



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANTONIO MARCOS COSSE FERNANDES**

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE  
TÉRMICA DE UMA PLACA DE GRAMADO VEGETAL (*ZOYSIA JAPONICA*) E  
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE TÉRMICA COMO TELHADO VERDE EM  
ESCALA PILOTO**

SÃO LUÍS

2018

**ANTONIO MARCOS COSSE FERNANDES**

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE  
TÉRMICA DE UMA PLACA DE GRAMADO VEGETAL (*ZOYSIA JAPONICA*) E  
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE TÉRMICA COMO TELHADO VERDE EM  
ESCALA PILOTO**

Projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Estadual do Maranhão, para o curso de graduação em Engenharia Mecânica, como requisito para a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso.

**Orientador:** Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho

SÃO LUÍS

2018

Fernandes, Antonio Marcos Cosse.

Determinação experimental do coeficiente de condutividade térmica de uma placa de gramado vegetal *Zoysia japônica* e avaliação da capacidade térmica como telhado verde em escala piloto / Antonio Marcos Cosse Fernandes. – São Luís, 2018.

56 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho.

1. Condutividade térmica. 2. Desempenho térmico. 3. Simulação computacional. I. Título.

CDU 621.315

**DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE  
TÉRMICA DE UMA PLACA DE GRAMADO VEGETAL (*ZOYSIA JAPÔNICA*) E  
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE TÉRMICA COMO TELHADO VERDE EM  
ESCALA PILOTO**

**ANTONIO MARCOS COSSE FERNANDES**

Monografia aprovada em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2018.

---

Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho.  
(Orientador)

---

Prof. Me. Lourival Coelho Paixão.  
(Membro da Banca Examinadora)

---

Prof. Me. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho.  
(Membro da Banca Examinadora)

*A minha família por seu grande esforço a fim de tornar  
essa conquista possível, aos meus tios e tias: Ivonete,  
Geovanio, Lourdes, Lívia, Natal e Celene que além do  
respeito estes dois possuem minha admiração e confiança,  
e em especial aos meus pais (Antonio José e Veralucia),  
que do seu pouco sempre me forneceram muito.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Deus, pois, “bom é o Senhor para os que se atêm a ele, para alma que o busca”.

Ao professor e orientador Dr. Lourival Matos de Sousa Filho pela sua enorme presteza no desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Dr. Fernando Lima de Oliveira pessoa que sempre trarei a lembrança pelos seus pequenos e simples gestos que me ajudaram enormemente nessa empreitada.

Aos familiares que sempre confiaram em mim e essa confiança serviu de combustível para concretização desse sonho, em especial aos meus pais, Veralucia e Antonio José.

Aos amigos que sempre pude contar e ter a certeza de suas ajudas e compartilhamento de conhecimentos em especial: Afonso, Caroline, Thalyson, Alex, Helma, Milenna e Antonio.

As orações sinceras feitas a mim, que durante todos esses anos nunca cessaram e o Senhor sempre se manifestara através delas.

“Se não puder voar corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito”. Martin Luther King

## RESUMO

Nesse trabalho realizou-se um experimento numa placa composta de substrato e grama, para se determinar o coeficiente de condutividade térmica, o estudo ainda envolveu a simulação computacional a fim de estudar a viabilidade do uso de placas de grama em telhados como isolantes térmicos, ou seja, a sua capacidade de influenciar na carga térmica de uma edificação. Foi confeccionado um protótipo com dimensões de 300 mm de comprimento com 150 mm de largura e 3 mm de espessura, realizou-se a análise do comportamento da mesma quando submetida a um processo de transferência de calor por condução através do método convencional, utilizando-se uma lâmpada como fonte do sistema e termopares fixos nas superfícies internas e externas da placa. De posse dos dados obtidos através de um módulo de aquisição foram realizados os cálculos para determinação da condutividade térmica (k) do material de estudo e a partir da determinação desse valor um modelo para as condições climáticas de temperatura, irradiação, condução térmica, carga térmica foi gerado para as condições meteorológicas locais. E por fim os gráficos e valores adquiridos demonstraram os benefícios para o conforto ambiental e a economia de energia.

**Palavras-chave:** Condutividade térmica. Desempenho térmico. Simulação Computacional. Conforto ambiental.



## ABSTRACT

In this work, an experiment was carried out on a substrate and grass board, in order to determine the coefficient of thermal conductivity. The study also involved computational simulation to study the feasibility of using grass plaques on roofs as thermal insulation, in other words. its capacity to influence the thermal load of a building. A prototype with dimensions of 300 mm of length, 150 mm of width and 3 mm of thickness was made, and the behavior of the prototype was studied when submitted to a process of heat transfer by conduction using the conventional method, using a lamp as system source and fixed thermocouples on the internal and external surfaces of the board. The calculations were carried out to determine the thermal conductivity (k) of the study material and from the determination of this value a model for the climatic conditions of temperature, irradiation, thermal conduction, thermal load was generated for local weather conditions. And lastly the graphics and values acquired demonstrated the benefits to environmental comfort and energy saving.

**Keywords:** Thermal conductivity. Thermal performance. Computational Simulation. Environmental comfort.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Materiais de construção da unidade piloto.....	28
Figura 2. Multímetro ET - 1002 .....	29
Figura 3. Alicates amperímetro ET - 3200 .....	30
Figura 4. (a) Montagem da unidade piloto (b). Soquete e hastes de fibra de babaçu (c). Fonte interna (d). Estrutura final. ....	31
Figura 5. (a). Placa do gramado (superior) (b). Placa do gramado (lateral).....	32
Figura 6. (a). Amostra 1 do gramado (b). Amostra 2 do gramado (c). Amostra 3 do gramado (Superior).....	34
Figura 7. (a). Amostra 1 do gramado após a secagem (b). Amostra 2 do gramado após a secagem (c). Amostra 3 do gramado após a secagem .....	34
Figura 8. Pesagem da placa de grama antes do teste .....	35
Figura 9. (a). Sistema com termopares e aquisição de dados (b). Placa de grama montada sobre a estufa (c). Termopares apoiados na superfície externa da placa (d). Lâmpadas dispostas em série com a fonte (Interna) .....	37
Figura 10. Comportamento das temperaturas: (T1, T2, T4, T5 e T6).....	42
Figura 11. Comportamento das temperaturas de contato com a placa .....	43
Figura 12. Temperaturas médias de contato com a placa.....	43
Figura 13. Temperaturas médias de contato com a placa regime transiente .....	44
Figura 14. Temperaturas médias de contato com a placa regime permanente .....	45
Figura 15. Interface gráfica apresentando dados do telhado com gramado .....	47
Figura 16. Interface gráfica apresentando o ganho solar.....	48
Figura 17. Interface gráfica apresentando a temperatura operativa.....	49
Figura 18. Interface gráfica apresentando a condução .....	50
Figura 19. Interface gráfica apresentando a carga térmica.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Condutividade do solo e seus constituintes (até 10 °C) e gelo (0 °C) .....	22
Tabela 2 - Temperaturas e umidade relativas em função da permanência .....	24
Tabela 3 - Condições externas recomendadas para verão (°C).....	24
Tabela 4 - Condições externas recomendadas para inverno (°C) .....	25
Tabela 5 - Acréscimo ao diferencial de temperatura = $\Delta t$ em °F e em °C.....	26
Tabela 6 - Massa dos compósitos da placa de groma .....	33
Tabela 7 - Condições externas adotadas.....	37
Tabela 8 - Condições internas adotadas .....	38
Tabela 9 - Propriedades físicas da laje .....	38
Tabela 10 - Interface propriedades físicas das paredes .....	38
Tabela 11 - Interface propriedades físicas do piso .....	39
Tabela 12 - Interface propriedades físicas da porta e janela.....	39
Tabela 13 - Ganhos internos gerais .....	39
Tabela 14 - Grandezas para determinação de k.....	46

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	Objetivo Geral .....	16
1.2.2	Objetivos Específicos .....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1	Modos de Transferência de Calor.....	17
2.2	Condução.....	17
2.2.1	Mecanismos da Condução de Calor em Materiais no Estado Sólido .....	19
2.2.2	Mecanismos da Condução de Calor em Materiais no Estado Fluído .....	19
2.2.3	Equações dos Sistemas de Coordenadas Retangulares.....	20
2.2.4	Condutividade Térmica em Solos.....	21
2.3	Conforto Térmico .....	22
2.3.1	Influência das Ilhas de Calor para o Conforto Térmico.....	23
2.3.2	Comparação entre Amplitude Térmica do Ambiente entre Asfalto, Solo Descoberto e Cobertura Vegetal com Grama.....	23
2.3.3	Parâmetros de Conforto Térmicos .....	24
2.3.4	Calor Sensível, Calor Latente e Carga Térmica .....	25
2.3.5	Transmissão de Calor do Sol Através de Superfícies Opacas .....	25
2.4	Isolantes.....	26
2.4.1	Resistência Térmica.....	26
2.4.2	Resistência Térmica de Contato .....	27
2.5	Inércia Térmica.....	27
3	METODOLOGIA .....	28
3.1	Materiais e Métodos para Montagem da Unidade Piloto .....	28
3.1.1	Termopar Tipo K .....	29
3.1.2	Multímetro .....	29
3.1.3	Alicate Amperímetro .....	30
3.1.4	Incerteza de Medição .....	30
3.1.5	Projeto de Montagem da Unidade Piloto .....	31
3.1.6	Construção do Sistema Elétrico .....	32
3.1.7	Aquisição e Dimensões da Placa do Gramado .....	32
3.1.8	Compósito da Placa do Gramado Contida em Três Amostras.....	33
3.1.9	Montagem Placa na Unidade Piloto.....	34
3.1.10	Instalação dos Equipamentos e Montagem Final do Experimento.....	35

3.1.11	Disposição de Dados e Resultados .....	37
3.1.12	Programas de Aquisição e Simulação.....	40
4	RESULTADOS E ANÁLISES .....	41
4.1.1	Considerações de Cálculos e Resultados .....	41
4.1.2	Comportamento das Temperaturas ao Longo do Experimento .....	41
4.1.3	Comportamento das Temperaturas Médias ao Longo do Experimento .....	43
4.1.4	Comportamento das Temperaturas Médias Regime Transiente .....	44
4.1.5	Comportamento das Temperaturas Médias em Regime Permanente .....	45
4.1.6	Determinação da Constante de Condutividade Térmica <b>k</b> .....	46
4.1.7	Avaliação da Capacidade Térmica do Gramado ( <i>Zoysia Japonica</i> ) como Isolante Térmico Natural sobre Telhado de Edificação .....	47
4.1.8	Influências na Capacidade Térmica com a Utilização do Isolamento Natural .....	48
4.1.9	Ganho solar .....	48
4.1.10	Temperatura Operativa .....	49
4.1.11	Condução .....	50
4.1.12	Carga Térmica.....	50
5	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	52
	REFERÊNCIA .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

Em uma região existem variáveis climáticas que a caracterizam, mas especificamente se tratando da capital do estado do Maranhão São Luís, e algumas dessas variáveis que causam interferências diretas no desempenho térmico dos espaços construídos pode-se destacar: oscilações de temperatura, umidade relativa, quantidade de radiação solar incidente, o grau de nebulosidade do céu, predominância de época, sentido de ventos e índices pluviométricos. Esses valores são de acordo com a posição geográfica no globo terrestre, devido a fatores atmosféricos, relevo, estrutura do solo, distribuição de terras e mares além da latitude e altitude (FROTA & SHIFFER, 2001).

O zoneamento bioclimático brasileiro, conforme a NBR 15220-3 apresenta o país em oito subdivisões de Zonas Bioclimáticas, em que são apresentadas as diretrizes tais como: tamanho de janelas, sombreamento, tipo ideal de paredes e coberturas, bem como as estratégias mais propícias a cada local. São Luís no estado do Maranhão faz parte da oitava Zona Bioclimática e essa zona destaca-se pelo uso de: aberturas grandes e totalmente sombreadas, paredes e coberturas leves e refletoras, também ventilação cruzada e constante durante o ano (LAMBERTS, 97).

Em um sistema de grande resistência térmica reduz-se o fluxo de calor através de seus constituintes, e conseqüentemente a redução da carga térmica no interior de edificações, sendo assim, construções que tenham tais características consumirão menos energia elétrica voltada para climatização (BEZERRA, 2003). A absorção de energia térmica de uma edificação do meio externo ocorre através dos mecanismos de radiação e convecção. Há um aumento da temperatura nas faces externas, pois a incidência do calor é maior em comparação as faces internas gerando assim uma diferença de temperatura e desse modo ocorrerá um fluxo de calor por condução na direção desta última (BEZERRA, 2003).

De acordo com (GAFFIN apud PALMEIRA, 2016), apresentam sete estágios de fluxos de energia num reservatório (sistema de telhado verde ou cobertura vegetal), que vai desde o topo da vegetação até a partir inferior do crescimento, e estes estágios são classificados em função de (comprimento de ondas curtas ou longas, ganho ou perda de energia, e processos metabólicos) são eles: radiação solar incidente de ondas curtas; reflexo da radiação solar de ondas curtas; a radiação térmica emitida pela atmosfera (ondas longas); radiação térmica emitida pela superfície do telhado verde (ondas longas); a perda de calor por convecção ou

ganho de energia da atmosfera; a perda de calor por condução ou ganho de construção abaixo; e a evapotranspiração, sob a forma de vapor de água.

Os vegetais carecem da energia térmica do solo que age como controlador do crescimento e desenvolvimento dos mesmos, pois essa energia determina a temperatura ideal, ou seja, uma faixa em que se estiver acima ou abaixo, resultar-se-á em interrupção das atividades microbiológicas (sementes não germinarão, e as plantas não desenvolverão). Em virtude disso, um conhecimento pormenorizado das relações entre o solo, atmosfera e os vegetais se faz necessário para a compreensão da propagação do calor no solo (PREVEDELLO apud MACIEL NETO, 2011).

Em se tratando de carga térmica em edificações a região Nordeste brasileira, apresenta grande incidência de radiação solar, onde o fluxo de calor médio através de fechamentos opacos pode atingir  $560 \text{ W/m}^2$  (OLIVEIRA apud BEZERRA, 2003).

E a perda de calor por condução, em um telhado verde se dá através da transferência energia térmica da superfície do substrato para as camadas internas, o que pode resultar na transmissão de parte dessa energia para o interior da edificação, e o que vai possibilitar ou inviabilizar tal transferência é o isolamento térmico da cobertura (GAFFIN apud PALMEIRA, 2016).

De acordo com Hillel (1998 apud FLORA, 2006), utiliza a definição para condutividade térmica  $k$  como uma quantidade de calor que é transferido por unidade temporal para uma variação unitária do gradiente de temperatura.

O coeficiente de condutividade térmica  $k$  para um dado sistema construtivo possui sua dependência principalmente, do material, espessura e diferença de temperatura entre suas superfícies. Se tratando de um material compósito, esse coeficiente é função também de propriedades tais como: raios e da fração de ar interna ao material. O coeficiente de condutividade térmica dependerá dos constituintes, do número de matéria sólida, distribuição espacial e dos poros, da quantidade de umidade sendo um material poroso, e se o mesmo apresentar porosidade celular homogênea possuirá melhores características isolantes do que outros materiais (AKTUSU e SATO, 1998; SILVA, 1999; apud BEZERRA, 2003).

## 1.1 Justificativa

O presente trabalho é voltado para análise do desempenho térmico de uma placa de grama esmeralda (grama mais substrato) onde se busca a obtenção de resultados que indiquem à viabilidade da utilização das propriedades térmicas “isolantes” em telhados de edificações.

A utilização do mesmo possibilita a redução da carga térmica do ambiente através do mecanismo de evapotranspiração das plantas e redução da variação umidade em volta, o que gerará diminuição do consumo energético, e deste modo, uma menor utilização de condicionadores de ar.

Nesses termos, a utilização do telhado verde como isolamento pode gerar uma redução de 50% dos custos com resfriamento no período de verão, e redução entorno 25% em aquecimento no inverno (BALDESSAR apud FUJIWARA; SANTOS, 2016).

Em grande escala a utilização de uma superfície vegetal que funciona como isolamento térmico natural sobre as edificações, contribui para redução do fenômeno das ilhas de calor nos centros urbanos, pois nessas regiões houve gradativamente uma troca da camada vegetal onde outrora abundante por materiais absorvedores de calor. Também produz a redução sonora, vale lembrar que as partes constituintes de um telhado verde são: vegetação, substrato, camada filtrante, camada drenante, camada protetora, barreira antirraízes, camada impermeável e estrutura do telhado. E o referido trabalho utiliza apenas a vegetação e o solo e que especialmente ambos além de reduzirem a transmissão de calor para o da edificação, como já mencionado, agem como agentes protetores contra ação dos raios violetas e extremos de temperaturas.

Desta maneira, torna-se importante saber avaliar e prever o comportamento desse sistema e então desenvolver e aperfeiçoar novas técnicas, objetivando a redução do ganho de calor de edificações, redução do consumo de energia e preservação ambiental através do uso de um sistema renovável e sustentável.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Determinar a condutividade térmica de uma placa de grama-esmeralda (*Zoysia Japonica*) por meio empírico e avaliar a carga térmica utilizando o material em estudo.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- a) Montagem do aparato experimental;
- b) Coletar e analisar dados experimentais;
- c) Calcular a condutividade térmica;
- d) Avaliar a carga térmica através de um *software* IESVE, com e sem placa de grama.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta algumas definições e resultados de publicações científicas sobre o assunto da determinação de condutividade térmica e isolamento térmico natural com utilização de coberturas com vegetação. Além de tratar de assuntos relacionados acerca da importância da vegetação no ambiente urbano.

### 2.1 Modos de Transferência de Calor

Estudos da transferência de energia na forma de calor são realizados através de métodos experimentais, cujos “a condução e a radiação térmica”, são os meios básicos desse tipo de transferência, além de uma combinação chamada “convecção”, que sua forma de avaliação ou determinação é realizada de forma empírica (SHAPIRO, 2013).

Em um determinado corpo, há uma interação entre as partículas que o constitui estas se apresentam com maior ou menor energia e, portanto, o resultado dessa interação gera transferência de energia, que por sua vez, é definida como condução (INCROPERA, 2008). Outro modo de transferência se dá quando a matéria emite energia sob a forma de ondas eletromagnéticas (ou fótons), em virtude, dos átomos ou moléculas, sofrerem mudanças nas suas camadas eletrônicas, produzindo assim um fenômeno volumétrico, denominado radiação (ÇENGEL, 2008).

Existe, pois, ainda outra forma de transferência de energia, entre uma superfície sólida e um fluido, esta através da combinação da condução e do movimento do fluido, chamada convecção. Só se trata de convecção, quando há o movimento da massa fluida, sobre determinada superfície sólida, caso inexistindo o referido movimento do fluido, remete-se a condução, ou seja, este tipo de transferência de calor “convecção” é combinação de ambas características (ÇENGEL, 2008). Nesse caso, a parte em contato entre o fluido e o sólido possuem a mesma velocidade, portanto, condição de não escorregamento na superfície de contato (STREETTER, 1982).

### 2.2 Condução

A energia é transferida devido às partículas de um determinado corpo com maior energia, interagirem com as de menor energia, resultantes de suas colisões, essa transferência

se dá o nome de condução, sua ocorrência se manifesta tanto em sólidos, líquidos e gases (ÇENGEL, 2008).

Em um sistema fechado, a energia cruza as fronteiras de apenas duas maneiras: na forma de calor ou trabalho. Calor é a forma de energia, transitada entre dois sistemas devido a uma diferença de temperatura, e se essa variação de temperatura for a força motriz, então, denomina-se esse processo de transferência de calor, todavia, não sendo, essa transferência de energia, é tratada como trabalho (ÇENGEL, 2008).

Tratando-se de condução, a lei de Fourier, quantifica macroscopicamente a taxa temporal de transferência de energia (SHAPIRO, 1982). Nestes termos, ela foi desenvolvida de observações fenomenológicas, ou seja, não obtida através, de princípios fundamentais, porém formulada em decorrência de resultados experimentais. E que a mesma, determina a condutividade térmica dos materiais (INCROPERA, 2008). Em uma camada plana, a taxa de condução de calor é proporcional à variação de temperatura que se dá na mesma, bem como, à área em que ocorre essa transferência de calor, porém, inversamente proporcional à espessura da camada (ÇENGEL, 2008).

$$Q'_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde,  $Q'_x$  = taxa de transferência de calor através de qualquer plano normal à direção  $x$  (W);  $\frac{dT}{dx}$  = gradiente de temperatura (K);  $A$  = área da seção transversal ( $m^2$ );  $k$  = condutividade térmica do material, que é a medida da capacidade do material de conduzir calor ( $W/m \cdot k$ ).

Através da equação 1, pode-se obter o fluxo de calor, que por sua vez, é uma taxa de transferência de calor, sobre uma determinada área e a mesma sendo perpendicular à direção da transferência de calor, é descrito pela seguinte equação.

$$Q''_x = \frac{Q'_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

Onde,  $Q''_x$  = fluxo de calor ( $W/m^2$ );  $Q'_x$  = taxa de transferência de calor através de qualquer plano normal à direção  $x$  (W);  $\frac{dT}{dx}$  = gradiente de temperatura (K);  $A$  = área da seção transversal ( $m^2$ );  $k$  = condutividade térmica do material ( $W/m \cdot k$ ).

Observa-se o sinal negativo em consequência da transferência de calor ocorrer no sentido do decréscimo das temperaturas (INCROPERA, 2008). O calor é transferido da região de maior para a de menor temperatura, com a diminuição dessa devido ao aumento da espessura

do material, o gradiente de temperatura será negativo, então um sinal negativo na Eq. 1 permite que a transferência de calor no sentido positivo do eixo seja positiva (ÇENGEL, 2008).

### 2.2.1 Mecanismos da Condução de Calor em Materiais no Estado Sólido

Nos materiais sólidos, existem duas formas de transporte de calor simultaneamente: as ondas de vibrações reticulares (fônos), e os elétrons livres, ou seja, a atividade térmica é devido a esse mecanismo, existindo, pois, a predominância de um ou outro e a condutividade térmica total é o somatório do conjunto, conforme a Eq. 3. O transporte de energia térmica correspondente aos fônos segue o seu movimento global, e a constante de condutividade térmica  $k_r$ , é decorrente desse movimento, que por sua vez é realizado em virtude de um gradiente de temperatura. Já a condução térmica devido aos elétrons livres, se dá pelo fato que numa região de maior temperatura há um ganho de energia cinética, e os mesmos elétrons são transportados para regiões de menor temperatura, e devido a essa migração, uma parcela dessa energia recebida outrora, é doada aos átomos, como energia vibracional. A constante de condutividade térmica  $k_e$  é diretamente proporcional ao número de elétrons livres (CALLISTER, 2000).

$$k = k_r + k_e \quad (3)$$

Os materiais condutores, tais como metais puros, há predominância de condução devido aos elétrons, já a transferência de calor através dos fônos, é predominante em materiais não condutores e semicondutores (INCROPERA, 2008).

### 2.2.2 Mecanismos da Condução de Calor em Materiais no Estado Fluido

Neste estado existe um maior espaçamento entre as moléculas, que por sua vez, as forças de ligações moleculares são menores se comparadas com as forças dos materiais no estado sólido. Portanto, nos fluidos há maior movimentação molecular (MUNSON, 2004). Nestes termos, os fluidos possuem menor eficiência na transferência de energia térmica (INCROPERA, 2008). A compreensão pormenorizada dos fatores físicos envolvidos na determinação da condutividade térmica nos líquidos é de difícil descrição (INCROPERA, 2008). Em virtude, deste fato não será abordado no escopo deste trabalho.

### 2.2.3 Equações dos Sistemas de Coordenadas Retangulares

Na realização de um estudo, se faz sempre necessário a escolha das coordenadas a serem adotadas (retangulares, cilíndricas ou esféricas), pois, a determinação da temperatura em um determinado ponto requer sua localização no espaço, podendo ser classificado como: unidimensional, bidimensional ou tridimensional (ÇENGEL, 2008).

Equação Geral para Coordenadas Retangulares: assumindo um volume de controle retangular de dimensões, com comprimento  $\Delta x$ , largura  $\Delta y$  e altura  $\Delta z$ , bem como, a densidade  $\rho$  e o calor específico  $c$  do corpo e a condutividade térmica  $k$  constante (ÇENGEL, 2008).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{e}_{ger}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4)$$

Além disso, pode se utilizar as hipóteses simplificadoras e a Eq. 4 adota as seguintes características (ÇENGEL, 2008).

Regime Permanente: não há dependência temperatura em cada ponto em relação ao tempo, ou seja, constante (INCROPERA, 2008).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{e}_{ger}}{k} = 0 \quad (5)$$

Transiente sem Geração de Calor: no regime transiente há dependência temporal (INCROPERA, 2008), geração de calor é devido a conversão de uma forma de energia qualquer em energia térmica (INCROPERA, 2008).

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (6)$$

Regime Permanente sem Geração de Calor

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (7)$$

A condutividade Térmica é definida como a taxa de transferência de calor por meio de uma unidade de comprimento de um material por unidade de área por meio de diferença de temperatura (ÇENGEL, 2008).

Partindo da Eq. 2 e evidenciando a constante de condutividade térmica, o valor da mesma determina a eficácia do material em transportar calor ou de agir como isolante térmico. Sendo assim, o fluxo térmico e a condutividade térmica são diretamente proporcionais (INCROPERA, 2008).

$$k = -\frac{Q''_x}{(\partial T/\partial x)} \quad (8)$$

Onde:  $Q''_x$  = fluxo de calor ( $W/m^2$ );  $\frac{dT}{dx}$  = gradiente de temperatura (K);  $k$  = condutividade térmica do material, ( $W/m \cdot K$ ).

Na realização experimental desenvolvida no referido trabalho, a constante de condutividade térmica independe da temperatura ao longo dos pontos do material utilizado no teste. Não há necessidade de aplicação de um fator de correção para a grande maioria de problemas práticos, em que exista uma variação da condutividade térmica devido à temperatura. Entretanto pode-se determinar essa variação através da seguinte equação.

$$k = k_0 + \gamma t \quad (9)$$

Temos,  $k_0$  = condutividade térmica numa temperatura de 0 °F, e  $\gamma$  = é a constante de determinação de variação da condutividade térmica por unidade de grau de variação da temperatura (KERN, 1982).

Uma consideração simplificadora, é que o material seja totalmente isotrópico, entretanto, na realidade não é bem assim, por exemplo, um material, de origem vegetal, é composto por fibras, e haverá variações na condutividade térmica, a depender da direção das mesmas, se em paralelo ou perpendicular (ÇENGEL, 2008).

#### 2.2.4 Condutividade Térmica em Solos

Segundo Prevedello, define-se a condutividade térmica através da quantidade de energia que o solo pode transmitir em termos do comprimento e do tempo, e que gradiente de temperatura para essa distância é dado por unidade de área (PREVEDELLO apud MACIEL NETO, 2011). Para Shiozawa e Campbell (1990 apud MACIEL NETO, 2011) a

condutividade térmica do solo é dependente de alguns fatores tais como: composição do próprio solo, densidade, formato de suas partículas e, bem como, do teor de água do solo.

De acordo com Campbell (1994 apud FLORA, 2006), a diminuição da umidade, gera de semelhante modo, a diminuição do transporte de calor em virtude de dois fatores. Devido ao fato de se possuir menos umidade nos poros e em consequência diminui-se o contato entre as moléculas no solo e o outro fator trata da movimentação do líquido no solo, pois o transporte de calor depende da circulação de água no poro.

Deste modo, a condutividade térmica dos componentes do solo é divergente em virtude de suas partes constituintes, representado na Tab. 1 (VRIES, 1963; HILLEL, 1998; SILANS et al, 2006 apud FLORA, 2006).

**Tabela 1- Condutividade do solo e seus constituintes (até 10 °C) e gelo (0 °C)**

Fonte: FLORA (2006)

Constituinte	(W/mk)
Quartzo	8,8
Outros minerais	2,9
Matéria orgânica	0,29
Água	0,57
Gelo	2,2
Ar	0,025

### 2.3 Conforto Térmico

O conforto térmico pode ser afetado por vários fatores (idade, saúde e atividade realizada), sabe-se que através de processos metabólicos o calor é gerado, sendo assim, gerindo a manutenção da temperatura corporal. É necessária a eliminação desse calor gerado, para que, a temperatura interna permaneça constante. Os mecanismos são convecção (através do ar ambiente) e radiação (superfícies vizinhas de temperatura menor que a do corpo), nestes termos, ambas são responsáveis por cerca de 30% da eliminação do calor e a respiração e transpiração por 40%. (STOECHER & JONES, 1985).

De acordo com Stathopoulos, Wu e Zacharias citados por Pivetta Fernandes (2014) o conforto térmico humano sofre influência não só do clima urbano, mas, também do interior de edificações. São vários os fatores que podem influenciar o conforto térmico, como por exemplo, os de natureza climáticos e de atividades humanas.

Nesse contexto, é notório que o desenvolvimento de áreas densamente construídas traz consigo uma vasta quantidade de materiais e os mesmos, por sua vez, apresentam maior

capacidade térmica e, portanto, são bons condutores térmicos, o que torna o ambiente com maior temperatura média se comparado com regiões adjacentes (ROMERO apud FEITOSA, 2010).

### **2.3.1 Influência das Ilhas de Calor para o Conforto Térmico**

No tocante, a ilha de calor, Coltri et al (2007 apud FEITOSA, 2010) menciona que a mesma, se dá em virtude de uma diferença térmica, visto que, a temperatura urbana em uma determinada localidade, é maior que a temperatura de outras regiões circunvizinhas, podendo ocorrer a variação temporal e sazonal.

Dessa perspectiva, pode-se observar que a redução de áreas cobertas por vegetação, acarreta a diminuição da umidade das superfícies em que ocorreria evaporação e a evapotranspiração. Sendo assim, a energia outrora utilizada nos processos mencionados é direcionada para a superfície, agora sem vegetação, promovendo o aumento do fluxo de calor sensível e, por conseguinte, a elevação das temperaturas, formando-se os bolsões de calor sobre essas áreas, ou seja, ilha de calor (AYOADE, 1996, p.304; TAHA, 1997, p.100; BORGES et al., 2002, p.31 apud FERNANDES, 2014). Em suma, tais ilhas de calor são formadas em decorrência de alterações de drenagem do solo, pela substituição da camada original desse por um revestimento de concreto e asfalto FROTA & SCHIFFER (2001).

Uma alternativa para a redução das ilhas de calor é a utilização de telhados verdes nos centros urbanos, o seu funcionamento é de condicionador térmico (COLLISCHONN, 2008 apud BALDESSAR, 2012). Segundo Eumorfopoulu (1998 apud FUJIWARA, 2016), os percentuais de radiação que chega aos edifícios possuidores de telhados verdes são transmitidos da seguinte forma: 60% é absorvida pela vegetação, 27% é refletida e 13% da radiação é transmitida ao edifício.

### **2.3.2 Comparação entre Amplitude Térmica do Ambiente entre Asfalto, Solo Descoberto e Cobertura Vegetal com Grama**

Nestes termos, através de análises de três diferentes tipos de superfícies (asfalto, solo descoberto e cobertura vegetal com grama), os resultados apresentados a respeito do calor refletido em cada uma dessas superfícies foram de 40, 30 e 20% respectivamente. E que, o calor irradiado pelo gramado foi de 5%, no solo descoberto 30% e no asfalto 50%, então, com base na quantidade de calor estocado em cada uma das superfícies, é possível notar que no

gramado foi onde ocorreu com maior eficácia a melhora da amplitude térmica do ambiente, em relação aos outros tipos abordados (SIMPSON & OGORZALY, 1995; COAN, 2005; apud GEROLINETO, 2008).

### 2.3.3 Parâmetros de Conforto Térmicos

Então, através do ábaco de conforto para os períodos de verão e inverno Tab.1.0 tornou-se possível a mensuração das temperaturas e umidades relativas na realização de um projeto. Onde, pessoas foram submetidas a determinadas variações de temperaturas, umidades relativas e velocidade do ar. Os resultados apontam que o conforto térmico no verão é por volta de 71 °F (21,6 °C), para 98% das pessoas, e no inverno 66 °F (18,8 °C), para 97% das pessoas, e a velocidade do ar (4,5 a 7,5 m/min) (CREDER, 2004, p. 76).

**Tabela 2 - Temperaturas e umidade relativas em função da permanência**

Fonte: CREDER (2004).

Permanência	Temperatura Efetiva °F	Temperatura de Bulbo Seco °F	Umidade Relativa %
Mais de 3 horas	73 (22,7 °C)	78 (25,5 °C)	55
Entre 45 minutos e 3 horas	74 (23,3 °C)	80 (26,6 °C)	50
Menos de 40 minutos	75 (23,8 °C)	82 (27,7 °C)	45

Além disso, são apresentadas tabelas para o conforto ambiental em recintos com as condições externas no verão e inverno, e nesses termos, não apresentando variação de temperatura de bulbo seco entre dois pontos simultâneos maiores que 2°C a uma altura de 1,5 metros do piso, nesse caso representado apenas para algumas localidades da Região Nordeste (CREDER, 2004).

**Tabela 3 - Condições externas recomendadas para verão (°C)**

Fonte: CREDER (2004).

Cidades	TBS	TBU	Temperatura Máxima
São Luís (MA)	33	28,0	33,9
Teresina (PI)	38	28,0	40,3
Fortaleza (CE)	32	26,0	32,4

TBS= temperatura de bulbo seco

TBU= temperatura de bulbo úmido



**Tabela 4 - Condições externas recomendadas para inverno (°C)**

Fonte: CREDER (2004).

Cidades	TBS (°C)	Umidade Relativa %
São Luís (MA)	20	80
Teresina (PI)	20	75
Fortaleza (CE)	21	80

### 2.3.4 Calor Sensível, Calor Latente e Carga Térmica

Quando se deseja em um ambiente um conforto térmico específico, realiza-se a adição ou extração de certa quantidade de calor, através da variação de temperatura do ambiente interno com o ambiente externo, a essa quantidade de calor, dá-se o nome de calor sensível, ou seja, o calor mensurado por um instrumento para esse fim, tal como, o termômetro. Já o calor latente, é quando o acréscimo ou a retirada de calor de um dado corpo, proporciona a mudança de estado, permanecendo a sua temperatura inalterada. E nesses termos, a carga térmica é, portanto, a quantidade de calor sensível e de calor latente, posta ou retirada que gerará o conforto térmico de um determinado ambiente (CREDER, 2004).

### 2.3.5 Transmissão de Calor do Sol Através de Superfícies Opacas

A energia solar quando em contato com um meio opaco, tem uma parcela refletida e outra absorvida, sendo que, os processos de convecção e radiação transmitem parte da energia absorvida para o meio externo. E a energia restante é transferida para o interior do meio (STOECHER, 1985).

Mais especificamente tratando-se de casas, prédios, edificações em geral, suas paredes, lajes e telhados realizam a transferência da energia solar por meio da condução e convecção, a região interna dos recintos, através da equação.

$$Q = A \cdot U[(t_e - t_i) + \Delta t] \quad (10)$$

Em que temos,  $Q$  = taxa de transferência de calor em (*watts*);  $A$  = área em ( $m^2$ );  $U$  = coeficiente global de transmissão de calor em  $kcal/h \cdot m^2 \cdot ^\circ C$ ;  $t_e$  = temperatura do exterior em  $^\circ C$ ;  $t_i$  = temperatura do interior em  $^\circ C$ ;  $\Delta t$  = acréscimo ao diferencial de temperatura dado pela Tabela 1.3 (CREDER, 2004).

Esse coeficiente é chamado *coeficiente global de transmissão de calor* e é definido como o fluxo de calor por hora através de um  $m^2$  de superfície, quando a diferença entre as

temperaturas do ar nos dois lados da parede ou teto é de um grau centígrado (CREDER, 2004).

Segundo FROTA & SCHIFFER (2001) o coeficiente global de transmissão térmica, em um dado material faz o apanhado das trocas térmicas superficiais por convecção e radiação além das trocas térmicas através do material por condução, ou seja, esse coeficiente especifica a capacidade do material quando submetido a uma diferença entre dois pontos do elemento construído por tal material separado ( $W/m^2\text{°C}$ ) de ser atravessado por um fluxo de calor, então, considera-se a espessura do material analisado o coeficiente de condutibilidade térmica, a posição horizontal ou vertical bem como o sentido do fluxo.

**Tabela 5 - Acréscimo ao diferencial de temperatura =  $\Delta t$  em  $\text{°F}$  e em  $\text{°C}$**

Fonte: CREDER (2004).

Superfície	Cor Escura		Cor Média		Cor Clara	
	$\text{°F}$	$\text{°C}$	$\text{°F}$	$\text{°C}$	$\text{°F}$	$\text{°C}$
Telhado	45	25,0	30	16,6	15	8,3
Parede E ou O	30	16,6	20	11,1	10	5,5
Parede N	15	8,3	10	5,5	5	2,7
Parede S	0	0	0	0	0	0

## 2.4 Isolantes

Um material que apresenta uma baixa condutividade térmica é considerado um isolante, geralmente são materiais porosos, devido sua elevada resistência térmica é decorrente da baixa condutividade de ar, (em que o seu limite de capacidade de condução pura é do ar estando em repouso é da ordem de  $0,02 \text{ kcal/mh}\text{°C}$  contida nos referidos espaços vazios do material (COSTA, 1982).

### 2.4.1 Resistência Térmica

A resistência térmica de um material torna explícito o quão eficaz ou não o fluxo de calor se dá em uma determinada direção, sendo à mesma dependente da geometria e das propriedades térmicas do meio, onde é expressa pela Eq. 15. Além de ser análoga com a relação de fluxo de corrente elétrica de acordo com a Eq. 16 (ÇENGEL, 2008).

$$R_t = \frac{L}{kA} \quad (11)$$

Temos, portanto:  $R_t$ = resistência térmica ( $k/m$ );  $L$ = espessura da parede em  $m$ ;  $A$ = área perpendicular ao fluxo de calor em  $m^2$ ;  $k$ = condutividade térmica do material ( $W/m^\circ C$ ).

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_e} \quad (12)$$

Em que:  $R_e$ = resistência elétrica ( $k/m$ );  $I$ = fluxo de corrente elétrica ( $A$ );  $V_1 - V_2$ = diferença de tensão através da resistência ( $W$ ).

#### 2.4.2 Resistência Térmica de Contato

Na realização de um experimento para se determinar a condutividade térmica, existem fatores que geram erros na obtenção dos dados, tal como, a natureza de ligação entre a fonte de calor e o material "fluido ou sólido", que está em contato com a fonte e que transmite calor. Em se tratando de uma estrutura sólido-sólido ou sólido-líquido, a zona de contato pode propiciar a formação de bolhas de ar nas rugosidades superficiais dos materiais em contato, e isto pode levar a erros consideráveis (KERN, 1982).

#### 2.5 Inércia Térmica

Em um determinado material sólido, entre as suas faces existe a retenção de energia térmica, na qual, é dependente de sua capacidade térmica e esse processo é denominado de inércia térmica. Portanto, quanto maior a inércia térmica de um material, menor será a variação da temperatura no interior de um ambiente. Nestes termos, é possível a modificação ou o controle das variações de picos de temperatura no interior dos recintos, a fim, da redução das sensações de desconforto térmico (BEZERRA, 2003).

Em uma construção civil (casas, apartamentos, edifícios, etc.) há dois fenômenos de grande relevância diretamente ligados à inércia térmica que são: o amortecimento e o atraso da onda de calor, decorrentes do aquecimento ou o resfriamento dos materiais, portanto, as características térmicas dos componentes constituintes internos além, dos envolventes influenciam a inércia térmica, ou seja, essa é o somatório do atraso e do amortecimento dessa onda de calor, funções da densidade, condutibilidade e da capacidade calorífica da parede FROTA & SCHIFFER (2001).

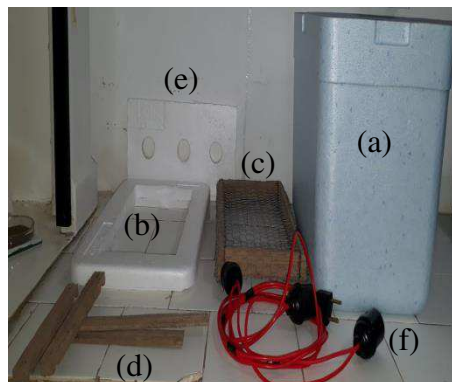
### 3 METODOLOGIA

Este capítulo traz a descrição metodológica que fora adotada na realização experimental, ou seja, a caracterização e construção da unidade piloto; a descrição dos instrumentos utilizados no projeto e determinação de parâmetros.

#### 3.1 Materiais e Métodos para Montagem da Unidade Piloto

Na construção da unidade piloto no referido trabalho, os componentes utilizados serão descritos em seguida. Utilizou-se uma caixa de poliestireno (isopor) com capacidade de 17 litros Figura 1 (a). Com a tampa da caixa de poliestireno, produziu-se um molde com dimensões de (150 mm x 300 mm), onde fora encaixada a placa de grama Figura 1 (b), sobreposta sobre uma estrutura de sustentação com material de fibras de babaçu e tela protetora com as mesmas dimensões Figura 1 (c). Além de duas hastes do mesmo material (babaçu) em formato de tê (T) com dimensões de (220 mm) de altura por (190 mm) de comprimento, Figura 1 (d) com a finalidade de sustentação da estrutura do molde com a placa de grama.

De semelhante modo, outra placa foi confeccionada de material em poliestireno Figura 1 (e) com três furos equidistantes onde apenas duas lâmpadas halógenas com fluxo luminoso (600 lm) e luz amarela de potência (42 watts), postas em uma ligação em série a uma terceira lâmpada de mesmas especificações e essa última fixada na superfície inferior e interna ao sistema, tendo sido essa última adotada como fonte única de calor. A parte elétrica 1(f) foi composta de 3 (três) (soquete bocal para lâmpada receptáculo E-27), e cabo flexível de fios de cobre isolado por (PCV), seção 2mm<sup>2</sup>, Figura 1 (f).



**Figura 1. Materiais de construção da unidade piloto**  
 Fonte: autor (2018)

### 3.1.1 Termopar Tipo K

Em sistemas de aquisições de dados de temperatura um dos sensores mais utilizados é o termopar. A sua faixa de cobertura varia entre  $-200$  e  $2300^{\circ}\text{C}$ , possuindo uma relevante precisão. O termopar tipo K é constituído por Níquel-Cromo (fio positivo) e Níquel-alumínio (fio negativo), e esse último trata-se de uma liga de níquel, alumínio, manganês e silício. Para o referido termopar a sua faixa de utilização é de  $-200$  a  $1200^{\circ}\text{C}$  com uma sensibilidade por volta de  $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ .

A escolha quanto ao tipo de termopar utilizado é em decorrência características de aplicação, tais como a faixa de temperatura a ser medida, a precisão, os custos, etc. Sendo que existem vários tipos e cada um possui suas especificações e faixa de temperatura de trabalho. De posse do material em estudo justificou-se a utilização do já citado termopar tipo K como o instrumento de medição da temperatura.

### 3.1.2 Multímetro

Consiste em um aparelho digital utilizado na realização de medições de componentes de circuitos elétricos. Nesse trabalho foi também utilizado o multímetro para conferir a diferença de potencial do circuito elétrico do projeto, modelo foi o ET – 1002. O manual de funcionamento aborda todas as especificações técnicas.



**Figura 2. Multímetro ET - 1002**  
Fonte: autor (2018)

### 3.1.3 Alicate Amperímetro

Trata-se de um aparelho digital utilizado para realização de medições de parâmetros e componentes de componentes de circuitos elétricos (tensão, corrente e resistência). Uma de suas principais funções é a de aferir o campo de indução através da corrente (contínuo-alternada) que passa em suas pinças, não ocorrendo o contato direto com o circuito. O modelo utilizado foi o ET-3200, Figura 3.

No referido trabalho sua utilização se deu nas medidas da corrente contínua do circuito, na medição da voltagem da fonte, e a resistência. O manual de funcionamento apresentam todas as especificações técnicas de mesmo.



**Figura 3. Alicate amperímetro ET - 3200**  
Fonte: autor (2018)

### 3.1.4 Incerteza de Medição

Três partes caracterizam as grandezas físicas que são: valor numérico, erro e uma unidade, se a grandeza for adimensional essa unidade não existirá. Quanto ao valor numérico determina-se através de uma medição e, portanto é necessário o conhecimento do erro dessa medição.

Sendo assim têm-se dois tipos de erros: o sistemático que se relaciona com a exatidão dos equipamentos e sensores e já vem previamente determinado pelo fabricante, apresentando, portanto, as funções e características das respectivas calibrações. O outro tipo de erro é o aleatório, onde sua ocorrência é em função das várias medidas de uma mesma variável, sob determinadas condições. Destacando-se não ser esse último tipo de erro não ser considerado

no trabalho, em vista dos sensores permanecerem fixos e sem interferência humana nas leituras.

### 3.1.5 Projeto de Montagem da Unidade Piloto

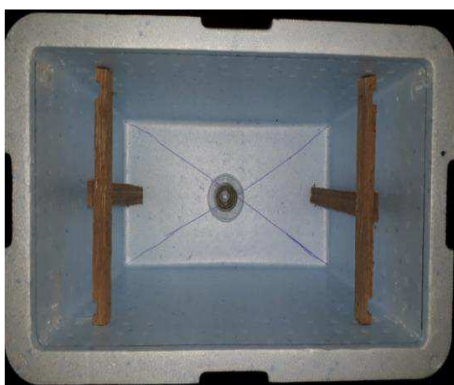
Realizou-se um furo na parte central inferior da caixa (unidade piloto), de tal forma que comportasse o soquete bocal, e de modo que o sistema permanecera hermético. Logo depois, instalou-se a fonte interna (lâmpada), além de posicionar as duas hastes de fibra de babaçu que servira como base de sustentação ao molde envolto de tela protetora, que recebera a placa de gramado verde, esse molde é produzido do mesmo material das hastes, em virtude, da fibra de babaçu, apresentar boa leveza e considerável resistência mecânica à tração e compressão, em relação a outros tipos de materiais da mesma natureza vegetal de acordo com a Figura 4.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 4. (a) Montagem da unidade piloto (b). Soquete e hastes de fibra de babaçu (c). Fonte interna (d). Estrutura final.**

Fonte: autor (2018)

### 3.1.6 Construção do Sistema Elétrico

Essa parte composta pelos materiais supracitados na subseção 3.2.1. As três lâmpadas foram dispostas em série sendo que duas foram fixadas numa placa de poliestireno e a terceira estava dentro da caixa (fonte), tal fato se deu para reduzir a potência da fonte e, por conseguinte diminuir a temperatura interna gerada no interior da unidade piloto durante o experimento. Os valores foram os seguintes: 7,33W de potência, 0,1<sup>a</sup>, a corrente do sistema e sabendo-se que a voltagem ficou entorno de 73,3V.

### 3.1.7 Aquisição e Dimensões da Placa do Gramado

Adquiriu-se uma placa de grama esmeralda (*Zoysia japonica*) de dimensões (300 x 150 mm e 30 mm de altura), de acordo com a Figuras 4, sendo o material de realização do estudo, e composta pela vegetação e o substrato.

Vale destacar, que o gramado foi adquirido no dia 8 de janeiro de 2018, encontrando-se em ambiente natural, ou seja, a céu aberto, na unidade revendedora e o mesmo, era irrigado uma vez ao dia. Porém a partir da data de aquisição cessou-se a prática de irrigação a fim de reduzir a umidade contida na placa, ressaltando que a realização experimental ocorreu no dia 10 do referido mês. Essas medidas equivalem a 0,045 metros quadrados.



**Figura 5. (a). Placa do gramado (superior) (b). Placa do gramado (lateral)**  
Fonte: autor (2018)



### 3.1.8 Compósito da Placa do Gramado Contida em Três Amostras

A união de duas ou mais matérias-primas resultam em uma mistura, e estas guardam entre si um título. Em que a definição do título de uma dada mistura é a razão entre a matéria-prima que apresenta maior massa e a massa total da mistura (D'AMBRÓSIO e D'AMBRÓSIO, 1977 apud LIMA, 2005). Três amostras de parte do gramado foram levadas ao Laboratório de Fitotecnia e Pós Colheita – LAPOC, em de 10 de janeiro de 2018, a fim de se determinar o título e a quantidade de água presente nas mesmas. O primeiro procedimento foi a confecção das respectivas amostras que após a coleta (*in nature*) foram levadas a uma balança analítica de usos diversos conforme a Figura 5, (amostras do gramado antes do processo de secagem), e aferido a massa de cada uma, conforme dados apresentados na Tabela 6. Então foram postas numa (Estufa de Secagem de Circulação Forçada) a uma temperatura controlada a 60 °C, com início às 10 horas, passando um intervalo de tempo de 24 horas sob essas condições, onde depois desse período Figura 6, têm-se as (amostras do gramado após o processo de secagem) novamente foram medidas as novas massas e apresentaram os seguintes valores conforme mostrado a seguir.

$$t = \frac{M_{sub}}{(M_{sub} + M_{água})} \quad (13)$$

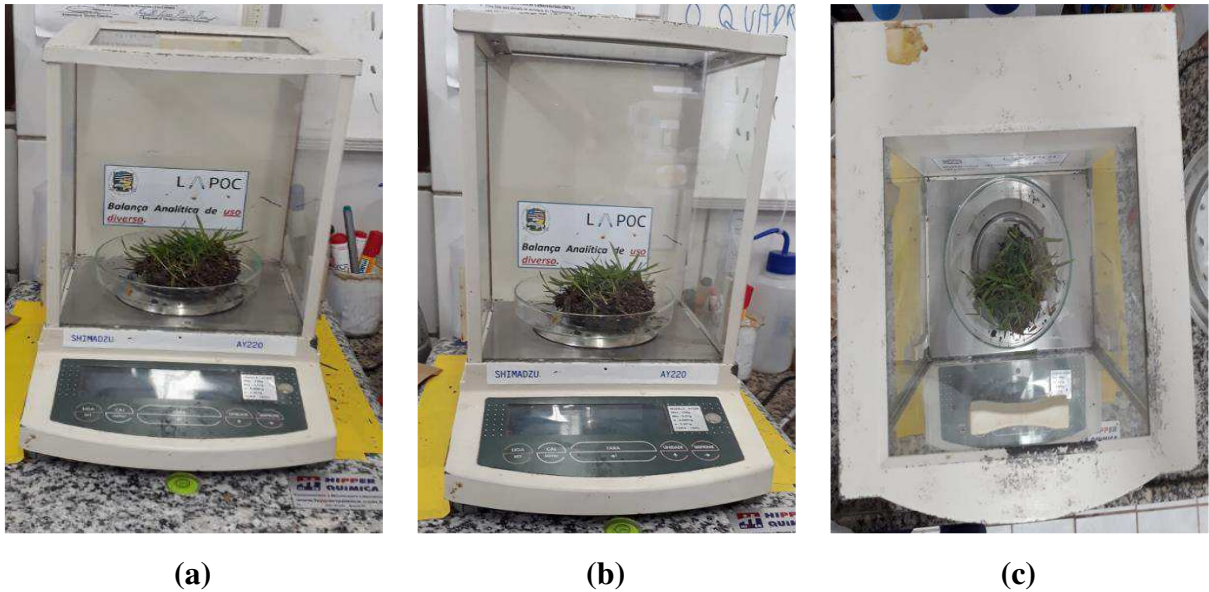
A determinação das massas das amostras da placa de gramado foi retirada a partir da amostra padrão de onde foi extraída a placa em estudo, em equilíbrio com o ambiente, e aferido com uma balança analítica de usos diversos SHIMADZU, modelo AY220.

**Tabela 6 - Massa dos compósitos da placa de grama**

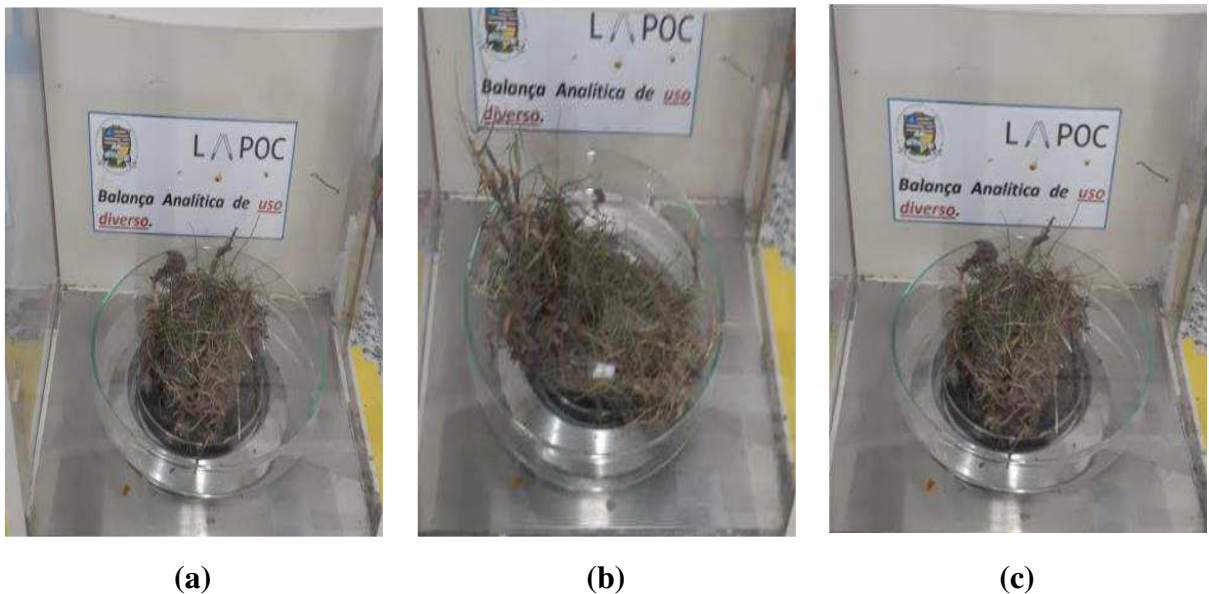
Fonte: autor (2018)

Massas do Gramado Natural Úmido (g)	Massa do Gramado Ressecado (g)	Títulos das Amostras
Amostra 1 = 100,55	Amostra 1 = 80,43	0,79
Amostra 2 = 100,16	Amostra 2 = 79,70	0,79
Amostra 3 = 100,64	Amostra 3 = 82,13	0,81
Média das Amostras = 100,45	Média das Amostras = 80,75	0,79

Os títulos calculados através da Eq. 16, apresentados na Tabela 6, possuem dependência apenas de proporcionalidade entre os materiais da placa de gramado.



**Figura 6. (a). Amostra 1 do gramado (b). Amostra 2 do gramado (c). Amostra 3 do gramado (Superior)**  
 Fonte: autor (2018).

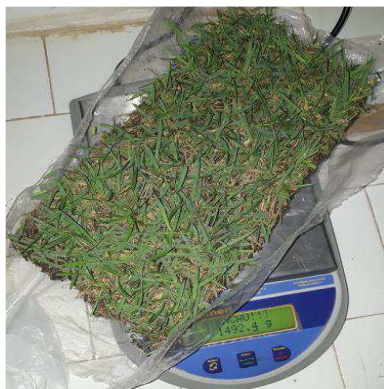


**Figura 7. (a). Amostra 1 do gramado após a secagem (b). Amostra 2 do gramado após a secagem (c). Amostra 3 do gramado após a secagem**  
 Fonte: autor (2018)

### 3.1.9 Montagem Placa na Unidade Piloto

Logo após os procedimentos já supracitados na subseção anterior, nas dependências do Laboratório de Ensaios Mecânicos e Metrologia – LABEMM aferiu-se a massa total da placa de gramado, numa balança de precisão e que por sua vez apresentou um valor de 1492,4 g nesse caso foi utilizado uma manta plástica posta sob o gramado com a finalidade de evitar a

perda do substrato ou de alguma parte constituinte do mesmo, durante os procedimentos experimentais, pois com a elevação da temperatura e a conseqüente evaporação de determinada massa de água contida na placa, parte do substrato cairia dentro da unidade piloto, a título do experimento foi desprezada a resistência desse plástico, devido a sua pouca espessura.



**Figura 8. Pesagem da placa de grama antes do teste**

Fonte: autor (2018)

### **3.1.10 Instalação dos Equipamentos e Montagem Final do Experimento**

De acordo com o princípio da transmissão de calor em que o fluxo de calor ocorre no sentido de uma região de maior temperatura para outra de menor, utilizou-se uma fonte de calor interna a unidade piloto para aquecer a face interna do sistema (placa de grama). Nestes termos a superfície externa ficou voltada para o ambiente sendo esse contínuo e independente e que durante o experimento permaneceu fechado para evitar interferências na temperatura interna do laboratório. A fim de proporcionar melhores condições no processo de transferência de calor, o ambiente da sala foi climatizado durante a realização experimental por um condicionador de ar de 12.000 BTU/h, a fim de tornar o mesmo com temperatura constante, ou seja, isentas de variações bruscas.

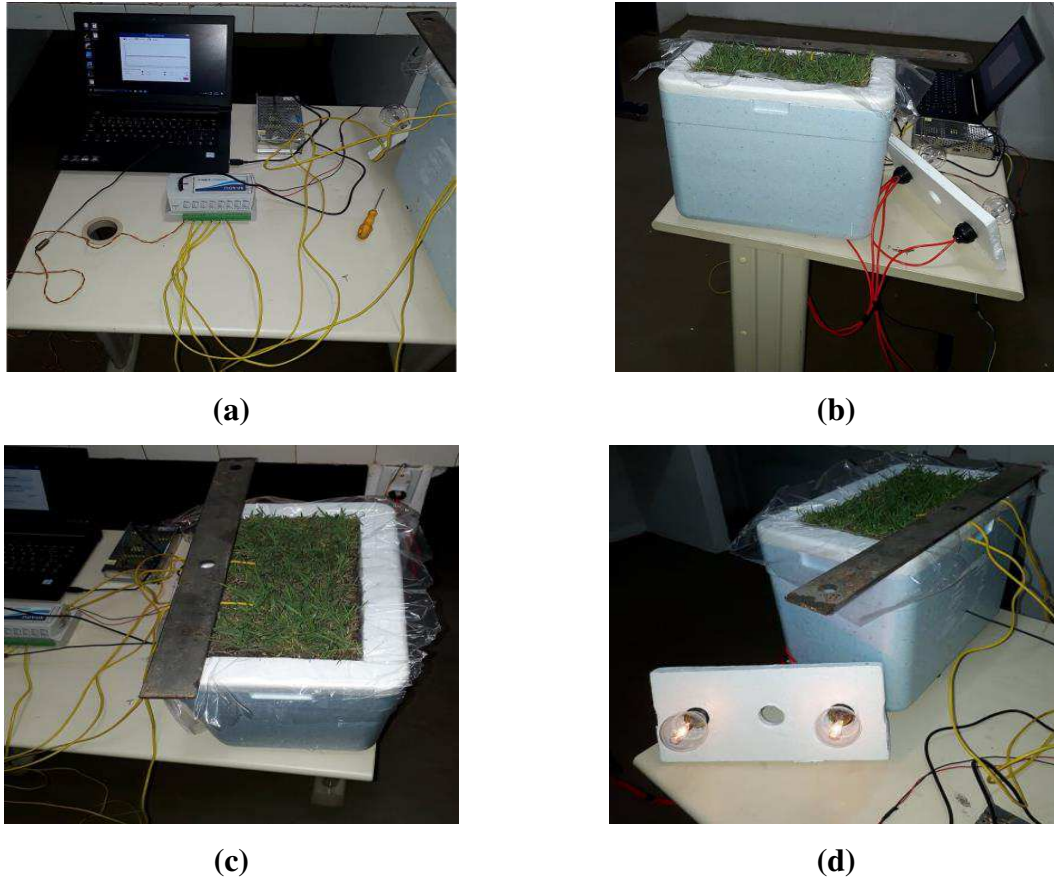
Foi disposto um número de seis (6) termopares, na placa de grama sendo que a configuração foi a seguinte: um termopar de vareta estava próximo à fonte interna à caixa de poliestireno, dois termopares dispostos na superfície interna em contato direto com o substrato, distantes entre si 50 mm na horizontal (comprimento) e 75 mm na vertical (largura), nesse caso foram realizados dois furos em uma das paredes da caixa para inserção de ambos, e os sensores foram curvados a fim de que suas pontas ficassem em contato superficial com a

placa, e destacando que um desses apresentou defeito. Perpendicularmente aos termopares da superfície interna havia mais dois dispostos na superfície externa, e além de outro termopar que estava na superfície da mesa onde estava disposta a unidade piloto coletando os dados, do ambiente já que o experimento foi realizado dentro do Laboratório de Ensaios Mecânicos e Metrologia – LABEMM. O período de aquisição dos dados foi das 19 h 24 min 17 s do dia 10 de janeiro de 2018 até 12 h 16 min do dia seguinte.

O funcionamento ocorreu do seguinte modo, o calor gerado através da fonte (lâmpada interna ao sistema) e de mesma potência das que ficaram externas é difundido através do solo, isso acarreta na modificação do estado térmico, de forma acentuada. Os termopares como já citados foram instalados a uma distância conhecida na placa em estudo e farão a identificação das variáveis térmicas a cada intervalo de tempo de um segundo. É uma das propriedades que expressam determinada intensidade no fluxo de calor de um corpo é a condutividade térmica.

E no decorrer do acompanhamento da aquisição quando os dados das temperaturas se apresentaram através de gráficos em regime permanente as medições foram finalizadas, e novamente se fez a pesagem da placa de grama apresentando uma massa de 1434,4 g. A parte do isolamento se deve a própria tampa da caixa de isopor como já mencionado serviu de molde onde fora encaixado a placa do experimento.

A Figura 8 mostra a disposição de toda instalação e realização da coleta de dados do projeto.



**Figura 9. (a). Sistema com termopares e aquisitores de dados (b). Placa de grama montada sobre a estufa (c). Termopares apoiados na superfície externa da placa (d). Lâmpadas dispostas em série com a fonte (Interna)**  
 Fonte: autor (2018)

### 3.1.11 Disposição de Dados e Resultados

De acordo com a NBR 16401 que apresenta as condições externas das principais cidades brasileiras tomando como base dados aeroportuários e nesse trabalho os dados são do aeroporto Marechal Cunha Machado, em São Luís – MA.

#### Tabela 7 - Condições externas adotadas

Fonte: NBR 16401-1, Tabela A.4 p. 33

Altitude	53 m
Pressão Atmosférica	100,69 kPa
Latitude	2,6 S
Longitude	44,23 W

Adotaram-se também os parâmetros conforme a NBR 16401-2, que trata de conforto térmico e que por sua vez estabelece as condições de conforto dos ambientes condicionados. Onde, a temperatura interna esteja na faixa de 22.5°C a 26°C e com úmida relativa de 35% a

65%, e nesses termos variando de acordo com cada tipo de ambiente e o atendimento a das condições de conforto.

**Tabela 8 - Condições internas adotadas**

Fonte: NBR 16401-1

TBS (°C)	UR %
23	60

Para os cálculos foram adotados os parâmetros de uma edificação de pé direito igual a 2,80 m e uma área de 15 metros quadrados. E conforme a os dados gerados pelo software IESVE, que trata a respeito do desempenho térmico das edificações, têm-se as seguintes propriedades.

No software foram inseridas informações para o cálculo da inércia térmica e o fluxo de calor das paredes e nesse caso de fora para dentro. Salientando, pois, que no teto (laje de concreto) da edificação foi estudada a influência dos parâmetros com e sem o gramado sobre o referido teto da edificação.

A estrutura do telhado para a simulação foi composta nas seguintes análises; na primeira simulação o telhado é considerado apenas a laje de concreto, enquanto na segunda considerou-se o próprio gramado do estudo como isolante térmico natural posto sobre a mesma, a Tabela 9 abaixo mostra algumas propriedades.

**Tabela 9 - Propriedades físicas da laje**

Fonte: autor (2018)

Camada	$e(mm)$	$k(W/m \cdot K)$	$\rho(kg/m^3)$	$C(J/kg \cdot K)$
Laje de Concreto Normal	150	1.43	2243	837
Cobertura Vegetal sobre Laje de Concreto	30	0.67	1100	3650

De semelhante modo estão dispostas algumas características das propriedades físicas que compõem as paredes da edificação e que foram tomadas como parâmetros na simulação de acordo com a Tabela.

**Tabela 10 - Propriedades físicas das paredes**

Fonte: autor (2018)

Camada	$e(mm)$	$k(W/m \cdot K)$	$\rho(kg/m^3)$	$C(J/kg \cdot K)$
Paredes	90	1.0	1700	800

As propriedades do piso estão dispostas como apresentadas na Tabela 11 abaixo, sendo esse composto por duas camadas uma de azulejos e outra de concreto.

**Tabela 11 - Propriedades físicas do piso**

Fonte: autor (2018)

Camada	e (mm)	k (W/m · K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C(J/kg · K)
Azulejos	30	0.57	1121	837
Concreto	200	1.75	2243	837

Conforme as tabelas seguintes estão também, representadas algumas das propriedades físicas da porta, e da janela ressaltando que nesse caso foi utilizado apenas um componente de cada para efeitos didáticos.

**Tabela 12 - Propriedades físicas da porta e janela**

Fonte: autor (2018)

Camada	e (mm)	k (W/m · K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (J/kg · K)
Porta	37	0.13	500	1500
Janela	15	1.00	–	–

São apresentados, através da Tabela 13 os valores de cargas gerados no recinto pela iluminação, ocupação humana e equipamentos elétricos. A iluminação em um determinado recinto adiciona carga ao mesmo porque dissipa calor ao ambiente, no caso uma lâmpada fluorescente, e o horário utilizado para efeito de estudo foi definido das 18 às 23 horas.

Na ocupação humana também de grande relevância na determinação da carga térmica, pois o calor sensível, a transpiração, a respiração e o calor radiante dos ocupantes adiciona uma determinada quantidade em carga de calor latente ao ambiente. E nesses termos definiu-se como uma pessoa exercendo uma atividade sentada de acordo com a NBR 16401.

De tal modo os equipamentos elétricos apresentam as suas contribuições e, portanto, necessariamente são levados em consideração no dimensionamento da carga térmica, nesse um microcomputador com horário de funcionamento das 8 às 23 horas.

**Tabela 13 - Ganhos internos gerais**

Fonte: autor (2018)

Tipo/Atividade	Calor Sensível (W/Atividade)	Calor Latente (W/Atividade)	Fração Radiante de Calor Sensível
Iluminação Fluorescente	224	-----	0.45
Pessoa	70	45	-----
Computador	65	-----	-----

De acordo com a NBR 6401, outro parâmetro que se faz necessário é a taxa de infiltração de ar por frestas de janelas e portas que fornece os valores pelo modo de ajustes das aberturas

(7.5 l/s). O regime de trabalho adotado em todo o sistema foi de 100% para os horários designados de funcionamento diário.

### **3.1.12 Programas de Aquisição e Simulação**

Na aquisição de dados foi utilizado o módulo de Aquisição e Registro de Dados – FieldLogger, para realização das medições recuperação e exportação dos dados para análise posterior e computador com software do módulo de aquisição de dados. Utilizaram-se seis entradas analógicas para termopares, sendo conectado a um computador através de porta USB, onde fora possibilitado a configuração bem como o monitoramento e coleta.

Sendo que dos seis termopares ao todo cinco eram do tipo (K), e apenas um desses de vareta, todos integrados aos dispositivos de armazenamento de dados de temperatura. Sendo que ao longo do experimento um dos termopares postos na superfície inferior do gramado localizado no interior do sistema apresentou defeito e seus dados foram descartados.

Através do programa IESVE, há a possibilidade de determinação da carga térmica, consumo energético, condições de contorno, além de influências dos parâmetros construtivos no que se refere ao conforto térmico e consumo energético. Baseia-se em princípios de modelagem matemática intrínseca a transferência de calor, ou seja, as variáveis que acontecem interna e externamente a um edifício.

Podem-se pormenorizar detalhes na avaliação do conforto térmico, o mesmo faz o balanceamento das equações de energia e combina com as equações de calor através das superfícies de paredes, pisos e tetos de acordo com os dados climáticos da região.



## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Este capítulo por sua vez traz os seguintes dados tais como: os de monitoramento das temperaturas do experimento, análises estatísticas de variáveis medidas além da avaliação e discursão dos desempenhos térmicos gerado pela placa de gramado estudada.

### 4.1.1 Considerações de Cálculos e Resultados

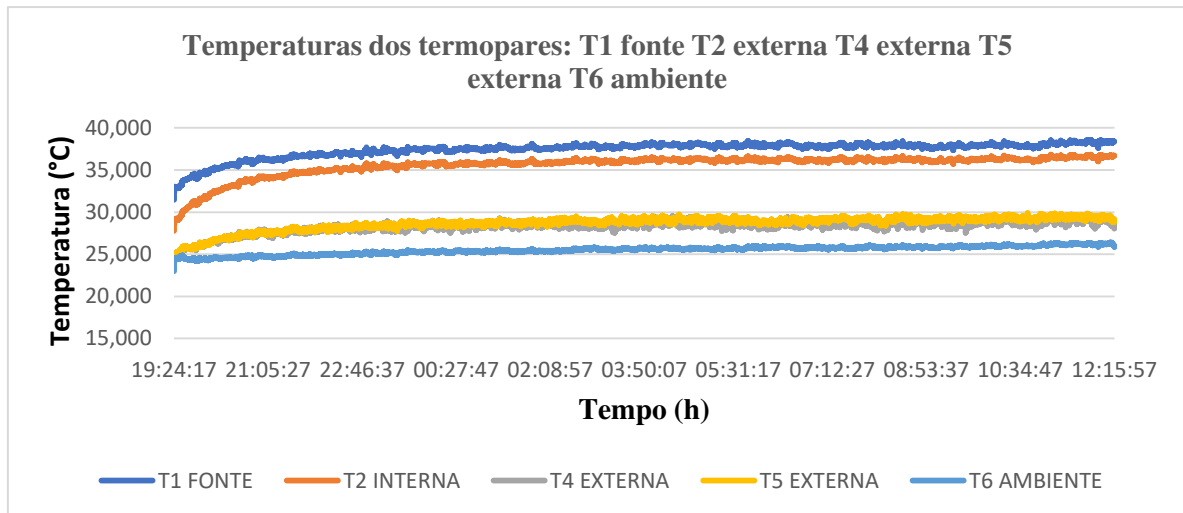
O experimento ocorrera em duas partes distintas tendo a primeira voltada para determinação da constante de condutividade térmica da placa de gramado (*Zoysia Japonica*), e a segunda parte a utilização desse gramado como isolante térmico em uma laje de uma edificação (telhado verde) através de simulação computacional. No primeiro caso não foram levados em conta os seguintes itens:

- a) Perdas em função de variações da temperatura do laboratório decorrentes de presença de pessoas e/ou objetos elétricos;
- b) A pequena distância de contato entre os termopares e a placa de grama, já que se trata de uma superfície irregular;
- c) Imprecisão na aquisição e processamento de informações pelo sistema de aquisição de dados;
- d) Perdas de calor pelas paredes de isopor e pela própria placa;
- e) Considerou-se para fins didáticos o fluxo de calor constante na fonte de aquecimento.

Ao término desse processo foram geradas tabelas e/ou planilhas da coleta dos dados, o que possibilitara a transformação das mesmas em ferramentas de análises e confronto de resultados.

### 4.1.2 Comportamento das Temperaturas ao Longo do Experimento

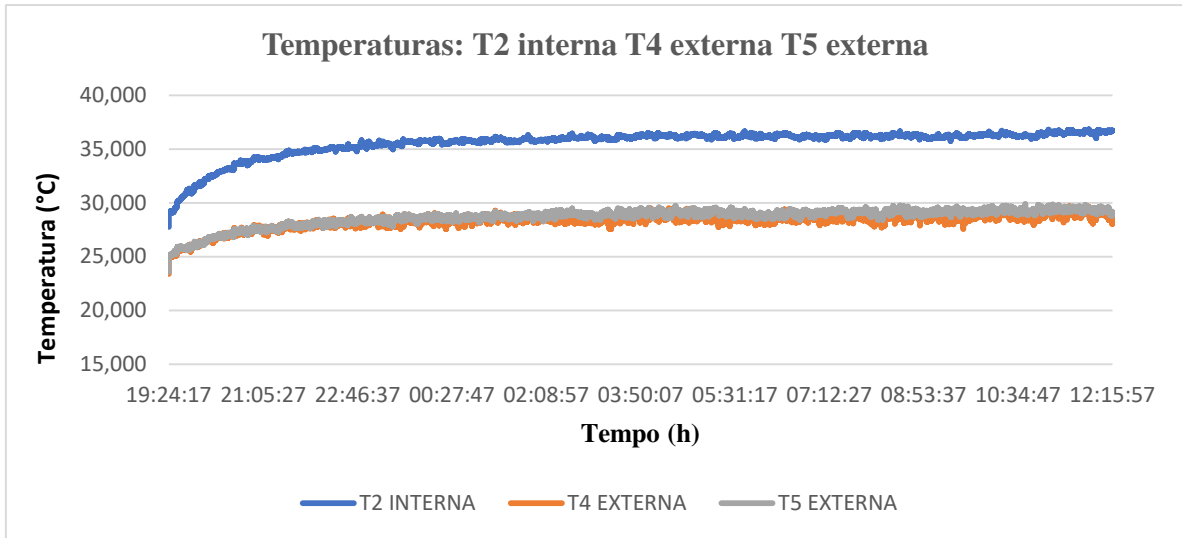
A matéria prima (placa de grama *Zoysia japonica*), fora devidamente confeccionada e posicionada na unidade piloto, bem como os termopares instalados na mesma e os gráficos abaixo apresentam o comportamento das temperaturas aferidas ao longo do tempo. Neste caso como pode ser observado através dos gráficos, as condições tanto internas quanto externas permaneceram praticamente invariáveis, o que gerou um comportamento das curvas estável.



**Figura 10. Comportamento das temperaturas: (T1, T2, T4, T5 e T6)**  
 Fonte: autor (2018)

O gráfico na Figura 10, apresenta as temperaturas dos 5 (cinco) termopares ao longo das 17 horas e 40 segundos de aquisição, e sendo que as mesmas foram coletadas a cada segundo. As duas primeiras faixas do gráfico representam respectivamente as temperaturas: T1 (próxima à fonte), e T2 (superfície interna a placa em estudo).

A fonte fornecera uma potência controlada de 7,33W ao ambiente interno com isso a variação de temperatura se mostrou superior à do ambiente externo durante toda a realização experimental conforme indicado no gráfico. E as demais faixas num total de três representam a dos termopares postos na superfície externa do gramado (T4 e T5) e do termopar que fazia a coleta da temperatura (T6) do ambiente da sala onde se realizou o experimento. O gráfico da Figura 11 retrata de semelhante modo o comportamento das temperaturas dos termopares em contato direto com a superfície da placa de gramado que são (T2) interna, (T4 e T5), ambos externos ao sistema.

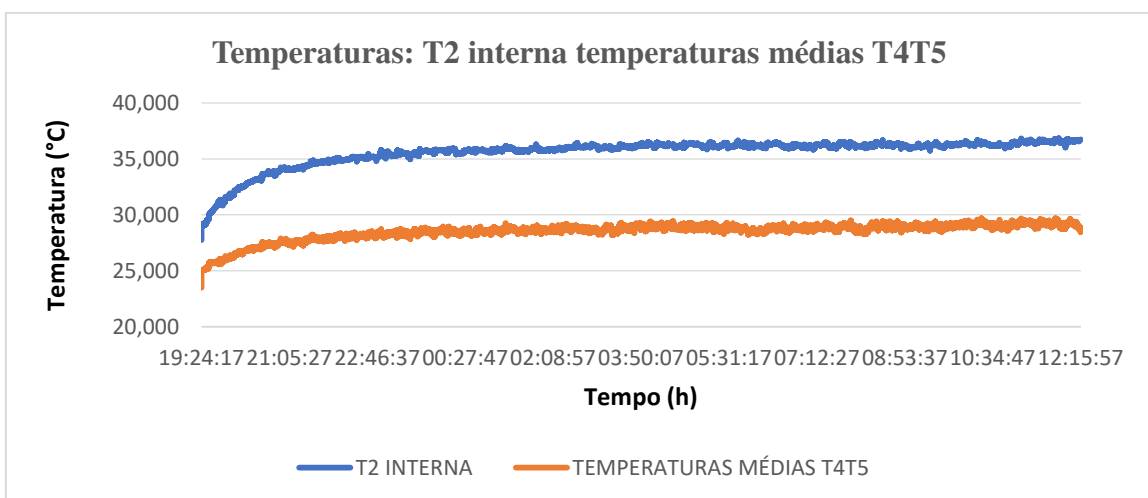


**Figura 11. Comportamento das temperaturas de contato com a placa**  
 Fonte: autor (2018)

Pode-se destacar no mesmo a homogeneidade das temperaturas e que não houve neste caso nenhuma variação anormal das mesmas durante a realização experimental, principalmente nas medidas dos termopares (T4 e T5) em que se apresentam praticamente sobrepostas.

#### 4.1.3 Comportamento das Temperaturas Médias ao Longo do Experimento

As temperaturas ao longo do tempo foram trabalhadas estatisticamente e a partir de então, conforme os valores apresentados pelos gráficos das Figuras 12 e 13. Trabalhou-se com as temperaturas médias dos termopares fixos nas superfícies (internas e externas).

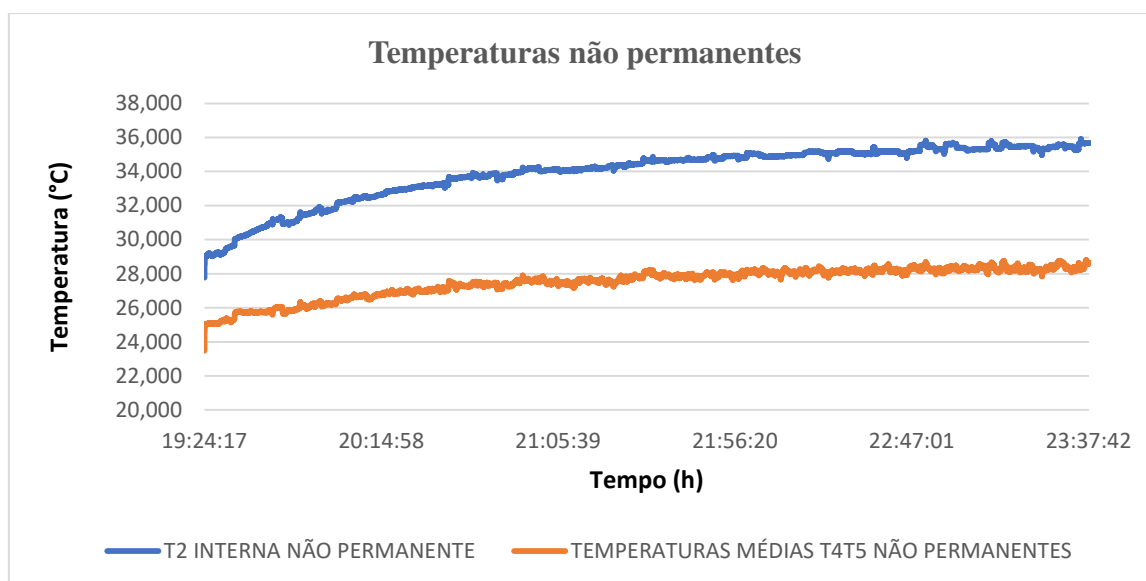


**Figura 12. Temperaturas médias de contato com a placa**  
 Fonte: autor (2018)

Conforme o gráfico da Figura 12, a média das temperaturas em torno de T2 foi de aproximadamente 35,5°C e para as médias de T4T5 o valor adquirido correspondeu a 28,5°C. Observando-se que a média das temperaturas obtidas por T6 o termopar que aferia as condições ambientes do laboratório onde se realizou o experimento foi de 25,4°C. Valores estes satisfatórios, pois os termopares T4 e T5 recebiam calor proveniente da transferência da fonte para a placa, que esses estavam diretamente em contato com a superfície, sendo assim possuíam maior temperatura que o próprio ambiente.

#### 4.1.4 Comportamento das Temperaturas Médias Regime Transiente

Num intervalo de tempo em torno de 4 horas, de acordo com o gráfico da Figura 13, o regime apresentou-se transiente, ou seja, conforme o mesmo há uma ascendência da curva. Tal fato se dá, pois há uma variação no decurso do tempo de pelo menos uma das variáveis que compõem o sistema.



**Figura 13. Temperaturas médias de contato com a placa regime transiente**

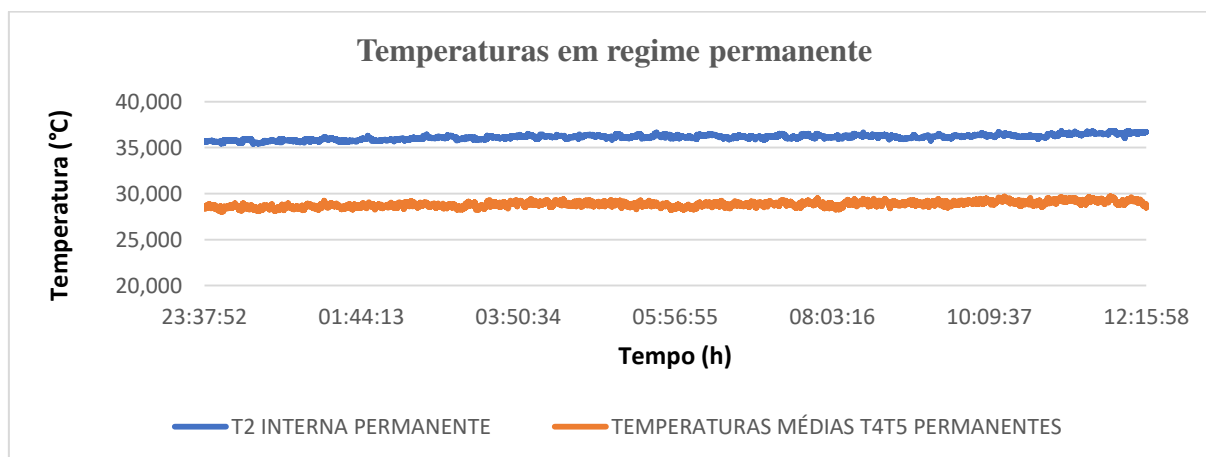
Fonte: autor (2018)

É justamente nesse intervalo de temporal que a placa apresenta algumas dessas variações tais como: evaporação de parte da umidade que se encontra no interior do substrato e da grama que a compõe e conseqüentemente variação de sua massa por exemplo.

Sendo, portanto fatores que influenciam diretamente no comportamento da variável (temperatura) e que fazem a mesma apresentar-se como já mencionado.

#### 4.1.5 Comportamento das Temperaturas Médias em Regime Permanente

O intervalo de maior duração conforme o gráfico da Figura 14 demonstra o comportamento final das curvas de temperatura. Nesse instante não há mais ascendência das mesmas, ou seja, atingiu-se o assim denominado regime permanente. Não há mais variações das variáveis envolvidas.



**Figura 14. Temperaturas médias de contato com a placa regime permanente**

Fonte: autor (2018)

E como tal, a partir do atingimento desse ponto (regime permanente), as temperaturas mantêm-se constantes, pois as propriedades da placa não variam mais. Por exemplo, de acordo com Flora (2006), as propriedades do próprio solo tais como o calor específico, umidade e difusividade causam interferência entre si; a mesma continua fazendo referência a Oke (1987), que trata da adição de umidade a um determinado solo em estado seco provocará o aumento da difusividade térmica, o contato térmico e expansão do ar contido no solo, porém para valores maiores que 20% por volume a difusividade diminuirá.

Há alguns valores são demonstrados na Tabela 6, além da conseqüente variação da massa da placa de grama (com valor inicial de 1492,4g e valor final de 1434,4g). A diferença de temperatura do referido gráfico nesse intervalo de tempo foi aproximadamente 7,29°C sendo que, a média de (T2) foi 36,14°C e (T4T5) 28,85°C.

#### 4.1.6 Determinação da Constante de Condutividade Térmica $k$

Então de posse dos dados do experimento a determinação da condutividade térmica fora realizada através da Equação 1. E nesse caso os valores foram agrupados conforme a Tabela 14.

**Tabela 14 - Grandezas para determinação de  $k$**

Fonte: autor (2018)

Grandezas	Unidades (SI)
Potência	7,33 W
Corrente	0,1 A
Área	0,045 $m^2$
Espessura	0,03 m
Variação de Temperatura	7,29 $^{\circ}C$

Sendo assim com a manipulação dos valores mostrados na tabela acima e a sua aplicação na supracitada equação, o valor encontrado da constante de condutividade térmica foi de aproximadamente  $0,67 W/(m^{\circ}C)$ . Segundo FROTA & SCHIFFER (2001) o valor da condutividade térmica para terra úmida vale  $0,6W/m^{\circ}C$ . Em trabalho similar de determinação da condutividade térmica, porém utilizando o “método do fio quente paralelo” Lima (2005) obteve a condutividade térmica instantânea média para uma placa de gesso e fibra vegetal no valor de  $0,255 W/m^{\circ}C$ . De acordo com Machado (2001) que realizou a determinação da constante de condutividade térmica de uma cobertura verde, onde foi formulada uma equação capaz de estabelecer os balanços energéticos de uma cobertura vegetal em meio natural e sobre uma edificação, chegando ao valor de  $0,12 W/m^{\circ}C$ . (Machado apud Morais, 2001, p. 29). A referida autora prossegue e destacando que as equações utilizadas por Machado (2001) apresentam inconsistências para o referido cálculo e carece de mais esclarecimentos (equações do método de Penman-Monteith).

Silva Junior (2016) no seu trabalho determinou a constante de condutividade térmica em placas de fibra vegetal de bananeira, sendo que o mesmo utilizou três placas e fazendo-se destaque para a placa 2 que obteve uma faixa entre  $0,14W/m^{\circ}C$  e  $0,173W/m^{\circ}C$ .

O respectivo valor encontrado no trabalho em questão apresentou  $0,67W/m^{\circ}C$  valor superior aos destacados nas supracitadas literaturas e se deve ao fato de que alguns fatores não foram controlados para o experimento. Segundo Noborio e McInnes (1993), apud Nidal & Reeder (2000), citados por Flora (2006) destacam que a condutividade térmica de um solo

depende vários fatores agrupados em dois grupos: inerentes ao solo (textura, composição); e controlados pelo homem até certo ponto.

E como já mencionado outrora a placa de gramado se encontrava em estado natural, ou seja, guardando características térmicas próprias.

#### 4.1.7 Avaliação da Capacidade Térmica do Gramado (*Zoysia Japonica*) como Isolante Térmico Natural sobre Telhado de Edificação

Com a constante de condutividade térmica determinada e através do programa IESVE simulou-se as duas situações de uma edificação com os dados já mencionados outrora e condições de entrada apontadas da Tabela 7 até a Tabela 13. Deste modo inserido os dados o programa simulou em um período de 365 dias a edificação com o gramado em duas situações (com e sem o gramado sobre o telhado) conforme os dados extraídos do ficheiro climáticos do Aeroporto Internacional de São Luís – Marechal Hugo da Cunha Machado.

Logo após de inseridos todos os dados já mencionados no decorrer do trabalho conforme a Figura 15 gerou-se gráficos com detalhes das cargas térmicas, e a influência do gramado como isolante térmico natural.

Description: laje,telhado vivo

Performance: ASHRAE

U-value: 3.4839 W/m<sup>2</sup>K      Thickness: 180.000 mm      Thermal mass Cm: 168.9652 kJ/(m<sup>2</sup>K)

Total R-value: 0.1049 m<sup>2</sup>K/W      Mass: 369.4500 kg/m<sup>2</sup>      Mediumweight

Surfaces Regulations

Outside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>K/W): 0.0299  Default      Solar Absorptance: 0.700

Inside: Emissivity: 0.900      Resistance (m<sup>2</sup>K/W): 0.1074  Default      Solar Absorptance: 0.550

Construction Layers (Outside To Inside)

Thickness mm	Conductivity W/(m·K)	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat Capacity J/(kg·K)	Resistance m <sup>2</sup> K/W	Vapour Resistivity GN·s/(kg·m)	Category
30.0	0.6700	1100.0	3650.0	0.0448	250.000	Sands, Stones and Soils
150.0	1.4300	2243.0	837.0	0.1049	558.000	Concretes

**Figura 15. Interface gráfica apresentando dados do telhado com gramado**  
Fonte: autor (2018)

A figura acima apresenta apenas as variáveis do teto e que o mesmo composto por uma laje de concreto, e nesse caso com o gramado posto sobre ele, valendo-se destacar o valor da condutividade térmica encontrada através do experimento.

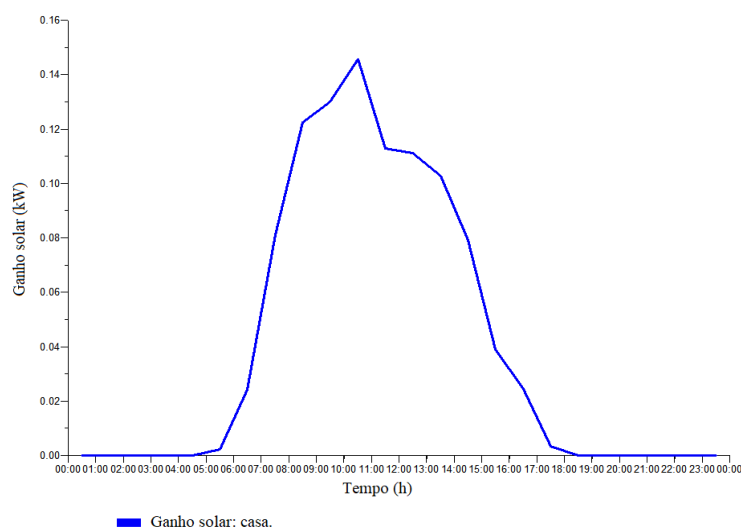
#### 4.1.8 Influências na Capacidade Térmica com a Utilização do Isolamento Natural

Os dados gerados são todos com referência ao mês e dia de maior intensidade que foi 16 de maio e a cor da curva em vermelho representa a edificação sem a cobertura vegetal e em azul com a referida vegetação.

Segundo Lamberts et al (1997) (como citado em Bezerra, 2003) dão a sugestão da utilização de coberturas vegetais em paredes no lado externo em edificações, sendo, pois um instrumento de minimização da radiação proveniente do sol, em face da (evapotranspiração e do sombreamento).

#### 4.1.9 Ganho solar

O gráfico da Figura 16 apresenta o ganho solar da edificação com o gramado sobre a laje superior e sem o gramado.



**Figura 16. Interface gráfica apresentando o ganho solar**

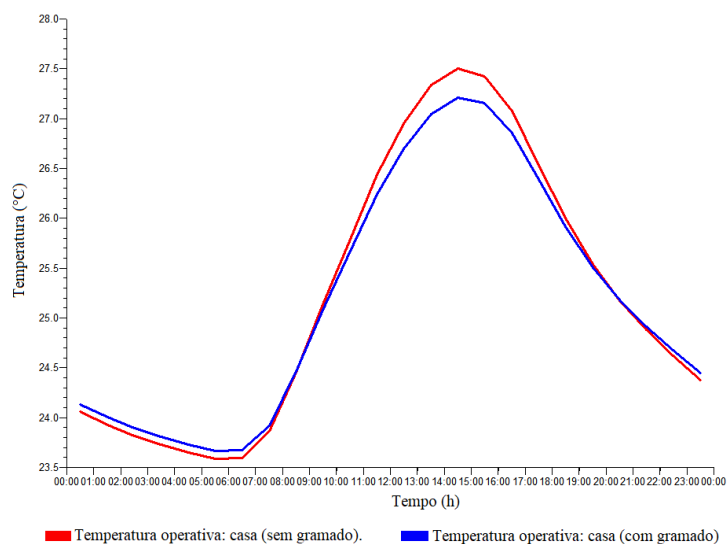
Fonte: autor (2018)

Nesse gráfico vale-se destacar que em ambos os casos o ganho solar é idêntico, pois a condições não variaram. O valor de maior intensidade ocorreu as 10 h e 30 min do referido dia e mês e foi de 0,145 kW.



#### 4.1.10 Temperatura Operativa

Logo após foi gerado o gráfico da máxima temperatura no ambiente simulado, conforme a Figura 17.



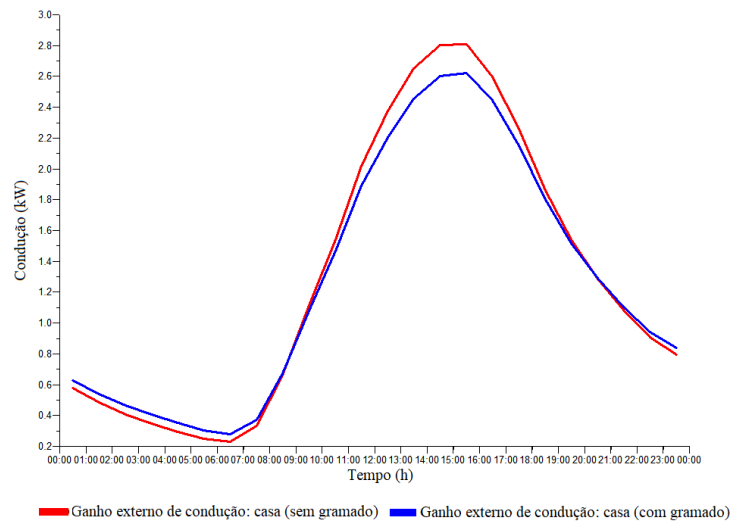
**Figura 17. Interface gráfica apresentando a temperatura operativa**  
 Fonte: autor (2018)

Os valores adquiridos de temperatura estão na escala Celsius, sendo assim, para o telhado sem a cobertura vegetal foram de 27,5 °C e com o telhado sobre o teto de 27,20 °C. Há uma sobreposição nos intervalos de tempo entre as 00:00 e 9 h e logo após 20 h, percebe-se que nesse instante o gráfico apresenta a temperatura do telhado verde superior ao que não apresenta tal cobertura, isso se dá em virtude de nesses instantes a temperatura externa ser menor que a ambiente e como a superfície vegetal é um isolante térmico impede a troca de calor.

O que se apresenta de acordo com o trabalho realizado Vieira (2016), onde no seu estudo o protótipo com telhas de fibrocimento apresentou variação de temperatura negativa, pois a temperatura interna do ambiente apresentou-se mais elevada em relação a do próprio telhado, já o que possuía cobertura verde por outro lado gerou valores positivos nos períodos de pouca ou nenhuma radiação solar, porquanto a temperatura do teto possuía maior valor que a do ambiente interno. O autor também mencionou que o telhado verde possui a característica reduzir o aumento da temperatura interna no período de maior ganho solar se comparado ao tradicional, além da taxa de perda de calor do ambiente interno com cobertura verde ser menor.

#### 4.1.11 Condução

A condução é mostrada pelo gráfico da Figura 18 os seus valores com e sem a cobertura vegetal são respectivamente: 2,6 e 2,8 kW.



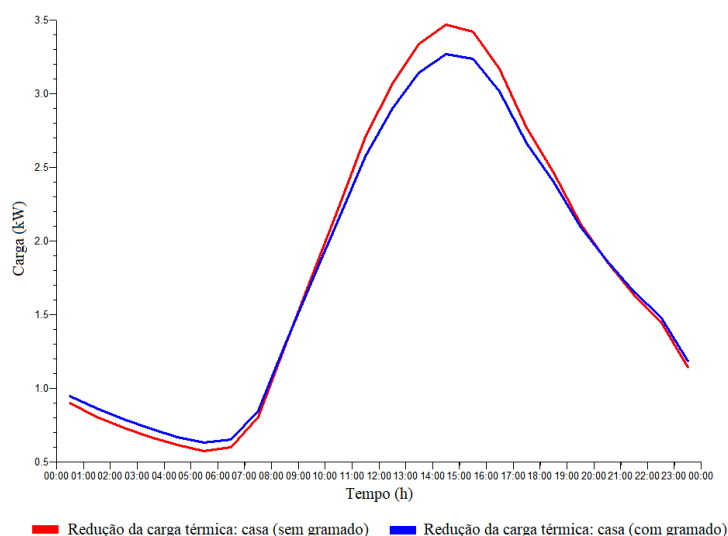
**Figura 18. Interface gráfica apresentando a condução**

Fonte: autor (2018)

Assim como o ocorrido na temperatura operativa, os comportamentos gráficos na condução são similares inclusive nos intervalos de tempo já mencionados.

#### 4.1.12 Carga Térmica

E finalmente o gráfico da Figura 19 traz a carga térmica do ambiente simulado, conforme se pode constatar através das curvas, o comportamento justifica-se aos da temperatura operativa e da condução bem como os detalhes já abordados.



**Figura 19. Interface gráfica apresentando a carga térmica**

Fonte: autor (2018)

O pico máximo ocorreu próximo as 14 h e 30 min, com um valor de 3,47 kW para a edificação sem o telhado verde (gramado), já com o gramado funcionando como isolamento natural e para todos os casos com 30 mm de espessura e com as características já abordadas o seu pico para o mesmo horário foi de 3,26 kW.

E de acordo com Moraes (2004) no seu estudo de desempenho térmico tem-se no período de inverno a cobertura verde (*Zoyzia japônica*) apresentou uma redução das flutuações térmicas diárias entorno de 70% se comparada com a da laje comum, isso internamente em ambos os casos, e as temperaturas superficiais externas da grama e da laje foram respectivamente 26,5°C e 45,9°C, ou seja, 60% de variação térmica sob uma irradiação de 665 W/m<sup>2</sup>, devido à capacidade de a vegetação agir como isolamento.

A autora continua e destaca os valores obtidos para o verão em que houve redução de 20% do fluxo de calor (superfície externa), podendo estar ligado a processos biológicos da vegetação (fotossíntese e evapotranspiração). Tratando-se das superfícies internas reduziram-se diariamente as variações térmicas em 55%. Ela conclui que tais valores em ambas as estações podem estar diretamente ligados à capacidade da vegetação em irradiar e refletir menor quantidade de calor. (MORAIS, 2004).

## 5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A configuração de montagem da placa do gramado através do protótipo, e os resultados obtidos pelo método experimental, demonstraram a capacidade de resistência à transferência de calor que o material fornece, e de acordo com os gráficos das Figuras 10 a 14, os referidos apresentam a mesma simetria ao longo do experimento. Mais especificamente no gráfico da Figura 14, a amplitude térmica média no estado de regime permanente da placa foi de 7,29°C uma redução entorno de 20% das temperaturas, o que implica possuir a placa de gramado uma resistência ao fluxo de calor.

Nesses termos podemos inferir que de acordo com valor encontrado no trabalho em questão para condutividade térmica ao longo do experimento, esse se mostrou superior aos de: condutividade térmica de uma cobertura verde, placa de gesso e fibra vegetal, da terra úmida e fibra vegetal de bananeira, conforme já discutido.

Quanto à avaliação da carga térmica utilizando o gramado como isolante temos que depois de determinado o coeficiente de condutividade térmico e utilizado o valor do mesmo como um dos parâmetros para simulação do ambiente sem e com a cobertura verde e de acordo com os gráficos das Figuras 17 a 19 esses apresentaram sempre valores menores para um ambiente com cobertura vegetal, o que se mostrou de acordo com a literatura. Os referidos gráficos também expõem que no período de menor ou nenhuma radiação a curva para o ambiente com gramado sobre o telhado é superior à curva do ambiente que não o continha, em virtude de que nesses instantes a temperatura operativa no interior do recinto apresenta-se mais elevada e nesse caso pelo fato do mesmo agir como isolante térmico, impedir a troca de calor com o ambiente externo, o que vem a corroborar que a utilização do mesmo é útil tanto para condicionamento quanto para aquecimento. A utilização desse material conforme os dados extraídos da simulação apontaram reduções nos parâmetros onde, a condução baixou 7,14% e a carga térmica foi 6% menor. Portanto de acordo com os valores abordados, o gramado possui maior eficiência comparada aos outros materiais já supracitados.

Segundo Van Renterghem e Botteldooren (2011) apresentam duas maneiras de redução sonora com a utilização do telhado verde: (aumento do isolamento do telhado, ou através de absorção de ondas sonoras sobre o mesmo). Através de uma variação pequena da espessura do substrato ou presença de vegetação, são eficazes para conter frequências mais elevadas, já para ruídos de baixa frequência é necessário um aumento espessura do substrato. (Van Renterghem e Botteldooren apud Fujiwara, 2016).

Diante do exposto, conclui-se que a utilização de cobertura vegetal como isolamento térmico é justificável, pois assim como já destacado na área sonora reduz-se também as variações térmicas e, por conseguinte produzirá uma redução do consumo energético com sistemas de condicionadores de ar (períodos de calor) e aquecedores (períodos de frio intenso).

Para trabalhos futuros na mesma linha de pesquisa, pode-se melhorar pontos da metodologia até então aplicada, tais como: a identificação das partes constituintes do solo, a umidade contida no mesmo e a utilização de uma unidade (edificação) em tamanho real.

## REFERÊNCIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-1: **Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos e instalações.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2: **Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-3: **Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade de ar interior.** Rio de Janeiro, 2008.

BALDESSAR, Silvia Maria Nogueira. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada.** 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Construção Civil, Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BEZERRA, Luciano André Cruz. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo.** 2003. 64 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

CALLISTER, William. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** Grupo Gen-LTC, 2000.

ÇENCEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin L. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem prática.** 4. ed. Porto Alegre: AMGH Ltda., 2012. 902 p. Fátima A. M. Lino.

COSTA, Ênnio Cruz da. **Refrigeração.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1982. 322 p.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado.** 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a, 2004. 316 p.

DELLA FLORA, Luciana Cristina. **Influência da massa específica na difusividade térmica do solo em diferentes umidades.** 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Matemática, Física, Estatística e Matemática, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

FEITOSA, Sônia Maria Ribeiro. **Alterações climáticas em Teresina-PI decorrentes da urbanização e supressão de áreas verdes.** 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Ambiente, Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

FERNANDES, Larissa Pivetta. **Avaliação do conforto térmico em espaços livres públicos: Estudo de caso no entorno de praças do município de Londrina, Paraná.** 2014. 64 f.

TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.

FUJIWARA, Flora Lyn de Albuquerque; SANTOS, Luana Silva. **Avaliação da tecnologia de telhados verdes em escala piloto e estimativa de retenção de água em edificações prediais em Brasília/DF**. 2016. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

GIROLINETO, Eduardo. **Desenvolvimento da grama esmeralda (*Zoysia japonica* STEUD) sob dois manejos de irrigação**. 2008. 29 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal - São Paulo, 2008.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.; BERGMAN, Theodore L. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Grupo Gen-LTC, 2008.

KERN, Donald Q. **Processos de transmissão de calor**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 549 p. Adir M. Luiz.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, Brasil: PW Editores, 1997.

LIMA, João Pinto. **Modelagem e teste de condutividade térmica em placa de gesso e fibra vegetal, *Mauritia Vinifera Martius*, para uso na construção civil**. 2005. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Térmica e Fluidos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - São Paulo, 2005.

MACIEL NETO, José de Almeida. **Caracterização térmica de solos**. 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Energéticas e Nucleares, Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MORAIS, Caroline Santana de. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade São Carlos - SP**. 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - Sp, 2004.

MORGAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N. **Princípios de Termodinâmica Para Engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 840 p. Gisele Maria Ribeiro Vieira et al.

PALMEIRA, Aline Nogueira. **Balanco de energia em telhado verde**. 2016. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SILVA JUNIOR, José Ribamar Ribeiro. **Determinação experimental do coeficiente de condutividade térmica de uma placa de fibra vegetal de bananeira**. 2016. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Estadual do Maranhão - Uema, São Luís - Ma, 2016.

STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e ar condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985. 478 p. Jose M. Saiz Jabardo et al.

STREETER, Victor L.; WYLIE, E. Benjamin. **Mecânica dos fluidos**. 7. ed. Brasil: McGraw Hill, 1982. 577 p. Milton Gonçalves Sanches.