos o amor da nossa vida.

Quando se vê passaram 50 anos!

Agora é tarde demais para ser reprovado...

Se me fosse dado um dia, outra oportunidade, eu nem olhava o relógio.

Seguiria sempre em frente e iria jogando pelo caminho a casca dourada e inútil das horas...

Seguraria o amor que está a minha frente e diria que eu o amo...

E tem mais: não deixe de fazer algo de que gosta devido à falta de tempo.

Não deixe de ter pessoas ao seu lado por puro medo de ser feliz.

A única falta que terá será a desse tempo que, infelizmente, nunca mais voltará.”

Mario Quintana

IDENTIFICAÇÃO

ALUNO (A): Maria Eduarda Borges de Almeida

CURSO: Agronomia

PROGRAMA: **PET IC**

ORIENTADOR (A): Cristiane Guiselini

DEPARTAMENTO/UNIDADE ACADÊMICA: Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) / Universidade Federal Rural de Pernambuco – Sede

DATA DE INÍCIO: Agosto de 2019

DATA DE TÉRMINO: Junho de 2020

DURAÇÃO EM HORAS: 480 horas

RELATÓRIO: FINAL

TÍTULO DO PROJETO: Telhado Verde e sua influência micrometeorológica

TÍTULO DO PLANO DE TRABALHO: Pré-validação do modelo de predição do balanço de energia para telhado verde

RESUMO DO RELATÓRIO

O telhado verde caracteriza-se como uma cobertura com vegetação sobre alguma construção. Em sua estrutura, é composto por várias camadas para garantir a segurança relacionada a drenagem, impermeabilização, e que também influenciam na absorção de calor pelo impedimento físico no contato com a laje. Nesse sentido, saber como ocorre as trocas de energia entre a superfície vegetada e a atmosfera é importante para caracterizar os efeitos do telhado verde. Assim, objetivou-se com esta pesquisa validar o modelo de simulação proposto por Omar et al. (2018), com dados experimentais. A pesquisa foi desenvolvida no Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin, da construtora Rio Ave Empreendimentos, no Recife, PE. Para o monitoramento meteorológico foi utilizada uma plataforma automática de registro de dados CAMPBELL® SCIENTIFIC modelo CR800, na laje externa do edifício acoplados sensores específicos que permitiram os registros de balanço de radiação, radiação de ondas curtas e radiação de ondas longas. Constatou-se que o modelo de simulação para o telhado verde, apesar de ter subestimado alguns valores, apresentou resultados satisfatórios ao prever os fluxos de energia. Assim, como a alta correlação para os valores do coeficiente de Pearson, saldo de radiação (0.9987), fluxo de calor no solo (0.9987), fluxo de calor latente (0.9976), fluxo de calor sensível (0.9804) e razão de Bowen (0.8744).

Palavras chave: telhado verde, validação, predição

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO
2. OBJETIVOS
2.a GERAL
2.b ESPECÍFICOS
3. METODOLOGIA
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO
5. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS
7. BIBLIOGRAFIA
8. ATIVIDADES RELEVANTES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA
9. DIFICULDADES ENCONTRADAS
10. PARECER DO ORIENTADOR

1. INTRODUÇÃO

O telhado verde pode ser classificado em intensivo e extensivo, caracterizado por camadas de solo maiores ou menores que 20 cm, respectivamente. A estrutura dos telhados é composta por: laje, camada impermeabilizante, isolante térmico, camada drenante, camada filtrante, solo e vegetação. Durante sua implantação é importante atentar-se quanto a impermeabilização da laje, de maneira a evitar possíveis infiltrações, pois se houver algum problema poderá comprometer toda a estrutura da construção (ZHANG et al.,2018; ZAREMBA, TRAVER & WADZUK, 2016).

No sudeste brasileiro um experimento envolveu algumas edificações que apresentavam cobertura verde, parede viva e parede verde. Constatou-se que a presença de uma cobertura vegetal em edifícios deslocou as temperaturas mais quentes para horários mais amenos, e isso possibilitou manter a temperatura interna entre 23-27 ºC e o nível de conforto térmico humano aceitável. Na Itália, um experimento semelhante comprovou que a utilização de paredes verde, além de servir como isolante térmico, pode ser uma alternativa sustentável para a redução do consumo de energia em construções. Isso devido, principalmente, ao impedimento físico e realização de fotossíntese pela vegetação (MATHEUS et al., 2016; SCHETTINI et al., 2016).

A análise do balanço térmico de um telhado verde é de grande importância, pois possibilita identificar a sua influência na caracterização do microclima local. Para tanto é necessário fazer a escolha correta do tipo de espécie vegetal. Logo, o balanço térmico pode ser afetado em função da absorção do calor pela vegetação e sua evapotranspiração. As trocas de calor acontecem por radiação, convecção, condução, irradiação, etc. O registro desses dados é feito por meio de equipamentos específicos, como sensores, estações meteorológicas, termômetros, câmeras termográficas, etc. Faz-se necessário ainda, o conhecimento das equações referentes, para que os dados possam ser utilizados em modelagens sobre a performance do telhado verde. Essas modelagens são bastante úteis no sentido de poder prever como o comportamento térmico do telhado verde varia a depender da sua extensão, do material usado na sua composição, do local onde foi implantado, entre outros fatores (PALMEIRA, 2016; FRANKENSTEIN, 2004).

Nos EUA, um experimento realizado por Velasco et al. (2012) validou um modelo de dados sobre a performance térmica de um telhado verde instalado em um edifício comercial, em Chicago. A validação consistiu em comparar a temperatura no substrato, fluxo de calor através do telhado e a radiação. Para minimizar possíveis erros foi preciso realizar um estudo sobre todos os componentes do telhado, bem como no que cada um poderia afetar. Os parâmetros levados em consideração na validação foram: radiação solar, temperatura do ar,

umidade relativa, conteúdo de água no substrato, velocidade do vento acima do telhado e radiação de ondas longas. Os resultados da pesquisa mostraram que é possível prever o calor e a massa transferida pela utilização dos dados da radiação de ondas longas de uma estação climática.

O aumento da temperatura nos centros das grandes cidades por causa das ilhas de calor tem sido bastante estudado. Uma das alternativas para diminuir esse fenômeno é a utilização de materiais refletivos em estruturas urbanas. Deve-se escolher os materiais que satisfaçam as necessidades de melhorar as condições térmicas do local, e evitar muito contraste e brilho. A partir de um modelo numérico foi possível prever a performance térmica de alguns pavimentos, com resultados positivos. Outra opção é a implantação de áreas verdes. Logo, os benefícios que o telhado verde proporciona podem ser observados tanto do ponto de vista ecológico quanto social. Dentre eles constatou-se que: a temperatura na superfície do telhado verde varia de acordo com o tipo de vegetação usada; ele contribui para manutenção da temperatura do ar no interior dos edifícios, pois durante o verão ele resfria o ambiente interno e durante o inverno há um acúmulo de calor, e assim proporciona além de conforto térmico a economia de energia (KYRIAKODIS e SANTAMOURIS, 2017 e NIACHOU et al., 2001).

Um estudo na cidade de Detroit, EUA, avaliou os benefícios do telhado verde na diminuição das ilhas de calor, que pode ser aliviada devido ao albedo da superfície e o resfriamento pela evapotranspiração. Também foi analisado questões étnico-raciais em relação à proximidade de diferentes comunidades à espaços verdes da cidade. Utilizou-se ferramentas do ArcGis para o mapeamento das zonas mais quentes. Logo, foi possível concluir que o planejamento de espaços verdes da cidade de Detroit não é suficiente para atender a necessidade de áreas mais vulneráveis ao calor, das quais as comunidades de baixa renda são as mais afetadas pelas ilhas de calor urbana (SANCHEZ e REAMES, 2019).

Além de todos os benefícios que o telhado verde pode proporcionar, é importante também atentar-se quanto aos problemas que ele pode causar quando colocado sobre uma construção sensível à umidade. Assim, ter conhecimento sobre a influência e eficiência da drenagem do telhado é inevitável. Para tal, foi desenvolvido na Universidade da Georgia (EUA) um modelo no HYDRUS capaz de estimar a drenagem para pequenos intervalos de chuva. Mas, para longos períodos ele superestimou os valores. Estudos também foram feitos no sentido de mostrar a influência do solo no telhado verde, pois tem impacto tanto na condutividade térmica, quanto na taxa de evaporação da superfície. Neste sentido, foi desenvolvido um modelo de simulação higrotérmica que pode ser usado para qualquer condição climática, pois considera

elementos como a radiação de ondas curtas, precipitação, etc (HILTEN et al., 2008 e ZIRKELBACH et al., 2017).

2. OBJETIVOS

a. Geral

Validar o modelo de simulação proposto por Omar et al. (2018), com dados experimentais

b. Específicos

Avaliar os efeitos do telhado verde instalado na cobertura de uma edificação, baseado nas trocas de energia.

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no telhado verde do Edifício Garagem do Empresarial Charles Darwin da construtora Ria Ave Empreendimentos em Recife, situado na Zona da Mata do Estado de Pernambuco, Brasil, (8º 04' 03" S e 34º 55' 00" O e altitude média 4 m). A série de dados utilizados será de dezembro 2017 a dezembro de 2018. O clima da região é do tipo As', tropical chuvoso, de acordo com Köppen (PEREIRA et al., 2002).

A área total do telhado é de 2.800 m^2, toda área é coberta por vegetação. De cima para baixo, o telhado verde instalado consiste em uma camada de grama da espécie de *Zoysia japonica*, camada de substrato de 7,5 cm, uma manta de drenagem (manta de bidim), uma camada de 2,5 cm de espessura composta por restos de concreto reciclados obtidos na construção do edifício, outra manta de drenagem, uma impermeabilização de manta asfáltica e uma laje de concreto armado.

Para o monitoramento meteorológico foi utilizada uma plataforma automática de registro de dados CAMPBELL® SCIENTIFIC modelo CR800, na laje externa do edifício acoplados sensores específicos que permitirão os registros de balanço de radiação (radiação solar global) [Qg, W m²; 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 m²; 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 (Kpa) e albedo (r). As medidas de temperatura do ar (Tar, °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}) será seguido a recomendação de Pereira et al (2002), que considera o valor de G em torno de 3% do valor do saldo de radiação (Rn). Os dados foram aferidos a cada segundo e registrados em intervalos de 10 min. O telhado verde do edifício garagem tem tamanho menor que as construções do entorno, por isso em uma

parte do tempo as mesmas fazem sombra sobre a estação meteorológica, no entanto para que a estação ficasse o maior tempo possível exposta à radiação solar e a sombra não interferisse na qualidade dos dados registrados, foi necessário realizar uma avaliação da sombra ao longo ano. 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. Foram determinados os balanços de energia do telhado verde real e o simulado proposto por Omar et al. (2018), para o ano de 2018. As diferenças foram determinadas pelas diferenças médias dos valores obtidos, assim como a relação entre elas, a qual foi estabelecida e comparadas por análise de regressão.

O cálculo necessário para a determinação do balanço de energia, baseou-se na soma do fluxo de calor latente (LE), sensível (H) e do solo (G) (Equação 1). Utilizou-se a recomendação de Pereira et al. (2002) ao considerar 3% do saldo de radiação (Rn) para os valores do fluxo de calor no solo (G, MJ m ² dia ¹).

$$Rn - H - LE - G = 0 \quad (1)$$

Em que,
Rn = saldo de radiação (MJ m^{-2} dia^{-1})
H = fluxo de calor sensível (MJ m^{-2} dia^{-1})
LE = fluxo de calor latente (MJ m^{-2} dia^{-1})
G = fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} dia^{-1})

O LE foi determinado pelo modelo de Penman-Monteith (ETo – evapotranspiração de referência), considerou-se que a ETo é igual a LE, obtido em função de: Rn, G, Tar, VV, UR e a. De acordo com a Equação 2:

$$ETo = \frac{0{,}408\Delta(Rn-G) + y\frac{900}{Tar+273} vv\ (es-ea)}{\Delta + y(1+0{,}34\ vv)} \quad (2)$$

Em que,
ETo = evapotranspiração de referência (mm)
Rn = saldo de radiação (MJ m^{-2} dia^{-1})
G = fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} dia^{-1})

Tar = temperatura média diária do ar (°C)
vv = velocidade média do vento a 2 m de altura (m s^{-1})
es = pressão de saturação do vapor média diária (KPa)
ea = pressão atual de vapor média diária (KPa)
Δ = declividade da curva de pressão de vapor no ponto correspondente a temperatura (KPa °C^{-1})
T = constante psicrométrica (KPa °C^{-1})

O valor do calor sensível (H) foi determinado baseado na Equação 3.

$$H = Rn - LE - G \quad (3)$$

Em que,
H = fluxo de calor sensível (MJ m^{-2} dia^{-1})
Rn = saldo de radiação (MJ m^{-2} dia^{-1})
LE = fluxo de calor latente (MJ m^{-2} dia^{-1})
G = fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} dia^{-1})

O balanço de energia foi calculado pelo método da razão de Bowen (Equação 4):

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (4)$$

Em que,
β = razão de Bowen
H = fluxo de calor sensível (MJ m^{-2} dia^{-1})
LE = fluxo de calor latente (MJ m^{-2} dia^{-1})

Para comparar o balanço de energia REAL, foi simulado o balanço de energia baseado nos estudos de Omar et al. (2018) para o mesmo período. O saldo de radiação foi obtido pela Equação 5:

$$Rn = BOC + BOL \quad (5)$$

Em que,

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

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

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar (Tar) apresentou os menores valores para o mês de junho, tanto para a normal climatológica, quanto para o período analisado; 24,10 e 23,89 °C, respectivamente. Em contrapartida, houve diferença referente ao mês com maior valor. Na normal climatológica foi março (27,27 °C), e no período estudado foi dezembro (27,39 °C). A variação média anual foi de 0,1 °C, correspondente a 0,37 % de variação (Tabela 1).

A radiação solar global (Rn) apresentou menor valor em junho e julho, por consequência de serem os meses com maior precipitação na região Nordeste (SILVA et al., 2011). A média anual para a normal climatológica foi de 19,50 MJ m^{-2} dia^{-1}, e a média para o período analisado foi de 17,73 MJ m^{-2} dia^{-1}; com uma diferença entre elas de 1,77 MJ m^{-2} dia^{-1}, correspondente a 9,07 % de variação (Tabela 1).

A precipitação apresentou maior frequência no mês de junho na normal climatológica (391,10 mm). No entanto, no período de estudo foi o mês de abril (387,20 mm). O menor valor de precipitação foi registrado no mês de novembro, tanto para a normal quanto para o período de estudo; 38,70 e 26,30 mm, respectivamente. A média de precipitação acumulada anual foi de 2263,40 mm para a normal e 2049,55 mm para o período de estudo, com uma diferença de 213,85 mm entre os valores. Nessa mesma lógica seguiu-se os valores da umidade relativa do ar, com maiores valores registrados nos meses de abril (85,76 %) e junho (85,10 %), e os menores em novembro (71,35 %) e dezembro (72,23 %), para o período de estudo (Tabela 1).

Esses valores obtidos, apesar de não variarem tanto quando comparados com a normal climatológica podem causar um baixo desempenho do modelo de simulação, pois caracteriza um período típico. Ou seja, é provável que não proporcione resultados significativos se utilizado em períodos atípicos.

Tabela 1. Valores referentes a variação média mensal e anual da temperatura média do ar (Tar), saldo de radiação (Rn), precipitação (Prec) e umidade relativa do ar (UR) comparadas a normal climatológica (INMET, 2020).

MESES	Tar Normal	Tar	Rn Normal	Rn	Prec Normal	Prec	UR Normal	UR%

	(°C)	(°C)	(MJ m^{-2} d^{-1})	(MJ m^{-2} d^{-1})	(mm)	(mm)	(%)	(%)
Janeiro	26,9	27,1	22,3	21,0	106,10	147,4	74,4	74,9
Fevereiro	27,1	27,1	21,5	16,3	132,40	131,1	75,1	78,8
Março	27,2	27,2	20,2	17,8	210,60	140,2	77,2	79,5
Abril	26,5	26,2	17,7	15,3	290,50	387,2	81,3	85,7
Maio	25,7	25,7	15,9	15,9	311,80	315,5	83,7	83,0
Junho	24,7	24,7	14,5	14,4	391,10	316,4	84,8	85,1
Julho	24,1	23,8	14,6	10,9	353,70	312,9	84,2	84,2
Agosto	24,2	24,2	18,5	17,3	217,80	105,2	81,3	81,5
Setembro	25,1	25,0	20,5	17,7	100,20	71,3	77,5	78,4
Outubro	25,9	26,2	22,2	18,7	55,20	43,4	74,1	74,0
Novembro	26,6	27,1	23,0	22,6	38,70	26,3	72,7	71,3
Dezembro	26,9	27,3	21,9	24,3	55,30	52,4	73,3	72,2
Anual	25,9	26,0	19,5	17,7	2263,40	2049,5	78,3	79,0

Foram obtidos valores médios de 0,43 MJ m^{-2} dia^{-1} para o fluxo de calor no solo (G) real e 0,36 MJ m^{-2} dia^{-1} para o modelo de simulação, com uma diferença média de 0,0068 MJ m^{-2} dia^{-1}. O valor obtido para o fluxo de calor latente (LE) real foi de 11,6 MJ m^{-2} dia^{-1} e o simulado de 10,19 MJ m^{-2} dia^{-1}, com uma diferença média de 1,40 MJ m^{-2} dia^{-1}. Para o fluxo de calor sensível (H) real foi obtido o valor 2,37 MJ m^{-2} dia^{-1} e o simulado foi de 1,56 MJ m^{-2} dia^{-1}, com uma diferença média de 0,81 MJ m^{-2} dia^{-1}. O valor real obtido para a razão de Bowen foi de 0,20 MJ m^{-2} dia^{-1} e o simulado de 0,13 MJ m^{-2} dia^{-1}, com uma diferença de 0,06 MJ m^{-2} dia^{-1}. A média obtida para o saldo de radiação (Rn) real foi de 14,40 MJ m^{-2} dia^{-1} e o calculado pelo modelo de simulação foi de 12,11 MJ m^{-2} dia^{-1}, com uma diferença de 2,28 MJ m^{-2} dia^{-1} (Figura 1).

O modelo de simulação subestimou os valores encontrados porque na simulação foi utilizado o albedo padrão da grama de 0,25 (OMAR et al., 2018), enquanto, que o albedo médio medido pelo sensor foi de 0,12. Essa diferença ocorreu possivelmente porque o telhado era irrigado duas vezes ao dia e a presença de água pode alterar o valor do albedo (ZIRKELBACH et al., 2017).

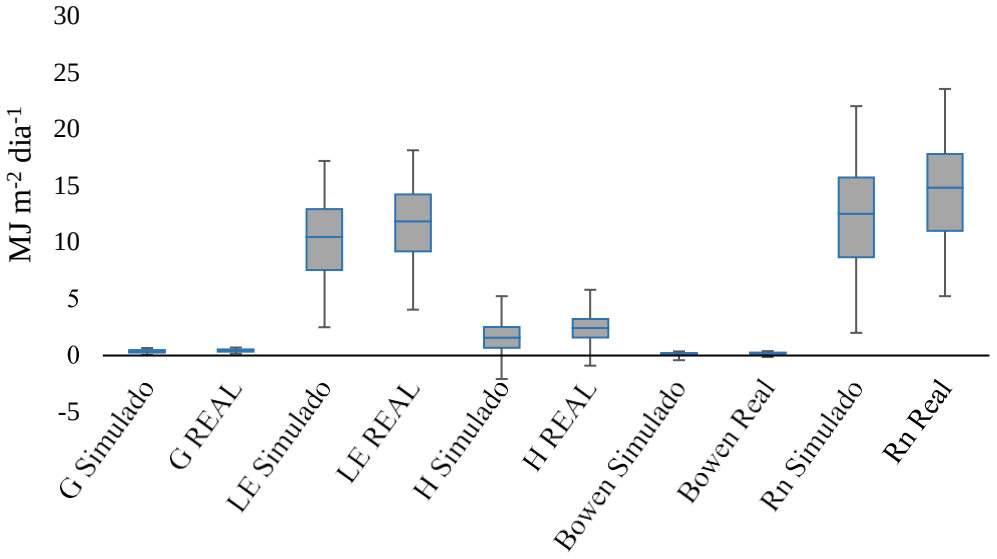
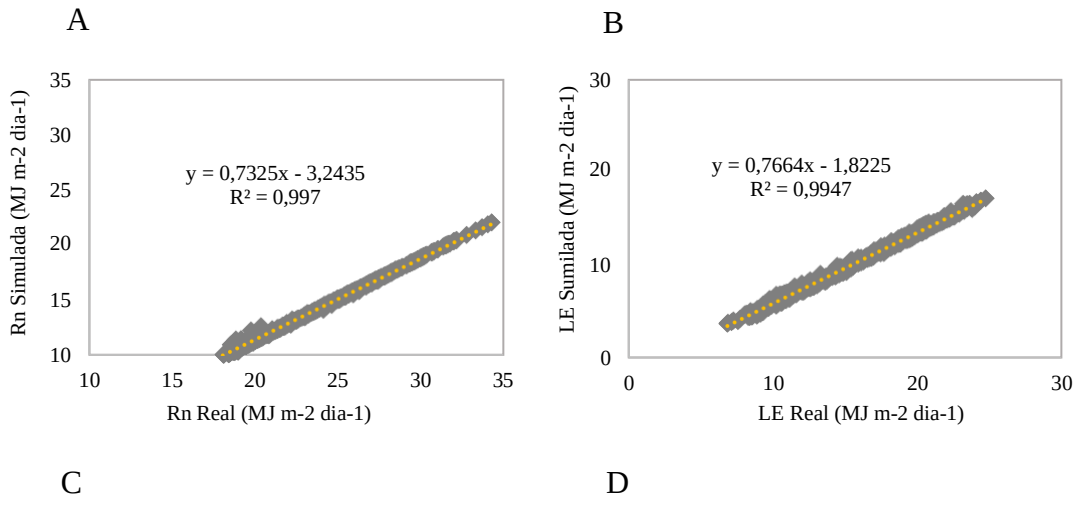


Figura 1. Comparação dos valores do fluxo de calor no solo (G), calor latente (LE), calor sensível (H), razão de Bowen e saldo de radiação (Rn); simulado e real, respectivamente.

Foram analisados o coeficiente de determinação referente aos dados obtidos e simulados. Os valores da correlação de Pearson obtidos para o Rn (0.9987), G (0.9987), LE (0.9976), H (0.9804) e Bowen (0.8744) indicaram uma ótima correlação entre o modelo de simulação e os dados reais obtidos durante o período de estudo. Para a razão de Bowen o coeficiente de determinação obtido foi $R^2 = 0,713$, ainda sim considerado satisfatório (Figura 2).



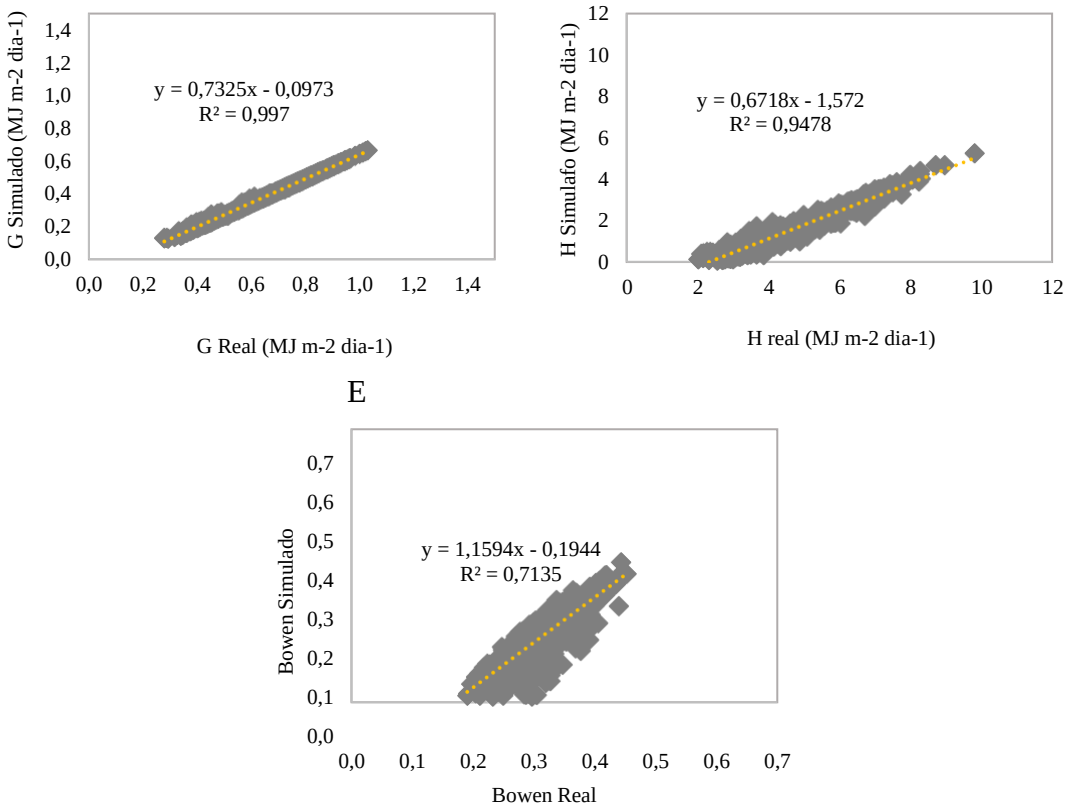


Figura 2. Relação entre os valores simulados e os obtidos durante o período de estudo referentes ao saldo de radiação (A), fluxo de calor latente (B), fluxo de calor no solo (C), fluxo de calor sensível (D) e razão de Bowen (E).

5. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

ATIVIDADES *	**2019**					**2020**						
	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J
Revisão de Literatura	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	
Análise de Dados		**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**			
Elaboração de Relatório Parcial					**X**	**X**	**X**					
Elaboração de Relatório Final									**X**	**X**	**X**	

*Justificar a não realização de atividades apresentadas no plano de trabalho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nesse estudo, constatou-se que o modelo de simulação para o telhado verde apresentou resultados satisfatórios ao prever os fluxos de energia. Assim, como a alta correlação para os valores do coeficiente de Pearson para as variáveis analisadas, $R > 0.87$.

7. BIBLIOGRAFIA

Frankenstein S e Koenig G (2004) FASST Vegetation Models. US Army Corps of Engineers.

Hilten RN, Lawrence TM, Tollner EW (2008) Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D. Science Direct 288-293. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.06.010.

Kyriakodiz GE, Santamouris M (2017) Using reflective pavements to mitigate urban heat island in warm climates – Results from a large-scale urban mitigation project. Urban Climate 24(2018)326-339. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.002.

Matheus C, Caetano FD, Morelli DD, Labaki LC (2016) Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. Ambiente Construído 16(1):71-81. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100061.

Niachou A, Papakonstantinou K, Santamouris M, Tsangrassoulis A, Mihalakakou G (2001) Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Buildings 33(2001)719-729. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7.

Omar, Aline, Vigoderis, Ricardo, Pandorfi, Héliton, Moura, Geber, & Guiselini, Cristiane. (2018). Green roof: Simulation of energy balance components in Recife, Pernambuco state, Brazil. Engenharia Agrícola, *38*(3), 334-342. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n3p334-342/2018.

Palmeira, A. Balanço de energia em telhado verde. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

Sanchez, Lino & Reames, Tony. (2019). Cooling Detroit: A socio-spatial analysis of equity in green roofs as an urban heat island mitigation strategy. Urban Forestry & Urban Greening. 44. 126331. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.014.

Schettini, E; Blanco, I; Campiotti, CA; Bibbiani, C. (2016). Green controlo f microclimate in buildings. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 576-582. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.078.

Silva, Vicente P. R. da, Pereira, Emerson R. R, Azevedo, Pedro V. de, Sousa, Francisco de A. S. de, & Sousa, Inajá F. de. (2011). Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 15(2), 131- 138. https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000200004.

Velasco PC, Zhao M, Peterson N, Srebric J, Berghage R (2012) Validation of predictive heat and mass transfer green roof model with extensive green roof field data. Ecological Engineering 47(2012)165-173. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.012.

Zaremba, G. J., Traver, R. G., & Wadzuk, B. M. Impact of drainage on green roof evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 142(7), 2016.

Zhang Z, Szota C, Fletcher TD, Williams NSG, Werdin J, Farrel C. (2018). Influence of plant composition and water use strategies on green roof stormwater retention. Science of the Environment 625. 775-781. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.231.

Zirkelbach D, Mehra SR, Sedlbauler KP, Künzel HM, Stöckl B (2017) A hygrothermal green roof model to simulate moisture and energy performace of building components. Energy and Buildings 145(2017)79-91.

8. ATIVIDADES RELEVANTES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

Resumo expandido para o CONBEA 2019 (Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola), intitulado como: Desempenho do telhado verde na redução da temperatura efetiva.

Resumo expandido para o CONBEA 2019 (Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola), intitulado como: Temperatura superficial da laje antes e após a instalação do telhado verde por meio da termografia por infravermelho.

9. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Foram encontrados poucos artigos relacionados ao uso de alguma modelagem para o estudo do telhado verde no Brasil.

10. PARECER DO ORIENTADOR

Recife, 15 de Março de 2022.

_____

Assinatura da Orientadora

_____

Assinatura da Aluna