



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

HAYLLA REBEKA DE ALBUQUERQUE LINS LEONARDO

**ESTUDO ANALÍTICO DOS EFEITOS DE TELHADOS VERDES NO
DESEMPENHO ENERGÉTICO**

RECIFE
2019

HAYLLA REBEKA DE ALBUQUERQUE LINS LEONARDO

**ESTUDO ANALÍTICO DOS EFEITOS DE TELHADOS VERDES NO
DESEMPENHO ENERGÉTICO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Coorientadora: Profa. Leijdane Maria Maciel de Oliveira

RECIFE

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

L581e Leonardo, Haylla Rebeqa de Albuquerque Lins.
Estudo analítico dos efeitos de telhados verdes no desempenho energético / Haylla Rebeqa de Albuquerque Lins Leonardo. - 2019.
54 folhas, il., tab. abr. e sigl.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.
Coorientadora: Profa. Leidjane Maria Maciel de Oliveira.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2019.
Inclui Referências e Apêndice.

1. Engenharia Civil e Ambiental. 2. Sensoriamento remoto. 3. Telhados verdes. 4. Desempenho energético. I. Paiva, Anderson Luiz Ribeiro de (Orientador). II. Oliveira, Leidjane Maria Maciel de (Coorientadora). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-454



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO: HAYLLA REBEKA DE ALBUQUERQUE LINS LEONARDO

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: PROF. DR. ANDERSON LUIZ RIBEIRO DE PAIVA

Coorientador: PROFA. LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA

Examinador 1: PROF^a. DR. SYLVANA MELO DOS SANTOS

Examinador 2: DR^a. ANA CLAUDIA VILLAR E. LUNA GUSMÃO

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: ESTUDO ANALÍTICO DOS EFEITOS DE TELHADOS VERDES NO DESEMPENHO ENERGÉTICO

LOCAL: Centro de Tecnologias e Geociências – UFPE

DATA: 05/12/2019 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 09:00.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: _____(deixar 'Exame Final', quando for o caso).

1) () aprovado(s) (nota $\geq 7,0$), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, **$3,0 \leq \text{nota} < 7,0$** , será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

2) () reprovado(s). (nota $< 3,0$)

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 05 de dezembro de 2019

Orientador:

Coorientador:

Avaliador 1:

Avaliador 2:

Candidato :

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que me concedeu forças, sabedoria e auxílio em cada dificuldade encontrada nesta jornada. A meus pais e minha família, que me apoiaram e incentivaram e a ser melhor a cada dia e jamais desistir dos meus sonhos, vocês foram essenciais nesta conquista, e aos meus orientadores, que com paciência e dedicação me ensinaram e incentivaram nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que me capacitou, me fortaleceu e me deu todos os benefícios para a execução e conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Neidinha e Leonardo, por todo apoio, incentivo, investimentos e dedicação, vocês me inspiraram e me ensinam diariamente, serei eternamente grata por todo sacrifício e motivação, esta conquista não seria possível sem vocês. A minha irmã, pelo ensino, incentivo, e apoio em cada etapa deste processo, seu exemplo de força me ensina a cada dia. Ao meu namorado, pela compreensão em cada etapa árdua, por celebrar as vitórias comigo, e me apoiar em todos os momentos, e aos meus grandes amigos de faculdade e companheiros de profissão vocês permitiram que essa caminhada fosse cada dia mais alegre.

Aos meus professores e meus colegas de pesquisa por todos os conselhos e ajuda durante os meus estudos. A querida Mestranda Débora Natália, por todo auxílio e dedicação durante a elaboração deste TCC, sua ajuda foi essencial.

Quero agradecer aos meus orientadores, pelo empenho, dedicação, ensino e paciência durante essa jornada, e na elaboração deste trabalho, vocês são exemplos de profissionais e de amor a profissão.

RESUMO

O cenário atual, com o aumento populacional exacerbado e o crescente do processo de urbanização, vem ocasionando diversos problemas ambientais, a aplicação de telhados verdes constitui uma opção tecnológica de redução e mitigação de tais problemas. Este trabalho objetivou utilizar as técnicas de Sensoriamento Remoto para caracterização da cobertura vegetal e temperatura, subsidiando e justificando a avaliação da aplicação de telhados verdes como medida de mitigação dos problemas evidenciados no município de Caruaru-PE. Foram adquiridas as imagens do satélite Sentinel 2A da região de estudo referente a data 27 de dezembro de 2018 e para sensor OLI Landsat 8 a data correspondente a 01 de dezembro de 2018. Com o processamento dessas imagens utilizando o software livre QGIS, encontrou-se valores de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e TS (Temperatura de Superfície) para a região de estudo. Com dados de sensores de temperatura na estação experimental de telhado verde, situado no IPA em Caruaru, foram utilizados métodos estatísticos e comparativos de dados, a partir da geração de gráficos *Box Plots*, *Line Plots 2D*, e análise da variância dos dados. Nestas análises foram utilizados os softwares STATISTICA e EXCEL. Os dados foram medidos durante os meses de outubro, novembro e dezembro de 2015 e janeiro de 2016. Evidenciou-se que a região de estudo apresentou valores de NDVI, em sua predominância, no intervalo de 0,041 a 0,196, e uma elevada temperatura de superfície nessas áreas (entre 28,42 °C e 34,32 °C), justificando a aplicação dos telhados verdes. Concluiu-se que os protótipos de telhados verdes analisados apresentaram um potencial de redução médio de 4 °C da temperatura máxima diária, enquanto que o telhado convencional apresentou uma redução média de 2°C da temperatura máxima diária.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Telhados verdes. Desempenho energético.

ABSTRACT

The current scenario, with the exacerbated population increase and the growing urbanization process, has caused several environmental problems, the application of green roofs is a technological option to reduce and mitigate such problems. This study aimed to use the Remote Sensing techniques to characterize the vegetation cover and temperature, supporting and justifying the evaluation of the application of green roofs as a mitigation measure of the problems evidenced in the municipality of Caruaru-PE. Sentinel 2A satellite images from the study region for December 27, 2018 and OLI Landsat 8 sensor for December 1, 2018 were acquired. Processing of these images using free software QGIS was found. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and TS (Surface Temperature) values for the study region. With data from temperature sensors at the experimental green roof station located at the IPA in Caruaru, statistical and comparative data methods were used, based on the generation of Box Plots, Line Plots 2D graphs, and data variance analysis In these analyzes were used the software STATISTICA and EXCEL. Data were measured during the months of October, November and December 2015 and January 2016. It was evidenced that the study region presented NDVI values, predominantly, in the range of 0.041 to 0.196, and a high surface temperature in these areas (between 28.42 °C and 34.32 °C), justifying the application of green roofs. In conclusion, the green roof prototypes analyzed showed a potential reduction of 4 °C of the maximum daily temperature, while the conventional roof presented a mean reduction of 2 °C of the maximum daily temperature.

Keywords: Remote sensing. Green roofs. Energy performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização da área de estudo.....	18
Figura 2 –	Disposição dos telhados verdes da UETV.....	18
Figura 3 –	Área com vegetação estudadas	19
Figura 4 –	Dataloggers instalados no teto e nas paredes dos protótipos.	20
Figura 5 –	Calculadora Raster, QGIS.....	21
Figura 6 –	Fluxograma das etapas de processamento.....	21
Figura 7 –	Precipitação pluviométrica em Caruaru, nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2015, e no mês de janeiro de 2016	25
Figura 8 –	NDVI (Sentinel 2A), NDVI (Landsat 8 OLI), e Temperatura da superfície (Landsat 8 OLI)	29
Figura 9 –	Perfil do NDVI (Sentinel 2A) e da Temperatura da Superfície (Landsat 8 OLI)	30
Figura 10 –	Box Plot dos dados de temperatura ambiente externa dos meses de outubro, novembro e dezembro de 2015, e no mês de janeiro de 2016, respectivamente.....	31
Figura 11 –	Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados nas paredes no mês de outubro	32
Figura 12 –	Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados no teto no mês de outubro.	34
Figura 13 –	Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados nas paredes no mês de novembro	36
Figura 14 –	Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados no teto no mês de novembro	37
Figura 15 –	Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados no teto no mês de dezembro.....	39
Figura 16 –	Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados nas paredes no mês de dezembro.....	40
Figura 17 –	Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados nas paredes no mês de janeiro.....	42

Figura 18 – Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados no teto no mês de janeiro..... 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Data da imagem, hora, ângulo de elevação do Sol e ponto do satélite.....	20
Tabela 2 –	Banda, resolução e comprimento de onda do sensor do Sentinel. ..	22
Tabela 3 –	Dias selecionados para estudo	26
Tabela 4 –	Dados dos sensores P2 e P3 localizados nas paredes no dia 29/10/15	34
Tabela 5 –	Dados do sensor localizado no teto no dia 29/10/15, caracterizado como dia mais quente e de maior amplitude de outubro.....	35
Tabela 6 –	Resumo da Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna dia 29/10/15.	35
Tabela 7 –	Dados dos sensores P2 e P3 localizados nas paredes no dia 26/11/15	37
Tabela 8 –	Dados do sensor localizado no teto no dia 29/10/15, caracterizado como dia mais quente de novembro.	38
Tabela 9 –	Tabela 9 – Resumo da Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna dia 26/11/15.	38
Tabela 10 –	Dados dos sensores P2 e P3 localizados nas paredes no dia 18/12/15.	41
Tabela 11 –	Dados do sensor localizado no teto no dia 18/12/15, caracterizado como dia maior amplitude de dezembro.	41
Tabela 12 –	Resumo da Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna dia 18/12/15.....	41
Tabela 13 –	Dados dos sensores P2 e P3 localizados nas paredes no dia 01/01/16.....	43
Tabela 14 –	Dados do sensor localizado no teto no dia 01/01/16, caracterizado como dia mais frio de janeiro.....	44
Tabela 15 –	Resumo da Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna dia 01/01/16.....	44
Tabela 16 –	Resumo dos resultados da Tabela ANOVA.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL	Fator de redimensionamento aditivo
ANOVA	Análise de Variância
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CAA.	Centro Acadêmico do Agreste
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisa
ESA	European Space Agency
et al.	e outro
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
IAF	Índice de Área Foliar
IPA.	Instituto Agrônômico de Pernambuco
ML	Fator multiplicativo de redimensionamento
MSI	Multispectral Instrument
ND	Números Digitais
NDVI.	Índice de Vegetação por diferença Normalizada
OLI	Operational Terra Imager
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
SR	Sensoriamento Remoto
SWIR	Short-wave Infrared
TS	Temperatura de Superfície
UETV	Unidade experimental de telhado verde
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
v.	volume
p.	página

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO.....	14
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	SENSORIAMENTO REMOTO	16
2.2	TELHADOS VERDES	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	20
3.2	GEOPROCESSAMENTO.....	18
3.2.1	Pré - Processamento	20
3.2.2	Processamento Sentinel – NDVI.....	21
3.2.3	Processamento Landsat 8 – Temperatura de superfície.....	22
3.4	DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	24
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1	SENSORIAMENTO REMOTO.....	28
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	31
5	CONCLUSÕES.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46
	APÊNDICE A – DADOS DA ANOVA.....	49

1 INTRODUÇÃO

A acelerada e crescente urbanização vem ocasionando e evidenciando inúmeros problemas ambientais, tais como problemas com drenagem urbana, aumento da temperatura, ressaltando a importância da busca de alternativas que visem reduzir estes efeitos. Sendo evidenciada a importância de pesquisas com o intuito de encontrar as soluções mais viáveis para os problemas atualmente enfrentados, como as técnicas a aplicação e aprimoramento de coberturas vegetais nos telhados das edificações.

A vegetação possui diversas funções no ambiente. Entre elas está o aumento da infiltração da água no solo, aumento da umidade relativa do ar e diminuição das temperaturas atmosféricas. Por meio da infiltração, há a retenção de partículas resultantes de poluição, podendo haver filtração desses elementos. Sabendo-se que essas são apenas algumas das funções exercidas pela vegetação, entende-se que a diminuição dessas no ambiente tem como resultado a perda da qualidade ambiental que esta proporciona. (CARVALHO, 2018)

De acordo com Feitosa *et al.* (2011), existe uma relação entre o índice de áreas verdes e a temperatura em áreas urbanas. O aumento de áreas construídas desenvolvido pelo crescimento das cidades tem influenciado na alteração da temperatura nos centros urbanos. Grande parte desta influência é ocasionada devido a utilização de materiais de alta condutividade térmica, como concreto, asfalto, telha de fibrocimento, e telha de barro, esses materiais permitem a passagem de grande fluxo de calor acarretando em consequências para o meio ambiente e para as cidades.

A diminuição das temperaturas atmosféricas, resultante da presença de organismos vegetais, ocorre devido ao fato de serem responsáveis pela transformação de energia luminosa em energia química através do processo de fotossíntese. Esse processo influencia na atenuação de temperatura devido à absorção de energia solar – responsável pelo aumento da temperatura atmosférica, além da umidade liberada pela vegetação através da transpiração (CARVALHO, 2018).

Outro destaque de significativa relevância para a justificativa da aplicação dos telhados verdes, tem sido as ilhas de calor, um fenômeno climático de maior ocorrência em cidades com elevado grau de urbanização, é verificado que ocorre a elevação da temperatura média das áreas urbanas em comparação com as áreas rurais. Segundo Savi (2015), neste cenário, há a necessidade de fomentar o uso de técnicas que auxiliem a mitigar os problemas de consumo energético elevado nas edificações e recorrência de inundações nos centros urbanos, os telhados verdes podem assumir um papel importante.

Uma outra área que vem ganhando destaque atualmente, é o monitoramento do comportamento hídrico associado à variação da cobertura vegetal por meio de técnicas do Sensoriamento Remoto (SR), tais técnicas encontram-se cada vez mais recorrente no cenário mundial, segundo Farias *et al.* (2017).

A principal motivação dos estudos envolvendo a aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) fundamenta-se na compreensão do comportamento espectral que uma dada cobertura assume em um determinado produto de SR. Esse produto é fruto de um processamento de imagens de satélite que pode envolver muitos parâmetros e fatores ambientais (PONZONI, 2002). A análise do comportamento hídrico advém do fato que o Sertão nordestino é caracterizado por longos períodos de estiagem, provocando um cenário de grande estresse hídrico na região (GORDON *et al.*, 2005).

O cenário atual, dos problemas ambientais anteriormente citados, vem servindo como base de estudo para pesquisas que buscam desenvolver novas tecnologias e aprimorar outras já existentes com a finalidade de proporcionar a melhoria na qualidade de vida das pessoas através da redução e mitigação de tais problemas. Entre estes estudos destacam-se a utilização de sistemas de telhados verdes como solução mitigadora dos problemas relacionados ao conforto térmico, desempenho energético e drenagem urbana, assim como a utilização de software de geoprocessamento para uma eficiente análise da variabilidade espectro temporal da área de estudo a partir do processamento de índices de vegetação e mapas temais da temperatura da superfície.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Os telhados verdes são uma estratégia de mitigação e redução dos problemas ambientais, e sua utilização contribui, entre outros fatores, para a redução da poluição do ar, dos efeitos das ilhas de calor e melhoria na seção térmicas dos ambientes. Diversos autores tratam sobre as vegetações mais adequadas a serem utilizadas, bem como a espessura ideal do substrato e a composição dos telhados verdes para cada região, entre esses autores destaca-se o Jiménez *et al.* (2013).

Alguns autores como Carvalho (2018), Imran *et al.* (2018), e Carneiro *et al.* (2015), desenvolveram pesquisas com a utilização de telhados verdes em comparativos com outros telhados, com a finalidade de analisar parâmetros como desempenho térmico, desempenho energético e eficiência na mitigação de ilhas de calor. Os resultados evidenciaram que o telhado verde tem resultado positivo como solução para melhorar o desempenho térmico das

edificações. Apesar da sua importância e do número de pesquisas que estão sendo realizadas pelo mundo, com ênfase em telhados verdes, no Brasil ainda é pouco expressiva, sendo, portanto, observada a necessidade do desenvolvimento de estudos e pesquisas nessa área.

Com a finalidade de complementar esse estudo será utilizado o SR para a análise da variabilidade espaço temporal do município de Caruaru, Pernambuco, de forma a comprovar a necessidade de aplicação das técnicas de telhados verdes na região.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Este projeto tem como objetivo utilizar o Sensoriamento Remoto para a caracterização da cobertura vegetal e temperatura, subsidiando e justificando a avaliação e aplicação de telhados verdes como medida de mitigação de problemas ambientais.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Determinar o Índice de Vegetação por Diferença normalizada (NDVI) e a Temperatura da Superfície (TS) do município de Caruaru, por meio do processamento de imagens de satélites.
- Analisar os dados de temperatura ambiente, temperatura externa e temperatura nos tetos dos protótipos de telhados verdes da UFPE;
- Comparar estatisticamente os telhados verdes investigados com o emprego da análise de variância (ANOVA) dos dados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

De maneira a facilitar a compreensão, abordou-se o referencial teórico em dois principais subtópicos: Sensoriamento Remoto e Telhados verdes.

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

A extração de informações é um dos objetivos fundamentais do Sensoriamento Remoto, a partir de utilização de métodos e técnicas para que os dados espectrais possam ser convertidos em documentos em formas de tabelas, gráficos ou mapas (SANTOS *et al.*, 2016). Nos últimos anos, um número crescente de imagens de alta resolução espacial tem surgido no mercado mundial com o aparecimento dos novos satélites e sensores aeroembarcados de sensoriamento remoto (RESENDE *et al.*, 2012). De acordo com Bezerra *et al.* (2018), o uso de técnicas de SR em apoio aos estudos ambientais se tornou comum nos últimos anos, e vários estudos têm sido desenvolvidos para gestão territorial, hidrologia e monitoramento dos recursos naturais. A utilização de imagens orbitais para realização destes estudos permite redução dos custos, maior rapidez e resultados mais eficientes.

O satélite Landsat-8, lançado em 2013, aprimorou a capacidade de imagem desta série, apresentando novas faixas espectrais no infravermelho, azul e de onda curta (SWIR), além de melhorar a relação sinal/ruído do sensor e a resolução radiométrica das imagens. O sensor *Operational Land Imager* (OLI) fornece imagens ópticas com 30 m de resolução espacial, faixa imageada de 185 km, oito bandas espectrais e dezesseis dias de resolução temporal (ZHU & WOODCOCK, 2014; SOTHE *et al.*, 2017). Os Sentinel-2a e 2B formam uma missão imageadora multiespectral do Programa GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) conjuntamente administrada pela Comunidade Europeia e a Agência Espacial Europeia (ESA), para observação da Terra, realizando coleta de dados sobre a vegetação, solos e umidade, os dados possuem a resolução de 10 m, os satélites dispõem de um sensor MSI (*MultiSpectral Instrument*) com 13 bandas espectrais.

A observação da Terra a longo prazo utilizando numerosos sensores a bordo dos satélites é uma forma eficaz de monitorar e caracterizar variações na superfície terrestre. Índices de vegetação derivados de dados de satélite têm sido amplamente utilizados para avaliar variações no estado fisiológico e propriedades biofísicas de vegetação (TUCKER, 1979; HUETE *et al.*, 2002; SHE *et al.*, 2015). Segundo Bezerra *et al.* (2018), o recurso de cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) demonstrou ser uma ferramenta muito importante e conveniente, tanto em análises de dinâmica temporal como em análises mais

simplificadas da vegetação. De acordo com Li *et al.* (2016), os sensores MSI e OLI, juntos, formam uma fonte importante para melhor contribuição de observação multiespectral com cobertura global e com acesso livre e aberto.

O QGIS é um sistema de informações geográficas de código aberto. O projeto nasceu em maio de 2002 e foi estabelecido como um projeto no *Source Forge* em junho do mesmo ano. Objetivando-se inicialmente em fornecer um visualizador de dados GIS. O QGIS suporta vários formatos de dados rasterizados e vetoriais, com novo formato suporte facilmente adicionado usando a arquitetura do *plugin* (QGIS *User Guide*, 2019).

2.2 TELHADOS VERDES

De acordo com Bezerra *et al.* (2018), os telhados verdes têm como conhecida, e talvez principal característica, a capacidade de reter água da chuva, pois a vegetação mantém o solo no lugar, e participa do ciclo hidrológico a partir dos processos de interceptação e evapotranspiração. O telhado verde, ao causar a diminuição do escoamento superficial em relação ao telhado convencional, reduzindo assim os riscos de inundações, podendo armazenar a água da chuva para outros fins nas edificações, como irrigação de jardins, limpeza, descarga, entre outros (CHEN *et al.*, 2015).

Os telhados verdes possuem benefícios, também, com relação ao conforto térmico e desempenho energético das edificações. A atuação dos telhados verdes como isolante térmico vivo é bem pertinente, uma vez que, as cidades estão cada vez mais quentes e o uso de ar condicionados vai se difundindo no meio urbano, aliado a grandes custos (Bezerra *et al.*, 2018). De acordo com o estudo desenvolvido por Carvalho (2018), os sistemas de telhados verdes tendem a manter o calor retido (nos dias mais frios), mantendo as temperaturas internas mais altas, próximas à zona de conforto térmico. Ainda segundo esse estudo com o aumento das temperaturas externas, chegando a 32 °C, o protótipo com o uso de cobertura vegetal, conseguiu isolar o sistema, atenuando a radiação solar e proporcionando valores de temperatura interna na zona de conforto térmico, ou mesmo próxima a essa.

Oliveira, Soares e Santos (2016) concluíram em seus resultados que o telhado verde se sobressai aos demais sistemas de cobertura nos critérios térmicos. Sendo possível a obtenção de premissas confirmadoras das teorias propostas neste estudo.

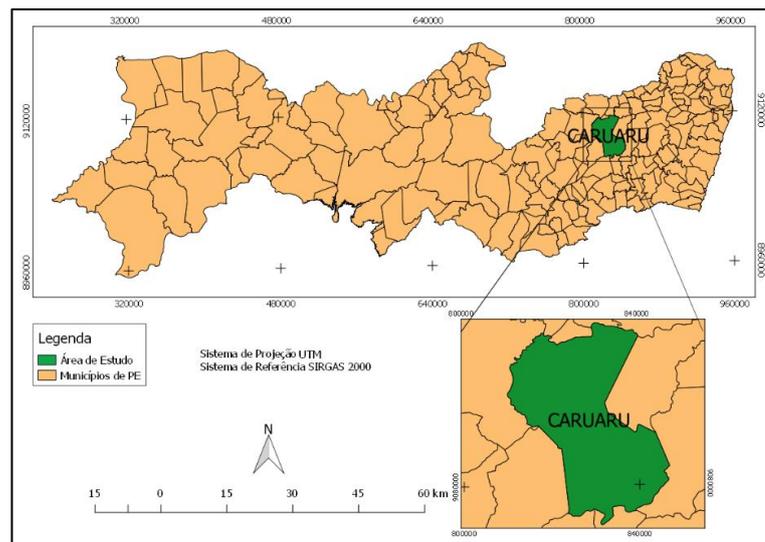
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Abordou-se a metodologia em quatro principais subtópicos: Área de Estudo; Geoprocessamento; Dados pluviométricos; E Análise estatística dos dados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

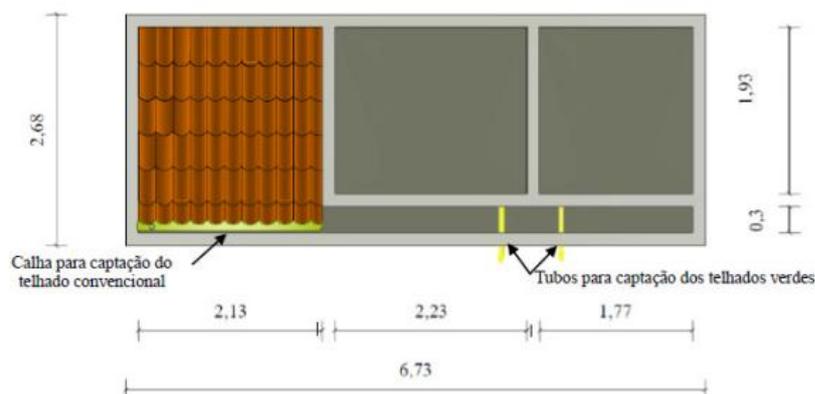
A área de estudo (Figura 1) está no município de Caruru na região do agreste Pernambucano, especificamente a região onde está localizado o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), onde foi implantada a Unidade Experimental de Telhado Verde (UETV), sendo composta por dois protótipos de telhados verdes, e um telhado convencional conforme Figura 2. Os dados de temperatura externa e temperatura ambiente foram obtidos com o projeto desenvolvido pela equipe do CAA nestas unidades experimentais, e as conclusões obtidas por Santos (2016) foram os principais norteadores para o desenvolvimento da análise de dados desta etapa do trabalho.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: A Autora (2019).

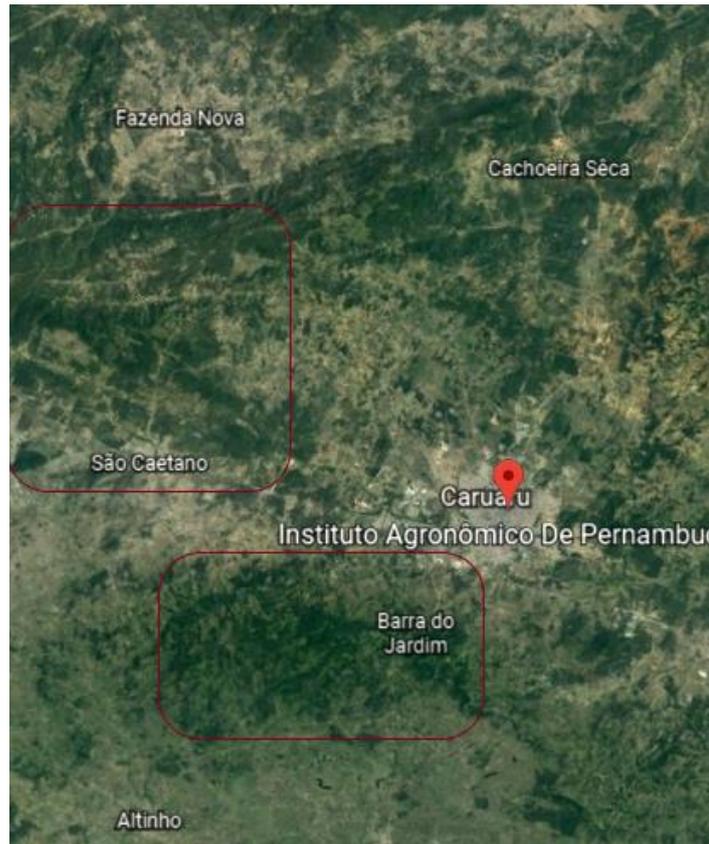
Figura 2 – Disposição dos telhados verdes da UETV.



Fonte: Adaptado de Santos (2016).

O município de Caruru localiza-se nas coordenadas 08° 17' 00" de latitude sul, 35° 58' 34" de longitude oeste, abrange uma área de 932 Km². Foram identificadas duas principais áreas com vegetação para a observação da variação da temperatura da superfície na região, localizadas na região do contorno dos municípios de Caruaru, São Caetano e Altinho, conforme a Figura 3.

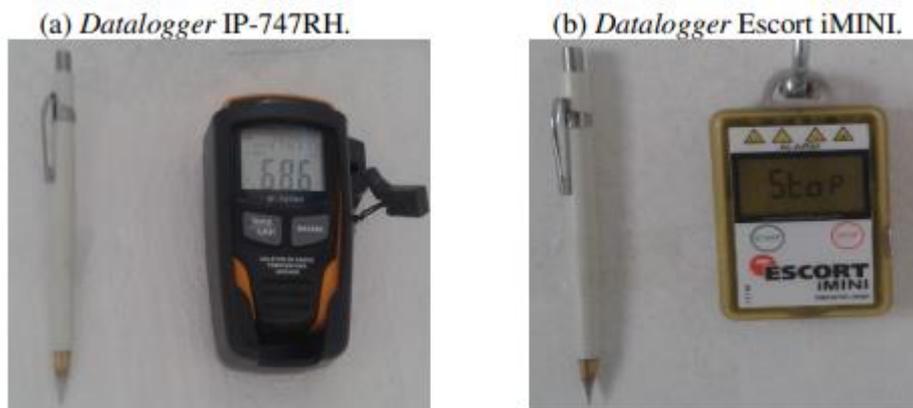
Figura 3 - Área com vegetação estudadas.



Fonte: Google Earth (2019).

De acordo com Santos (2016), a verificação da temperatura interna (sensor teto) e temperatura superficial das paredes foi realizada usando diferentes aparelhos. Para as medições no teto foi utilizado o Datalogger IP-747RH, e as medições nas paredes utilizou-se o Escort iMINI MX-IN-S-8-L, todos os aparelhos foram programados para coletar as variáveis internas analisadas, de forma simultânea e instantânea a cada 30 minutos, conforme Figura 4.

Figura 4 – *Dataloggers* instalados no teto e nas paredes dos protótipos.



Fonte: Adaptado de Santos (2016).

3.2 GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento foi abordado em três subtópicos: Pré-processamento; Processamento Sentinel – NDVI; e Processamento Landsat 8 – Temperatura de superfície.

3.2.1 Pré - Processamento

Para a escolha das imagens a serem processadas foi necessário a observação de imagens sem a presença de nuvens que coincidisse o mês e ano para os dois satélites, com a finalidade de possibilitar a comparação entre os dados obtidos. Após detalhada pesquisa selecionou-se imagens referentes ao dia 27 de dezembro de 2018, do satélite Sentinel – 2A, uma missão imageadora multispectral do Programa GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*), conjuntamente administrada pela Comunidade Europeia e a Agência Espacial Europeia (ESA), e ao dia 01 de dezembro de 2018 (Tabela 1), do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (Landsat 8), sensor *Operational Lander Imager* composta por bandas espectrais adquiridas gratuitamente através do site do *United States Geological Survey* (USGS). As imagens orbitais e os arquivos vetoriais foram reprojatados para o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), UTM fuso 24 Sul.

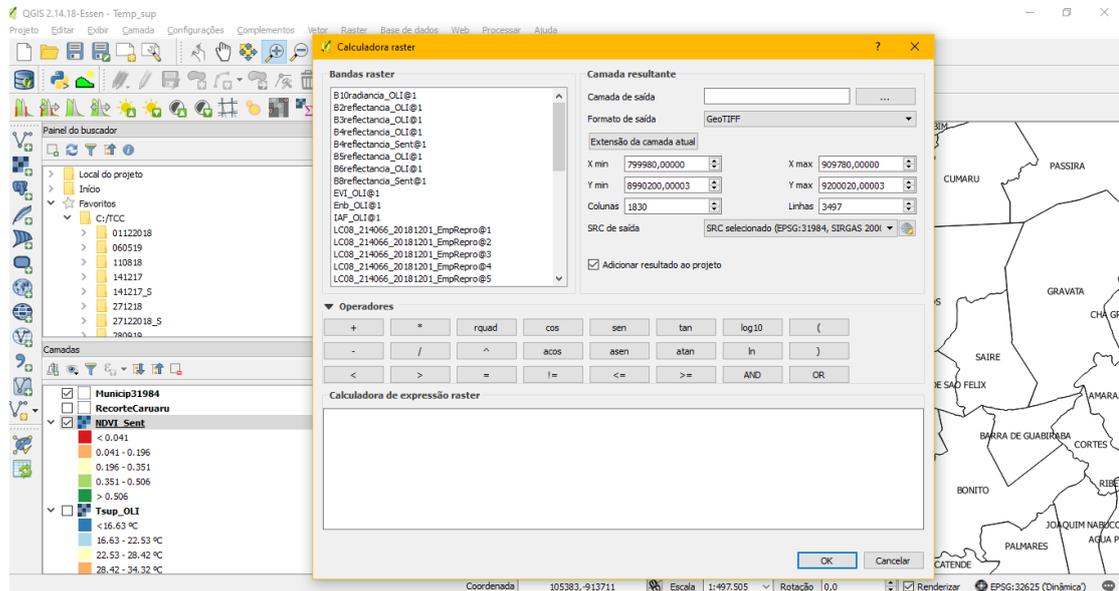
Após a aquisição das imagens, realizou-se o processamento, considerando o recorte da cena conforme a área de interesse. Para aquisição do parâmetro biofísico NDVI, e da temperatura da superfície, utilizou-se a ferramenta “Calculadora Raster” do *software* QGIS versão 2.18.16, conforme a Figura 5.

Tabela 1 - Data da imagem, hora, ângulo de elevação do Sol e ponto do satélite.

Data	Hora (UTM)	Ângulo de elevação do Sol	Órbita	Ponto
------	------------	------------------------------	--------	-------

Fonte: USGS (2019)

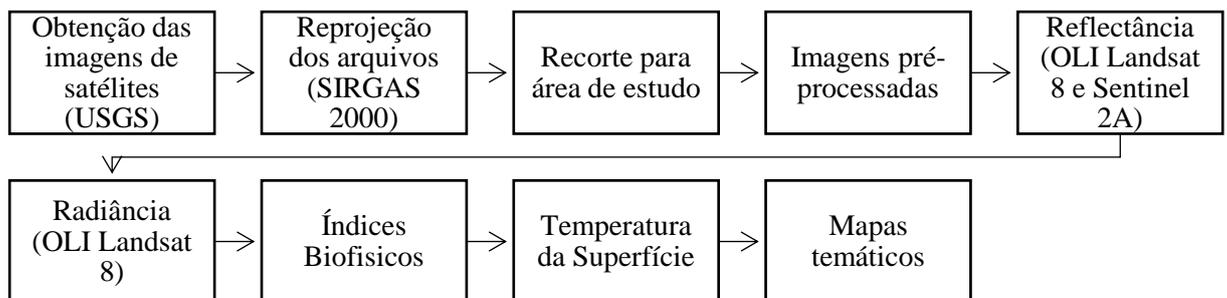
Figura 5 - Calculadora Raster, QGIS.



Fonte: A Autora (2019).

Na Figura 6, estão apresentadas as etapas realizadas para o processamento digital das imagens para o presente estudo.

Figura 6 - Fluxograma das etapas de processamento.



Fonte: A Autora (2019).

3.2.2 Processamento Sentinel – NDVI

O processamento das imagens do Sentinel 2A se deu em conformidade com Zhang *et al.* (2018). Para a reflectância planetária ($\rho\lambda$) foi usada a Equação 1.

$$\rho\lambda = \frac{ND}{\text{Quantification_Value}} \quad (1)$$

Em que ρ_λ corresponde a reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida, ND aos números digitais correspondentes a cada banda, e ρ_λ , é o coeficiente presente no arquivo metadados. O cálculo do NDVI se deu em conformidade com a Equação 2, utilizando as bandas do vermelho (ρ_V) e infravermelho próximo (ρ_{IV}), resultantes da reflectância corrigida. A resolução e o comprimento de onda de cada banda é demonstrado na Tabela 2.

$$NDVI = \frac{(\rho_V - \rho_{IV})}{(\rho_V + \rho_{IV})} \quad (2)$$

Tabela 2 - Banda, resolução e comprimento de onda do sensor do Sentinel.

Banda	Resolução (m)	Comprimento de onda (nm)
2 (azul)	10	458-523
3 (verde)	10	543-578
4 (vermelho)	10	650-680
8 (NIR)	10	785-900
8A (NIR)	20	855-875
11 (SWIR-1)	20	1565-1655
12 (SWIR-2)	20	2100-2280

Fonte: Adaptado de Zhang *et al.* (2018).

3.2.3 Processamento Landsat 8 – Temperatura de superfície

O processamento das imagens Landsat 8 OLI se deu em conformidade com Silva *et al.* (2016) e Ruhoff *et al.* (2015), para conversão dos valores quantizados e calibrados (ND) do sistema sensor Landsat 8 OLI para reflectância espectral, utilizou-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens. Para a radiância espectral do sensor de abertura utilizou-se a Equação 3.

$$L_\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (3)$$

Em que L_λ corresponde à radiância espectral do sensor de abertura em Watts ($m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$), ML corresponde ao fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 com valor de 3,3420E-04, AL corresponde ao fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 com valor de 0,10000, e corresponde ao valor quantizado calibrado pelo *pixel* em DN.

Para a reflectância planetária no topo da atmosfera (ρ_λ), corrigida em função do ângulo solar e da distância astronômica Terra-Sol (d) foi usada a Equação 4.

$$\rho\lambda = \frac{Mp * Qcal + Ap}{\cos(\theta sz) \frac{1}{d^2}} \quad (4)$$

Onde: Mp corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda com valor de 2,00E-05, (disponível nos metadados da imagem), Qcal o número digital para cada pixel e Ap corresponde ao fator aditivo de reescalonamento para cada banda, com valor de -1,00E-01, (disponível nos metadados da imagem). Em que $\rho\lambda$ corresponde a reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida, θ_{se} corresponde ao ângulo de elevação solar (disponível nos metadados da imagem) e θ_{sz} corresponde ao ângulo zenital solar local (calculado a partir de $\theta_{sz} = 90^\circ - \theta_{se}$).

O cálculo do NDVI se deu em conformidade com a Equação 5, utilizando as bandas do vermelho (ρ_V) e infravermelho próximo (ρ_{IV}), resultantes da reflectância corrigida.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

Para calcular o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) utilizou-se a Equação 6, em que L é uma constante para o SAVI, apresentada frequentemente na literatura com um valor de 0,5.

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (6)$$

O Índice de Área Foliar (IAF), é a razão entre a área total de todas as folhas de uma planta e a área do solo representado pela planta, se deu em conformidade com a Equação 7.

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (7)$$

Para IAF com valores menores do 3, a emissividade da superfície é calculada a partir da Equação 8, de Allen *et al* (2002):

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 * IAF \quad (8)$$

Em que ε_{NB} corresponde à emissividade representando o comportamento da superfície para emissão térmica na faixa relativamente estreita do Landsat (10,4 a 12,5 μm). Em caso contrário, o valor de ε_{NB} é de 0,98.

O cálculo da Temperatura da Superfície (TS) se deu em conformidade com a Equação 9, utilizando a emissividade, representando o comportamento da superfície para emissão térmica na faixa relativamente estreita, a radiância espectral da superfície, e as constantes de calibração.

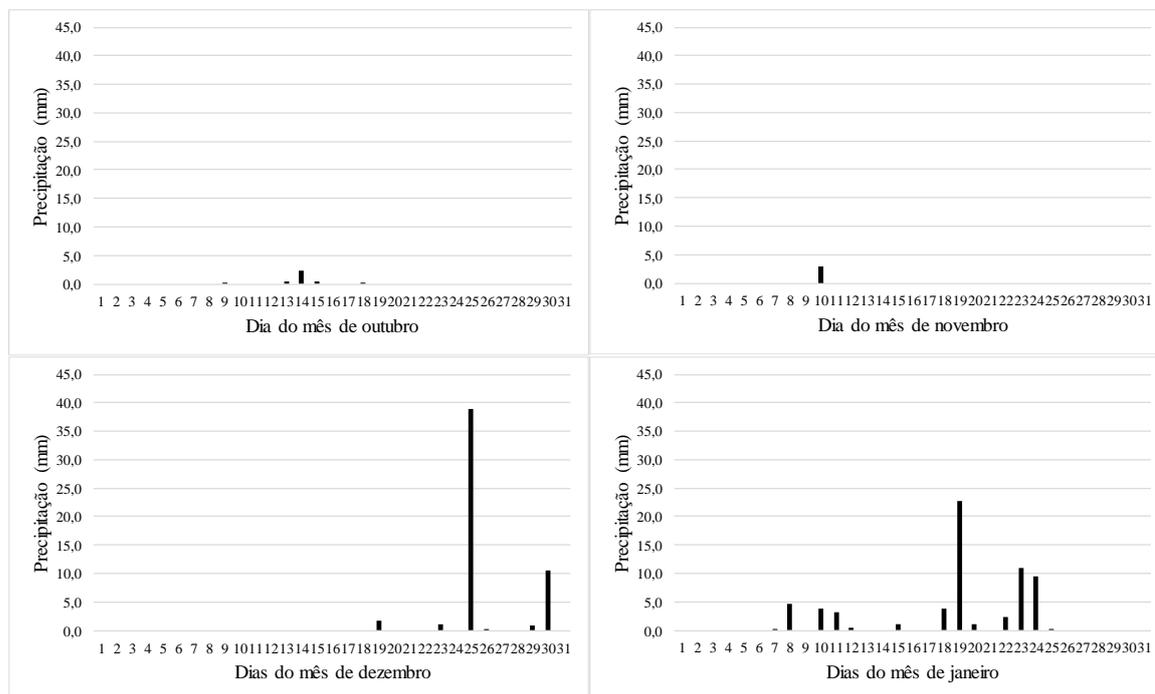
$$TS = \frac{K2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} * K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (9)$$

Em que $L\lambda$ corresponde à radiância espectral do sensor de abertura em Watts ($\text{m}^2 \text{sr} \mu\text{m}$), $K1$ corresponde a constante de calibração 1 valor de 774,89 (K), $K2$ corresponde à constante de calibração 2 valor de 1321,08 (K), e TS corresponde à temperatura efetiva do satélite em Kelvin (K).

3.3 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Para a identificação dos índices pluviométricos da região de estudo, e classificação dos dias onde ocorreram eventos chuvosos e maior probabilidade de ocorrência de menores temperaturas, utilizou-se o banco de dados obtido pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APCAC) referentes ao posto 24, situado no município de Caruaru (IPA) – PE, e ao posto 484, situado no município de Caruaru no Posto de coleta de dados (PCD) – PE. Foram estudados os dados pluviométricos médios mensais do ano de 2015, referente aos meses de outubro, novembro e dezembro, e do ano de 2016, referente ao mês de janeiro. Utilizaram-se os dados pluviométricos mensais para a elaboração de gráficos de coluna, que demonstram a variação da precipitação com a variação do tempo, evidenciado na Figura 7.

Figura 7 - Precipitação pluviométrica em Caruaru, nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2015, e no mês de janeiro de 2016.



Fonte: A Autora (2019).

Para os meses de outubro e novembro do ano de 2015 o posto 24 apresentou falhas nos dados coletados, sendo realizada a análise com os dados referentes ao posto 484 (PCD), e para os meses de dezembro de 2015 e janeiro de 2016, o posto 484, apresentou falhas nos dados coletados, sendo realizada a análise com os dados referentes ao posto 24 (IPA).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados externos de temperatura, foram coletados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e são mostrados no Apêndice B deste documento. Os dados foram obtidos por meio da rede de estações meteorológicas automáticas (SANTOS, 2016). Foi utilizado o software de análise estatística STATISTICA versão 7, para a confecção, através da ferramenta “Graphs”, de gráficos *Box Plots*, com o intuito de avaliar, e selecionar os dias de maior temperatura e menor temperatura de cada mês.

Foram selecionados os dias de maior e menor amplitude de variação da temperatura externa de cada mês, com base na análise dos *Box Plots* e nos dias que apresentaram as máximas e mínimas temperaturas diárias em cada mês. Na Tabela 3, estão indicados os dias escolhidos e os critérios abordados:

Tabela 3 – Dias selecionados para estudo.

DATA	CRITÉRIO
29/10/2015	Dia de maior amplitude de variação da temperatura externa (14,2 °C) no mês de outubro.
26/11/2015	Dia de máxima temperatura externa (35,0 °C) do mês de novembro.
18/12/2015	Dia de menor amplitude de variação da temperatura externa (4,1 °C) no mês de dezembro.
01/01/2016	Dia de mínima temperatura externa (19,0 °C) do mês de janeiro.

Fonte: A Autora (2019).

Dados de temperatura ambiente coletados pelos *dataloggers* localizados nas paredes e nos tetos dos protótipos, dos dias previamente selecionadas, para a confecção de gráficos estatísticos de linhas (2D - *Line Plots*), selecionou-se os dados dos sensores localizados nas paredes dos protótipos e confeccionou-se os gráficos com as médias dos dados entre os sensores, realizou-se 4 médias diferentes, entre os sensores P1 e P2, P1 e P3, P2 e P3, e P1 P2 e P3, com a finalidade de se obter o melhor parâmetro de comparação entre as unidades experimentais.

Com base nos resultados obtidos nos gráficos gerados, foi utilizado o software estatístico e matemático EXCEL versão 2016, para a confecção de tabelas identificando os horários de temperatura ambiente de máxima e mínima nos telhados verdes, e obtenção das variações de temperatura entre os telhados verdes e o telhado convencional, com base na Equação 10.

$$\Delta t_{máx}^{mín} = temp_{convencional} - temp_{telhado\ verde} \quad (10)$$

Em que $temp_{convencional}$ é a temperatura ambiente do telhado convencional e $temp_{telhado\ verde}$ é a temperaturas nos telhados verdes.

Utilizou-se a tabela ANOVA fator único do *software* Excel versão 2016, na aba Dados e análise de dados da barra de ferramentas. Para a utilização desta análise é necessário a escolha do valor da significância a ser utilizada na comparação estatística, foi adotado o valor de 0,05. Realizou-se a comparação entre os telhados verdes e o telhado convencional, sendo processada uma comparação para cada sensor utilizado, e para os dados obtidos com o cálculo da média da temperatura ambiente entre os sensores localizados nas paredes. Com a finalidade de identificar as possíveis interferências ocasionadas nas células-teste pela localização dos sensores. Foram

geradas tabelas com os valores das análises para a verificação da veracidade da hipótese de semelhança dos sistemas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abordou-se os resultados e discussões em dois principais subtópicos: Sensoriamento Remoto, e Análise estatística.

4.1 SENSORIAMENTO REMOTO

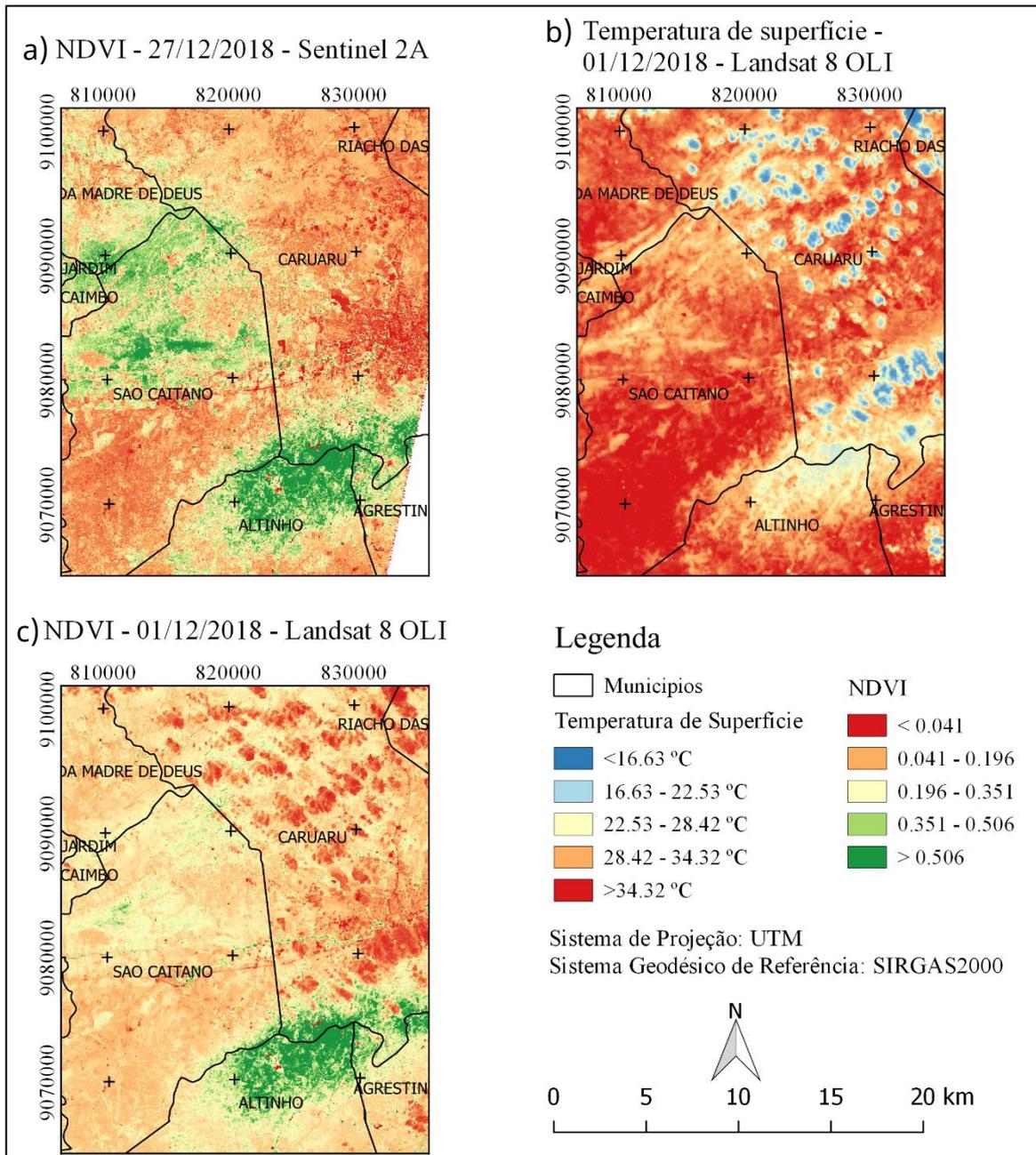
A aplicação do Sensoriamento Remoto permitiu a caracterização da cobertura vegetal da região de Caruaru a partir do processamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, e a concepção dos mapas de Temperatura da Superfície da região, possibilitou a identificação da correlação entre a cobertura vegetal e temperatura encontrada, permitindo a amplificação do estudo da temperatura na região do município de Caruaru.

De acordo com Chouhan e Rao (2011), para o NDVI, valores abaixo de 0,1 correspondem a áreas estéreis de rocha ou areia, valores no intervalo de 0,2 a 0,3 representam arbustos e pastagens, e valores no intervalo de 0,6 a 0,8 indicam florestas ou vegetação mais densa.

Evidenciou-se que o NDVI da região de estudo observado na Figura 8, apresentou em sua predominância valores na classe entre 0,041 a 0,196; caracterizando uma vegetação estressada e com áreas secas, entretanto foi possível observar duas áreas com a presença de vegetação, localizadas a oeste do Município de Caruaru, situada no município de São Caetano, e a segunda ao Sul do município de Caruaru, em Barra do Jardim, sendo identificadas pela classe de NDVI caracterizada por valores acima de 0,351, característica de regiões com maior presença de áreas irrigadas.

Nas regiões onde há a presença de vegetação, representadas pela classificação do NDVI com valores acima de 0,351, observou-se que a temperatura de superfície apresentou valores mais baixos (entre 22,53 °C e 28,42 °C), em comparação as regiões em que foram identificadas uma vegetação estressada e áreas estéreis, apresentando uma temperatura de superfície elevada, no intervalo entre 28,42 °C e 34,32 °C, e predominantemente na classe de Temperatura da Superfície acima de 34,32 °C.

Figura 8 - NDVI (Sentinel 2A), NDVI (Landsat 8 OLI), e Temperatura da superfície (Landsat 8 OLI).



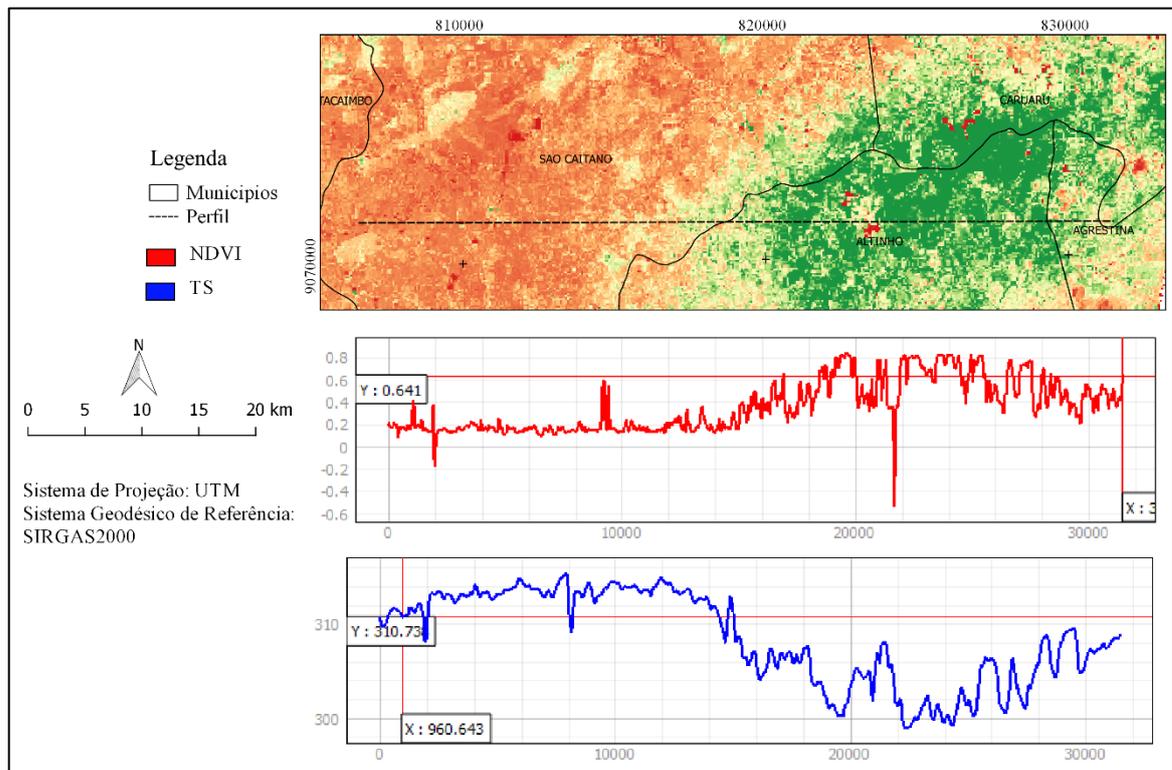
Fonte: A Autora (2019).

Realizou-se a comparação entre os Índices de Vegetação Normalizada processados para os dois satélites (Sentinel 2a e OLI Landsat 8), concluindo-se que há similaridade entre os dados obtidos nas duas imagens, apesar da melhor resolução apresentada pela imagem do Sentinel 2a, permitir uma melhor caracterização das regiões com presença de vegetação irrigada. Bezerra *et al.* (2018), realizaram um estudo na região do semiárido de Pernambuco para a comparação dos dados orbitais pelo processamento de imagens utilizando OLI Landsat 8 e o MSI Sentinel 2, no

mesmo período temporal, foi constatado que os valores obtidos do NDVI são correspondentes para os dois satélites no mesmo período de tempo.

Observou-se a ocorrência de pontos divergentes da vegetação da região, apresentando valores baixos para o NDVI, menores do que 0,041, e baixas temperaturas de superfície, com valores abaixo de 16,63°C, caracterizando a presença de nuvens na imagem processada, não sendo recomendável a utilização de imagens com grande presença de nuvens, entretanto não foi possível a obtenção de uma imagem mais limpa para a data e dia em estudo, sendo necessária a utilização destas imagens, porém só foi possível a utilização, pois os resultados não foram prejudicados pelas nuvens apresentadas.

Figura 9 – Perfil do NDVI (Sentinel 2A) e da Temperatura da Superfície (Landsat 8 OLI).



Fonte: A Autora (2019).

Na Figura 9, observou-se o perfil do NDVI apresentando a variação do valor do índice entre a região de cobertura vegetal estressada e a região de Barra do Jardim, evidenciou-se que há um aumento expressivo no valor do NDVI na região com presença de vegetação, a comparação com o perfil da Temperatura de Superfície, contribui para a comprovação da veracidade da premissa anteriormente citada de que em regiões caracterizadas por uma

cobertura vegetal seca, evidencia-se maiores valores de TS, no entanto a região de Barra do Jardim apresentou uma redução no valor da Temperatura de Superfície.

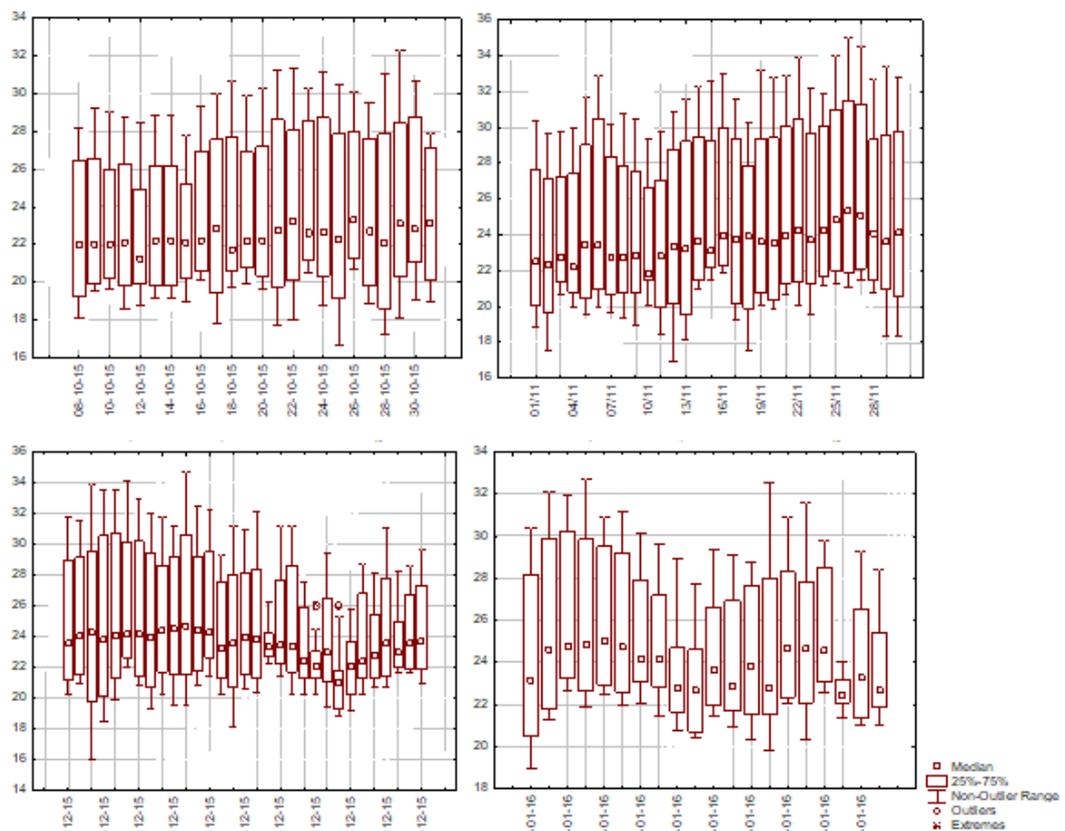
Concluiu-se que uma das soluções para minimizar o fenômeno de ilhas de calor é a utilização de vegetação como telhado verde, por se tratar de uma alternativa usada para diminuir a temperatura do microclima local e do conforto térmico nas residências (BINS *et al.*, 2012).

Observou-se que em sua predominância, a região do município de Caruaru apresenta vegetação seca e estressada, conseqüentemente apresentando altas temperaturas de superfície, sendo necessária a utilização de tecnologias que alterem o microclima e amenizem os efeitos ocasionadas pela ausência de vegetação densa e arbustiva, sendo os telhados verdes de grande relevância para a solução dos problemas encontrados.

4.2 ANÁLISE ESTÁTISTICA

Observa-se na Figura 10 os gráficos *Box Plots* gerados para os 4 meses de estudo, demonstrando a variação entre a temperatura externa em cada dia do mês, a temperatura média diária e as temperaturas de pico.

Figura 10 - *Box Plot* dos dados de temperatura ambiente externa dos meses de outubro, novembro e dezembro de 2015, e no mês de janeiro de 2016, respectivamente.



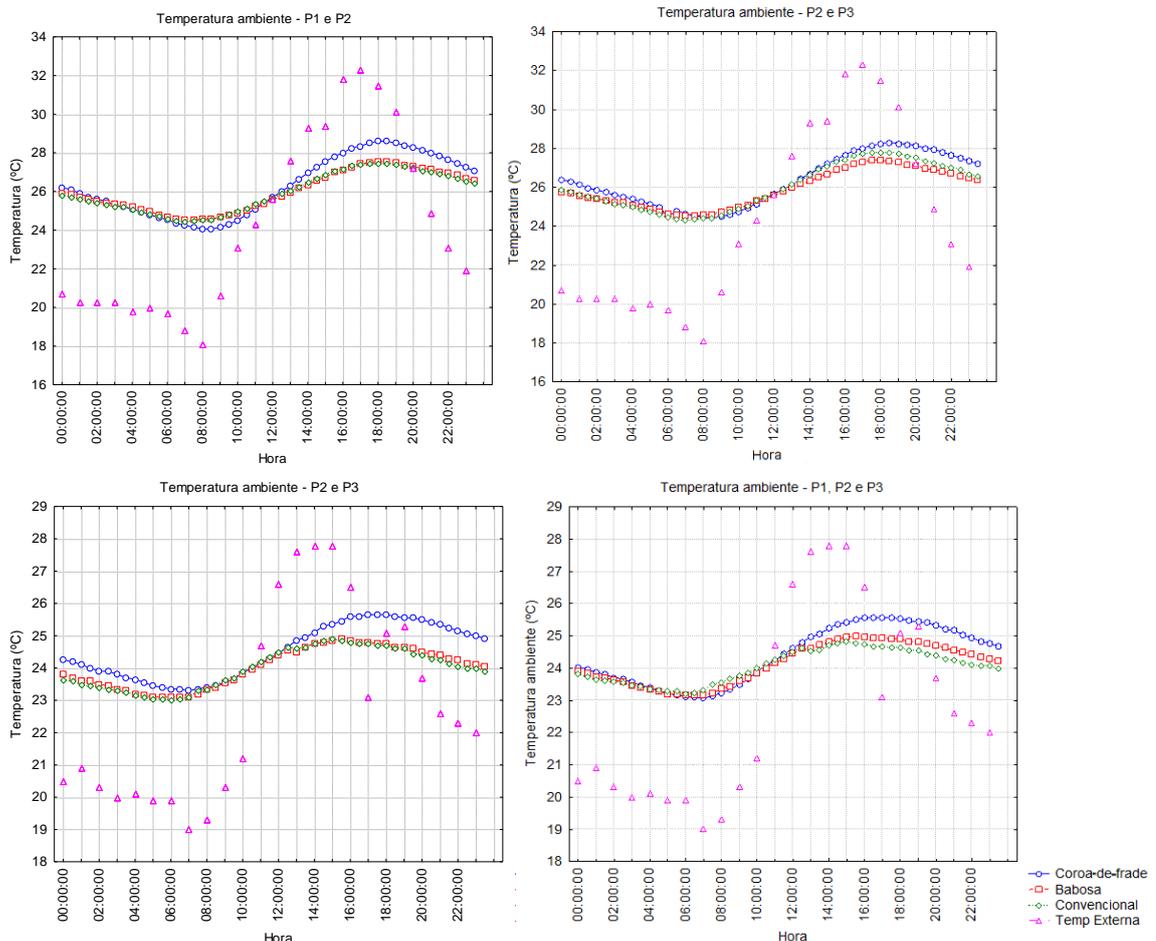
Fonte: A Autora (2019).

- Dia mais quente e de maior amplitude do mês de Outubro de 2015 – 29/10

Segundo Carvalho (2018), a diferença entre as temperaturas internas e externas também são importantes na avaliação do potencial de isolamento térmico de coberturas vegetais.

Evidenciou-se na Figura 11 que entre os dias analisados, os dados de temperatura ambiente interna dos protótipos de telhados verdes demonstraram-se semelhantes, apresentando os comportamentos esperados para cada sistema de telhado utilizado. Os gráficos demonstraram uma oscilação no comportamento dos telhados verdes para cada média realizada, sendo justificado pela interferência ocasionada nos de telhados verdes por possuírem paredes em comum, interferindo de maneira direta na temperatura registrada pelos sensores localizados nesta posição, e em segunda hipótese pelo corredor localizado na parte frontal dos protótipos, favorecendo para a interferência na temperatura ambiente de cada célula-teste.

Figura 11 - Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados nas paredes no mês de outubro.



Fonte: A Autora (2019).

Nas Figuras foi observado que os dados da unidade com cobertura composta por vegetação Coroa-de-Frade, possuem valores maiores que os das outras unidades, apresentando uma temperatura máxima acima de 28 °C, entretanto ocorreu um retardo no tempo de ocorrência dos picos de temperatura, valores mínimos e máximos. O protótipo com cobertura com vegetação de Babosa e convencional apresentam valores similares, com uma temperatura máxima próxima a 28 °C, sendo evidenciado que na maioria dos casos a Babosa apresenta menores valores para as temperaturas máximas e maiores valores para as temperaturas mínimas, ou seja, menor amplitude de oscilação diária, corroborando para a comprovação da eficácia de sua aplicação, e que a variação de temperatura máxima entre os telhados verdes é de aproximadamente 1°C para os dados dos sensores localizados nas paredes da unidade experimental.

Em seu estudo, Panziera *et al.* (2015), concluíram que um ambiente com um telhado verde instalado apresentou temperaturas 3 graus inferiores a um ambiente com um telhado convencional quando a temperatura externa estava acima de 30 graus

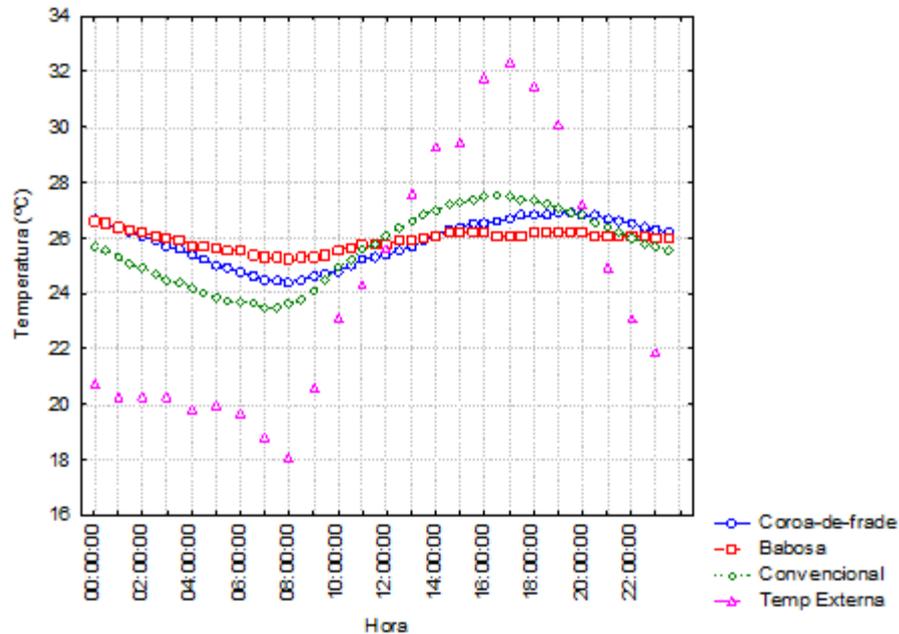
Com a finalidade de melhor observação dos resultados obtidos, escolheu-se um dia de cada mês analisado de maneira amostral aos resultados discutidos neste trabalho, foi possível a observação de uma amplitude de variação média de 4 °C, entre a temperatura externa e a temperatura ambiente das unidades experimentais.

Carvalho (2018) conclui, em seu estudo, que em manhãs com alta temperatura externa, chegando a 24,5 °C, como no caso do dia 23 de setembro, a temperatura interna chega a 32 °C no protótipo sem telhado verde. Em contrapartida, os protótipos que possuem a cobertura vegetal, mantém a temperatura em torno de 24 °C.

A Figura 12 apresenta os dados de temperatura dos sensores localizados no teto dos protótipos. O telhado convencional apresenta os maiores valores de temperatura máxima e os menores valores de temperatura mínima, ou seja, a maior amplitude.

O telhado de Babosa apresenta a menor amplitude de oscilação de temperatura diária, apresentando a menor temperatura máxima e maior temperatura mínima, e o protótipo com Coroa-de-Frade apresenta uma amplitude intermediária em comparação às outras unidades, entretanto apresentando um tempo de retardo de ocorrência das temperaturas de pico. Observa-se que a maior proximidade do sensor da cobertura utilizada, demonstra de forma mais evidente o efeito do sistema de cobertura aplicado, sendo amenizado esse efeito ao longo da unidade provavelmente devido as interferências externas laterais ao protótipo.

Figura 12 - Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados no teto no mês de outubro.



Fonte: A Autora (2019).

Com o intuito de visualizar o retardo na cobertura com Coroa-de-Frade e a menor oscilação apresentada pela cobertura com Babosa, construiu-se as Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Dados dos sensores P2 e P3 localizados nas paredes no dia 29/10/15.

	Horário de Pico	Temp. (°C)	ΔT	Horário de Pico	Temp. (°C)	ΔT
Coroa-de-Frade	08:00:00	24,4	-0,9	19:30:00	26,9	0,6
Babosa	08:00:00	25,2	-1,7	00:00:00	26,6	0,9
Convencional	07:00:00	23,5	0	16:00:00	27,5	0
Temp. Externa	08:00:00	18,1		17:00:00	32,3	

Fonte: A Autora (2019).

Em que Temp, é a temperatura e ΔT é a variação de temperatura em °C.

Evidenciou-se na Tabela 4, que o protótipo com vegetação de Babosa apresenta uma temperatura de 1,7°C maior do que o telhado convencional, com relação a temperatura mínima diária, amortizando o efeito de redução da temperatura externa, no interior do ambiente.

Na Tabela 5 observou-se que o protótipo de Coroa-de-Frade, atinge as temperaturas máximas e mínimas diárias com um retardo de uma hora, quando comparado com os outros protótipos.

Tabela 5 - Dados do sensor localizado no teto no dia 29/10/15, caracterizado como dia mais quente e de maior amplitude de outubro.

	Horário de Pico	Temp. (°C)	Horário de Pico	Temp. (°C)
Cora-de-Frade	08:00:00	24,45	18:30:00	28,3
Babosa	07:00:00	24,55	17:30:00	27,4
Convencional	07:00:00	24,3	17:30:00	27,8
Temp. Externa	08:00:00	18,1	17:00:00	32,3

Fonte: A Autora (2019).

Em que Temp, é a temperatura em °C.

A análise da tabela ANOVA indica a semelhança ou diferença entre os diferentes conjuntos de dados estudados, realizou-se a análise para uma melhor compreensão telhados verdes com diferentes tipos de cobertura vegetal, com o objetivo de observar a ocorrência de semelhança entre os efeitos das coberturas vegetais. A análise se baseia na comparação do F observado, F crítico, valor-P, e significância (0,05) adotados no cálculo.

Evidenciou-se na Tabelas 6, que o F observado apresentou um valor menor que o F crítico, e o valor-P apresentou um valor maior que a significância adotada indicando que há semelhança entre os sistemas de telhados verdes analisados no dia 29/10/15.

Tabela 6 – Resumo da Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna dia 29/10/15.

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>Média</i>	<i>Teto</i>
<i>F</i>	0,714665	1,383976	0,224106	1,260553	1,333127
<i>Valor-P</i>	0,49112	0,253963	0,799514	0,286672	0,266954
<i>F crítico</i>	3,060292	3,060292	3,060292	3,060292	3,060292

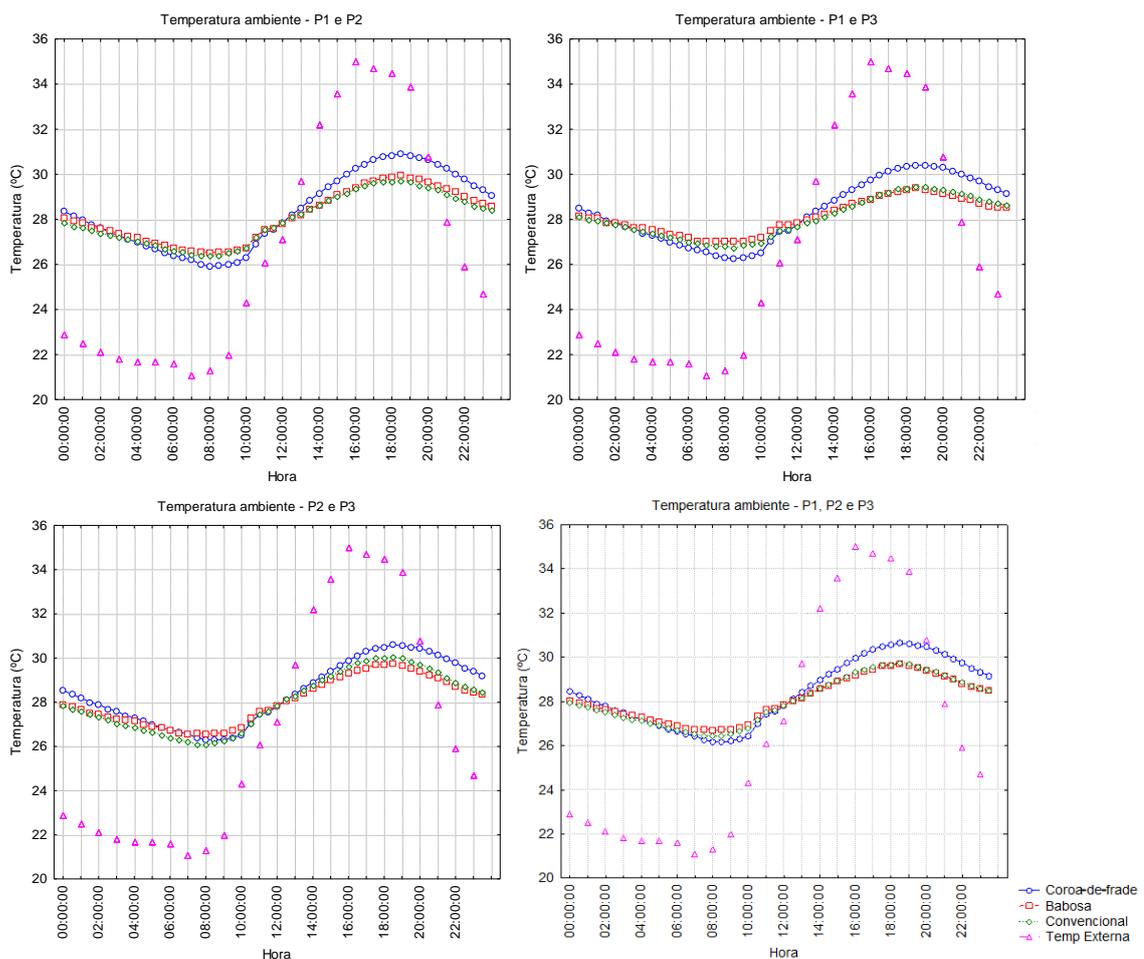
Fonte: A Autora (2019).

- Dia mais quente de Novembro (Mês de menor precipitação) de 2015 – 26/11

A Figura 13, demonstrou que os telhados verdes apresentaram o mesmo comportamento para os sensores localizados nas paredes da unidade experimental, que o observado no dia 29

de outubro de 2015, entretanto apresentando valores mais elevados de temperaturas máximas diárias. Foi possível a observação que para a menor amplitude de variação, os telhados verdes apresentaram uma redução de 4 °C da temperatura máxima diária, amenizando o efeito de calor no interior dos protótipos.

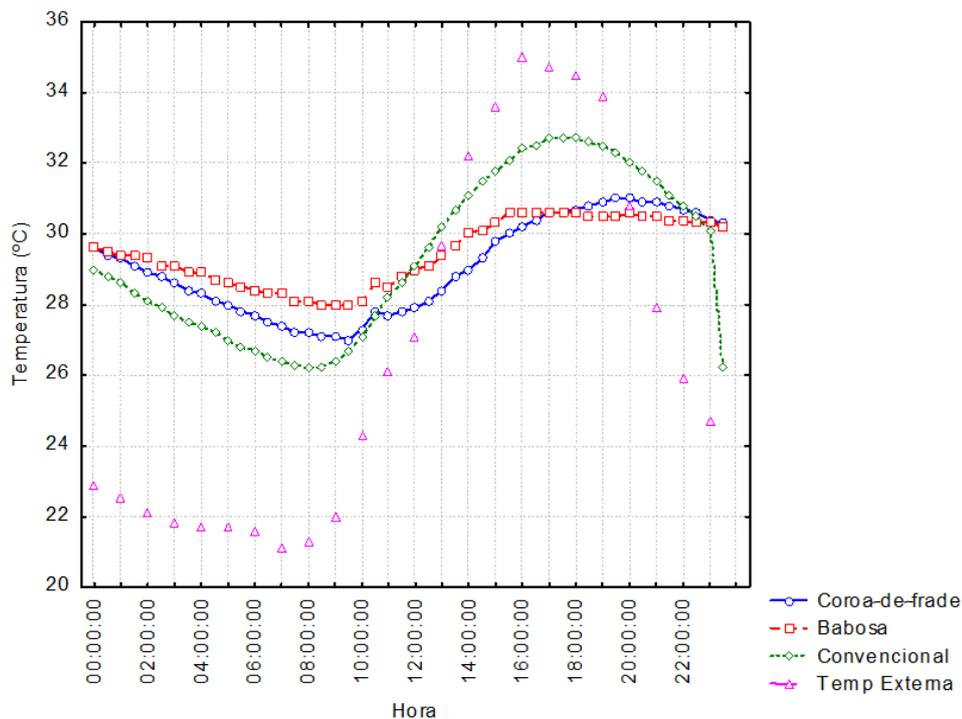
Figura 13 - Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados nas paredes no mês de novembro.



Fonte: A Autora (2019).

A Figura 14, evidenciou o mesmo comportamento dos telhados verdes que o observado no mês de outubro, entretanto para o mês de novembro o telhado convencional apresentou uma redução média de 2°C da temperatura máxima diária, em comparação com os telhados verdes que apresentaram uma redução média de 4°C.

Figura 14 - Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados no teto no mês de novembro.



Fonte: A Autora (2019).

A Tabela 7, evidencia o mesmo comportamento observado pelo telhado de Coroa-de-Frade no mês de outubro, entretanto, em comparação com a unidade convencional o retardo observado foi de 30 minutos.

Tabela 7 - Dados dos sensores P2 e P3 localizados nas paredes no dia 26/11/15.

	Horário de Pico	Temp. (°C)	Horário de Pico	Temp. (°C)
Coroa-de-Frade	08:00:00	26,3	17:00:00	30,6
Babosa	07:00:00	26,55	15:30:00	29,75
Convencional	07:30:00	26,1	15:00:00	30,05
Temp. Externa	07:00:00	21,1	16:00:00	35,0

Fonte: A Autora (2019).

Em que Temp, é a temperatura em °C.

Evidenciou-se, na Tabela 8, que o telhado de Babosa, apresenta uma temperatura máxima diária, 2,1 °C menor do que a temperatura do telhado convencional, aumentando o conforto térmico no interior dessa unidade.

Tabela 8 - Dados do sensor localizado no teto no dia 29/10/15, caracterizado como dia mais quente de novembro.

	Horário de Pico	Temp. (°C)	ΔT	Horário de Pico	Temp. (°C)	ΔT
Cora de Frade	09:30:00	27	-0,8	19:30:00	31	1,7
Babosa	08:30:00	28	-1,8	15:30:00	30,6	2,1
Convencional	08:00:00	26,2	0	17:00:00	32,7	0
Temp. Externa	07:00:00	21,1		16:00:00	35	

Fonte: A Autora (2019).

Em que Temp, é a temperatura e ΔT é a variação de temperatura em °C.

Tabela 9 – Resumo da Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna dia 26/11/15.

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>Média</i>	<i>Teto</i>
<i>F</i>	0,678131	1,162772	1,781966	1,074555	0,718242
<i>Valor-P</i>	0,509212	0,315598	0,172076	0,344229	0,489384
<i>F crítico</i>	3,060292	3,060292	3,060292	3,060292	3,060292

Fonte: A Autora (2019).

Observou-se na Tabela 9 que o F observado apresentou um valor menor que o F crítico, e o valor-P apresentou um valor maior que a significância adotada (0,05) indicando que há semelhança entre os sistemas de telhados verdes estudados no dia 26/11/15, apesar de possuírem coberturas vegetais distintas.

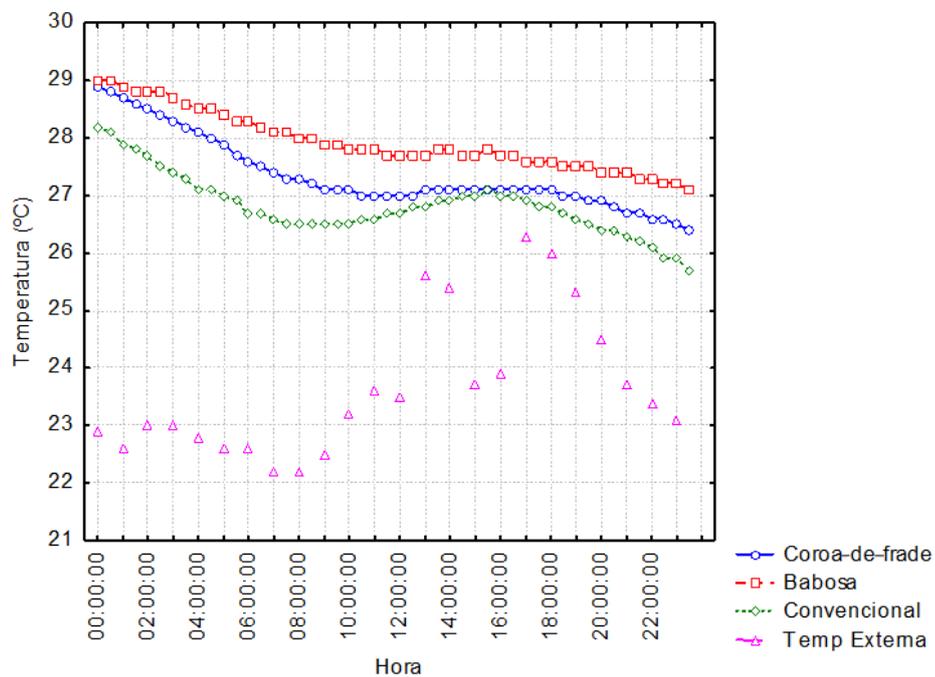
- Dia de menor amplitude de Dezembro de 2015 – 18/12

A água promove, por utilizar a energia para mudança de seu estado físico, o resfriamento da superfície do material de cobertura e, em contrapartida, reduz a transmissão de energia para o interior do abrigo, com atenuação da temperatura do ar (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Em relação as temperaturas internas dos protótipos para análise do conforto térmico, duas principais situações são válidas a se observar: primeiro em relação ao calor interno excessivo provocado pela radiação solar (principalmente nos horários mais quentes), e segundo em relação à todo o calor armazenado durante o dia que é emitido novamente ao ambiente, devido às diferenças de temperatura externa (CARVALHO, 2018).

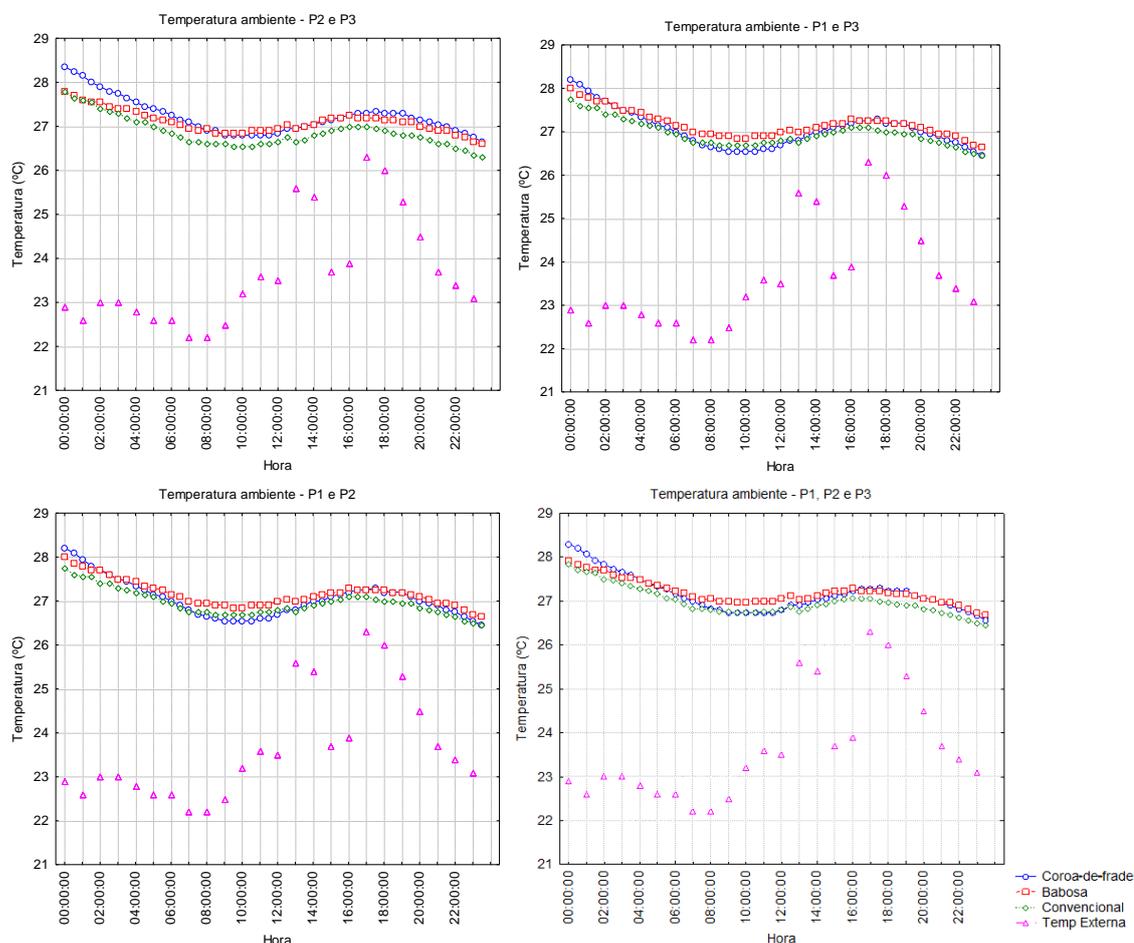
Evidenciou-se, nas Figuras 15 e 16 um comportamento anormal dos dados coletados neste dia, fato justificado pela ocorrência de precipitação no dia 19/12, ocasionando na diminuição da temperatura ambiente externa no dia 18/12 anteriormente a precipitação, entretanto o efeito foi amenizado pelos sistemas de cobertura que mantiveram a temperatura ambiente inicialmente elevada devido ao aquecimento das unidades ocorrido no dia anterior, porém é evidente a queda de temperatura ocorrida durante o dia no interior das unidades experimentais.

Figura 15- Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados no teto no mês de dezembro.



Fonte: A Autora (2019).

Figura 16 - Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados nas paredes no mês de dezembro.



Fonte: A Autora (2019).

O telhado verde mostrou-se a melhor alternativa em se tratando de desempenho térmico das edificações quando comparado às demais coberturas abordadas nesse estudo. Mesmo apresentando o maior custo para execução, foi verificado que o telhado verde contribui com a economia de energia uma vez que com seu uso diminui-se ou mesmo se extingue a utilização de aparelhos elétricos para condicionamento do ambiente interno. Outras características inerentes ao sistema de cobertura telhado verde também fazem com que este tipo de cobertura se sobressaísse às demais, tais como: paisagismo, melhoria da qualidade do ar e escoamento superficial (OLIVEIRA, SOARES e SANTOS, 2016).

Semelhantemente ao comportamento evidenciado no mês de novembro, a Tabela 10 demonstra que o telhado de Coroa-de-Frade apresenta um retardo de 30 minutos nos tempos de pico de temperatura, quando comparado com o telhado convencional, entretanto é possível observar que no dia analisado o telhado composto por Babosa, apresentou a menor temperatura diária no mês horário da temperatura externa.

Tabela 10 - Dados dos sensores P2 e P3 localizados nas paredes no dia 18/12/15.

	Horário de Pico	Temp. (°C)	Horário de Pico	Temp. (°C)
Coroa-de-Frade	08:00:00	26,15	19:30:00	30,45
Babosa	07:00:00	26,45	18:00:00	29,6
Convencional	07:30:00	26	18:00:00	29,95
Temp. Externa	07:00:00	22,2	17:00:00	26,3

Fonte: A Autora (2019).

Em que Temp, é a temperatura em °C.

Observou-se, na Tabela 11, que os protótipos de telhados verdes apresentaram temperaturas maiores que as temperaturas evidenciadas na unidade convencional, amortizando de forma mais eficiente e eficaz o efeito da queda brusca de temperatura externa ocorrida no dia de estudo.

Tabela 11 - Dados do sensor localizado no teto no dia 18/12/15, caracterizado como dia maior amplitude de dezembro.

	Horário de Pico	Temp. (°C)	ΔT	Horário de Pico	Temp. (°C)	ΔT
Coroa-de-Frade	23:30:00	26,4	-0,7	00:00:00	28,9	-0,7
Babosa	23:30:00	27,1	-1,4	00:00:00	29	-0,8
Convencional	23:30:00	25,7	0	00:00:00	28,2	0
Temp. Externa	07:00:00	22,2		17:00:00	26,3	

Fonte: A Autora (2019).

Em que Temp, é a temperatura e ΔT é a variação de temperatura em °C.

Tabela 12 – Resumo da Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna dia 18/12/15.

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>Média</i>	<i>Teto</i>
<i>F</i>	13,52651	13,17095	11,51984	5,516703	46,24624
<i>Valor-P</i>	4,23E-06	5,7E-06	2,32E-05	0,004935	3,6E-16
<i>F crítico</i>	3,060292	3,060292	3,060292	3,060292	3,060292

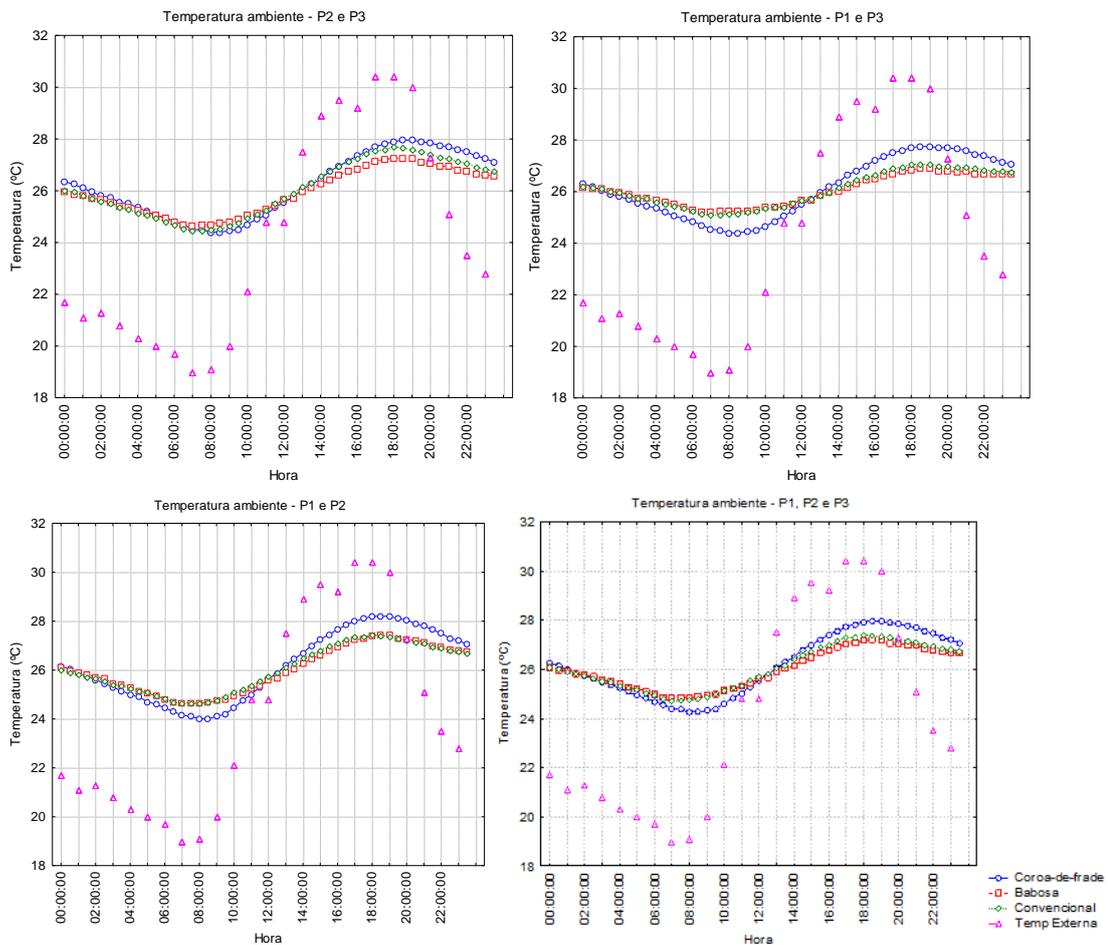
Fonte: A Autora (2019).

Na Tabela 12, observou-se que há diferença entre os protótipos da UETV., pois o F observado apresentou um valor maior que o F crítico, e o valor-P apresentou um valor menor que a significância adotada (0,05).

- Dia de mais frio de Janeiro (Mês de maior precipitação) de 2016 – 01/01

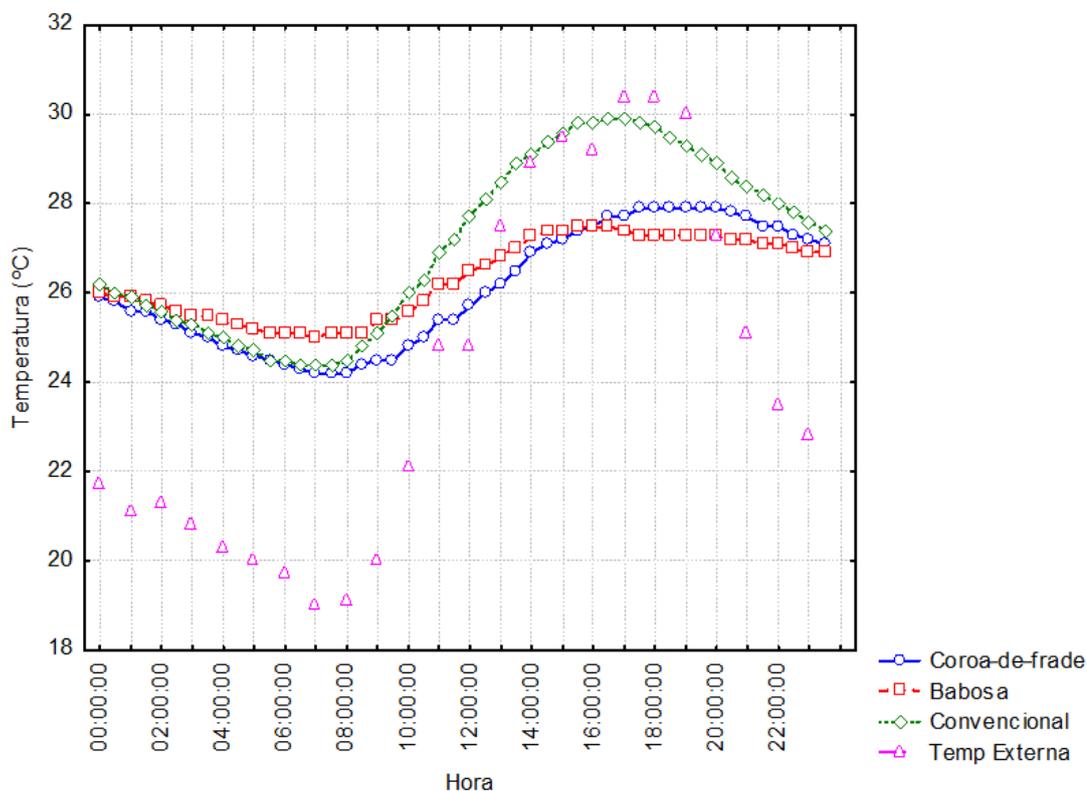
Observou-se nas Figuras 17 e 18, que o dia 01 de janeiro de 2016, apresentou os menores valores de temperatura diária mínima, fato ocasionado pelas precipitações pluviométricas ocorridas no mês de dezembro de 2015 e no mês da análise, visto que os eventos chuvosos ocasionaram uma queda da temperatura externa. As unidades experimentais apresentaram um potencial de amortização na queda de temperatura, evidenciando-se uma variação média de 5°C, entre a temperatura externa e a temperatura no interior dos protótipos.

Figura 17 - Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados nas paredes no mês de janeiro.



Fonte: A Autora (2019).

Figura 18 - Temperatura ambiente interno, registrado nos sensores localizados no teto no mês de janeiro.



Fonte: A Autora (2019).

Realizou-se a comparação dos dados observados nas Tabelas 13 e 14, e foi possível a observação de que para os sensores localizados nos tetos dos protótipos, a Coroa-de-Frade apresentou a menor amplitude de variação em relação a temperatura externa quando comparado com os dados obtidos dos sensores localizados nas paredes. Para o protótipo de Babosa, obteve-se uma maior amortização da temperatura máxima externa nos sensores localizados nos tetos, corroborando com as conclusões obtidas anteriormente.

Tabela 13 - Dados dos sensores P2 e P3 localizados nas paredes no dia 01/01/16.

	Horário de Pico	Temp. (°C)	Horário de Pico	Temp. (°C)
Coroa-de-Frade	08:00:00	24,4	18:30:00	27,95
Babosa	07:00:00	24,65	18:00:00	27,25
Convencional	07:00:00	24,45	18:00:00	27,7
Temp. Externa	07:00:00	19	17:00:00	30,4

Fonte: A Autora (2019).

Em que Temp, é a temperatura em °C.

Tabela 14 - Dados do sensor localizado no teto no dia 01/01/16, caracterizado como dia mais frio de janeiro.

	Horário de Pico	Temp. (°C)	□t	Horário de Pico	Temp. (°C)	□t
Cora-de-Frade	07:00:00	24,2	0,2	17:30:00	27,9	2
Babosa	06:30:00	25	-0,6	15:30:00	27,5	2,4
Convencional	06:30:00	24,4	0	16:30:00	29,9	0
Temp. Externa	07:00:00	19		17:00:00	30,4	

Fonte: A Autora (2019).

Em que Temp, é a temperatura e ΔT é a variação de temperatura em °C.

Tabela 15 – Resumo da Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna dia 01/01/16.

	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>Média</i>	<i>Teto</i>
<i>F</i>	0,016139	0,546208	0,765118	0,279061	6,150828
<i>Valor-P</i>	0,983992	0,580362	0,467201	0,756911	0,002747
<i>F crítico</i>	3,060292	3,060292	3,060292	3,060292	3,060292

Fonte: A Autora (2019).

Observou-se que a análise da tabela ANOVA indicou semelhança entre os protótipos para os sensores P1, P2, P3 e para a médias dos sensores, entretanto para o sensor do teto a análise indicou que há diferença entre os telhados, na Tabela 15. A Tabela 16 apresenta um resumo dos resultados obtidos.

Tabela 16 - Resumo dos resultados da Tabela ANOVA.

Dia	P1	P2	P3	Média	Teto
29/10/15	Semelhança	Semelhança	Semelhança	Semelhança	Semelhança
26/11/15	Semelhança	Semelhança	Semelhança	Semelhança	Semelhança
18/12/15	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença	Diferença
01/01/16	Semelhança	Semelhança	Semelhança	Semelhança	Diferença

Fonte: A Autora (2019).

5 CONCLUSÕES

O sensoriamento remoto mostrou-se como uma ferramenta eficiente e prática para o estudo da cobertura do solo. Nas regiões caracterizadas pelo menores valores de NDVI, áreas secas e estéreis, ocorreram valores na classe entre 0,041 a 0,196; com maiores temperaturas de superfície, predominantemente na classe de TS acima de 34,32 °C, enquanto que as regiões com valores de NDVI elevados (acima de 0,351), caracterizadas por áreas irrigadas, as temperaturas de superfície foram mais baixas (entre 22,53 °C e 28,42 °C), comprovando o efeito amortizador no clima provocado pela cobertura vegetal, corroborando para afirmação do emprego de telhados verdes na região do município de Caruaru como medida mitigadora.

O telhado convencional apresentou os maiores valores de temperatura máxima e os menores valores de temperatura mínima, e a maior amplitude, o telhado com Babosa apresentou a menor amplitude de oscilação de temperatura diária, com a menor temperatura máxima e maior temperatura mínima, o telhado com Coroa de Frade apresentou amplitude intermediária em comparação as outras unidades, entretanto com tempo de retardo de ocorrência das temperaturas de pico. Os telhados verdes apresentaram potencial de redução médio de 4 °C da temperatura máxima diária, enquanto que o telhado convencional apresentou uma redução média de 2°C da temperatura máxima diária.

Em dias de baixas temperaturas, os telhados verdes apresentaram uma amortização do efeito no interior do ambiente, resultando em variação média de 5°C, entre a temperatura externa e a temperatura no interior dos protótipos, e um retardo no tempo de redução da temperatura interna, com menor oscilação de temperaturas ao longo dos dias, portanto as análises realizadas demonstraram a eficiência de utilização dos sistemas de telhados verdes.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; WATERS, R.; TREZZA, R.; TASUMI, M.; BASTIAANSEN, W. **Sebal - surface energy balance algorithms for land: Idaho implementation: advance training and users manual**. Moscow: Idaho Department of Water Resources, 98p., 2002.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F.. **Ambiência em edificações rurais: Conforto animal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2010. 269p
- BEZERRA, U.A.; OLIVEIRA, L.M.M.; LEITE, A.C.S.; SALGUEIRO, J.H.P.B.. Análise de índices de umidade no entorno do reservatório de Itaparica – PE. *In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, 14, 2018, Maceió-AL. **Anais [...]**. Maceió-AL, 2018.
- 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: SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO: APRENDER E EMPREENDER NA EDUCAÇÃO E NA CIÊNCIA*, 16, 2012, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria, 2012.
- CARVALHO, G. C.. **Avaliação de sistemas de telhados verdes: análise térmica e hídrica nos diferentes sistemas cultivados com *Callisia Repens***. Dissertação de mestrado, programa de pós graduação em ciências ambientais, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba/ SP, Brasil, 117 p, 2018.
- CARNEIRO, T. A.; GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; L. NETO, J. P.; LOGES, V.; SOUZA, R. F. L.. Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 11: 1086–1092, 2015.
- CHOUHAN, R.; RAO, N.. Vegetation detection in multispectral remote sensing images: Protective role-analysis of vegetation in 2004 indian ocean tsunamis. **Geo-Information for disaster management, Turkey**. Disponível 2011 em: <<http://www.isprs.org/proceedings/2011/Gi4DM/PDF/OP37.pdf>>. Acesso: junho de 2019.
- CHEN, X. P. HUANG, P.; ZHOU, Z., X.; GAO, C.. A review of green roof performance towards management of roof runoff. **The journal of applied ecology**, v. 26, n. 8, p. 2581-2590, 2015.
- FARIAS, M.O.; CANDEIAS, A.L.B.; OLIVEIRA, L.M.M.; ALMEIDA, D.N.O.; JUNIOR, J.R.T.. Variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo por índices de vegetação e água no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**. Recife, v. 7, n. 3, p. 091 – 099, 2017.
- FEITOSA, S., M., R.; GOMES, J., M., A.; M., NETO, J., M.; ANDRADE, C., S., P.. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina – Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (REVSBAU)**, Piracicaba – SP, v.6, n.2, p.58-75, 2011.
- GORDON, L.J.; STEFFEN, W.; JÖNSSON, B.F.; FOLKE, C.; FALKENMARK, M.; JOHANNESSEN, Å.. Human modification of global water vapor flows from the land surface. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 21, p. 7612-7617. 2005.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X. & FERREIRA, L.G.. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, 83(1):195–213.2002.

IMRAN, H. M.; KALA, J.; NG, A. W. M.; MUTHUKUMARAN, S.. Effectiveness of green and cool roofs in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne in southeast Australia. **Journal of Cleaner Production**, 197: 393-405, 2018.

JIMÉNEZ, E. I. T.; CASTREJÓN, A. F.; SÁNCHEZ, M. Z.. Criteria for selection of plant species for its deployment in thermally efficient architectural green roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: methodological guidelines. **Energy Procedia**, 57: 1798– 1807, 2013.

LI, X., X.; NORFORD, L., K. Evaluation of cool roof and vegetations in mitigating urban heat island in a tropical city Singapore. *Urban Clim.*, v.16, p. 59–74, 2016.

OLIVEIRA, P., L.; SOARES, R., G.; SANTOS, S., X.. Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas. **Revista Petra**. v2, n1, 36 – 55 p, 2016.

PANZIERA, A., G.; CALIL, V., S.; AMARAL, F., D.; SWAROWAKY, A.. **Desempenho de diferentes tipos de telhado verde no conforto térmico urbano na cidade de Santa Maria, RS**. *Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas*, v. 16, n. 3, p. 445-457, 2015.

PONZONI, F.J.. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica**. São José dos Campos: INPE, 2002 8-8p.

QGIS USER GUIDE RELEASE 2.8. Disponível 2019 em: <https://docs.qgis.org/2.8/pdf/en/QGIS-2.8-UserGuide-en.pdf>. Acesso: 01 de novembro 2019.

RESENDE, M., R.; BERNUCCI, L., L., B.; QUINTANILHA, J., A.. Classificação híbrida: pixel a pixel e baseada em objetos para o monitoramento da condição da superfície dos pavimentos rodoviários. Curitiba – PR. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v18, n3, p 1982-2170, 2012.

RUHOFF, A. L.; SILVA, B. B.; ROCHA, H. R.. Determinação da irradiância solar no topo da atmosfera para cálculo do albedo e balanço de energia a partir de imagens LANDSAT 8 OLI. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR)*, 2015, João Pessoa-PB. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 4495-4502.

SANTOS, G. C.. **Desempenho térmico de telhados verdes no agreste pernambucano**. 2016. Dissertação de mestrado, programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru/PE, Brasil, 96 p, 2016.

SAVI, A. C.. **Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba**. 2015. Dissertação de mestrado, programa de pós-graduação em engenharia da construção civil da Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, Brasil, 200 p, 2015.

SHE, X.; ZHANG, L.; CEN, Y.; WU, T.; HUANG, C. & BAIG, M.H.A.. Comparison of the continuity of vegetation indices derived from Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ data among different vegetation types. **Remote Sensing**, 7(10): 13485-13506. 2015.

SILVA, B.B.; BRAGA, A.C.; OLIVEIRA, L.M.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; BARBOSA JUNIOR, B.. “Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p. 3 - 8. 2016.

SOTHE, C.; ALMEIDA, C.; LIESENBERG, V. & SCHIMALSKI, M.. Evaluating Sentinel-2 and Landsat-8 Data to Map Sucessional Forest Stages in a Subtropical Forest in Southern Brazil. *Remote Sensing*, 9(8): 838. 2017.

TUCKER, C.J.. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. ***Remote Sensing of Environment***, 8(2): 127–150. 1979.

ZHANG ,H. K.; ROY, D. P.; YAN, L.; LI, Z.; HUANG, H.; VERMOTE, E.; SKAKUN, S.; ROGER, J. C.. Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of atmosphere, surface, and nadir BRDF adjusted reflectance and NDVI diferences. ***Remote Sensing of Environment***, 215: 482-494. 2018.

ZHU, Z; WOODCOCK, C.E.. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. ***Remote Sensing of Environment***. 144: 152–171. 2014.

APÊNDICE A – DADOS DA ANOVA

Este Apêndice contém as Tabelas A.1, A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7, A.8, A.9, A.10, A.11, A.12, A.13, A.14, A.15, A.16, A.17, A.18, A.19, e A.20, se referem aos dados internos obtidos nesta pesquisa, utilizando a análise de variância.

Tabela A.1 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P1, dia 29/10/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,52	2	0,76	0,714665	0,49112	3,060292
Dentro dos grupos	149,9444	141	1,063435			
Total	151,4644	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.2 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P2, dia 29/10/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	5,961667	2	2,980833	1,383976	0,253963	3,060292
Dentro dos grupos	303,6883	141	2,153818			
Total	309,65	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.3 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P3, dia 29/10/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,52875	2	1,264375	0,224106	0,799514	3,060292
Dentro dos grupos	795,5013	141	5,641853			
Total	798,03	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.4 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, média dos sensores (P1, P2 e P3), dia 29/10/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,123985	2	1,561993	1,260553	0,286672	3,060292
Dentro dos grupos	174,7177	141	1,239132			
Total	177,8417	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.5 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor do teto, dia 29/10/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,305139	2	1,152569	1,333127	0,266954	3,060292
Dentro dos grupos	121,9031	141	0,864561			
Total	124,2083	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.6 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P1, dia 26/11/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,767917	2	0,883958	0,678131	0,509212	3,060292
Dentro dos grupos	183,7965	141	1,303521			
Total	185,5644	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.7 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P2, dia 26/11/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	6,003472	2	3,001736	1,162772	0,315598	3,060292

Dentro dos grupos	363,9963	141	2,581534			
Total	369,9997	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.8 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P3, dia 26/11/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,670556	2	1,835278	1,781966	0,172076	3,060292
Dentro dos grupos	145,2183	141	1,029917			
Total	148,8889	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.9 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, média dos sensores (P1, P2 e P3), dia 26/11/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,259306	2	1,629653	1,074555	0,344229	3,060292
Dentro dos grupos	213,8384	141	1,516584			
Total	217,0977	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.10 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor do teto, dia 26/11/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,85875	2	1,929375	0,718242	0,489384	3,060292
Dentro dos grupos	378,7606	141	2,686246			
Total	382,6194	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.11 -Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P1, dia 18/12/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,269306	2	1,634653	13,52651	4,23E-06	3,060292
Dentro dos grupos	17,03958	141	0,120848			
Total	20,30889	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.12 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P2, dia 18/12/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,635556	2	1,817778	13,17095	5,7E-06	3,060292
Dentro dos grupos	19,46	141	0,138014			
Total	23,09556	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.13 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P3, dia 18/12/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,926667	2	1,463333	11,51984	2,32E-05	3,060292
Dentro dos grupos	17,91083	141	0,127027			
Total	20,8375	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.14 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, média dos sensores (P1, P2 e P3), dia 18/12/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,28338	2	0,64169	5,516703	0,004935	3,060292

Dentro dos grupos	16,40079	141	0,116318			
Total	17,68417	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.15 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor do teto dia 18/12/15.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	29,83347	2	14,91674	46,24624	3,6E-16	3,060292
Dentro dos grupos	45,47958	141	0,32255			
Total	75,31306	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.16 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P1, dia 01/01/16.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,028889	2	0,014444	0,016139	0,983992	3,060292
Dentro dos grupos	126,1927	141	0,894984			
Total	126,2216	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.17 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P2, dia 01/01/16.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,12375	2	1,061875	0,546208	0,580362	3,060292
Dentro dos grupos	274,1163	141	1,944087			
Total	276,24	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.18 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor P3, dia 01/01/16.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,947639	2	0,473819	0,765118	0,467201	3,060292
Dentro dos grupos	87,31792	141	0,619276			
Total	88,26556	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.19 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, , média dos sensores (P1, P2 e P3), dia 01/01/16.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,579275	2	0,289637	0,279061	0,756911	3,060292
Dentro dos grupos	146,3441	141	1,037901			
Total	146,9233	143				

Fonte: A Autora (2019).

Tabela A.20 - Tabela ANOVA, análise da temperatura ambiente interna, sensor do teto, dia 01/01/16.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	26,54764	2	13,27382	6,150828	0,002747	3,060292
Dentro dos grupos	304,2856	141	2,158054			
Total	330,8333	143				

Fonte: A Autora (2019).