



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PROCESSOS



**TESE**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE TÉRMICA DE TEXTURA TIPO FULGET  
USADA PARA REVESTIMENTOS DE PAREDES EXTERNAS EM EDIFICAÇÕES**

**ADJALMIR ALVES ROCHA**

Campina Grande-PB, 02 de fevereiro de 2018

ADJALMIR ALVES ROCHA

**TESE**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE TÉRMICA DE TEXTURA TIPO FULGET  
USADA PARA REVESTIMENTOS DE PAREDES EXTERNAS EM EDIFICAÇÕES**

Tese submetida à Coordenação do Curso de Doutorado em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Processos.

Orientadores: **Dr. Marcelo Bezerra Grilo**

**Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues**

Campina Grande-PB, 02 de fevereiro de 2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R672d      Rocha, Adjalmir Alves.  
Desenvolvimento e análise térmica de textura tipo Fulget usada para revestimento de paredes externas em edificações / Adjalmir Alves Rocha. – Campina Grande, 2018.  
167 f.: il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.  
"Orientação: Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo, Prof. Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues".  
Referências.

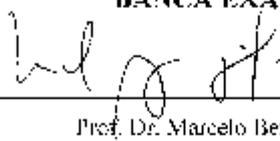
1. Revestimento Fulget. 2. Análise Térmica. 3. Condutividade Térmica. 4. Refletância. I. Grilo, Marcelo Bezerra. II. Rodrigues, John Kennedy Guedes. III. Título.

CDU 62-4(043)

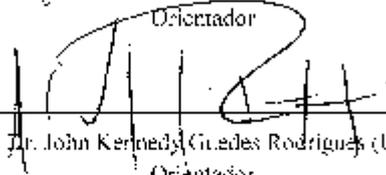
MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO DE ADJALMIR ALVES ROCHA APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

Tese de Doutorado **aprovada** em 02 de fevereiro de 2018.

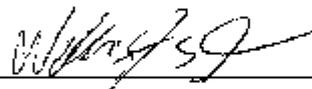
**BANCA EXAMINADORA**



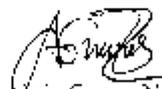
Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo (UEGG)  
Orientador



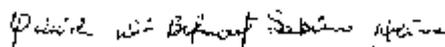
Prof. Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues (UEGG)  
Orientador



Prof. Dr. Wellington Sousa Lima (UEGG)  
Examinador externo



Prof. Dr. Antonio Gomes Nunes (UFERSA)  
Examinador externo



Prof. Dr. Celeide Maria Belmont Sabino Meira (UEPB)  
Examinadora interna



Prof. Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima (UEGG)  
Examinador interno

Campina Grande, Fevereiro de 2016.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Jaime e Aderita Rocha (*in memoriam*); a minha esposa Helena Almeida e a minha filha Lívia Rocha, pelo incentivo e pela compreensão.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, “até aqui nos ajudou o Senhor” (1 Samuel 7:12).

Um agradecimento especial a minha família, especialmente a Helena Almeida e Livia Rocha, por estarem sempre do meu lado.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo e o Prof. Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues, por terem acreditado em mim e me motivado durante o doutorado.

Aos professores Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira, Dr. Antônio Gomes Nunes e o Dr. Wellington Sousa Lima.

E ainda:

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

Ao Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) da UFCG por disponibilizar sua equipe técnica e a estrutura física para implantar a célula de teste para o experimento da tese.

Aos professores que contribuíram para minha formação, nas disciplinas ou quando busquei ajuda: Prof. Dr. Antonio Gilson Barbosa de Lima, Marcos José de Almeida Gama, Antônio Almeida Silva, Walter Santa Cruz, Juscelino de Farias Maribondo, Isabelle Marie, Severino Rodrigues de Farias Neto, Heber Carlos Ferreira, Crislene Rodrigues da Silva Morais e Raoni Venâncio dos Santos Lima ao longo do curso.

Aos colegas que convivi ao cursar as disciplinas, e em nome de Jean Medeiros, deixo meu adeus a todos.

Aos amigos que fiz no LEMT, Paulo Germano, José Esivaldo dos Santos, Francisco de Assis Brasileiro Filho pelas contribuições indispensáveis na realização desta pesquisa.

A Felipe Damasceno e José Ricardo, Alexandre Pessoa.

As secretárias Maria José Ferreira da Silva secretária da UAEC e Maria de Fátima David Souza secretária do programa de Pós-Graduação, à Wanessa Dunga pela revisão de texto.

A Leonardo e Felipe no desenvolvimento do produto e a Aldo Camboin na execução da célula de teste.

A Unidade Acadêmica de Engenharia Civil por ter permitido me qualificar e à UFCG, por proporcionar condições.

*“Em seu coração o homem planeja o seu caminho, mas o Senhor determina os seus passos”.*

*Prov. 16.9*

## RESUMO

ROCHA, Adjalmir Alves, Desenvolvimento e análise térmica de textura tipo fulget usada para revestimentos de paredes externas em edificações. Campina Grande: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, 2017. 167p. Tese (Doutorado).

O desperdício de materiais na construção civil é crescente e isso é um problema para promoção do desenvolvimento sustentável. Por isso, são importantes pesquisas que apontem soluções inovadoras no uso de descartes, principalmente em países como o Brasil, onde o desperdício nesta área é de cerca de 30% e o país precisa se desenvolver e utilizar com equilíbrio seus recursos naturais e energéticos. O objetivo da pesquisa foi desenvolver um tipo de fulget para revestimentos de paredes externas, feito com cimento branco, pó de rocha calcária, e com cargas minerais derivadas dos rejeitos da areia peneirada e sem pigmentação. Trata-se de pesquisa experimental, por isso foi construída uma célula de teste, e numa parede externa voltada para o poente, onde se tem elevada incidência de radiação solar diária, foram instalados revestimentos com fulget e com reboco, com as mesmas dimensões, para permitir comparações. Também foi desenvolvido um sistema de medição e aquisição de dados (SMAD) para medir as principais propriedades de interesse e realizar comparativamente a análise térmica dos dois revestimentos, também foram observados a evolução de problemas mecânicos e de aparência resultados da ação das intempéries sobre os revestimentos. Os resultados obtidos mostraram que o valor da refletância média ( $\rho_r=0,614$ ) para o fulget é maior do que o valor da refletância média ( $\rho_r=0,590$ ) para o reboco. Por outro lado, o revestimento fulget tem comparativamente menor absorvância. Para a condutividade térmica, o resultado obtido para o fulget foi bem menor do que o valor para o reboco. Isso mostra que o revestimento fulget tem maior característica isolante. Os valores da condutividade térmica média obtidos para o fulget e reboco foram respectivamente 0,285 W/mK e 0,720 W/mK. O revestimento fulget apresentou maior resistência à ação das intempéries, para as mesmas condições ambientais e temporais típicas da cidade de Campina Grande, PB. Como conclusão, é possível afirmar que o revestimento fulget desenvolvido se mostrou adequado para ser usado como revestimento externo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Revestimento fulget; Análise térmica; Condutividade térmica; Refletância.

## ABSTRACT

ROCHA, Adjalmir Alves, Development and thermal analysis of fulget type texture of discarded sand waste for exterior wall coverings in buildings. Campina Grande: Post-Graduation Program in Process Engineering, Federal University of Campina Grande, 2017. 167p. Thesis (Doctorate).

The amount of civil construction wastes has been growing and that is a problem for the promotion of the sustainable development. As such it is needed to support research that lead to innovative solutions in the use of such discarded materials, mainly in countries like Brazil, which needs to develop itself and use the available energy and natural resources in a balanced way. Within this context, the research here presented contributes to a better and sustainable country. The main aim of the research was to develop a kind of fulget for external coating, whose composition is made of white cement, calcareous dust but with mineral loads derived from the tailings of sifted sand and with natural pigmentation. This is an experimental thesis and as such the methodology used consisted in building up a testing cell and install the fulget and the plaster on a wall facing the west direction and receiving a huge amount of daily solar insulation. A data acquisition system was also developed to measure the main relevant properties and allow the thermal comparison between the two coatings, also observing the evolution of mechanical and deterioration problems that appeared due to the action of the conditions to which the material was exposed. The results obtained showed that the average reflectance ( $\rho_r=0,614$ ) for the fulget is higher than the average reflectance for the plaster ( $\rho_r=0,590$ ). On the other hand, the fulget coating has lesser absorbance. For the thermal conductivity, the results showed that the value for the fulget is way lesser than the value for the plaster. This shows that the first one has a higher performance in thermal insulation than the last one. The average thermal conductivity for the fulget and plaster were 0.285 W/mK and 0.720 W/mK, respectively. The results also showed that the fulget coating presents higher resistance to the actions of the nature than the plaster coating, considering the same environmental and weather conditions that are expected to take place in the city of Campina Grande, PB. As conclusions it is possible to affirm that the fulget coating showed itself suitable to be used as external coating.

**KEYWORDS:** Sustainable coating; Fulget; Thermal analysis; Thermal conductivity; Reflectance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Tipos de tonalidades de fulget.....	32
Figura 2.2.	Pallazo Roberto Pinto.....	33
Figura 2.3.	Pó de galinha sendo usado na agricultura. ....	37
Figura 3.1.	Peneiras graduadas 0-4.....	47
Figura 3.2.	Fulget desenvolvido de forma convencional.....	48
Figura 3.3.	Fulget desenvolvido no modo mosaico.....	49
Figura 3.4.	Fluxograma da metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho.....	50
Figura 3.5.	Fulget desenvolvido com granulometrias maiores.....	51
Figura 3.6.	Produto elegido para desenvolvimento do trabalho de tese. ....	52
Figura 3.7.	Aplicação do fulget com uma paginação diferente em ambientes internos. ....	53
Figura 3.8.	Aplicação do fulget em uma simulação em 3D de fachadas.....	53
Figura 3.9.	Calibração dos equipamentos de aquisição de dados.....	55
Figura 3.10.	Preparação dos sensores.....	55
Figura 3.11.	Planta do Plano Diretor I do campus I da UFCG, Campina Grande-PB.....	56
Figura 3.12.	Vista aérea do Campus I da UFCG, na cidade de Campina Grande-PB.....	57
Figura 3.13.	Zoneamento bioclimático brasileiro.....	58
Figura 3.14.	Carta bioclimática 8 apresentando as normais de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, Pará.....	58
Figura 3.15.	Fachada do LEMT, campus I da UFCG, Campina Grande-PB. ....	61
Figura 3.16.	Planta baixa do LEMT e uma imagem interna do espaço.....	61
Figura 3.17.	Planta baixa do Pavimento Superior do LEMT e uma imagem interna do espaço.....	62
Figura 3.18.	Planta baixa do Solário 01 onde foi implantada a Célula de Teste do LEMT. ....	62
Figura 3.19.	Planta baixa do solário 1 e 2 do LEMT.....	63
Figura 3.20.	Acesso ao solário 02 onde foram instalados os sensores Te5ful e Te6reb. ....	63
Figura 3.21.	Corte Esquemático, movimento sol e na Célula de Teste.....	64
Figura 3.22.	Imagens externas do LEMT, no plano mais alto fica a Célula de Teste.....	65
Figura 3.23.	Imagem do LEMT, no plano mais de fundo fica a Célula de Teste.....	65
Figura 3.24.	Produtos de acabamento da célula de Teste. ....	66
Figura 3.25.	Imagem da parte externa da parede oeste (poente) da Célula de Teste. ....	67
Figura 3.26.	Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.....	68

Figura 3.27.	Representação esquemática da transferência de calor unidimensional por condução. ....	69
Figura 3.28.	A relação entre o sistema de coordenadas, o sentido do escoamento do calor e o gradiente de temperatura em uma dimensão. ....	71
Figura 3.29.	Espectro eletromagnético e espectro solar. ....	72
Figura 3.30.	Modelo do sistema físico estudado. ....	73
Figura 3.31.	Transferência de calor através de uma parede plana e o circuito térmico equivalente. ....	79
Figura 3.32.	Barramento e via de dados. ....	84
Figura 3.33.	Foto da parede externa poente da célula de teste mostrando o posicionamento dos sensores. ....	85
Figura 3.34.	Caixa de PVC onde fica o hardware. ....	86
Figura 3.35.	Modelo da Tabela resultante. ....	86
Figura 3.36.	Uma amostragem do programa do Arduino para Aquisição de Dados desta tese. ....	88
Figura 3.37.	Programa do Matlab para tratamento de Dados desta tese. ....	88
Figura 3.38.	Representação esquemática dos componentes do SMAD. ....	89
Figura 3.39.	Arquitetura de hardware da placa de Arduino. ....	90
Figura 3.40.	Placa ARDUINO MEGA R3. ....	91
Figura 3.41.	Sistema de aquisição de dados (Arduino). ....	92
Figura 3.42.	Apresentação do compartimento do cartão SD e do display LCD. ....	93
Figura 3.43.	Sensor TH11 para leitura de umidade relativa do ar. ....	93
Figura 3.44.	Paginação dos revestimentos na célula de teste / ambiente interno. ....	94
Figura 3.45.	Maquete em 3D mostrando o interior da célula de teste com a paginação dos sensores internos. ....	95
Figura 3.46.	Paginação dos revestimentos na célula de teste / parte externa do LEMT, UFCG. ....	95
Figura 3.47.	Maquete em 3D mostrando o exterior da célula de teste com a paginação dos sensores externos. ....	96
Figura 3.48.	Identificação de sensores segundo coluna de cores parte externa da célula de teste. ....	96
Figura 3.49.	Identificação de sensores segundo coluna de cores parte externa da célula de teste. ....	97
Figura 4.1.	Data e início das estações do ano no Brasil em 2017. ....	100

Figura 4.2.	Valores de $T_{i1reb}/T_{e10fulT}$ , $T_{i2reb}/T_{e9reb}$ e $T_{i3reb}/T_{e12ful}$ da semana 01/01 de 23 /02 a 03/03 de 2017.....	102
Figura 4.3.	Valores de $T_{i4reb}/T_{e11reb}$ , $T_{e5ful}/T_{e8ful}$ e $T_{e6reb}/T_{e7reb}$ da semana 23 /02/ a 03/03 de 2017.....	104
Figura 4.4.	Valores de $U_{Ri1reb}$ e $U_{Re2ful}$ da semana 23 /02 a 03/03 de /2017. ....	106
Figura 4.5.	$T_{i1reb}/T_{e10fulT}$ , $T_{i2reb}/T_{e9reb}$ e $T_{i3reb}/T_{e12ful}$ da semana de 12 a 19 de maio.....	108
Figura 4.6.	Valores de $T_{i4reb}/T_{e11reb}$ , $T_{e5ful}/T_{e8ful}$ e $T_{e6reb}/T_{e7reb}$ da semana de 12 a 19 de maio. ....	110
Figura 4.7.	Valores de $U_{Ri1reb}$ e $U_{Re2ful}$ da semana de 12 a 19 de maio. ....	112
Figura 4.8.	Valores de $T_{i13reb}$ e $T_{e14ful}$ da semana de 12 a 19 de maio. ....	114
Figura 4.9.	$T_{i1reb}/T_{e10fulT}$ , $T_{i2reb}/T_{e9reb}$ e $T_{i3reb}/T_{e12ful}$ da semana de 17 a 24 de julho.....	116
Figura 4.10.	Valores de $T_{i4reb}/T_{e11reb}$ , $T_{e5ful}/T_{e8ful}$ e $T_{e6reb}/T_{e7reb}$ da semana de 17 a 24 de julho.....	118
Figura 4.11.	Valores de $T_{i13reb}$ e $T_{e14ful}$ da semana de 17 a 24 de julho. ....	120
Figura 4.12.	Valores de $U_{Ri1reb}$ e $U_{Re2ful}$ da semana de 17 a 24 de julho.....	122
Figura 4.13.	$T_{i1reb}/T_{e10fulT}$ , $T_{i2reb}/T_{e9reb}$ e $T_{i3reb}/T_{e12ful}$ da semana de 25/09 a 02/10/2017. ....	124
Figura 4.14.	Valores de $T_{i4reb}/T_{e11reb}$ , $T_{e5ful}/T_{e8ful}$ e $T_{e6reb}/T_{e7reb}$ da semana de 25/09 a 02/10/2017. ....	126
Figura 4.15.	Valores de $T_{i13reb}$ e $T_{e14ful}$ da semana de 25/09 a 02/10/2017.....	128
Figura 4.16.	Valores de $U_{Ri1reb}$ e $U_{Re2ful}$ da semana de 25/09 a 02/10/2017. ....	130
Figura 4.17.	Verificação da subtração entre as diferenças de temperaturas do fulget e no Reboco para a primeira configuração. ....	132
Figura 4.18.	Ilustração do gradiente de temperatura no fulget e no reboco. ....	133
Figura 4.19.	Oxidação da pintura sobre o reboco e ação do tempo na porta de acesso ao solário 1 do LEMT.....	136
Figura 4.20.	Detalhe da parede externa oeste da célula de teste com os dois revestimentos estudados.....	136
Figura 4.21.	Paredes em fulget face oeste antes e depois.....	137

Figura A.1.	Verificação da subtração entre as diferenças de temperaturas do Fulget e no Reboco para a primeira configuração. Dia 1(a); Dia 2(b); Dia 3(c); Dia 4(d); Dia 5(e); Dia 6(f); Dia 7(g); Dia 8(h); Dia 9(i); Dia 10(j). ....	149
Figura A.2.	Paginação das paredes com dados de áreas e espessuras de paredes para cálculo das propriedades termo físicas. ....	154
Figura A.3.	Projeção tipo estereográfica de uma carta solar. ....	155
Figura A.4.	Movimento do sol com relação ao norte e a superfície da terra.....	156
Figura A.5.	Esquematização de uma carta solar básica.....	156
Figura A.6.	Solstício de verão (21 de dezembro). ....	157
Figura A.7.	Equinócio de outono (21 de março). ....	158
Figura A.8.	Solstício de inverno (21 de junho). ....	159
Figura A.9.	Equinócio de primavera (21 de setembro). ....	159
Figura A.10.	Orientação oeste. ....	160
Figura A.11.	Fachada oeste. ....	161
Figura A.12.	Orientação norte. ....	161
Figura A.13.	Fachada norte. ....	162
Figura A.14.	Orientação norte. ....	162
Figura A.15.	Fachada norte. ....	163
Figura A.16.	Radiação sobre a célula de teste. ....	163
Figura A.17.	Projeção sobre a laje.....	164
Figura A.18.	Orientação leste. ....	164
Figura A.19.	Fachada leste. ....	165
Figura A.20.	Orientação sul.....	165
Figura A.21.	Fachada sul.....	166

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Tabela climática de Campina Grande.....	60
Tabela 3.2. Propriedades utilizadas nos cálculos. ....	75
Tabela 3.3. Refletâncias obtidas para as amostras retiradas do catálogo. ....	75
Tabela 3.4. Propriedades termo-físicas de materiais comuns.....	77
Tabela 4.1. Resultados do cálculo da condutividade térmica do fulget para os pares de sensores.....	131
Tabela 4.2. Resultados do cálculo da condutividade térmica do fulget para os pares de sensores.....	134
Tabela 4.3. Resultados do cálculo da condutividade térmica do Fulget para os pares de sensores <i>Te8ful-Te5ful</i> e <i>Te7reb-Te6reb</i> .....	134

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1. Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais.....	35
Quadro 3.1. Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8. ....	59
Quadro 3.2. Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8.....	59
Quadro 3.3. Detalhamento das diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo. .	59
Quadro 3.4. Soluções unidimensionais, em regime estacionário, da equação de calor sem geração. ....	78

## NOMENCLATURA

$A$	Área de uma parede plana	[m <sup>2</sup> ]
$C_p$	Calor específico	[J/kg°C]
$dT/dx$	Gradiente de temperatura na direção $x$	[K/m]
$\bar{G}$	Irradiação solar média incidente	[W/m <sup>2</sup> ]
$h$	Inclinação dos raios	
$h_1$	Coefficiente de transferência de calor por convecção 1	[W/m <sup>2</sup> K]
$h_2$	Coefficiente de transferência de calor por convecção 2	[W/m <sup>2</sup> K]
$L$	Temperatura linear	[K]
LM35	Sensor de temperatura	
$q$	Fluxo de calor na placa (telha)	[W/m <sup>2</sup> ]
[R <sup>2</sup> ]	Coefficiente de determinação	[%]
$\overline{Rad}$	Irradiação solar média	[W/m <sup>2</sup> ]
RU	Razão de umidade	[adim]
RH	Umidade relativa	[%]
$R_{total,reb}$	Resistência térmica total da parede plana considerando a configuração reboco-parede-reboco	[K/W]
$T_{t+\Delta t}$	Temperatura num instante $t + \Delta t$	[K]
$T$	Temperatura	[K]
$T_t$	Temperatura num instante $t$	[K]
$Te5ful$	Sensor Externo de temperatura no fulget	
$Te6reb$	Sensor Externo de temperatura no reboco	
$Te7reb$	Sensor Externo de temperatura no reboco	
$Te8ful$	Sensor Externo de temperatura no fulget	
$T_{\infty,1}$	Temperatura do fluido 1;	[K]
$T_{s,1}$	Temperatura da superfície da parede 1;	[K]
$T_{s,2}$	Temperatura da superfície da parede 2;	[K]
$T_{\infty,2}$	Temperatura do fluido 2;	[K]
$q_x$	Taxa de transferência de calor por condução térmica	[W]
$q_x''$	Fluxo térmico	[W/m <sup>2</sup> ]
$q''_{abs,reb}$	Fluxo que é absorvido pelo estudo base (reboco-parede-reboco)	[W]
$\alpha q''_{total}$	Fluxo total	[W]
X, Y	Coordenada cartesiana.	[m]

$\Delta x$	Medida de comprimento	[m]
$\Delta T$	Diferença de temperatura	[K]
$\Delta T_{reb}$	Diferença entre as temperaturas externa e interno	[K]

## SÍMBOLOS

$\varepsilon$	Espessura da placa	[mm]
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann, $5,6697 \cdot 10^{-8}$	[W/m <sup>2</sup> °C]
$v_{ar}$	Velocidade do ar	[m/s]
$\rho$	Massa específica do ar	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho$	Refletância	
$\alpha$	Absortância	
$\sigma$	Transmitância	
$k$	Condutividade térmica	[kg/(m.K)]

## LISTA DE SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção
ASTM	American Society for Testing and Materials,
CATT	Computer Aided Thermodynamic Table
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia.
CEEI	Centro de engenharia elétrica e informática
DHT22	Sensor que mede temperatura e umidade relativa
EXP	Experimento
FIEP	Federação das Indústrias do Estado da Paraíba
FSC	Forest Stewardship Council
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IDE	Instituto de Desenvolvimento Educacional
JTANG	Joint Test Access Group
LCD	Liquid Crystal Display
LEMT	Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas
LM35	Sensor de temperatura
MCU	Multipoint Control Unit
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Memória de Acesso Randômico
SMAD	Sistema de Medição e Aquisição de Dados
UAEE	Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
UAEM	Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFS	Universidade Federal de Sergipe
USB	Universal Serial Bus- Porta universal

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	24
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	24
1.1. Objetivos .....	27
1.1.1. Objetivo Geral .....	27
1.1.2. Objetivos Específicos .....	27
<b>CAPÍTULO II</b> .....	30
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	30
2.1. Informações técnicas do fulget .....	30
2.1.1 Cores e paginação.....	31
2.1.2. Vida útil .....	32
2.1.3. O processo construtivo .....	33
2.2. Informações técnicas da areia e demais materiais .....	34
2.3. Estado da arte.....	38
<b>CAPÍTULO III</b> .....	46
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	46
3.1. Caracterização do fulget em desenvolvimento .....	46
3.1.1. Produto desenvolvido no modo tradicional .....	47
3.1.2. Produto desenvolvido no modo mosaico.....	48
3.1.3. Caracterização tecnológica do revestimento .....	51
3.2. Célula de Teste .....	54
3.2.1. O Clima Local .....	57
3.2.2. Características da Célula de Teste no LEMT .....	60

3.3.	Transferência de calor no fulget e no reboco .....	67
3.4.	Metodologia para cálculo da refletância térmica do fulget .....	72
3.5.	Metodologia para cálculo da condutividade térmica do fulget .....	76
3.6.	Metodologia para os testes de resistência as intempéries.....	82
3.7.	Sistema de Medição e Aquisição de Dados (SMAD) .....	82
3.7.1.	Preparação dos sensores para fixação na célula de teste .....	83
3.7.2.	O SMAD e suas características .....	85
3.7.3.	Plataforma Arduino Mega e suas características.....	89
3.7.4.	Desenvolvimento da Placa Arduino Mega 2560 R3 .....	91
<b>CAPÍTULO IV</b> .....		<b>99</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....		<b>99</b>
4.1	Considerações preliminares.....	99
	Dados da semana 01/01 (23 de fevereiro a 03 de março de 2017) Verão.....	101
	Dados da semana 13 (12 a 19 de maio de 2017) outono .....	107
	Dados da semana 22 (17 a 24 de julho de 2017) inverno.....	115
	Dados da semana 35 (25 de setembro a 02 de outubro 2017) primavera.....	123
4.2	Análises das propriedades termo-físicas.....	131
4.3	Análises da resistência às intempéries.....	135
<b>CAPÍTULO V</b> .....		<b>139</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....		<b>139</b>
5.1	Sugestão de trabalhos futuros .....	140
<b>REFERÊNCIAS</b> .....		<b>141</b>

<b>APÊNDICES</b> .....	148
<b>APÊNDICE A</b> .....	149
<b>APÊNDICE B</b> .....	150
<b>APÊNDICE C</b> .....	154
<b>APÊNDICE D</b> .....	155

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUÇÃO**

## CAPÍTULO I

---

### INTRODUÇÃO

A demanda atual por edificações com alto desempenho energético, elevada produtividade e com isolamento acústico e térmico está se tornando difícil de ser atendida com os revestimentos tradicionais (MDIC, 2009). Com isto o mercado de construção exige o emprego de materiais e de processos inovadores (GUÍO, 2013). Com um consumidor cada vez mais exigente e criterioso na escolha de produtos ecologicamente corretos, os revestimentos naturais ganham espaço no mercado da construção por conta de seus diferenciais de sustentabilidade.

Produzidos a partir de cimento e outros materiais naturais, estes revestimentos são produzidos com baixo consumo de água e energia elétrica. A secagem natural das peças é outra vantagem, motivo pelo qual o processo é considerado sustentável, ao contrário dos produtos de cerâmica e porcelana, os cimentícios não utilizam nenhum tipo de queima.

Parte dos consumidores já utiliza a sustentabilidade como um critério de compra, tanto quanto a beleza e o design. Hoje, acabamentos delicados, como veios de madeira e relevos diversos, já são produzidos em peças à base de cimento. A questão do design e da sustentabilidade, esta sendo bem resolvida com a ajuda da tecnologia (BOGO, 2016).

O fulget é um revestimento resultado da combinação de cimento, aditivos e granulados de pedras naturais. É recomendado para paredes externas e internas e por ter textura áspera e antiderrapante pode também ser usado em pisos. O mercado dispõe de dois tipos de fulget: o tradicional que leva somente ligante (cimento e cal) e granulados (mármore, granitos, arenitos, quartzos) que são moídos em tamanhos uniformes; e o natural que além desses elementos, soma resinas acrílicas que facilitam a aderência a superfícies verticais.

A mistura pode aparecer em granulometrias diferentes (com pedrinhas maiores ou menores) e gerar uma infinidade de combinações em cores naturais ou assumir tonalidades quando adicionados corantes (GRANITINA, 2016). A aplicação deve ser feita por empresas especializadas, normalmente indicadas pelos fornecedores (FULTEC, 2016).

Com ótima durabilidade e aparência natural, a única desvantagem desse material está na aspereza que retém com maior facilidade a sujeira. Por isso, é fundamental uma boa

manutenção: ele pode receber a cada cinco anos um hidrojateamento para a preservação de sua cor natural. Segundo Talarico (2016), além da produção rápida, o fulget permite composições com vários outros revestimentos, como concreto aparente, painéis compostos de alumínio (ACM), pedras tipo canjiquinha mineira e granito natural, por serem da mesma família.

Com a aparência de granito lavado, o fulget chegou ao Brasil há cerca de 50 anos trazido por industriais italianos. A técnica, porém, tem origem francesa. Trata-se de um revestimento de base cimentícia que tem como característica principal a exposição dos grânulos de pedras britadas como quartzo e mármore. É um produto que emprega cimento, adições minerais, cal, óxido de ferro e outros pigmentos.

O fulget requer a aplicação sobre um emboço sarrafeado e bem rugoso para que tenha boa aderência. É aplicado com desempenadeira e depois compactado. Antes da secagem completa recebe um jateamento de água, para retirar o excesso de cimento. Esse recurso faz com que os grãos fiquem expostos na superfície.

Podem ser utilizadas as mais variadas pedras moídas, tais como granitos, mármore, calcários, arenitos, quartzos e ardósias. O preço do produto irá variar de acordo com o tipo de pedra empregada e o tipo de cimento, que pode ser comum ou branco.

Este trabalho desenvolverá um tipo de fulget usado para revestimentos de paredes cuja composição será feita com cimento branco, pó de galinha (pó de rocha calcária) e cargas minerais derivadas dos rejeitos da areia peneirada, com possibilidade de pigmentação de alta resistência e os procedimentos dos testes experimentais.

No fulget apresentado neste trabalho o beneficiamento da areia é simples, baseado em classificação por peneiras, silos de decantação, e/ou hidrociclonação, que separam granulometricamente as frações interessantes aos setores de aplicação.

Como também é comum a comercialização do material mais grosso, separado nas primeiras peneiras estáticas, conhecido como cascalho, pedregulho ou pedrisco. Neste trabalho será utilizado o material mais grosso descartado nos canteiros de obras na cidade de Campina Grande, Paraíba.

Foi utilizada uma célula de teste para realizar os testes com o fulget desenvolvido. Na célula de teste foram construídas paredes de fulget e de reboco tradicional para permitir a realização de testes experimentais e comparar os resultados entre os dois tipos de revestimento.

Dentre as características que foram comparativamente avaliadas estão a resistência física (arrancamento, envelhecimento, perda de cor e vitalidade) e a análise térmica para observar o comportamento da transferência de calor entre os dois revestimentos.

Nesta tese a partir dos testes experimentais para os dois tipos de revestimentos (fulget e reboco) sujeitos as mesmas condições de ambiente, tempo, localidade, incidência de radiação solar, intempéries (chuva, ventos, rajadas de vento, etc.), pretendia-se encontrar resposta para as três hipóteses norteadoras da pesquisa: qual a refletância, a condutividade térmica e a resistência mecânica dos revestimentos fulget e reboco?

A Tese apresenta resposta as seguintes hipóteses:

### **Refletância?**

Qual dos dois revestimentos apresenta maior refletância ( $\rho$ ) para uma mesma intensidade de radiação solar incidente ( $G$ )? Determinar o valor da refletividade média ( $\rho_{\text{média}}$ ) para o fulget desenvolvido.

### **Condutividade térmica?**

Qual dos dois revestimentos apresenta maior condutividade térmica ( $k$ ) para uma mesma intensidade de radiação solar incidente ( $G$ )? Determinar o valor da condutividade térmica média ( $k_{\text{média}}$ ) para o fulget desenvolvido.

### **Resistência mecânica?**

Qual dos dois revestimentos apresenta maior resistência física quanto ao arrancamento, mudança de cor e estética quando submetidos às situações de intempéries (chuvas, sol e ventos)?

A Tabela 1.1 mostra quais serão os valores das propriedades térmicas esperados para os revestimentos fulget e reboco nesta pesquisa a partir dos dados obtidos pelo SMAD.

**Tabela 1.1. Propriedades térmicas dos revestimentos.**

	<b>fulget</b>	<b>reboco</b>
<b>Condutividade térmica <math>k</math></b>	?	?
<b>Refletância <math>\rho</math></b>	?	?
<b>Absortância <math>\alpha</math></b>	?	?

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver e caracterizar um revestimento tipo fulget quanto a sua condutividade térmica, refletância e resistência mecânica as intempéries, comparando experimentalmente os resultados com os de uma superfície de reboco para as mesmas condições ambientais e temporais.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- ✓ Desenvolver uma textura tipo fulget para ser utilizada em revestimento de paredes externas e apresentar suas características construtivas e especificações técnicas;
- ✓ Construir uma célula de teste na cidade de Campina Grande, PB, que permita realizar testes experimentais para comparar o comportamento do fulget em desenvolvimento em relação ao reboco tradicional para as mesmas condições ambientais e temporais.
- ✓ Desenvolver e utilizar um sistema de medição e aquisição de dados (SMAD) para medir propriedades de interesse da análise térmica e mecânica do fulget e do reboco;
- ✓ Determinar o valor da refletância média ( $\rho_{\text{média}}$ ) para o fulget em desenvolvimento e comparar os resultados obtidos com os do reboco tradicional, para as condições ambientais e temporais em Campina Grande, PB;
- ✓ Determinar o valor da condutividade térmica média ( $k_{\text{média}}$ ) para o fulget desenvolvido e comparar os resultados obtidos com os do reboco tradicional, para as condições ambientais e temporais em Campina Grande, PB;

- ✓ Determinar qual dos dois revestimentos apresenta maior resistência física quanto ao arrancamento, mudança de cor e estética quando submetidos às situações equivalentes de intempéries (chuvas, sol e ventos), no período de um ano, em Campina Grande, PB.

**CAPÍTULO 2**  
**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

## CAPÍTULO II

---

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentadas inicialmente as características técnicas dos dois tipos de fulget atualmente comercializados no país, o tradicional e o natural. Essas informações são relevantes para mostrar as características físicas, a composição, as cores e paginação disponíveis, bem como relatar os cuidados na preparação e aplicação do produto. Esse conhecimento é importante porque nos capítulos seguintes serão apresentadas as características do fulget em desenvolvimento neste trabalho e isso vai revelar o diferencial inovador do produto que está sendo pesquisado e desenvolvido.

Além do mais, neste trabalho é apresentado um estudo do estado da arte sobre o fulget. Foram realizadas pesquisas nos ambientes apropriados para resgatar os relatos das experiências com desenvolvimento e aplicações do fulget. Como se trata de um produto com inserção recente no mercado não é fácil encontrar relatos de experiências exitosas e problemáticas, mas o estado da arte vai revelar a parte mais importante dessas experiências.

#### 2.1 Informações técnicas do fulget

O revestimento tipo fulget, também conhecido no mercado da construção civil como granito lavado, é resultado da mistura de cimento, aditivos e granulados das mais diversas pedras naturais. Este revestimento possui uma textura áspera e antiderrapante e pode ser usado em fachadas, paredes internas, pisos e até mesmo em decks de piscinas. Existem dois tipos de fulget: o tradicional, com ligantes (cimento e cal) e granulados (mármore, granitos, arenitos, quartzos) moídos em tamanhos uniformes ou em granulometria inteira e o natural que usa as resinas acrílicas que facilitam a aderência a superfícies verticais e permite camadas mais finas e ainda realça a cor dos granulados utilizados (FULTEC, 2016).

Na execução em obra a aplicação do revestimento fulget do tipo tradicional não é necessário qualquer cuidado especial na parede, basta apenas que se faça um emboço com massa grossa sarrafada no traço preferencial de 7 x 1 x 1 (cimento, areia e cal), prumado e com cantos vivos ou argamassa com resistência equivalente ao traço indicado.

Em geral, o material é apresentado comercialmente em três granulometrias ideais para aplicação do revestimento, ou seja:

Gr.0 (granulometria) - espessura de 08 a 10 mm

Gr.1 (granulometria) - espessura de 10 a 12 mm

Gr.2 (granulometria) - espessura de 12 a 15 mm

O consumo médio do material, considerando-se a qualidade do emboço (pode consumir mais ou menos matéria prima), é o seguinte:

Gr.0 - granulado 13,5 kg/m<sup>2</sup> - ligante 13,5 kg/m<sup>2</sup>

Gr.1 - granulado 15,0 kg/m<sup>2</sup> - ligante 15,0 kg/m<sup>2</sup>

Gr.2 - granulado 20,0 kg/m<sup>2</sup> - ligante 20,0 kg/m<sup>2</sup>

A mistura é composta de granulados das mais diversas procedências (mármore, granitos naturais, calcários, arenitos, quartzos, etc.) moídos em tamanhos uniformes, classificados em granulometrias Gr.0, Gr.1 e Gr.2, e de ligante pré-misturados mecanicamente e que permita qualidade tanto na aderência à parede como na criação de tonalidades geralmente conseguida com combinações entre tipologias de pedras ou rochas (FRAZÃO, 2004).

O serviço é executado no sentido de cima para baixo para não comprometer a qualidade, uma vez que os equipamentos utilizados na obra (balancim ou andaime) quando descidos, não comprometam a parte já feita com manchas, raspagens ou danos de qualquer forma. É imprescindível a existência de água na obra, pois na ocorrência deste fato, todo o material em aplicação na parede poderá ficar comprometido.

### 2.1.1 Cores e paginação

Esta tecnologia possibilita muitas possibilidades de cores naturais conseguidas com as pedras naturais através de misturas entre elas e também se pode lançar mão de corantes artificiais ou naturais comprovadamente garantidos para alcançar as mais variadas tonalidades no revestimento, conforme apresentados na Figura 2.1. Os tons pastéis e neutros são os mais indicados por não comprometer o conceito geral do projeto de arquitetura em execução (PANTONE, 2016).

**Figura 2.1. Tipos de tonalidades de fulget.**



**Fonte: CatálogoThe Flash (2012).**

### 2.1.2 Vida útil

Algumas empresas dão garantia de obras com este tipo de revestimento em torno de 05 (cinco) anos, todavia existem edificações onde o revestimento fulget encontra-se em perfeito estado por período superior por várias décadas, tais como o edifício da Federação das Indústrias do Estado da Paraíba - FIEP, o prédio da administração da faculdade de medicina de Campina Grande e o campo santo da Paz, que são exemplos bem sucedidos nesta cidade (NUNES, 2014). A Figura 2.2 mostra o condomínio vertical Pallazo Roberto Pinto com 40 pavimentos e revestido com um tipo de fulget que dispensa inclusive emboço e regularização da superfície.

**Figura 2.2. Pallazo Roberto Pinto.**



**Fonte: Foto divulgação (2017).**

### 2.1.3 O processo construtivo

Os materiais são fornecidos em embalagens com uma mistura previa para a execução da obra, ficando o cliente com a responsabilidade de providenciar apenas o balancim ou andaime já montados, ripas aparelhadas 5x1 cm, ácido muriático para lavagem final e serventia aos operários, bem como providenciar um local seco e seguro para armazenar os materiais no canteiro de obra.

Na definição das juntas de dilatação horizontais a altura não deve ultrapassar a 1,80 metros de distância, e toda a produção diária deverá ser frisada no dia seguinte para evitar a emenda grosseira que podem comprometer a qualidade do serviço. Com relação às juntas verticais e mesmo as horizontais inferiores a 1,80 metros, poderão ficar a critério do arquiteto da obra, bem como a paginação dos módulos. O cliente ou o arquiteto poderão definir a melhor opção dos vários tipos de juntas, ou seja:

- Juntas cortadas com o facão, que é o método de prensar o revestimento ainda mole sobre a massa grossa, criando um sulco de aproximadamente 8 mm e impedindo infiltração de água;
- Juntas abertas com cordão de madeira de 10 mm pregadas na parede e retiradas após a aplicação do fulget e posteriormente rejuntadas com ligante;

- Juntas plásticas em cores variadas, fixadas na parede com 10 mm de espessura por 10 mm de largura permanente.

Para atender satisfatoriamente os cronogramas apertados de obras dos dias atuais, a rapidez na execução do fulget é (embora muitos fatores dependam do tipo de obra) imbatível quando comparado como a execução de outros revestimentos tais como pastilhas, cerâmicas e mesmo pintura, tendo em vista a produção média por dia/homem, de aproximadamente 15 m<sup>2</sup>.

## **2.2 Informações técnicas da areia e demais materiais**

Do ponto de vista conceitual o termo areia tem uma conotação granulométrica e pode ser descrito como um material granular solto, não coesivo, constituído de partículas de dimensão 0,06 a 2,0 mm (OLIVEIRA e BRITO, 2002).

Segundo a ABNT NBR 7211 (2009) seu uso na construção civil se caracteriza por um solo constituído por grãos minerais cuja maioria aparente tem diâmetro entre 0,05 e 4,8 mm, ficando evidentes suas características de textura, compactidade e forma dos grãos e que pode ser ainda classificada em: Areia grossa (-2,0 mm +1,2 mm); Areia, média (-1,2 mm +0,42 mm); e, Areia fina (-0,42 mm +0,074 mm) (ANEPAC, 2016).

A comercialização da areia é feita na forma como é extraída da natureza, sem qualquer tratamento ou melhoramento passando, apenas por grelhas fixas que separam as frações mais grossas (cascalho, pelotas, concreções) e eventuais sujeiras (matéria orgânica, folhas, troncos), e às vezes por uma simples lavagem para retirada de argila que pode comprometer sua função (ANEPAC, 2016).

Em algumas minerações, a variação do material da fração grossa até a fina, vai depender muito da demanda do mercado. Em outras situações, o comércio da areia é feito nas frações grossa e média (conjuntamente), sem classificação, e a areia fina só é produzida, apenas quando tem demanda. Nos portos em leito de rio e cava submersa, praticamente todo o material extraído é comercializado, e os resíduos (predominantemente silicosos, granulometria menor que 0,074 mm) retornam ao local em lavra, para preenchimento da cava (FRAZÃO, 2004; ANEPAC, 2016). Quadro 2.1 apresenta os métodos de lavra de areia e os tipos de depósitos minerais.

O método de cava seca é empregado na lavra de depósitos de planície fluvial, sedimentação, coberturas indiferenciadas e de rochas cristalinas. Sua extração é feita por desmonte hidráulico com a mina evoluindo para o formato de uma cava ou de um talude irregular e conduzida por tratores de esteiras e pás-carregadeiras, e dependendo muito da compactação do capeamento. Este processo utiliza jatos d'água de alta pressão provocando desmoronamento dos sedimentos e que desce por gravidade até uma pequena bacia de acumulação. Em algumas situações, tais operações de jateamento/bombeamento ocorrem uma vez, com o material seguindo diretamente para o beneficiamento/classificação (ANEPAC, 2016).

Os tubos acoplados às bombas servem de condutores da água para a escavação e meio de transporte da polpa até os silos, e também para conduzir a polpa até as câmaras das barcaças que fazem o transporte até as instalações de lavagem. As câmaras uma vez cheias, as barcaças são rebocadas até as margens, onde a areia é depositada no leito da cava mediante a abertura de comportas do fundo. O processo se conclui quando a areia é novamente succionada por uma draga montada em uma estação fixa que conduz a silos de classificação/estocagem (CBPM, 2006; ANEPAC, 2016).

**Quadro 2.1. Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais.**

<b>MÉTODO</b>	<b>DEPÓSITOS MINERAIS</b>	<b>SITUAÇÃO</b>
Dragagem	Sedimentos inconsolidados quaternários	Leito de rio
		Cava submersa (Leito desviado de rio)
Desmonte Hidráulico	Planícies fluviais, coberturas e sedimentos inconsolidados quaternários.	Cava seca (Leito desviado de rio)
	Rochas sedimentares cenozoicas	
	Manto de alteração de rochas pré-cambrianas	

**Fonte: ANEPAC (2016).**

O processo de extração em leito de rio é semelhante ao método de cava submersa e consiste na dragagem dos sedimentos ativos existentes nos leitos dos rios, geralmente em profundidades não muito elevadas e feita através de bombas de sucção instaladas sobre

barcaças ou flutuadores. Estas bombas de sucção são acopladas às tubulações que efetuam o transporte da areia na forma de polpa até os silos (CBPM, 2006; ANEPAC, 2016).

No método de lavra em leito de rio esta operação não se caracteriza como uma operação de beneficiamento, pelo fato da areia ser succionada diretamente da jazida até as peneiras dos silos. No processo de lavra da cava seca, a lavagem é feita mediante o jateamento intenso d'água na areia armazenada nos tanques de decantação, proveniente da caixa de acumulação (MACHADO, 2009).

A classificação dos produtos é iniciada por um peneiramento, com a retirada do material mais grosso (concreções/pedrisco/cascalho), em grelhas ou peneiras estáticas. O undersize (o undersize é o material que ficou abaixo do tamanho da peneira de menor malha medidas, este material será rejeitado para o processo, sendo direcionado para outra aplicação) é separado por classe granulométrica, em caixas de classificação e armazenamento, tipo silos com o preenchimento gradativo das caixas por decantação numa sequência da direita para a esquerda e de baixo para cima (ANEPAC, 2016; CARRISSO e CORREIA, 2004).

As primeiras caixas recebem o material mais grosso, e, assim, sucessivamente, as caixas vão sendo preenchidas até restar a fração sobrenadante (overflow) que é encaminhada para a bacia de decantação. Algumas minerações estão otimizando a produção com a adoção de hidrociclones para a retirada de areia com corte mais definido na fração 0,15 mm. Os produtos finais são areia grossa, média e fina e a sua expedição é feita diretamente nos silos ou estocados em pilhas. O cascalho pode também ser considerado um subproduto e parte deste rejeito, constituído por partículas finas de composição silto-argilosa, é um material gerado no vertedouro dos tanques de decantação e é armazenado em reservatórios (bacias de decantação / contenção de rejeitos) especialmente constituídos para este fim (ALMEIDA, FIGUEIRA e LUZ, 2004; CARRISSO e CORREIA, 2004).

O impermeabilizante oleofugante à base de flúor – siloxano disperso em solventes protege as superfícies contra a umidade, evitando a impregnação de sujeira e fungos. É ideal para fachadas e telhados por que mantém o aspecto natural do revestimento utilizado. Portanto ideal para todo tipo de pedras naturais, além de cerâmicas rústicas de barro, tijolo aparente, concreto aparente e placas cimentícias (BAUTECH, 2017).

O mercado dispõe de três tipos de argamassas colantes e que recebem as siglas AC-I, AC-II e AC-III. Todas compostas por cimento + areia + aditivos (BARROS, 2009). O que muda no processo de definição do tipo é o consumo de cimento e a quantidade de aditivos que

promovem a aderência e a retenção de água (AC-I < AC-II < AC-III). Portanto a argamassa AC-II possui propriedades que permitem absorver os efeitos de variações de temperatura e umidade e à ação do vento, podendo ser utilizada em ambientes internos e externos tanto em piso como em paredes.

O cimento é derivado do betão pronto, em sacos ou a granel é um pó fino obtido por calcinação a 1450°C de uma mistura de pedra calcária, argila e minério de ferro. O produto é o processo de calcinação que é finamente moído com gesso e aditivos químicos para ser produzido. O Portland branco é um tipo de cimento com calcário, argila de caulim, com baixo teor de ferro e gesso e pode ser usado em acabamentos onde o branco predomina (CEMEX, 2017).

Pó de pedra possui granulometria menor que 4" e é um material proveniente de calcário calcítico com granulometria até 4 mm e malha de 5 mm. Genericamente conceitua-se calcário como sendo a rocha de origem sedimentar constituída predominantemente de carbonato de cálcio. O pó de galinha representa resíduo proveniente das minas compostas de calcário. Seu uso mais corrente é na correção da acidez do solo, fornecendo cálcio e magnésio indispensáveis para a nutrição das plantas. Neste trabalho foi usado como ligante de argamassa para composição do fulget melhorando sua capacidade física de revestimento. Figura 2.3 mostra o pó de calcário sendo usado como insumo na agricultura.

**Figura 2.3. Pó de galinha sendo usado na agricultura.**



**Fonte: Prefeitura de Patrocínio, Triângulo mineiro/Divulgação.**

### 2.3 Estado da arte

O estado da arte em teses acadêmicas se destina a documentar o que está sendo feito atualmente no campo em estudo específico. Este item é fundamental para apresentar as inovações em desenvolvimento, permitindo observar e comparar as inovações propostas com as de outras pesquisas. Neste trabalho, objetiva nortear e referenciá-lo aos estudos feitos com a mesma abordagem proposta, em trabalhos de pesquisadores que estudam assuntos semelhantes. Buscou-se enquadrar a pesquisa por trabalhos nos seguintes temas: Revestimento tipo *fulget*; Revestimento para fachadas; Revestimento sustentável; Tipos de revestimentos; Desempenho térmico de fachadas; Materiais reciclados; Matérias primas recicláveis.

A busca por trabalhos que abordam o revestimento tipo *fulget* como objeto de estudo não apresentou resultados. Por ser um produto comercializável, a maior parte das informações são as constantes em materiais técnicos de fabricantes e construtores. Entretanto, as buscas por trabalhos que abordassem estudos de desempenho térmico de fachadas em diferentes tipos de revestimentos para fachadas, dentre eles os sustentáveis e que apresentassem materiais e matérias primas recicláveis apresentaram resultados. São apresentados e comentados cerca de trinta trabalhos, utilizando a ordem temporal crescente, dos mais antigos (2012) até os mais recentes (2016).

Caldeira Neto (2012) apresentou duas soluções construtivas distintas: ETICS (Sistemas compósito de isolamento térmico pelo exterior) com aglomerado de cortiça expandida (ICB) e o revestimento de fachadas com ICB. Bem como no trabalho de Roseta (2013) que realizou um estudo laboratorial e em condições reais sobre o aglomerado de cortiça expandida aplicada como revestimento exterior. Em ambos os trabalhos, com base nos resultados obtidos, foi possível constatar o caráter ecológico e sustentável em todos os seus componentes, distinguindo-se, portanto, de outros sistemas e revestimentos existentes no mercado.

Gao et al.(2012) por sua vez, em um trabalho na Universidade de Auckland, em colaboração com a Universidade de Ciência e Tecnologia de Pequim, desenvolveu um conjunto de sistemas de revestimento nanoestruturados para a proteção de oxidação de ligas a alta temperatura por pulverização catódica e deposição eletro-física, com efeitos na redução do tamanho de grão na oxidação e no crescimento das escamas de óxido de proteção, tais como  $Al_2O_3$  e  $Cr_2O_3$ , sobre as superfícies externas a temperaturas elevadas. Em seguida a

pesquisa focou no recente progresso de fabricação e caracterização de revestimentos cerâmicos com características nanoestruturados: em particular, multicamadas e compósitos revestimentos de óxido para aplicações em proteção de oxidação a alta temperatura.

Freitas (2012) verificou a influência das condições climáticas na durabilidade dos revestimentos de fachada, na cidade de Goiânia-GO, identificado que os aspectos de umidade e temperatura são os que mais influenciaram na deterioração das fachadas estudadas, tendo em vista que as maiores degradações ocorreram nas áreas que estão mais expostas a estes elementos. Silva (2015) detectou alterações aceleradas em revestimentos de calcário em áreas litorâneas da Bahia, resultantes das interferências climáticas.

Zanellato (2012) avaliou a influência de algumas variáveis no comportamento (adesão inicial, fissuração e aderência) em revestimentos de argamassa para fachadas, aplicados com projeção mecânica contínua. Os resultados obtidos demonstraram um acréscimo significativo da resistência de aderência à tração com a projeção contínua da argamassa, em comparação à aplicação manual.

Albuquerque (2013) buscou fortalecer os conhecimentos de soluções menos agressivas ao meio ambiente, ao avaliar a utilização de painéis fenólicos<sup>1</sup> em revestimentos de fachadas. Em seu estudo, foram identificados dois tipos de painéis fenólicos utilizados como revestimento de fachada em algumas obras em Portugal. Nos painéis que possuem núcleo em papel *Kraft*, a folha decorativa e a película protetora apresentam problemas quando colocadas em contato com o ambiente exterior, o que faz com que se degradem precocemente. Esse tipo núcleo aumenta a sua espessura quando em contato com a água e o fato de que as fibras do papel sejam orientadas em sentido único, resulta em uma dilatação não uniforme. Ademais, a folha decorativa e a película protetora impregnadas com resinas melamínicas apresentam problemas devido à superfície porosa, possibilitando a absorção de poeiras e outros tipos de poluição. Por outro lado, os painéis fenólicos que possuem o núcleo constituído por microfibras de madeira, envolvidas em resina fenólica, permitem que a dilatação dos painéis fenólicos seja homogênea e o fato de que a sua superfície seja produzida a partir de uma resina acrílico-poliuretano pigmentada através de uma descarga de elétrons fecham os poros e aumentam consideravelmente a resistência aos agentes atmosféricos.

---

<sup>1</sup> Paineis fenólicos são Laminados de Alta Pressão (HPL), definidos como uma placa composta por camadas de material fibroso celulósico, sob a forma de folhas, impregnadas com resinas fenólicas ou melamínicas termo endurecíveis, ligados através de um processo de alta pressão, com a aplicação simultânea de calor, o que vai permitir obter um produto homogêneo, não poroso e com uma densidade  $\geq 1,35 \text{ g/cm}^3$ , com base na ISO 4586 e EN 438 (ALBUQUERQUE, 2013).

Baptista Júnior e Romanel (2013) enfatizam a necessidade do aumento da sustentabilidade na indústria da construção, apresentando uma logística para reciclagem dos resíduos de construções. A incorporação destes tipos de resíduos em produtos que podem ser reaproveitados no próprio setor de construção civil também foram o objeto de estudo nos trabalhos de Arruda Filho *et al.* (2012), Lima (2013), Medina *et al.* (2015), Hunag, Wang e Wang (2015), Fatemi e Imaninasab (2016), Bissoli-Dalviet *al.* (2016), com aplicações variadas em diversos setores, inclusive nos revestimentos de fachada.

Ghaffarianhoseini *et al.* (2013), elaboraram um estudo que visou elucidar a essência da sustentabilidade com implementações de projetos de construção verde. O estudo chama a atenção para as performances de energia sustentável em edifícios. Aborda ainda as tendências e aplicações de projetos de edifícios verdes e os respectivos impactos no desenvolvimento sustentável das cidades. Os resultados da investigação são recomendados para ser levado em consideração por arquitetos, engenheiros e gestores para o desenvolvimento de futuras eco-cidades com um ponto de vista explícito no sentido de desenvolver ambientes mais verdes e edifícios mais inteligente do ponto de vista construtivo.

Mateus (2013), por exemplo, utilizou a termografia de infravermelhos como meio de diagnóstico não destrutivo em fachadas históricas revestidas com azulejo em Portugal, para analisar os fluxos térmicos como manifestações de degradações na argamassa de assentamento. A termografia se apresentou como um método viável para esse tipo de diagnóstico, por não causar em prédios históricos. No entanto, fatores externos (reflexão, umidade, temperatura, dentre outros) dificultaram as ações de diagnóstico, fazendo com que fosse necessária a realização de ensaios laboratoriais para complementar os resultados obtidos em campo.

Munduruca (2013) apresentou estudos onde foram experimentados diferentes métodos (inspeção visual, ensaio por percussão, termografia infravermelha e esclerometria de pêndulo) para avaliação dos revestimentos de fachada de edifícios e monumentos *Art Déco*, na cidade de Goiânia-GO. A metodologia empregada mostrou-se eficaz para a avaliação dos revestimentos, no entanto, observou-se, de maneira geral, que o ensaio de percussão não foi totalmente coerente com o ensaio do índice esclerométrico.

Nadiaa *et al.* (2013), fizeram uma investigação experimental da influência de uma parede coberta de plantas sobre o comportamento térmico dos edifícios nas regiões semiáridas durante o período de verão. O desempenho térmico foi testado experimentalmente em uma câmara de ensaio medindo 1 x 1,2 x 0,8 m. Neste estudo, a análise térmica diz respeito a duas

células de teste que incorporam partes não coberta e coberta, com dois tipos de plantas. Uma fonte de luz foi usada para simular a radiação solar. Os resultados mostraram que a cobertura vegetal melhorou o conforto térmico dos edifícios no verão, e reduziu os ganhos e as perdas de calor através da estrutura da parede. Verificou-se ainda, que um microclima entre a parede da célula de ensaio e a parede verde foi criado, caracterizada por temperaturas ligeiramente mais baixas e maior umidade relativa.

Pascoalinho (2013) se insere na ótica dos NZEB<sup>2</sup> com sua vertente associada aos revestimentos, apresentando soluções de revestimentos de fachadas e coberturas que possam contribuir para a melhoria do comportamento de edifícios comuns, na perspectiva de convergência para edifícios NZEB. Para isso, teve como base a pesquisa e estudo dos revestimentos (nano revestimentos de painéis solares, nano compósitos, nano tubos de carbono, nano fibras de carbono, micro e nano sílica), vidros geradores de energia, tintas refletoras da radiação solar para coberturas, placas de cortiça expandida, materiais compostos de cimento e fibras de madeira (designação comercial Viroc) e materiais de mudança de fase (PCM), de forma a caracterizar o seu potencial de aplicação ao edificado construído ou a construir, para que futuramente possam corresponder às exigências de um NZEB. Os resultados apontaram as placas de cortiça com os melhores resultados em termos econômicos e de conforto térmico. Além de ser um material 100% reciclável, que não contém tóxicos e de extrema relevância para a economia portuguesa, revelou bons resultados como isolante térmico conseguindo-se uma redução significativa do consumo de energia.

Andreis (2014) avaliou, por meio de simulação computacional, o desempenho energético decorrente da variação de parâmetros relativos às fachadas envidraçadas de um edifício de escritórios condicionados artificialmente em diversas condições bioclimáticas brasileiras. A metodologia consistiu na elaboração do modelo computacional representativo de um edifício de escritórios retangular com 20 pavimentos e planta livre, variando-se os seguintes parâmetros: tipo de vidro e área de abertura, tipo de parede, orientação, tipo de revestimento da fachada, aplicação de isolante em fechamentos opacos e localização (Curitiba, Porto Alegre, São Paulo, Brasília, Rio de Janeiro, Salvador e Recife). Em seus resultados, observou-se que, em climas amenos (temperatura externa média anual abaixo de 24°C), os componentes das fachadas com maior transmitância térmica reduzem o consumo energético para resfriamento, permitindo dissipação do calor interno através da fachada. Em

---

<sup>2</sup>Os edifícios voltados para o conceito do NZEB (Nearly Zero Energy Buildings) são aqueles que, considerando-se um ciclo anual, produzem a quase totalidade da energia elétrica que consomem (PASCOALINHO, 2013).

climas quentes (temperatura externa média anual acima de 24°C), envoltórias com menor transmitância térmica dificultam o ganho de calor para o ambiente interno, reduzindo o consumo energético. Verificou-se que os parâmetros que promovem maior impacto no consumo energético do modelo foram o tipo de configuração de fachada, sendo que fachadas com pele de vidro por vidro (pele de vidro) resultaram em consumo até 14,9% maior do que fachadas sem pele de vidro. A orientação do modelo influenciou o consumo em até 5,4% em Porto Alegre; o tipo de parede variou um máximo de 2,2% em Recife; e a aplicação de isolante na viga de borda de fachadas com pele de vidro é mais eficiente em climas quentes, acarretando redução do consumo de até 3,6% em Recife.

Freitas et al. (2014) também utilizaram a termografia, mas com um foco voltado para o diagnóstico de fissuras em fachadas revestidas com argamassa e pintura e os resultados foram satisfatórios na identificação das fissuras, apenas através da visualização das imagens térmicas. A termografia também foi utilizada por Gonçalves (2014).

Ibrahim *et al.* (2014), fizeram estudo para analisar o comportamento energético de multicamada de estruturas da parede exterior dos edifícios. O objetivo foi encontrar a melhor estrutura da parede e a posição das camadas de isolamento nas paredes exteriores. Um revestimento isolante (*insulating materials “Silica Aerogels”*.) foi avaliado. A transferência de calor em uma parede foi comparada com medições no local de um conjunto experimental, tendo como base o novo revestimento aerogel, sob condições climáticas reais.

Najim (2014) estudou o desempenho térmico de paredes externas em edifícios residenciais como forma de reduzir o consumo de energia para fins de ar condicionado. Além disso, configurações de parede foram avaliadas quanto ao desempenho térmico de estado estacionário e os parâmetros de admissões térmicas dinâmicas. Diferentes cenários foram sugeridos, a fim de melhorar o desempenho térmico das paredes existentes. Os resultados mostraram que o material de ligação (cimento) da alvenaria não tem nenhum efeito significativo sobre o desempenho térmico para as paredes estudadas.

Alchapar *et al.* (2015) abordaram os principais resultados de uma investigação realizada no Laboratório de Habitação, em Mendoza, sobre o comportamento térmico de 96 fachadas – os revestimentos foram avaliados por meio de seu índice de refletância solar (SRI). Os resultados mostram que o papel do revestimento é crítico para reduzir os ganhos de calor fornecidos por múltiplas reflexões dentro de uma escala urbana e que afeta não só a temperatura interna numa escala edifício, mas também o conforto em escala urbana.

Azevedo (2015) apresentou uma solução viável para este problema ao desenvolver um revestimento decorativo monocamada pigmentado a partir de resíduos de vidro temperado, para aplicações em fachadas. O mesmo ocorreu em Heineck (2012) e Pissolato Júnior (2015) que realizaram diversos estudos sobre o desempenho de argamassa de revestimento utilizando a areia proveniente da britagem de resíduos de construção civil.

Matias et al. (2015) realizaram a caracterização física de argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmicas destinadas à reabilitação de rebocos de edifícios. Em seus resultados, verificaram que a introdução de resíduos conduziu ao aumento da resistência à difusão do vapor de água, da absorção de água por capilaridade e da porosidade aberta e à redução da capacidade de secagem. No entanto, as diferenças face às argamassas de referência, constituídas apenas de cal geralmente pouco significativas.

Pacheco-Torgal (2015) ao abordar o uso de materiais que sejam capazes de reutilizar um alto teor de resíduos e que apresentem alta eficiência energética. Essa preocupação com os fatores energéticos na influência sobre os revestimentos de fachada é discutida em diversos trabalhos que apresentam diferentes métodos para análise do desempenho térmico de fachada.

Pittaluga (2015), afirma que, no campo da arquitetura e da construção civil, tudo depende da forma de como usamos um material. Cada material tem sua particularidade, dependendo do que fazemos com ele. Este trabalho demonstra que alguns materiais são muitas vezes superiores e inovadores, permitindo a redução das necessidades de resfriamento, graças à sua capacidade de variar sua dinâmica térmica. Enfatiza ainda a necessidade do aumento da utilização de revestimentos dinâmicos, que sejam capazes de modificar seu comportamento mediante as mudanças climáticas diárias e sazonais.

Zinzi (2016) recomenda a utilização dos materiais naturais como revestimentos, tendo em vista serem caracterizados por uma elevada refletância solar e pela elevada emissividade térmica. A combinação destas duas propriedades radioativas permite que tais materiais de construção permaneçam mais frios do que os materiais convencionais da mesma cor sob a incidência da mesma quantidade de radiação solar. Segundo ele, nas últimas décadas, houve um interesse crescente, principalmente para aplicações com o objetivo de resfriamento de edifícios e cidades. O estudo analisa o desempenho de edifícios refrigerados e não refrigerados por meio de simulações dinâmicas, mostrando a potencialidade da tecnologia em termos de desempenho energético e impacto no conforto térmico dos edifícios. Os cálculos foram realizados para várias configurações de construção e condições climáticas; além disso,

o impacto de diferentes valores de reflexão solar de fachadas, dependendo da sua orientação, foi também considerado.

**CAPÍTULO 3**  
**MATERIAIS E MÉTODOS**

## CAPÍTULO III

---

### MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentadas as principais características do produto em desenvolvimento, o fulget inovador, obtido a partir de materiais descartado em ambiente da construção civil. Esse revestimento foi instalado em uma parede, em uma célula de teste e durante cerca de um ano foram realizadas medidas e feitas observações neste ambiente construído para propiciar à análise térmica do produto e sua resistência às intempéries.

Os materiais usados para confecção do fulget e da célula de teste serão apresentados bem como a metodologia utilizada para realizar as medições. Para realizar as medidas das propriedades que vão ensejar a análise térmica foi desenvolvido e foi apresentado um Sistema de Medição e Aquisição de Dados (SMAD).

#### 3.1 Caracterização do fulget em desenvolvimento

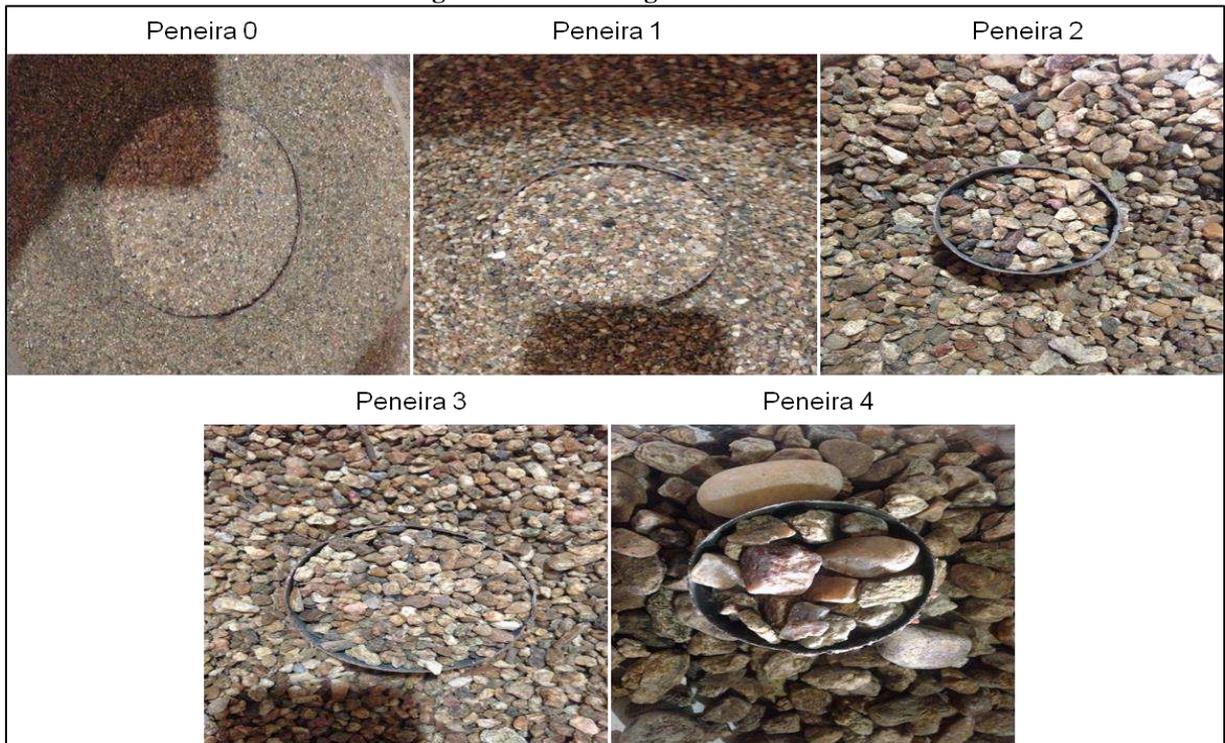
O produto derivado da areia peneirada e descartado na construção civil foi usado como material base para o desenvolvimento do revestimento tipo fulget, proposto nesta pesquisa, para ser usado em paredes externas de edifícios.

O fornecimento deste descarte para esta pesquisa foi permitido pela empresa FCA Construção e Empreendimentos, com sede em Campina Grande, PB e a obra geradora deste descarte foi o Residencial Maria Clara, localizada no bairro da Liberdade, Campina Grande, PB, construção prevista para ser concluída em dois blocos, com 100 apartamentos em cada, num total de duas torres.

Este material derivado da areia utilizada na obra foi usado como aterro no empreendimento que terá área construída de 26.000,00 m<sup>2</sup> quando finalizada. Portanto, grande parte do material vai ter destino de aterro ou sublastro de contrapiso. O material de descarte da obra foi transportado para uma empresa de pisos artesanais, localizado no bairro do Quarenta, em Campina Grande, PB, para o desenvolvimento do revestimento pesquisado.

O material descartado passou por um processo de peneiras graduadas de 0 a 4 como mostrados na (Figura 3.1) para a definição da granulometria que melhor se adequasse a especificação do produto final desejado.

**Figura 3.1. Peneiras graduadas 0-4.**



### 3.1.1 Produto desenvolvido no modo tradicional

Inicialmente o foco foi o desenvolvimento de um revestimento tipo fulget para paredes da forma convencional de execução, ou seja, produzido sob a forma semi-pronta de mistura de agregados, ligantes e pigmentos diluídos em água e aplicado sob a forma de reboco (ZULIAN, DONÁ e VARGAS, 2002; NUNES, 2015). Todavia este processo mostrou-se inadequado, haja vista tal execução se mostrar difícil e demandar mais tempo: fatores determinantes no comprometimento de um produto mais barato.

O revestimento fulget exige particularidades de assentamento de acordo com a carga mineral utilizada e demanda, portanto, treinamento específico do aplicador do produto. O fulget do mercado trabalha com ligante acrílico que tem custo mais elevado que o cimento convencional e pode mudar a cor do mineral utilizado. Quando usado o cimento convencional

tal técnica requer a adoção de pigmento para que o produto não fique com aspecto de concreto aparente. Por isso, tal processo exige uma limpeza com ácido muriático em solução aquosa, logo que a aplicação do fulget esteja em estado de cura, para retirar parte do cimento utilizado no processo.

A Figura 3.2. mostra um fulget desenvolvido sob a forma convencional de assentamento onde foi utilizada carga mineral derivada da areia, resina acrílica e diluente de dispersão aquosa. Percebe-se que a granulometria da areia mudou de cor com a resina acrílica resultando em um produto que deve ter um apelo mais natural, requisitos cada vez mais exigidos pelo mercado dos revestimentos, tanto interno como externo.

**Figura 3.2. Fulget desenvolvido de forma convencional.**



### 3.1.2 Produto desenvolvido no modo mosaico

O processo tradicional foi substituído por expor problemas de execução demorada e elevado custo, treinamento de mão qualificada para assentamento e logística sofisticada na obra. Sem contar que o processo envolvido não traria maiores inovações em relação ao fulget já tradicionalmente comercializado.

Pensando num processo de assentamento mais rápido e disponível em toda obra em fase de acabamento optou-se pelo desenvolvimento de um produto acabado e assentado com argamassa disponível no mercado. Nos revestimentos existentes no mercado para paredes externas é recorrente o uso de produtos com formatos pequenos e com tardose de cerâmica.

Um formato de fulget com as características exigidas pela construção civil se mostrou inadequada sob o ponto de vista da paginação, assentamento e estética produzida. Padrões de revestimento para fachadas com formatos maiores exigem tardose de materiais à base de concreto magro com acabamentos diversos ou serigrafados na superfície com apelos estéticos diversos. Seguindo esta técnica, mas com as adaptações exigidas pelo projeto de pesquisa, foram desenvolvidos vários protótipos de mosaicos com tardose de concreto e diversificação no acabamento da superfície algumas com pigmentos naturais, mostrados na Figura 3.3.

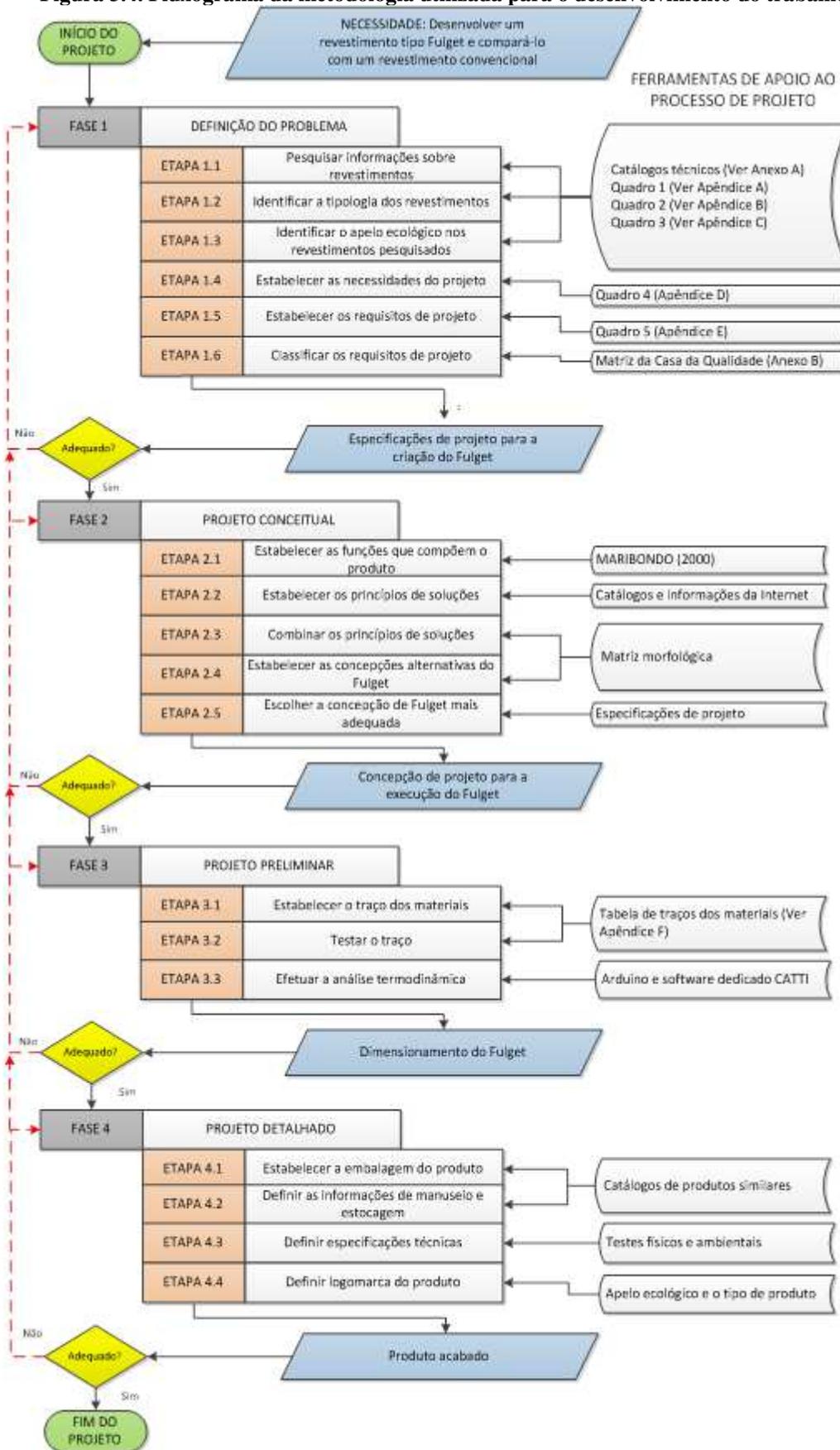
**Figura 3.3. Fulget desenvolvido no modo mosaico.**



Mais um dado foi considerado na mudança do processo: como a tardose de concreto elevaria o custo final do produto buscou-se uma alternativa de material que se juntasse ao cimento e não comprometesse as características físicas do cimento enquanto ligante no processo do desenvolvimento do fulget. Optou-se então pelo pó do calcário ou pó de galinha, produto descartado no beneficiamento da pedra calcária para fins diversos e cujo desempenho na mistura se mostrou satisfatória pelas suas características similares ao cimento branco.

Optou-se pelo cimento branco como liga, tendo em vista que, os testes feitos com cimento comum, a estética natural do produto era comprometida, tornando-o mais acinzentado, o que acabava comprometendo a estética do material utilizado. A mistura do cimento branco juntamente com o pó de galinha atendeu de modo satisfatório os requisitos do projeto para o desenvolvimento do revestimento. A Figura 3.4 mostra o fluxograma com o desdobramento de cada fase em etapas e tarefas e esquematiza as ferramentas e documentos utilizados no processo de definição do projeto (MARIBONDO, 2000).

Figura 3.4. Fluxograma da metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho.



### 3.1.3 Caracterização tecnológica do revestimento

Para o desenvolvimento do revestimento fulget com agregados derivados da areia foram confeccionados protótipos com variação da sua granulometria. O material da peneira número1(um) mostrou-se mais adequado para este projeto haja vista que o modelo com granulometria número 0(zero) perdeu sua qualidade estética por ser muito miúdo e não gerou uma textura significativa exigida para este tipo de revestimento.

As granulometrias maiores demandaram um base ou tardose mais espessa (em torno de 8 cm) e, portanto, seria mais adequado para outro uso, a exemplo do revestimento de decks de piscina ou pavimentação externa num conceito de assentamento intertravado ou, ainda, em formatos maiores haja vista que o assentamento neste caso trabalha por compressão. Na Figura 3.5 é possível observar a textura com granulometria maior.

**Figura 3.5. Fulget desenvolvido com granulometrias maiores.**



O melhor desempenho na execução dos modelos foi o que utilizou a granulometria 1. Os testes feitos começaram com 5 cm de espessura e se tornaram viáveis com 2,5 cm, seguindo o padrão existente no mercado para este tipo de revestimento. Um molde de alumínio de 30 cm x 60 cm e 2,5 cm de espessura foi utilizado na confecção dos mosaicos em estudo de viabilidade técnica.

A mistura usou apenas o agregado derivado da areia, cimento branco e pó de galinha como ligante e água. Foram testados pigmentos naturais do tipo areia colorida, mas optou-se por desenvolver o produto sem qualquer pigmento para manter o conceito natural do produto

desenvolvido. O processo de secagem foi natural o que caracteriza o apelo ecológico deste produto.

O assentamento poderá ser feito com argamassa ACII existente no mercado da construção e para maiores informações sobre suas propriedades físicas deve-se consultar as especificações do produto. Uma impermeabilização a base de hidrofugante gel, disponível no mercado mostrou-se satisfatória, por manter as características naturais do produto num apelo natural como foi requisitado no projeto.

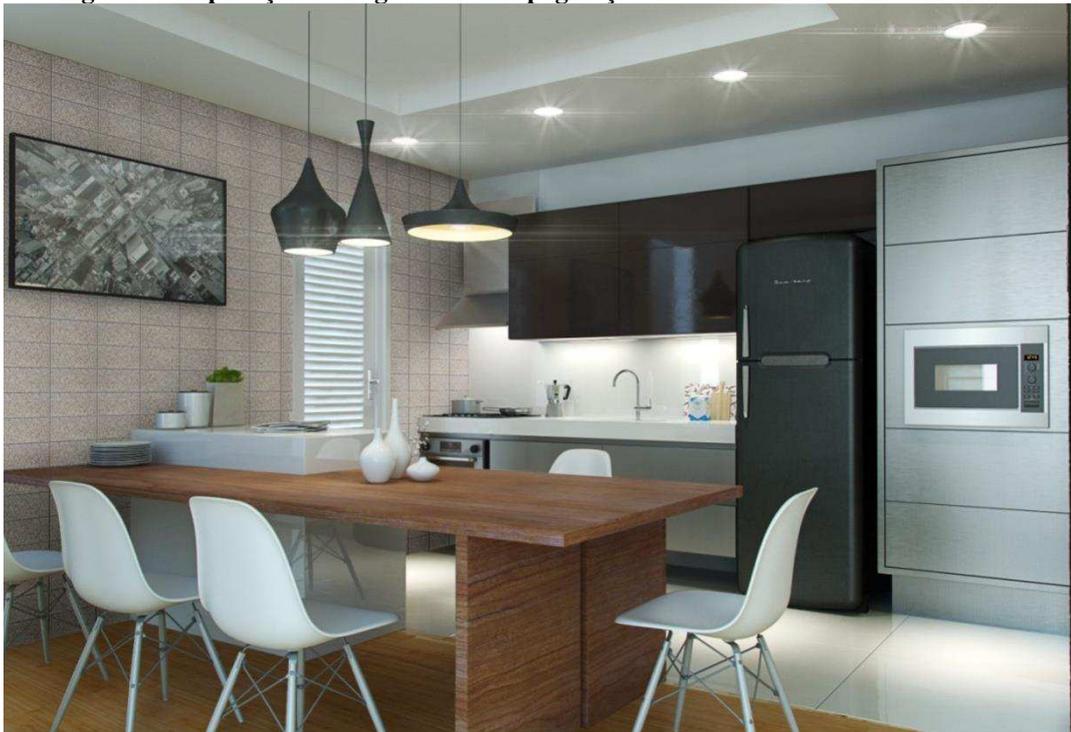
Poderão ser gerados ainda formatos quadrados do produto que combinados com os retangulares em uma paginação de assentamento pode criar efeitos interessantes. A Figura 3.6 apresenta o produto elegido como definitivo para este trabalho.

**Figura 3.6. Produto elegido para desenvolvimento do trabalho de tese.**



Apesar de o revestimento ter sido desenvolvido para áreas externas, o conceito natural do mesmo permite o uso em ambientes internos combinados com outros materiais naturais, tipo madeira, e sofisticados, como o silestone (última geração em revestimentos artesanais) criando um design atemporal e sofisticado, conforme pode ser observado na Figura 3.7.

**Figura 3.7. Aplicação do fulget com uma paginação diferente em ambientes internos.**



Os procedimentos para o assentamento em ambientes internos devem seguir o padrão de assentamento em fachadas, exceto a impermeabilização. A Figura 3.8 mostra uma obra com paginação do revestimento na fachada compondo um partido arquitetônico harmonioso com outros acabamentos.

**Figura 3.8. Aplicação do fulget em uma simulação em 3D de fachadas.**



Em todo revestimento de formato grande e pesado, como estes e todos existentes no mercado com estas características, não é aconselhável seu uso em edificações muito altas, a

não ser com uso de grampos de fixação de fachadas ao invés de argamassa, o que torna o investimento muito alto.

### 3.2 Célula de Teste

Como se trata de uma pesquisa experimental, a construção de uma célula de teste é fundamental e necessária para propiciar a observação e a medição das propriedades de interesse. A utilização de maquetes e de simulações computacionais é importante para definir estratégias no projeto de edificações, isso é recomendado e hoje, largamente utilizado. Aqui a célula de teste é parte necessária na pesquisa e por isso suas características construtivas e operacionais são detalhadas neste capítulo.

A célula de teste é um ambiente construído em alvenaria de tijolo e estrutura de concreto armado com acabamento em reboco fino e pintura em tinta PVA com dimensões de 2,50 m X 1,80 m e pé direito de 2,60 m. Este ambiente possui uma janela alta para exaustão do ar e uma porta de acesso para a área externa. Este espaço foi implantado com a finalidade de reproduzir e manter a linearidade de dados tais como a ação das intempéries e os valores de temperatura e umidade relativa do ar semelhantes a uma situação real. Entre os dias 30/12/2016 a 16/01/2017 foi dado início a implantação da célula de teste. A partir de determinados estudos e de critérios de escolhas, foi escolhido um ambiente no LEMT, situada no Setor C do Campus I, da UFCG, cidade universitária, Av. Aprígio Veloso, 882, bairro de Bodocongó, na cidade de Campina Grande, Paraíba, na região Nordeste do Brasil.

Com o revestimento das paredes em fulget e reboco conforme paginação prévia definida foram assentadas 18 peças de 30 cm x 60 cm com argamassa AC2 e rejuntamento acrílico cor branco gelo da Quartzolit seguido de impermeabilização hidrofugada das peças. Na paginação em reboco foi utilizada argamassa convencional a base de cimento tipo Portland e areia lavada, finalizada com massa acrílica tipo PVA e pintura em PVA para exterior da marca Coral branco gelo fosco, seguindo o padrão de acabamento do bloco do Laboratório. Neste tempo era desenvolvido também o projeto e confecção do Sistema de Medição e Aquisição de Dados.

Em 19/01/2017 foi finalizado a execução da placa do Arduino e dado início dos testes e ajustes no programa de geração dos dados. A planilha gerada pelo Arduino foi formatada em TXT para reconhecimento imediato do EXCEL.

A Figura 3.9 mostra os procedimentos de calibragem do equipamento de aquisição de dados.

**Figura 3.9. Calibração dos equipamentos de aquisição de dados.**



A preparação dos sensores, doze LM35 (Temperatura) e dois DHT22 (Temperatura e umidade) seguiu procedimentos de preparação dos sensores, fixação, soldagem dos rabichos com 40 cm, aplicação de capa termo retrátil para isolamento e proteção contra intempéries e montagem. A Figura 3.10 mostra trabalho de preparação dos sensores.

**Figura 3.10. Preparação dos sensores.**

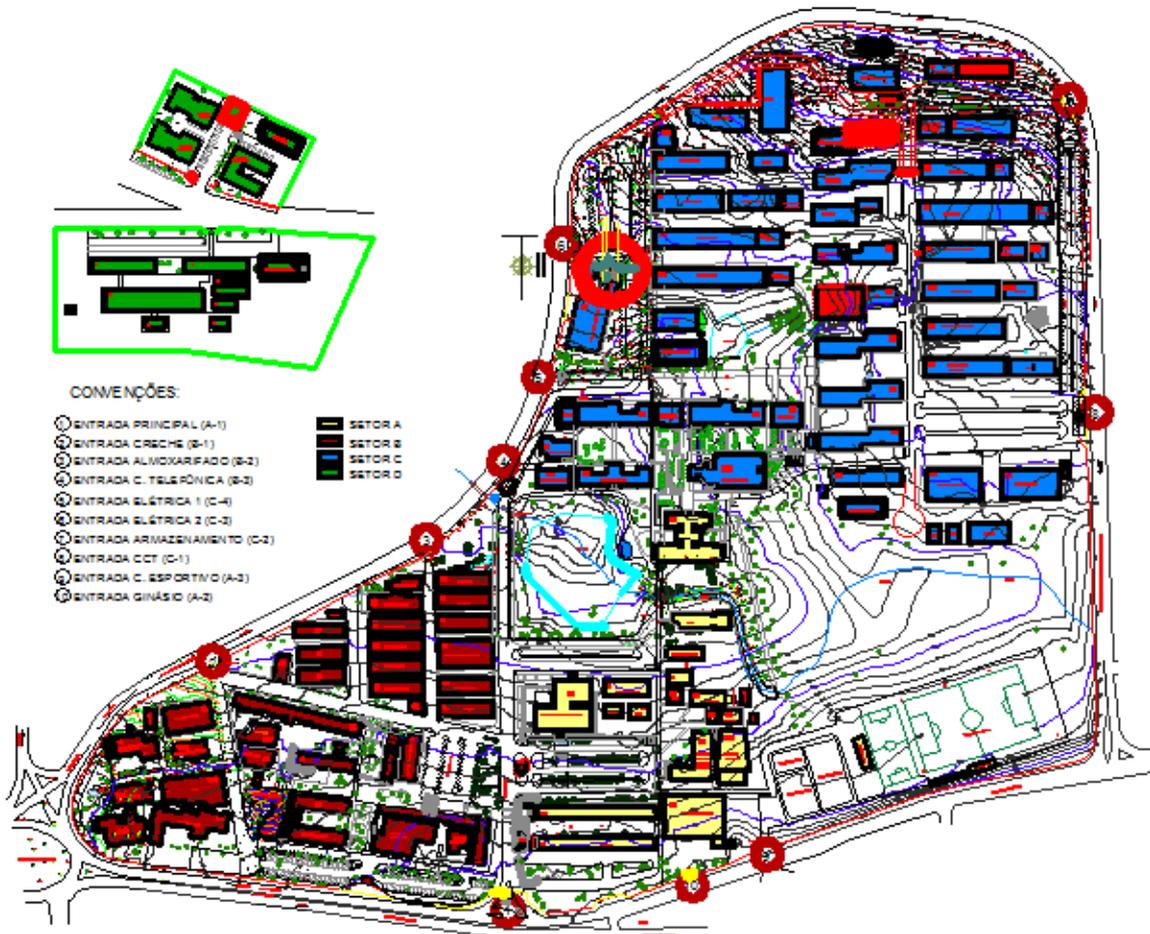


Em 11/02/2017 foram concluídos a instalação das vias de dados e alimentação dos sensores. Todos os fios foram montados na divisão central da célula de teste para minimizar quaisquer influencias no experimento. O painel de controle ficou na parte interna da célula de teste com indicação de tensão correspondente de forma correta. Em 21/02/2017 foi dado

início do funcionamento do Sistema de Aquisição de Dados (12.04 min.) com leitura de temperaturas internas e externas e umidades internas e externas.

A Figura 3.11 mostra a planta do Plano Diretor do Campus da UFCG onde se encontra o laboratório que alocou a célula de teste. O uso e ocupação do solo neste Campus foram hierarquizados em 04 setores: Setores A, B, C e D. O Setor A concentra a Administração Central, os serviços, restaurante, biblioteca, editora e pró-reitorias; o setor B concentra salas de aulas e o Centro de Humanidades além da creche; o Setor C concentra os centros tecnológicos e Salas de aula e finalmente o setor D abrange as unidades de ensino em saúde. O setor D está separado fisicamente dos setores A, B e C às margens do açude de Bodocongó e vizinho ao campus da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Figura 3.11. Planta do Plano Diretor da UFCG, Campina Grande-PB.



Fonte: Prefeitura Universitária Campus Campina Grande (2017).

A Figura 3.12 mostra uma vista aérea do Campus da UFCGI e de parte da cidade de Campina Grande, Paraíba, no sentido Campus centro da cidade.

**Figura 3.12. Vista aérea da UFCG, na cidade de Campina Grande-PB.**

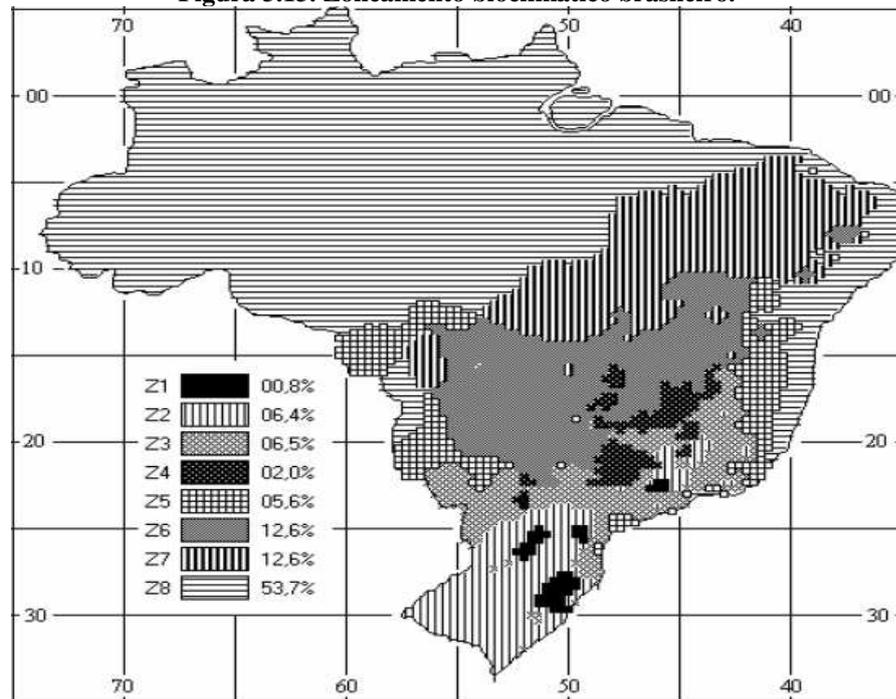


**Fonte: Prefeitura Universitária Campus da UFCG (2017).**

### 3.2.1 O Clima Local

Campina Grande, por situar-se no agreste paraibano, entre o litoral e o sertão, possui um clima menos árido do que o predominante no interior do estado (clima equatorial semiárido). Além disso, a altitude média de 552 metros acima do nível do mar garante temperaturas mais amenas durante todo o ano. As temperaturas máximas são de 33°C nos dias mais quentes de verão e 28°C em dias de inverno. As temperaturas mínimas ficam em torno de 23°C nos dias mais quentes de verão, ou 15°C nas noites mais frias do ano. A umidade relativa do ar, em geral está entre 75 a 82%. A Figura 3.13 mostra o zoneamento bioclimático brasileiro. Este zoneamento compreende oito diferentes zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. Para cada uma destas zonas, formula-se um conjunto de recomendações técnicas construtivas, objetivando otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

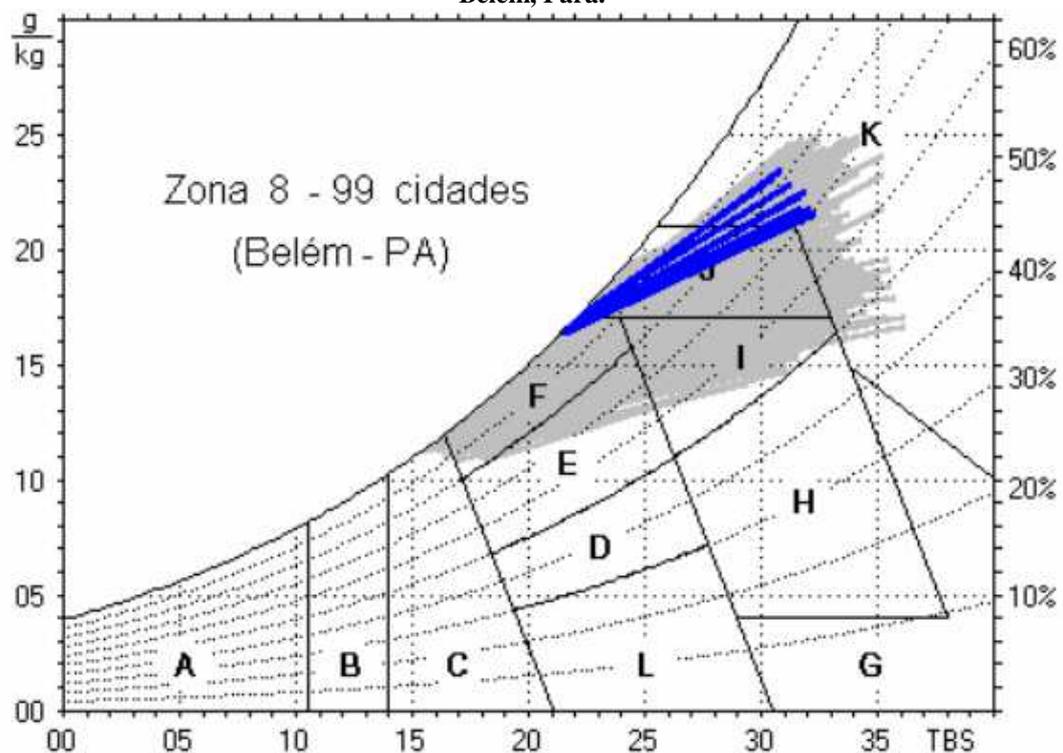
Figura 3.13. Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: Desempenho térmico das edificações (2017).

A Figura 3.14 mostra a carta bioclimática típica para zona de clima 8, com exemplo para a cidade de Belém, no Pará e que pode ser usada para a cidade de Campina Grande/PB.

Figura 3.14. Carta bioclimática 8 apresentando as normais de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, Pará.



As zonas da carta correspondem às seguintes estratégias:

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)	G + H – Zona de resfriamento evaporativo
B – Zona de aquecimento solar da edificação	H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
C – Zona de massa térmica para aquecimento	I + J – Zona de ventilação
D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)	K – Zona de refrigeração artificial
E – Zona de Conforto Térmico	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

Fonte: Desempenho térmico das edificações (2017); ABNT org.br/desempenho térmico das edificações

O Quadro 3.1 mostra recomendações para projeto de arquitetura bioclimática com foco na zona climática 8 com relação a aberturas e sombreamentos destas aberturas.

**Quadro 3.1. Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8.**

ABERTURAS PARA VENTILAÇÃO	SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS
Grande	Sombrear aberturas

Fonte: Desempenho térmico das edificações (2017)

O Quadro 3.2. mostra recomendações para projeto de arquitetura bioclimática na zona climática 8 com relação a alvenaria de fechamento de edificações e tipo de cobertura.

**Quadro 3.2. Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8.**

VEDAÇÕES EXTERNAS
Parede: Leve Refletores
Cobertura: Leve Refletores

Fonte: Desempenho térmico das edificações (2017)

O Quadro 3.3 mostra estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona 8.

**Quadro 3.3. Detalhamento das diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo.**

ESTRATÉGIA	DETALHAMENTO
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Fonte: ABNT (2017).

A Tabela 3.1 mostra dados climáticos da cidade de Campina Grande/PB para o ano de 2017 bem como dados de chuvas para o mesmo período.

**Tabela 3.1. Tabela climática de Campina Grande.**

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	24.5	24.3	24.1	23	22.1	21.3	20.7	21.6	22.6	23.3	23.9	23.5
Temperatura mínima (°C)	19.4	19.8	19.8	18.9	18.4	17.9	17.4	17.3	17.7	18.5	19.2	18.8
Temperatura máxima (°C)	29.6	28.8	28.4	27.1	25.8	24.7	24	25.9	27.6	28.1	28.7	28.3
Temperatura média (°F)	76.1	75.7	75.4	73.4	71.8	70.3	69.3	70.9	72.7	73.9	75.0	74.3
Temperatura mínima (°F)	66.9	67.6	67.6	66.0	65.1	64.2	63.3	63.1	63.9	65.3	66.6	65.8
Temperatura máxima (°F)	85.3	83.8	83.1	80.8	78.4	76.5	75.2	78.6	81.7	82.6	83.7	82.9
Chuva (mm)	39	55	97	113	102	111	110	63	29	13	12	21

Fonte: Climate-Data (2017).

### 3.2.2. Características da Célula de Teste no LEMT

O prédio do Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas (LEMT) ocupa uma área construída de 240,00 m<sup>2</sup> e 120,00 m<sup>2</sup> de área de cobertura distribuída em 04 pavimentos: pavimento térreo, primeiro pavimento e mais dois espaços chamados: solário 01 e solário 02 onde são realizados vários experimentos do laboratório, principalmente na área de aplicações da energia solar. Antes de se ter acesso ao solário 01, espaço este no mesmo nível da cobertura, existe uma antecâmara com 2,50 X 1,80 metros e é neste local onde foi implantada a célula de teste. O solário 02 é a laje de cobertura da célula de teste e foi usado para a instalação de sensores externos usados para medir temperatura (*Te5ful*, *Te6reb*, *Te7reb* e *Te8ful*). Neste nível da edificação foi feita uma paginação (em dupla fase) dos revestimentos em desenvolvimento, cujos detalhes estão contemplados em parágrafos seguintes.

A Figura 3.15 mostra a fachada do Laboratório Experimental de Máquinas Térmicas onde foi implantado a Célula de Teste no Campus da UFCG:

**Figura 3.15. Fachada do LEMT, campus da UFCG, Campina Grande-PB.**



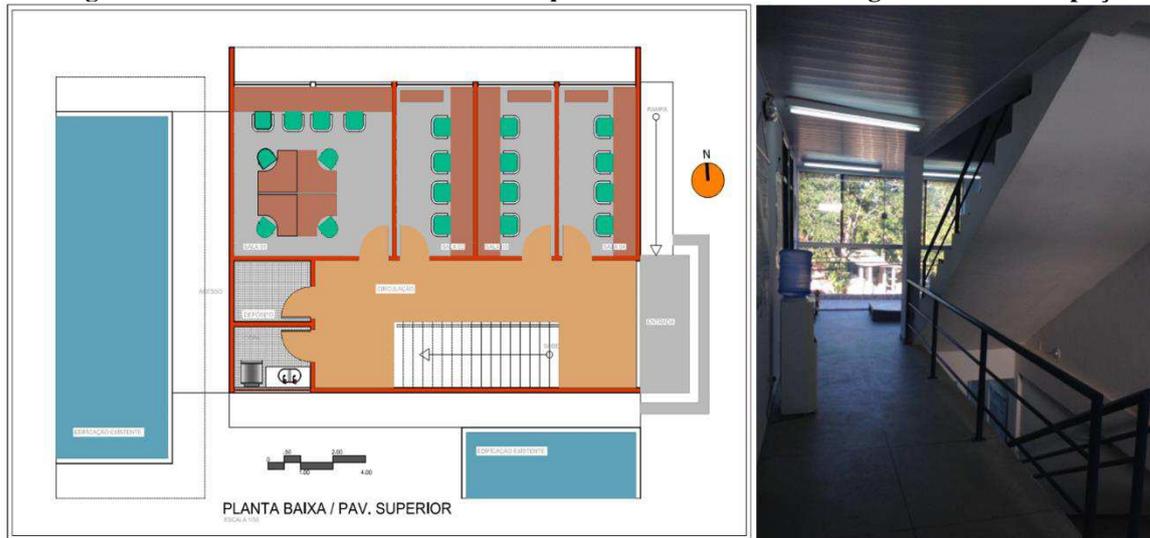
A Figura 3.16 mostra uma vista interna e a planta baixa do pavimento térreo do LEMT com 04 salas multiuso e sanitário masculino e feminino com uso também para cadeirantes além da escada de acesso ao outro pavimento superior e área de circulação. A frente do prédio é sentido Leste e os ambientes de maior uso estão orientados para o Norte.

**Figura 3.16. Planta baixa do LEMT e uma imagem interna do espaço.**



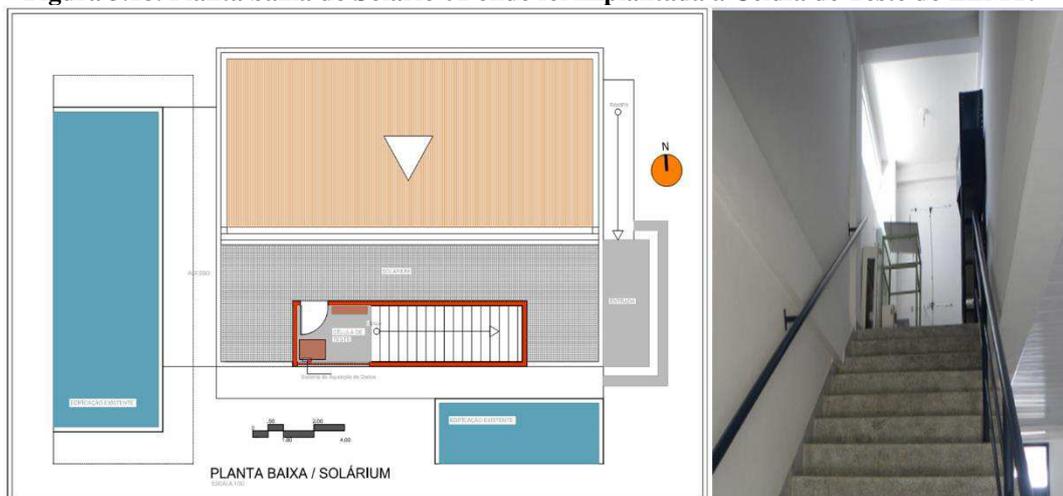
A Figura 3.17 mostra a planta baixa do pavimento superior e uma imagem interna do espaço do LEMT com 04 salas multiuso, copa e depósito, além da escada de acesso ao solário 01 e área de circulação. A frente do prédio é sentido Leste e os ambientes de maior uso estão orientados para o Norte.

**Figura 3.17. Planta baixa do Pavimento Superior do LEMT e uma imagem interna do espaço.**



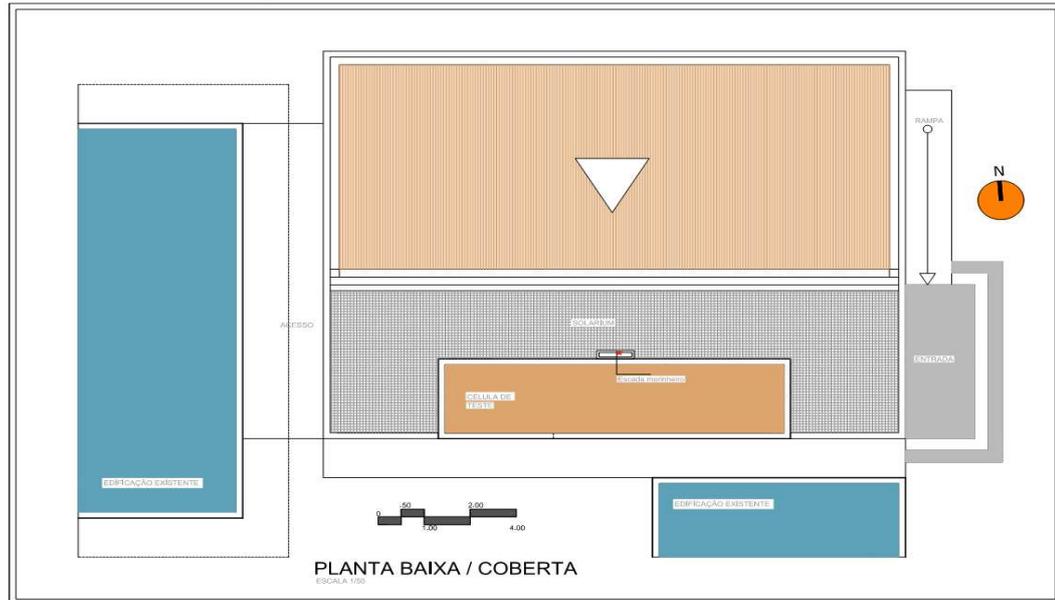
A Figura 3.18 mostra a planta baixa e uma imagem do Solário 01 do LEMT com finalidade multiuso, possui além da escada de acesso, um ambiente que foi utilizado como célula de teste. Neste pavimento existe parte da cobertura do prédio e todo o ambiente dispõe apenas uma janela alta na Célula de Teste tipo boca de lobo.

**Figura 3.18. Planta baixa do Solário 01 onde foi implantada a Célula de Teste do LEMT.**



As Figuras 3.19 e a Figura 3.20 mostram, na sequência, a planta baixa e imagens de cima e lateral do Solário 02 do LEMT com finalidade multiuso e onde foi instalada parte dos sensores externos medição de temperatura da célula de teste. Neste espaço foram paginados os revestimentos em dupla face do fulget e o reboco, e alocados os sensores de temperaturas,  $Te6reb$ ,  $Te7reb$  e  $Te8ful$ . O acesso para este espaço é feito por escada de tipo marinheiro.

**Figura 3.19. Planta baixa do solário 1 e 2 do LEMT.**



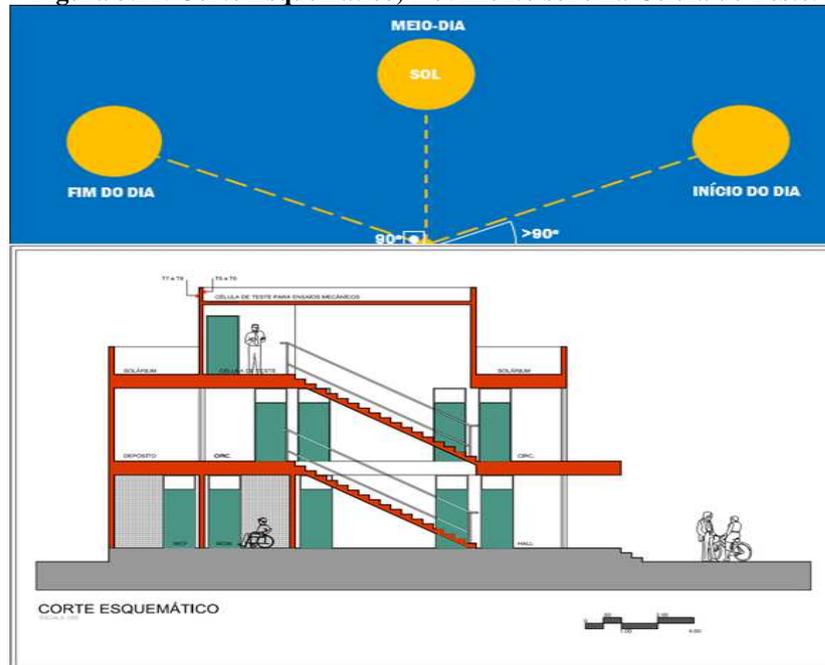
**Figura 3.20. Acesso ao solário 02 onde foram instalados os sensores  $Te5ful$  e  $Te6reb$ .**



A Figura 3.21 mostra um Corte Esquemático do LEMT com a célula de teste em destaque, além da escada de acesso aos pavimentos superiores, pode-se observar o pé-direito dos ambientes, parapeitos dos Solários 01 e 02 e platibandas.

A célula de teste está disponível para ensaios térmicos como também ensaios mecânicos (ação das intempéries). Neste croqui estão paginados os revestimentos em dupla face do fulget e o reboco, e alocados os sensores medição de temperaturas T5, T6, T7 e T8.

**Figura 3.21. Corte Esquemático, movimento sol e na Célula de Teste.**



O ambiente onde foi implantada a célula de teste é de um sistema construtivo convencional ao padrão existente em todo Campus da UFCG com estrutura de vigas e pilares em concreto armado e laje pré-moldada também de concreto. A vedação do prédio foi feita em alvenaria de tijolo assentado em meia vez com acabamento em reboco fino e pintura em PVA padrão cor gelo.

A estrutura de cobertura possui empena de alvenaria de tijolos de 8 furos sem acabamento e impermeabilizada parcialmente com telhas onduladas de fibrocimento. A cobertura da célula de teste é em laje aparente impermeabilizada. Esquadrias em madeiras e vidro completam o partido arquitetônico da edificação. A Figura 3.22 mostra o prédio do LEMT onde foi implantada a célula de teste, visto da pista de contorno do campus da UFCG. O elemento mais alto da edificação é onde está localizada a célula de teste.

**Figura 3.22. Imagens externas do LEMT, no plano mais alto fica a Célula de Teste.**



A Figura 3.23 mostra o acesso no LEMT para a célula de teste enquadrada num plano mais acima: o ambiente nos fundos da escada é onde fica a célula de teste.

**Figura 3.23. Imagem do LEMT, no plano mais de fundo fica a Célula de Teste.**



A parede da célula de teste voltada para o oeste (poente) recebeu revestimento em duas configurações: uma em fulget (revestimento desenvolvido nesta Tese) e outra em reboco, conforme paginação prévia definida. Nesta parede que recebe idêntica quantidade de radiação solar incidente, foram instalados os sensores, na parte externa e interna que vai tornar possível à análise térmica e conseqüentemente observar como cada revestimento (fulget x reboco) reflete e absorve a energia proveniente da radiação incidente e também vai propiciar calcular a condutividade térmica do fulget instalado.

Para o fulget foram assentadas 18 peças de 30 cm x 60 cm com argamassa AC2 e rejuntamento acrílico cor branco gelo da Quartzolit seguido de impermeabilização hidrofugada das peças. Na paginação em reboco foi utilizada argamassa convencional a base de cimento tipo Portland e areia lavada, finalizada com massa acrílica tipo PVA e pintura em PVA para exterior da marca Coral branco gelo fosco, seguindo o padrão de acabamento do bloco do Laboratório.

A Figura 3.24 mostra os produtos utilizados na célula de teste: impermeabilizante, massa corrida e tinta PVA.

**Figura 3.24. Produtos de acabamento da célula de Teste.**



A Figura 3.25 mostra uma imagem do acesso ao solário 02 e a parte externa da parede oeste (poente) da Célula de Teste, com a mesma área superficial de fulget e reboco para receber idêntica quantidade de radiação solar.

Observa-se também a instalação de sensores para medir a temperatura na superfície do fulget e do reboco em posições equivalentes. No verso desta parede (interior da célula de teste) também estão instalados sensores para medir a temperatura na superfície interna da parede em posição antagônica a dos sensores externos, com isto monta-se o circuito térmico equivalente e assim será possível realizar a análise térmica dos dois revestimentos e calcular a condutividade térmica e a refletância do fulget.

**Figura 3.25. Imagem da parte externa da parede oeste (poente) da Célula de Teste.**



No Apêndice D (Carta Solar da Célula de Teste) é mostrado um estudo detalhado sobre a incidência da radiação solar e do sombreamento sobre a célula de teste. Embora a parede oeste (poente) seja a mais importante para esta pesquisa, as condições ambientais e de entorno no LEMT contribuem para registrar maior ou menor temperatura sobre a célula de teste e isso precisa ser contemplados nesse estudo, daí a importância das cartas solares e dos estudos sobre os sombreamentos aqui contemplados.

### **3.3. Transferência de calor no fulget e no reboco**

Na célula de teste, na parede voltada para o oeste (poente), foram posicionados dois sistemas construtivos, um com reboco e outro com o fulget desenvolvido. Nesta parede foi instalada parte do SMAD para tornar possível observar, medir e analisar: o mecanismo de transferência de calor em cada revestimento.

A partir da medição de propriedades térmicas importantes, tais como temperatura na superfície dos revestimentos, temperatura ambiental interna, externa, umidade relativa do ar no interior e no exterior. Deste modo foi possível obter e determinar o desempenho térmico destes revestimentos e suas propriedades de interesse, como a refletividade e absorvidade térmica, e a condutividade térmica.

Os estudos da temperatura ( $T$ ) e da umidade relativa do ar ( $UR$ ) foram importante para medir a transferência de energia em um sistema e sua vizinhança a partir de suas interações de trabalho e calor. Nesta pesquisa foram tratados os eventos mais importantes destas interações. Como se trata de uma análise termodinâmica e de transferência de calor, o objetivo é conhecer os modos desta transferência e suas relações no dimensionamento da taxa

de transferência de calor. Entende-se como transferência de calor como sendo a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios.

Existe uma diferença fundamental entre transferência de calor e termodinâmica. A termodinâmica estuda as interações envolvendo o calor e o papel que estas interações desempenham no entendimento da primeira e segunda lei; ela não considera os mecanismos nem os métodos para o cálculo da taxa de calor, ou seja, a termodinâmica está focada no estado de equilíbrio da matéria, fato que elimina a existência de um gradiente de temperatura. A transferência de calor é por natureza um processo de não equilíbrio termodinâmico, ou seja, precisa de um gradiente de temperatura.

Os processos de transferência de calor pode-se dar por condução (gradiente de temperatura em um sólido ou líquido em regime estacionário), convecção (ocorre entre um sólido e um fluido em movimento) e radiação térmica (na ausência de um meio interposto). Estes processos de transferência de calor podem ocorrer separadamente, combinados ou com a predominância de um processo. A Figura 3.26 mostra os três modos de transferência de calor.

**Figura 3.26. Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.**



Fonte: Incropera (2005, p.2).

Em um revestimento de fachada tipo fulget pode haver perdas significativas de energia de interior para exterior e vice-versa, em virtude da transferência de calor por condução através da parede que separa o ar do interior da construção do exterior. Portanto, é possível transformar processos de transferência de calor em equações de taxa e que podem ser utilizadas para calcular a quantidade de energia que está sendo transferida pela parede revestida.

O processo de condução térmica acontece em níveis de atividades atômicas e moleculares e se caracteriza pela transferência de energia destas partículas mais energéticas para as menos energéticas devido às interações entre elas. A transferência de energia por

condução acontece na diminuição de temperatura bastando para isso existir um gradiente (diferença) de temperatura.

A equação da taxa de transferência de calor ou lei de Fourier (conhecida como Lei da condução Térmica, de 1822 por Jean Baptiste Joseph Fourier) pode ser usada com sucesso nas transferências de calor por unidade de tempo por condução térmica e exige uma distribuição de temperaturas linear em estado estacionário de uma parede plana e unidimensional.

A equação da taxa para uma parede plana unidimensional e com distribuição de temperatura  $T(x)$  pode ser representada pela Equação 3.1.

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (3.1)$$

Onde,

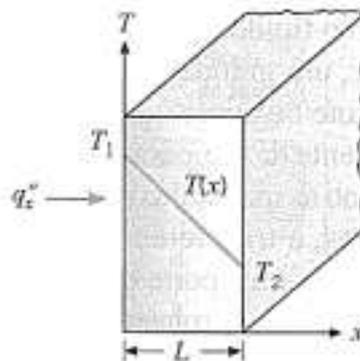
$q_x''$  é o fluxo térmico por unidade de área em ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$dT/dx$  é o gradiente de temperatura na direção do fluxo em ( $\text{K}/\text{m}$ );

e  $k$  é condutividade térmica da parede em ( $\text{W}/\text{m.K}$ ).

A Figura 3.27 mostra a representação esquemática da transferência calor unidimensional por condução em uma parede plana, em estado estacionário,

**Figura 3.27. Representação esquemática da transferência de calor unidimensional por condução.**



**Fonte: Incropera (2015).**

Onde o fluxo térmico ( $q_x''$ ) é a taxa de transferência de calor na direção  $x$  por unidade de área perpendicular à direção da transferência e proporcional à direção do gradiente de temperatura  $dT/dx$ .

O parâmetro de transporte  $k$  é chamado de condutividade térmica ( $W/(m \cdot K)$ ) e é uma característica específica do material. Já o sinal de menos na sentença é pelo fato da transferência de calor acontecer na direção da temperatura decrescente, ou seja, o fluxo de calor vai do lado da parede de maior temperatura para a de menor temperatura, segundo a 2ª Lei da Termodinâmica.

Em condições de estado estacionário e distribuição de temperatura linear, o gradiente de temperatura pode ser representado por,

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3.2)$$

O fluxo térmico vai ser então definido como,

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (3.3)$$

Ou

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (3.4)$$

A Equação (3.4) é a expressão do fluxo térmico, ou seja, a taxa de transferência de calor por unidade área. Para se calcular a taxa de transferência de calor por condução térmica,  $q_x(W)$  para a parede plana com área  $A$ , o resultado é o produto do fluxo pela área, ou seja,

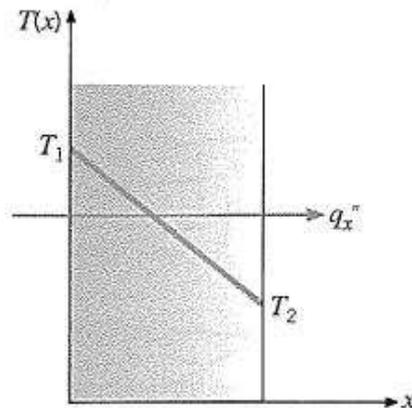
$$q_x = q_x'' \cdot A \quad (3.5)$$

A condução se reporta ao transporte de energia em um meio devido a existência de um gradiente de temperatura e o mecanismo físico existente é de uma atividade molecular aleatória. A transferência de calor por condução é regida pela Lei de Fourier que permite determinar o fluxo térmico a partir do conhecimento de uma distribuição de temperatura. Para esta pesquisa a atenção foi para um quadro simplificado de condução unidimensional e de estado estacionário em uma parede plana de uma célula de teste. Todavia a Lei de Fourier permite analisar condução transiente e multidimensional em situações complexas em que não

está evidente a distribuição de temperaturas. A lei de Fourier é fenomenológica por isso a equação da taxa além de experimental ela é generalizada.

Para uma parede plana a Figura 3.28 mostra como o sentido do fluxo de calor  $q_x''$  em um gradiente de temperatura  $\frac{dT}{dx}$  é negativo.

**Figura 3.28. A relação entre o sistema de coordenadas, o sentido do escoamento do calor e o gradiente de temperatura em uma dimensão.**



Fonte: Incropera, 2015.

Para valores de  $A$ ,  $\Delta x$  e  $\Delta T$ , o valor de  $q_x$  varia de acordo com o material da parede e a proporcionalidade pode ser convertida em igualdade pela introdução de um coeficiente de medida comportamental do material. Assim, a equação pode ser escrita com,

$$q_x = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.6)$$

Onde  $k$ , é a condutividade térmica ( $W/(m \cdot K)$ ) do material, assim a taxa de transferência de calor levada ao limite quando  $\Delta x \rightarrow 0$ ,

$$q_x = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.7)$$

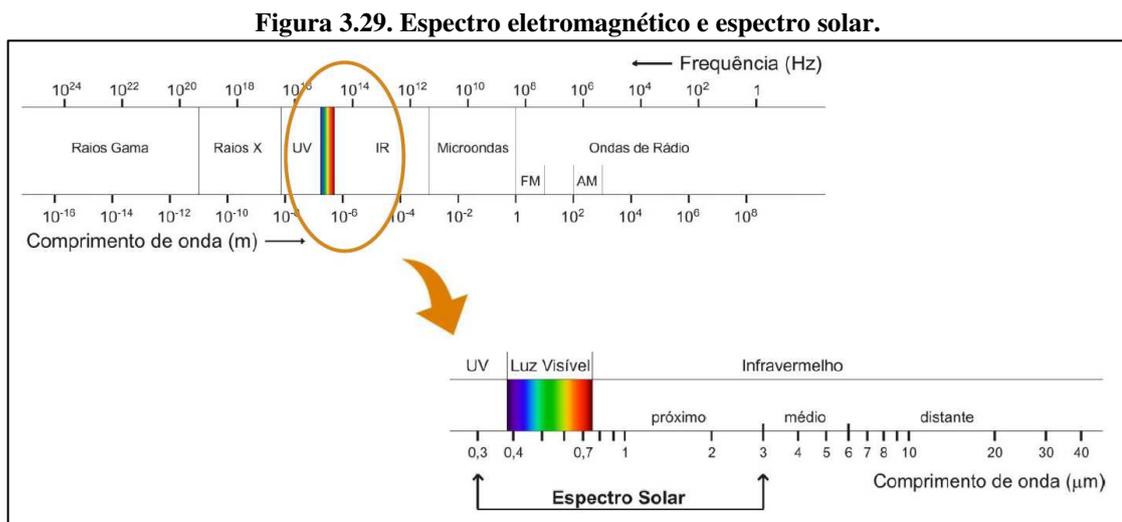
Ou fluxo de calor,

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.8)$$

### 3.4 Metodologia para cálculo da refletância térmica do fulget

A radiação solar incidente sobre um corpo na superfície da terra é predominantemente composta por qualidade espectral na faixa de comprimento de onda entre 0,3 e 3,0  $\mu\text{m}$ , que corresponde ao espectro do ultravioleta (UV), visível (V) e infravermelho (IV). Como pode ser observado na Figura 3.29.

Essa radiação que entra na atmosfera terrestre pode ter dois tipos de contato com as superfícies. O primeiro é o contato direto, que ocorre quando a radiação incidente chega diretamente a superfície do objeto em questão, não sofrendo nenhum desvio durante seu percurso. A outra é a radiação difusa, que devido a dispersão pelas moléculas, partículas e nuvens presentes na atmosfera alcança a superfície da Terra vindo refletida de todas as direções.



Fonte: Pereira *et al.* (2015).

Quando incide em uma superfície na face da Terra a radiação solar ( $G$ ) pode ter três componentes. Segundo Grilo (2007) ela pode ser refletida pela superfície, ela pode ser absorvida aumentando a temperatura da superfície ou ela pode ser transmitida para dentro do ambiente. Isso conduz a definição de três propriedades de uma superfície que recebe irradiação solar, são a refletância ( $\rho$ ), a absortância ( $\alpha$ ) e a transmitância ( $\tau$ ).

A absortância pode ser definida como o fluxo de calor que é absorvido pela superfície dividido pelo fluxo de calor total incidente na mesma. A refletância é a razão entre o fluxo de calor refletido pela superfície e o total e a transmitância é a razão entre o fluxo de calor transmitido para dentro do ambiente e o total. Segundo Grilo (2007), quando o meio é opaco a

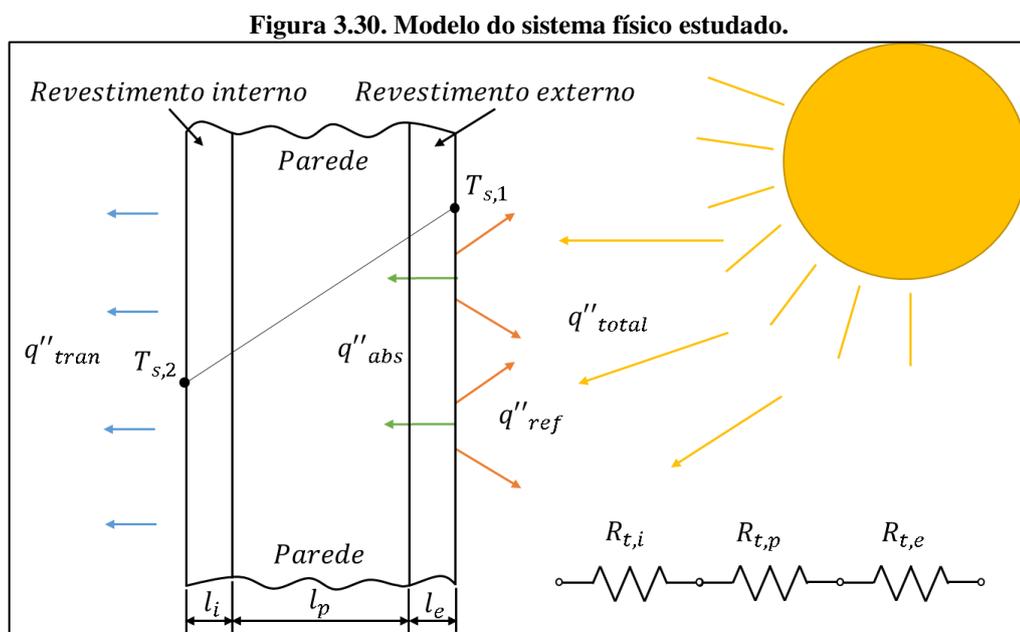
radiação incidente a parcela transmitida é igual a zero, logo a absorptância e a refletância podem ser tratadas apenas como fenômenos de superfícies, assim dependendo apenas da característica do material e da radiação incidente.

$$\alpha = \frac{q''_{abs}}{q''_{total}}; \rho = \frac{q''_{ref}}{q''_{total}}; \tau = \frac{q''_{tran}}{q''_{total}} \quad (3.9)$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (3.10)$$

Com essas considerações, e observando-se que a parede da célula de teste exposta ao poente se trata de uma superfície opaca, os efeitos de absorção e reflexão do fluxo de calor que chega através da radiação solar incidente são os predominantes. O fluxo de calor absorvido pelo material aumentará a sua temperatura externa, gerando assim um gradiente de temperatura, e um fluxo de transferência de calor para o interior da célula de teste.

A Figura 3.30 ilustra as condições do sistema estudado, a partir de um corte transversal na parede voltada para o oeste. Na Figura 3.30 o revestimento externo tanto pode ser o fulget quanto pode ser o reboco.



Utilizando a teoria estabelecida nas seções anteriores, podem-se obter as equações que serão utilizadas para calcular o coeficiente de condutividade térmica do fulget. Para que isso possa ser feito as seguintes considerações devem ser observadas:

- A condução de calor ocorre em regime permanente;
- As propriedades do material devem ser constantes.

Partindo da equação de Fourier,

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.11)$$

Com o circuito térmico mostrado na Figura 3.30, pode-se obter as equações :

$$q_x = \frac{\Delta T}{R_{t,Total}}, \quad (3.12)$$

$$q_x = \frac{\Delta T}{R_{t,i} + R_{t,p} + R_{t,e}}. \quad (3.13)$$

O sistema está exposto à mesma radiação solar incidente, no entanto a absorção da energia é diferente no revestimento de reboco pintado com tinta branco gelo e no revestimento com fulget. Isso se dá devido às refletâncias das duas superfícies serem diferentes.

Para realizar o cálculo a condutividade térmica do material tipo fulget, se faz necessário estabelecer o fluxo total de calor que está incidindo no sistema, para que possa ser calculado o fluxo de calor absorvido pelo mesmo. Para tanto, foram utilizadas as temperaturas obtidas no estudo base, que seria a parede com revestimento de reboco interno e externo, pois apresenta propriedades térmicas conhecidas e bem definidas. Foram utilizadas as condutividades térmicas do reboco e da parede de tijolos para calcular o fluxo de calor dados pela Tabela 3.2.

A refletância do fulget foi obtida através de testes experimentais realizado no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, em uma amostra padrão enviada para teste, seguindo a norma ASTM C1549 (2014) “*Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer*”. As informações sobre os testes e o procedimento utilizado encontram-se no laudo emitido pela UFSC e que pode ser visto no Apêndice B.

**Tabela 3.1. Propriedades utilizadas nos cálculos.**

<b>PROPRIEDADES</b>	<b>VALORES</b>
Condutividade térmica do reboco	0,72 W/mK
Condutividade térmica da parede	0,90 W/mK
Refletância da tinta branco gelo	0,59
Refletância do Fulget	0,614

**Tabela 3.2. Refletâncias obtidas para as amostras retiradas do catálogo.**

<b>LÁTEX</b>	<b>COR</b>	<b>REFLETÂNCIA (%)</b>			
		<b>Ultravioleta</b>	<b>Visível</b>	<b>Infravermelho</b>	<b>Total</b>
<b>Acrílico</b>	Alecrim	7	36	35	34
	Areia	8	58	55	54
	Branco	7	85	69	69
	Gelo	8	67	59	59
	Mel	7	53	63	59
	Marfim	6	72	68	66
	Palha	8	68	61	61
	Pêssego	7	61	62	60
	Vanilla	7	68	67	65
	Flamingo	6	52	62	58
	Telha	6	22	27	25
	Azul Bali	7	38	34	34
	Atlantis	7	72	65	64
	Camurça	6	42	41	40
	Pérola	7	71	67	65
	Damasco	8	63	63	61
	Concreto	7	28	25	25
	Marrocos	6	38	54	49
<b>PVA</b>	Preto	5	4	4	4
	Vermelho Cardinal	5	30	48	43
	Azul Profundo	6	17	36	32
	Verde Musgo	5	17	22	21

**Fonte: Castro et al. (2003).**

### 3.5 Metodologia para cálculo da condutividade térmica do fulget

A aplicação da Lei de Fourier é imprescindível conhecer uma propriedade de transporte chamada de condutividade térmica. A condutividade térmica fornece uma informação importante sobre a taxa na qual a energia é transferida pelo processo de difusão. A condutividade térmica depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular e está relacionada com o estado da matéria.

A condutividade térmica pode ser definida como,

$$k_x \equiv -\frac{q_x''}{\partial T / \partial x} \quad (3.14)$$

A condutividade térmica para um material isotrópico independe da direção de transferência,  $k_x = k_y = k_z = k$ .

O fluxo térmico por condução aumenta com o aumento da condutividade térmica para um dado gradiente de temperatura. De maneira geral a condutividade térmica de um sólido é maior do que de um líquido, e a do líquido maior do que um gás.

Na Tabela 3.4 são apresentados os valores usuais de condutividade térmica, massa específica e calor específico de materiais mais comuns empregados na construção civil. Observe o valor da condutividade térmica para o reboco de cimento e areia que é de 0,72 W/(m.K).

Tabela 3.4. Propriedades termo-físicas de materiais comuns.

Descrição/Composição	Propriedades Típicas a 300 K		
	Massa Específica $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade Térmica, $k$ (W/(m · K))	Calor Específico, $c_p$ (J/(kg · K))
<i>Materiais Estruturais para Construção</i>			
Materiais de Alvenaria			
Argamassa de cimento	1860	0.72	780
Tijolo, comum	1920	0.72	835
Tijolo, fachada	2083	1.3	—
Tijolo cerâmico, oco			
1 furo, 10 cm de espessura	—	0.52	—
3 furos, 30 cm de espessura	—	0.69	—
Bloco de concreto, 3 furos ovais			
Areia/brita, 20 cm de espessura	—	1.0	—
Agregado de carvão, 20 cm de espessura	—	0.67	—
Bloco de concreto, furo retangular			
2 furos, 20 cm de espessura, 16 kg	—	1.1	—
Idem, com furos preenchidos	—	0.60	—
Materiais para Reboco			
Reboco de cimento e areia	1860	0.72	—
Reboco de gesso branco e areia	1680	0.22	1085
Reboco de gesso branco e vermiculita	720	0.25	—
Placas de Construção			
Placas de cimento-amianto	1920	0.58	—
Placas de gesso ou reboco	800	0.17	—
Compensado de madeira	545	0.12	1215
Revestimento, densidade regular	290	0.055	1300
Azulejo acústico	290	0.058	1340
Compensado, divisória	640	0.094	1170
Compensado, alta densidade	1010	0.15	1380
Aglomerado, baixa densidade	590	0.078	1300
Aglomerado, alta densidade	1000	0.170	1300
Madeiras			
Madeiras de lei (carvalho, bordo)	720	0.16	1255
Madeiras moles (abeto, pinho)	510	0.12	1380

Fonte: (INCROPERA, 2015)

Para calcular a condutividade térmica do fulget ( $k_f$ ) será necessário montar o circuito equivalente da transferência de calor em uma parede com esse revestimento. Lembrando que

quando o calor é transferido por difusão em regime estacionário e em condução unidimensional, se refere apenas a uma coordenada para descrever as variáveis dependentes envolvidas no processo.

Na transferência de calor unidimensional existe um gradiente de temperatura em uma única direção. A variável temperatura é independente do tempo no sistema. A distribuição de temperatura e a transferência de calor em geometria plana é preciso adicionar os conceitos de resistência térmica e introduzir o conceito de circuitos térmicos equivalentes na modelagem do escoamento do calor. O Quadro 3.4 mostra um resumo das soluções unidimensionais, em regime estacionário, para uma parede plana que é a do caso em estudo.

**Quadro 3.4. Soluções unidimensionais, em regime estacionário, da equação de calor sem geração.**

<b>PAREDE PLANA</b>	
Equação de calor	$\frac{d^2T}{dx^2} = 0$
Distribuição de temperaturas	$T_{s,1} - \Delta T \frac{x}{L}$
Fluxo Térmico ( $q''$ )	$k \frac{\Delta T}{L}$
Taxa de transferência de calor (q)	$kA \frac{\Delta T}{L}$
Resistência térmica ( $R_{t,cond}$ )	$\frac{L}{kA}$

**Fonte: Incropera (2015).**

Na condução de calor em uma parede plana, a temperatura é uma função da coordenada  $x$  e a transferência de calor ocorre nesta direção. Fazendo uma analogia entre difusão de calor e carga elétrica, é possível obter o circuito equivalente. Considerando resistência como sendo a razão entre um potencial motriz e a correspondente taxa de transferência, então a resistência térmica para condução em uma parede plana pode ser:

$$R_{t,cond} \equiv \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (3.15)$$

A representação na forma de circuitos pode ser uma ferramenta importante para a conceituação e quantificação da transferência de calor. O circuito térmico equivalente para

parede plana com condições de condução é mostrado na Figura 3.31. A taxa de transferência de calor pode ser feita em separado de cada elemento da rede, uma vez que  $q$  é constante.

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{s,1}}{1/h_1 A} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{L/k A} = \frac{T_{s,2} - T_{\infty,2}}{1/h_2 A} \quad (3.16)$$

Onde,

$q_x$  é a taxa de transferência de calor;

$k$  é a condutividade térmica do material;

$T_{\infty,1}$  é a temperatura do fluido 1 (ar);

$T_{s,1}$  é temperatura na superfície da parede 1;

$T_{s,2}$  é temperatura na superfície da parede 2;

$T_{\infty,2}$  é temperatura do fluido 2 (ar);

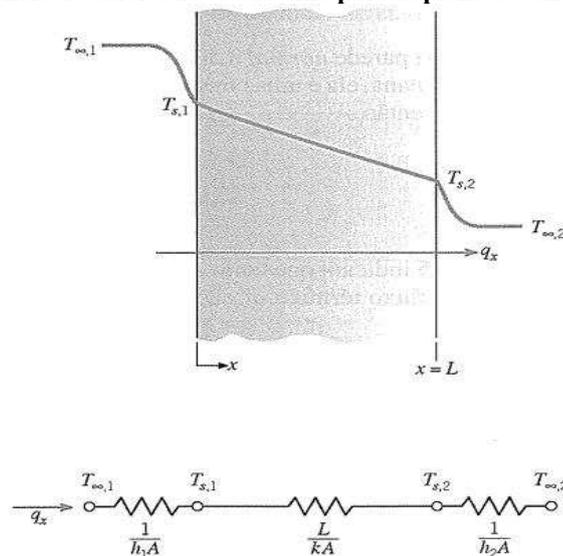
$L$  é a espessura da parede;

$A$  é a área da parede normal à direção da transferência de calor;

$h_1$  é coeficiente de transferência de calor por convecção em 1;

$h_2$  é coeficiente de transferência de calor por convecção em 2.

Figura 3.31. Transferência de calor através de uma parede plana e o circuito térmico equivalente.



Fonte: Incropera (2015).

Para calcular o fluxo de calor total incidente no sistema primeiramente deve-se calcular o fluxo que é absorvido pelo estudo base (reboco-parede-reboco), que é possível fazer utilizando a equação (8). Onde  $\Delta T_{reb}$  é a diferença entre as temperaturas externa e

interna,  $R_{total,reb}$  é a resistência térmica total da parede plana considerando a configuração reboco-parede-reboco e  $A$  é a área da superfície, que é a mesma para todos os casos.

$$q''_{abs,reb} = \frac{\Delta T_{reb}}{AR_{total,reb}} \quad (3.17)$$

Com o valor do fluxo absorvido obtido e utilizando a absorptância da tinta branca, é possível calcular o fluxo total. Onde,

$$q''_{abs,reb} = \alpha q''_{total} \quad (3.18)$$

Então,

$$q''_{total} = \frac{q''_{abs,reb}}{\alpha_{reb}} \quad (3.19)$$

Sendo  $\alpha_{reb}$  a absorptância do revestimento externo em reboco. Logo,

$$q''_{total} = \frac{\Delta T_{reb}}{\alpha_{reb}AR_{total,reb}} \quad (3.20)$$

Com o fluxo de calor total calculado deve-se multiplica-lo pela absorptância do fulget para se obter o fluxo de calor absorvido pela parede estudada.

$$q''_{abs,ful} = \frac{\alpha_{ful}\Delta T_{reb}}{\alpha_{reb}AR_{total,reb}} \quad (3.21)$$

Com esses dados , é possível calcular a resistência térmica total do sistema que tem o revestimento tipo fulget. O fluxo de calor absorvido pelo fulget utilizando as temperaturas e a resistência térmica do mesmo é dado pela equação (3.20).

$$q''_{abs,ful} = \frac{\Delta T_{ful}}{AR_{total,ful}} \quad (3.22)$$

Igualando (3.21) com (3.22), encontra-se (3.23).

$$\frac{\Delta T_{ful}}{AR_{total,ful}} = \frac{\alpha_{ful}\Delta T_{reb}}{\alpha_{reb}AR_{total,reb}} \quad (3.23)$$

Com a equação (3.23) é possível isolar a resistência térmica total da parede com revestimento tipo fulget.

$$R_{total,ful} = \frac{\Delta T_{ful}\alpha_{reb}R_{total,reb}}{\alpha_{ful}\Delta T_{reb}} \quad (3.24)$$

Como a resistência térmica total é um somatório das resistências das três camadas de material da parede plana, é possível determinar o valor da condutividade térmica do material tipo fulget.

$$R_{t,ful} = \frac{\Delta T_{ful}\alpha_{reb}R_{total,reb}}{\alpha_{ful}\Delta T_{reb}} - (R_{t,par} + R_{t,reb}) \quad (3.25)$$

Como a resistência térmica a condução é dada pela equação,

$$R_t = \frac{L}{Ak} \quad (3.26)$$

Tem-se que,

$$\frac{L_f}{Ak_f} = \frac{\Delta T_{ful}\alpha_{reb}R_{total,reb}}{\alpha_{ful}\Delta T_{reb}} - (R_{t,par} + R_{t,reb}) \quad (3.27)$$

$$k_f = \frac{1}{\frac{A\Delta T_{ful}\alpha_{reb}R_{total,reb}}{L_f\alpha_{ful}\Delta T_{reb}} + \frac{A(R_{t,par}+R_{t,reb})}{L_f}} \quad (3.28)$$

A Equação (3.28) é, portanto a equação a ser utilizada para calcular a condutividade térmica do fulget.

### 3.6 Metodologia para os testes de resistência as intempéries

A análise mecânica, mesmo não sendo a análise mais importante desta pesquisa, usará a estrutura montada na célula de teste para a análise térmica para fazer algumas observações sobre propriedades importantes da resistência mecânica do revestimento desenvolvido nesta pesquisa. Quatro sensores externos de medição de temperatura  $Te5_{ful}$ ,  $Te6_{reb}$ ,  $Te7_{reb}$  e  $Te8_{ful}$  foram instalados na platibanda do solário 02 que receberam revestimentos nas duas faces com o objetivo de registrar as temperaturas no decorrer do dia. Os sensores foram alocados em orientação leste / oeste, de modo a receber radiação solar e chuva com maior incidência e intensidade ao longo do dia (matutino e vespertino) e das estações do ano.

Foram observada a resistência mecânica dos dois revestimentos em relação às intempéries e analisadas propriedades físicas de resistência, tais como absorção de umidade, resistência a irradiação solar, arrancamento e aparência dos revestimentos, durante a pesquisa:

- ✓ Verificado a estabilidade da cor, através da observação da naturalidade do material e de sua variação com o tempo;
- ✓ Observado e registrar o desempenho deste revestimento quando submetido a ensaios rigorosos de intemperismo artificial, absorção e arrancamento;
- ✓ Avaliado o grau de intoxicação do produto com relação à manipulação ou inalação;

### 3.7 Sistema de Medição e Aquisição de Dados (SMAD)

O desenvolvimento de um sistema de medição e aquisição de dados (SMAD), usando a plataforma Arduino, para medir temperatura na superfície da parede da célula de teste e a umidade relativa do ar contribuiu para realizar a análise térmica e determinação dos fluxos de calor entre o exterior e o interior da célula. Os resultados obtidos para os fluxos e a

caracterização das propriedades térmicas do fulget, em especial sua refletância e condutividade térmica foram utilizados para comparar eficiência térmica dos revestimentos, indicando qual o mais vantajoso do ponto de vista.

Para realizar os cálculos de transferência de calor e determinar as propriedades térmicas dos dois revestimentos é necessário realizar medições das propriedades básicas, temperatura e umidade relativa. Por isso é necessário desenvolver um sistema de medição que realize, de modo automatizado, as medidas necessárias e que disponibilize essas informações obtidas em gráficos e tabelas com interface amigável, facilmente entendidas pelos humanos. É nesse contexto que para essa pesquisa foi desenvolvido (concepção, projeto, construção e operação) de um sistema de mediação e aquisição de dados (SMAD).

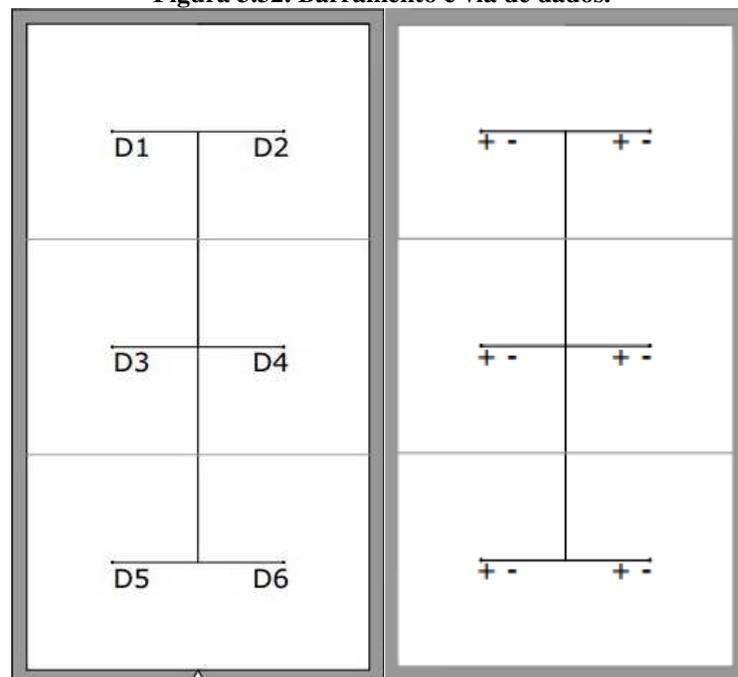
### 3.7.1 Preparação dos sensores para fixação na célula de teste

O procedimento utilizado para preparação e fixação dos sensores para posterior posicionamento nas devidas posições na célula de teste foi apresentado através de um passo a passo que permitiu a reprodutibilidade desta ação para pesquisas futuras. Foram relatadas o passo a passo, em nove etapas, para orientar o pesquisador na preparação dos sensores de temperatura LM35 (sensor de temperatura) e o DHT22 (sensor de umidade relativa e temperatura) em cabos manga de 4 vias para fixação nas células de teste.

- ✓ Considere para distribuição dos cabos: a Figura 3.32 que mostra o barramento e o posicionamento para a via de dados;
- ✓ Utilizar um barramento para alimentação VCC (+,-) do LM 35 e DHT 22;
- ✓ Utilizar uma via de dados usando cabo manga de 10 vias blindado;
- ✓ Todos os sensores (LM35 e DHT22) devem ser preparados com rabicho com 30 cm de comprimento para conexão com o barramento e a via de dados;
- ✓ O barramento para alimentação e a via de dados devem ser fixados às paredes (travessando a célula de teste) com fix fio;
- ✓ As conexões soldadas nos sensores como também as conexões realizadas no barramento para alimentação e na via de dados devem ser protegidas com macarrão termo retrátil;

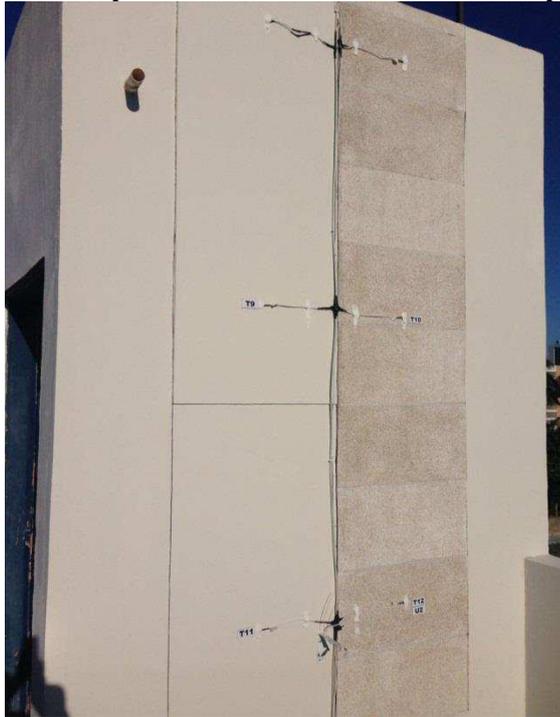
- ✓ Os sensores foram fixados na parede em suas laterais com cola quente e em seguida foram cobertos com cola de azulejo;
- ✓ Para o barramento VCC: usar cabo cci de 1 par (2 vias) as vias de cor vermelha e preta do cabo manga de 10 vias, serão usadas para levar alimentação 12 vcc da interface Arduino até o barramento de alimentação nos módulos de teste;
- ✓ Para a via de dados, usar cabo manga de 10 vias. Criar uma tabela com código de cores para identificar cada sensor.

**Figura 3.32. Barramento e via de dados.**



A Figura 3.33 mostra o posicionamento real dos sensores de temperatura e umidade relativa do ar na parte externa da parede oeste da célula de teste que fica posicionada para o poente. A distribuição dos sensores, como mostrada, permite o acompanhamento da variação da temperatura e umidade entre as áreas externas e internas e vice versa uma vez que sensor equivalente a cada um desses é instalada no interior dessa parede, e em posição exatamente equivalente para ensejar o cálculo da transferência de calor.

**Figura 3.33. Foto da parede externa poente da célula de teste mostrando o posicionamento dos sensores.**



### 1.1.3. 3.7.2 O SMAD e suas características

O SMAD é composto pelo ARDUINO MEGA, que tem uma placa de interface e 14 sensores, sendo doze para medição de temperaturas nas faces interna e externa da parede oeste da célula de teste e dois sensores para medir umidade relativa do ar no interior e exterior da célula de teste. Os dados gerados são armazenados em um micro cartão SD e enviado via WiFi para o computador supervisor. Os dois sistemas são redundantes (cartão micro SD e Wi-fi) e armazenam os dados obtidos pelos 14 sensores. Por uma questão de segurança caso haja alguma falha em um dos sistemas de aquisição de dados o outro será preservado.

A energia elétrica para o sistema é fornecida por uma fonte de tensão AC/DC de 9V / 1A. Foi desenvolvido também, um sistema NOBREAK, com baterias recarregáveis, para evitar perdas dos dados. Os dados coletados são dispostos em uma planilha EXCEL com 14 colunas, onde as informações foram obtidas automaticamente a cada 1 minuto. O hardware foi montado em uma caixa de PVC (30 cm x 20 cm); na sua parte frontal tem um display com 4 linhas que apresenta o status de funcionamento do sistema mostrando com intervalos de 10 segundos, as medições realizadas no momento, as temperaturas interna, externa, e as umidades relativas do ar, também no exterior e no interior. A Figura 3.34 mostra o dispositivo em PVC onde foi instalado o hardware do SMAD.

Figura 3.34. Caixa de PVC onde fica o hardware.



Os resultados obtidos são mostrados em um programa supervisorio, referente ao circuito térmico equivalente das células de teste. A Figura 3.35 mostra o tipo de tabela que resulta do programa desenvolvido.

Figura 3.35. Modelo da tabela resultante.

AMOSTRA	DD/MM/AA	HH:MM:SS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	URI	T13	UR2	T14
1	21/02/2017	11:13:45	27,90	26,90	27,40	26,90	31,80	32,70	46,40	30,80	29,80	29,80	28,80	29,30	59,60	27,50	62,70	30,40
2	21/02/2017	11:14:45	28,30	26,90	27,90	26,90	33,70	34,70	37,10	31,30	30,30	30,30	29,80	29,80	59,60	27,60	62,80	30,60
3	21/02/2017	11:15:46	27,90	26,40	27,40	26,40	32,70	33,20	43,50	30,80	29,80	30,30	29,30	29,80	59,60	27,60	62,40	31,30
4	21/02/2017	11:16:46	27,90	26,40	27,40	26,40	33,20	34,70	35,70	30,80	29,80	30,30	29,30	29,80	60,10	27,60	62,50	31,00
5	21/02/2017	11:17:46	27,90	26,40	27,40	26,40	33,70	35,20	47,40	30,80	30,30	30,30	29,30	29,80	59,80	27,60	62,40	30,80
6	21/02/2017	11:18:46	28,30	26,40	27,40	26,90	34,20	34,70	24,40	30,80	30,30	30,80	29,80	30,30	60,00	27,70	62,40	31,00
7	21/02/2017	11:19:47	28,30	26,90	27,90	26,90	33,70	34,20	28,80	31,30	29,80	30,80	29,80	29,80	60,00	27,70	61,90	31,40
8	21/02/2017	11:20:47	27,90	26,90	27,40	26,90	33,70	34,20	28,30	31,30	30,30	30,30	29,30	29,80	59,80	27,70	61,60	30,90
9	21/02/2017	11:21:47	27,90	26,90	27,40	26,90	32,70	33,20	39,60	30,80	29,80	30,30	29,30	29,30	59,80	27,70	61,80	31,30
10	21/02/2017	11:22:47	27,90	26,90	27,40	26,40	32,70	33,70	25,40	30,80	29,80	30,30	29,30	29,30	59,70	27,70	62,20	30,60
11	21/02/2017	11:23:47	27,90	26,90	27,90	26,40	32,70	32,70	23,50	30,80	29,80	30,30	29,30	29,80	59,60	27,70	62,70	31,00
12	21/02/2017	11:24:58	28,30	26,40	27,90	26,40	32,70	33,70	24,40	30,80	29,80	30,30	29,30	29,80	59,60	27,70	62,20	31,40
13	21/02/2017	11:25:58	27,90	26,90	27,40	26,40	31,80	32,70	29,80	30,80	29,30	30,30	28,80	29,30	59,60	27,70	62,20	31,30
14	21/02/2017	11:26:58	27,90	26,40	26,90	26,40	32,30	32,70	25,40	30,30	29,30	29,80	29,30	29,30	59,00	27,70	61,60	30,50
15	21/02/2017	11:27:58	27,90	26,40	27,40	26,40	33,20	34,20	47,40	30,80	29,80	30,30	29,80	29,80	59,50	27,80	61,70	31,30
16	21/02/2017	11:28:58	27,90	26,40	27,40	26,40	33,70	35,20	28,80	31,30	29,80	30,30	29,80	29,80	59,10	27,80	61,10	32,00
17	21/02/2017	11:29:58	27,90	26,90	27,40	26,40	34,20	35,70	40,10	31,30	30,30	30,80	30,30	30,30	59,10	27,80	61,10	32,20
18	21/02/2017	11:30:58	27,90	26,90	27,40	26,40	34,70	35,70	37,10	31,30	30,30	30,80	29,80	30,30	59,10	27,90	61,00	32,70
19	21/02/2017	11:46:06	27,90	26,90	27,90	26,90	32,30	33,20	33,20	31,80	30,80	31,30	30,30	30,80	58,10	28,30	56,10	33,60
20	21/02/2017	11:47:06	27,90	26,90	27,90	26,40	32,30	32,30	24,40	31,80	30,80	31,80	30,30	31,30	58,00	28,30	56,70	32,80
21	21/02/2017	11:48:07	28,30	26,90	27,90	26,90	32,30	32,70	46,90	32,30	31,30	32,30	31,30	31,80	58,30	28,20	56,90	32,90

Onde:

$T1 = Ti1reb =$	Temperatura na parede interna em reboco em °C;
$T2 = Ti2reb =$	Temperatura na parede interna em reboco em °C;
$T3 = Ti3reb =$	Temperatura na parede interna em reboco em °C;
$T4 = Ti4reb =$	Temperatura na parede interna em reboco em °C;
$T5 = Te5ful =$	Temperatura na parede externa fulget em °C;
$T6 = Te6reb =$	Temperatura na parede externa em reboco em °C;
$T7 = Te7reb =$	Temperatura na parede externa em reboco em °C;
$T8 = Te8ful =$	Temperatura na parede externa em fulget em °C;
$T9 = Te9reb =$	Temperatura na parede externa em reboco em °C;
$T10 = Te10ful =$	Temperatura na parede externa em fulget em °C;
$T11 = Te11reb =$	Temperatura na parede externa em reboco em °C;
$T12 = Te12ful =$	Temperatura na parede externa em fulget em °C;
$T13 = Ti13reb =$	Temperatura na parede interna em reboco em °C;
$T14 = Te14ful =$	Temperatura na parede externa em fulget em °C;
$UR1 = URi1 =$	Umidade relativa do ar no interior da célula de teste (%);
$UR2 = URe2 =$	Umidade relativa do ar no exterior da célula de teste (%);

Os valores de temperatura e umidade relativa do ar inseridos nas tabelas servem de base para obter outras variáveis importantes, como transferência de calor e fluxo térmico nos revestimentos. Além disso, estes dados da tabela podem ser plotados em gráficos que permitem observar a variação dessas variáveis em cada sensor, ou seja, em cada ponto da célula de teste ao longo de um dia de experimento. A Figura 3.36 expõe uma amostra do programa do Arduino para aquisição de dados desta pesquisa.

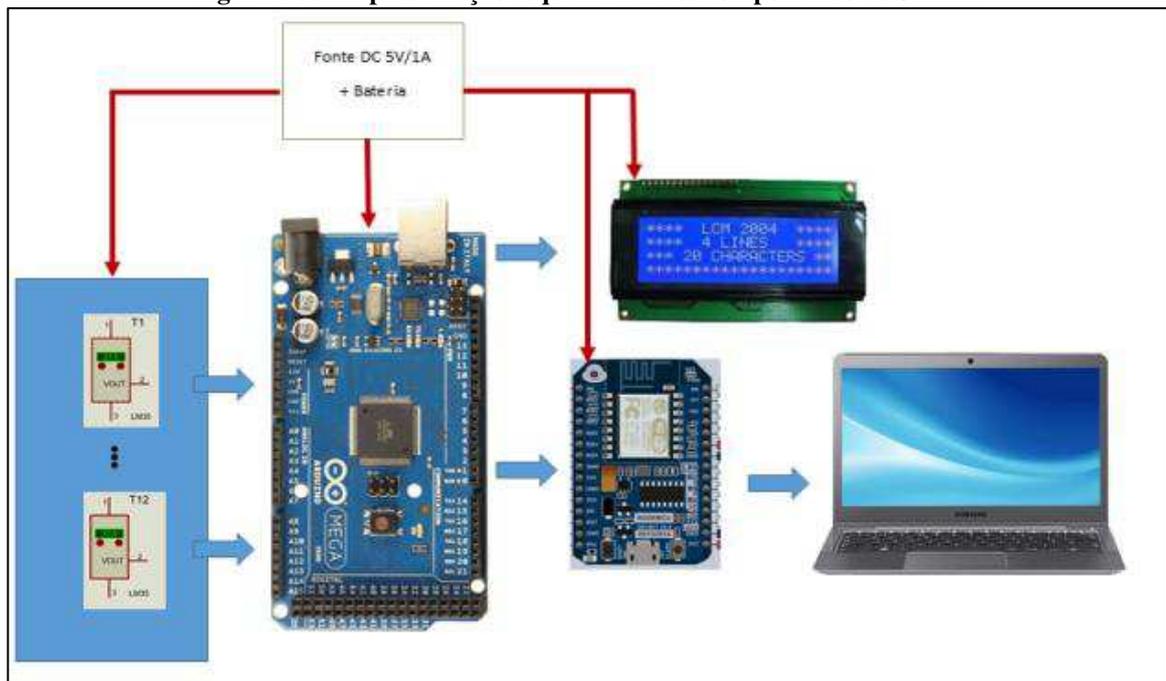
Figura 3.36. Uma amostragem do programa do Arduino para Aquisição de Dados desta tese.

```

1
2 //Programa : - Aquisição de Dados 12 Temperaturas e 2 Umidades e 2 temperaturas
3 //          Com Display com Display LCD 20x4 e módulo I2C
4
5 //Autor : JOSÉ ESTIVALDO SANTOS
6 //Data : 15/01/2017
7 #include <SPI.h>
8 #include <I2C.h>
9 #include "DHT.h"
10 #include <Wire.h>
11 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
12
13 #define DHTPIN 9 // Pino conectado ao pino de dados do sensor DHT22
14 #define DHTTYPE DHT22 // Sensor DHT 22 (AM2302)
15
16 #define DHTPIN1 7 // Pino conectado ao pino de dados do sensor DHT22
17 #define DHTTYPE1 DHT22 // Sensor DHT 22 (AM2302)
18
19
20 LiquidCrystal_I2C lcd(DA27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE);
21 char str[20];
22
23
24 /** Definir os pines que lerão as saídas dos LM35 **
25 /**
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2
```

O programa desenvolvido permite avaliar os índices de refletância e absortância, através de gráficos dinâmicos *on-line*. Com estes dados é possível obter a eficiência energética em relação ao conforto térmico do revestimento em estudo. Na Figura 3.38 está a representação esquemática dos módulos que compõe o sistema SMAD: sensores de temperatura LM35, sensores umidade relativa, placa ARDUINO MEGA, interface, placa wifi, nobreak, display e notebook.

**Figura 3.38. Representação esquemática dos componentes do SMAD.**

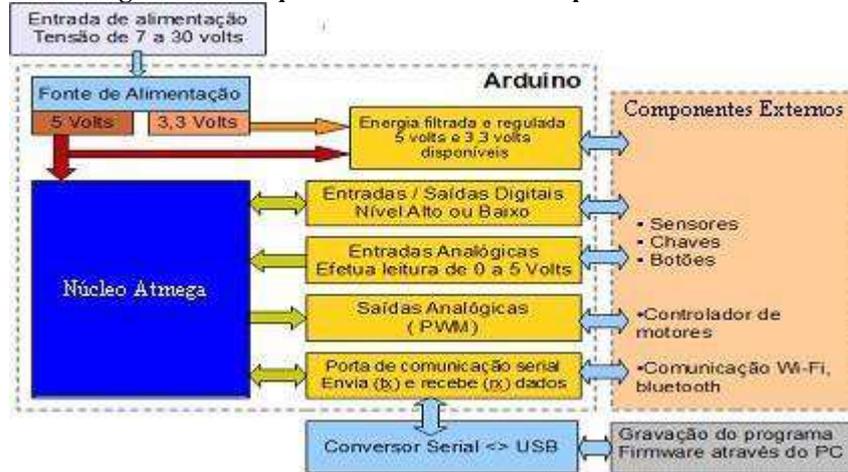


Fonte: Arduino e Cia. (2013).

#### 1.1.4. 3.7.3 Plataforma Arduino Mega e suas características

Arduino é uma placa de desenvolvimento que tem como micro controlador principal a família Atmega/Mega da Atmel. Utiliza programa em C/C++, sendo que o compilador utilizado na plataforma do arduino é o AVR/GCC (COSTA, 2014). Mas vale lembrar que a "linguagem" do Arduino é na verdade uma biblioteca, que permite trabalhar em C/C++ direto (sem as funções da *libcore*) e até mesmo em ASM. Neste caso a vantagem está na facilidade do upload dos códigos e facilidade na prototipação devido à existência do padrão de conexão dos Shields. Serão utilizados programas abertos para geração de tabelas e gráficos a partir dos dados levantados (CABÓ, 2015). Na Figura 3.39 a Arquitetura de hardware da placa de Arduino.

Figura 3.39. Arquitetura de hardware da placa de Arduino.



Fonte: Daniel Basconcello Filho (Robotizando, 2016).

A plataforma é composta de duas partes: o hardware, que é a placa de circuito contendo o micro-controlador, e o software que é o ambiente de programação livre.

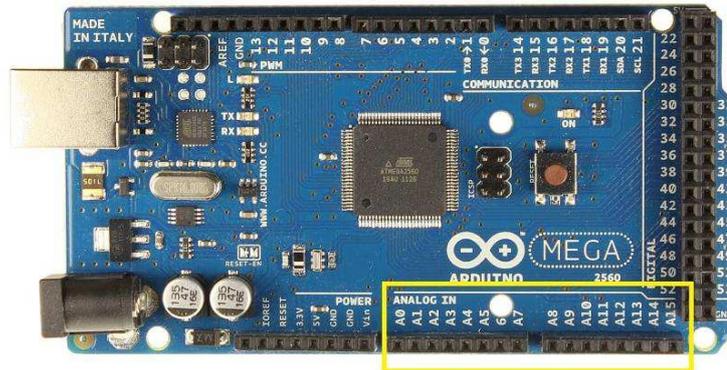
Um micro controlador, também denominado MCU (*Multipoint Control Unit*), é um computador *on-chip*, que contém processador, memória e periféricos de entrada/saída, e pode ser programado para funções específicas, em contraste com outros microprocessadores de propósito gerais (como os utilizados nos computadores).

Pela própria definição de computador como um dispositivo capaz de receber um sinal de entrada, processar e gerar um sinal de saída, um micro-controlador é um dispositivo que, associado a determinado tipo de sensor consegue interpretar uma grandeza física, processá-la e acionar algum dispositivo na saída.

Um ambiente de programação, mais conhecido como IDE (*Integrated Development Environment*) é uma aplicação que engloba um editor de texto capaz de identificar a sintaxe de uma determinada linguagem de programação, um compilador que transforma o texto em linguagem de máquina (binário) e um *debugger* que é um software que auxilia o desenvolvedor a avaliar o programa que ele está escrevendo.

Além do hardware, a comunidade Arduino desenvolveu uma IDE para facilitar o desenvolvimento das aplicações usando uma versão própria de C/C++ e com um grande acervo de bibliotecas de funções para diversos sensores e aplicações específicas. A Figura 3.40 mostra uma imagem da placa ARDUINO MEGA R3, escolhida para controlar os 12 sensores do SMAD.

**Figura 3.40. Placa ARDUINO MEGA R3.**



#### 1.1.5. 3.7.4 Desenvolvimento da Placa Arduino Mega 2560 R3

O Arduino Mega 2560 é uma placa da plataforma Arduino que possui recursos bem interessantes para prototipagem e projetos mais elaborados. Estruturado no micro controlador ATmega 2560, possui 54 pinos de entradas e saídas digitais onde 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM. Possui 16 entradas analógicas e 4 portas de comunicação serial. Além da quantidade de pinos, conta com maior quantidade de memória sendo uma ótima opção para projetos que necessitem de muitos pinos de entradas e saídas além de memória de programa com maior capacidade. O MEGA 2560 opera com tensão de 5V. Cada pino possui resistor de pull-up interno que pode ser habilitado por software. O Arduino Mega2560 possui 16 entradas analógicas (pinos A0 a A15), onde pode ser feita a conversão com uma resolução de 10 bits, e a tensão de referência é conectada a 5V. O micro-controlador é o responsável pelo funcionamento da placa ARDUINO MEGA 2560, possibilitando o upload do código binário gerado após a compilação do programa feito pelo usuário.

A seguir são apresentadas as suas características construtivas mais relevantes:

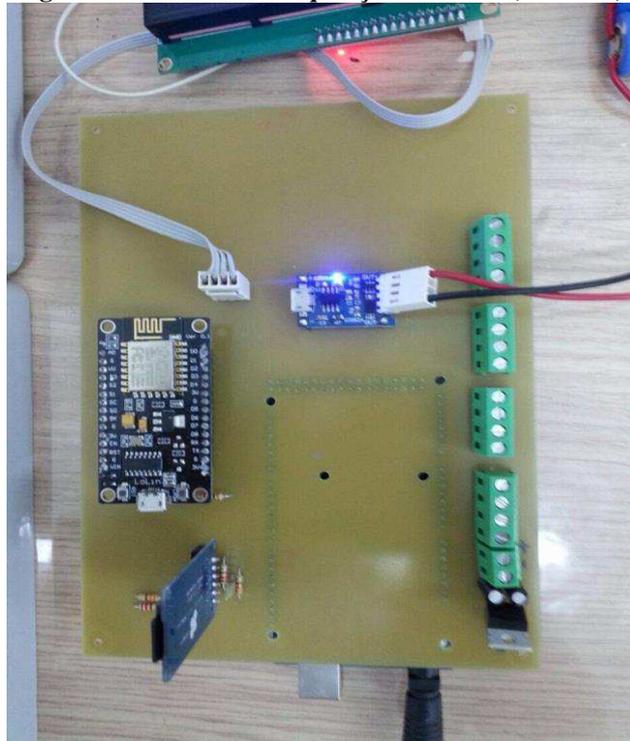
- ✓ Micro-controlador: ATmega 2560 de 8 bits de arquitetura RISC avançada possui mais recursos, operando em 16 MHz. Possui multiplicador por Hardware e diversos periféricos que aumentam as possibilidades da plataforma Arduino;
- ✓ Tensão de Operação 5V :Fornece tensão de 5 V para alimentação de *shields* e circuitos externos;
- ✓ Tensão de Entrada: 7~12V;
- ✓ Portas Digitais: 54 (15 podem ser usadas como PWM) possuem 54 pinos de entradas e saídas digitais onde 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM;

- ✓ Portas Analógicas: 16;
- ✓ Corrente Pinos I/O: 40mA;
- ✓ Corrente Pinos 3.3V: 50mA;
- ✓ Memória Flash: 256KB (8KB usado no bootloader);
- ✓ SRAM: 8 kB;
- ✓ EEPROM: 4 kB;
- ✓ Velocidade do Clock: 16 MHz.

Nesta pesquisa a leitura dos dados (14 leituras de temperatura e 02 leituras de umidade relativa do ar) são realizadas a cada um minuto e estes são visualizados em um display de LCD (*Liquid Crystal Display*) automaticamente. Estes dados são gravados numa leitura diária e para esta gravação, optou-se por um periférico de armazenamento dos dados tipo cartão de memória micro SD (*Secure Digital*). Este dispositivo tecnológico foi escolhido para permitir que a aquisição dos dados de temperatura e umidade fosse contínua e de forma autônoma.

Na Figura 3.41 é apresentado o Arduino utilizado no experimento e a caixa desenvolvida utilizada para acomodação e proteção do mesmo.

**Figura 3.41. Sistema de aquisição de dados (Arduino).**



A Figura 3.42 mostra a parte externa da caixa de proteção do Arduino, onde se pode ver o compartimento para inserção com o próprio cartão SD e o *display* de LCD mostrando uma leitura de temperatura interna e externa e umidade relativa interna e externa.

**Figura 3.42. Apresentação do compartimento do cartão SD e do display LCD.**



A Figura 3.43 mostra o sensor do tipo TH11, responsável pela leitura dos dados de temperatura e umidade relativa do ar e enviá-los a placa Arduino.

**Figura 3.43. Sensor TH11 para leitura de umidade relativa do ar.**



Na sequência são mostradas as representações das paredes da célula de teste onde foram instalados os sensores para medição de temperatura e umidade relativa. Foram revestidas duas paredes na célula de teste em estudo: uma com o revestimento fulget desenvolvido neste trabalho e outra parede com acabamento em reboco e pintura externa. Tais paredes são parte de um ambiente construído em 04 faces para que se possam analisar tais

características internamente sob o ponto de vista do conforto térmico ambiental. Todavia a implantação destas paredes será voltada para as orientações Sudeste e Centro-oeste haja vista que a incidência de chuvas e insolação são maiores para as características climáticas da cidade de Campina Grande, PB. Em seguida uma parede receberá o revestimento fulget desenvolvido para este trabalho e a outra parede receberá acabamento em pintura para exterior numa cor aproximada da cor existente no restante do laboratório.

Foram realizadas medições com o auxílio do SMAD (equipamento com capacidade para auxiliar na mediação de temperatura e umidade). A Figura 3.44 mostra a paginação dos revestimentos na parte interna da Célula de Teste. Os sensores de temperatura s T5 e T6 estão situados sobre a laje da edícula.

**Figura 3.44. Paginação dos revestimentos na célula de teste / ambiente interno.**

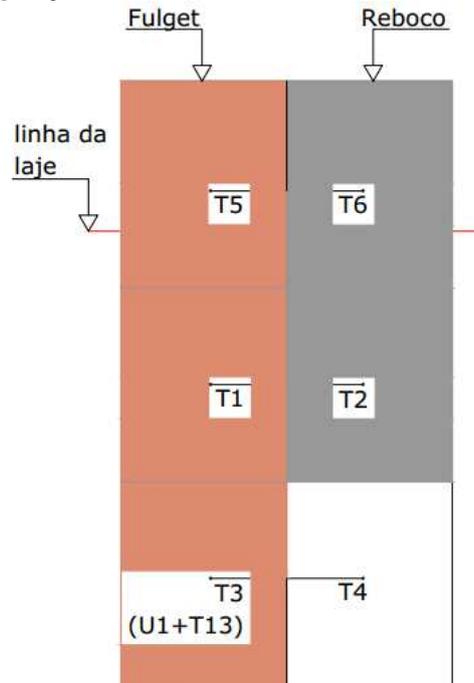


Figura 3 Parede externa

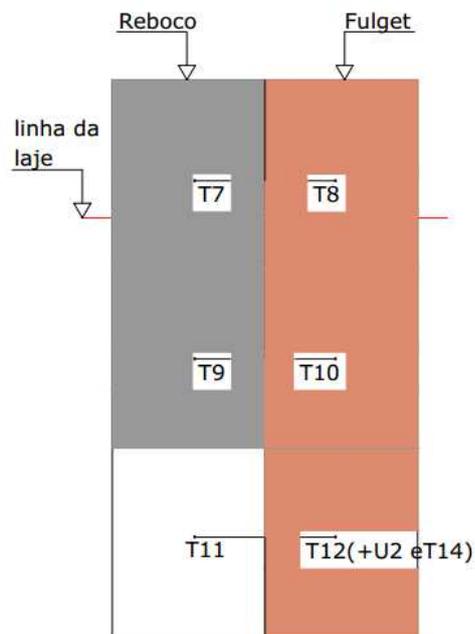
A Figura 3.45 mostra uma maquete do interior da célula de teste e a paginação dos sensores.

**Figura 3.45. Maquete em 3D mostrando o interior da célula de teste com a paginação dos sensores internos.**



A Figura 3.46 mostra a paginação dos revestimentos na parte externa da Célula de Teste e onde os sensores de temperaturas  $Te7reb$  e  $Te8ful$  estão situados na linha da laje edícula.

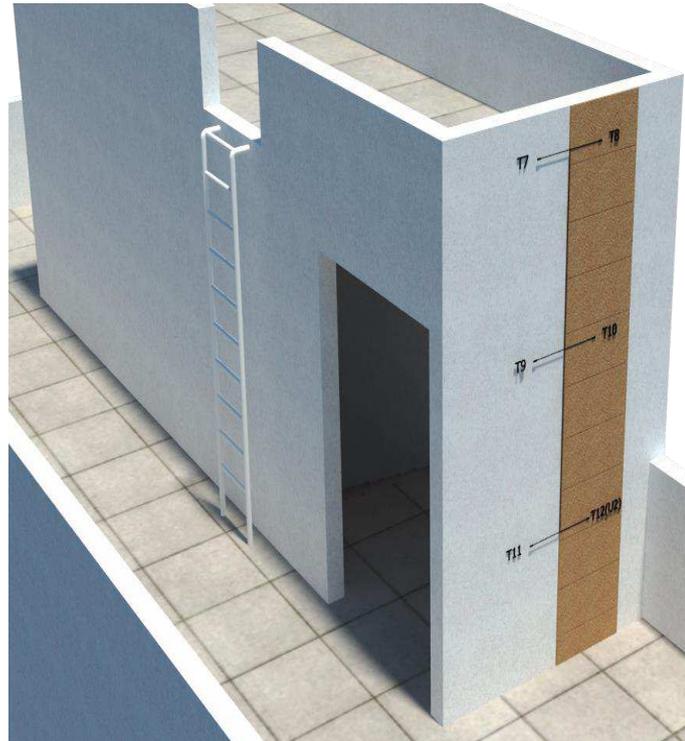
**Figura 3.46. Paginação dos revestimentos na célula de teste / parte externa do LEMT, UFCG.**



**Figura 3 Parede externa**

A Figura 3.47 mostra uma maquete do interior da célula de teste e a paginação dos sensores externos.

**Figura 3.47. Maquete em 3D mostrando o exterior da célula de teste com a paginação dos sensores externos.**



A Figura 3.48 mostra a identificação os sensores conforme coluna de cores segundo paginação dos revestimentos na parte externa da Célula de Teste.

**Figura 3.48. Identificação de sensores segundo coluna de cores parte externa da célula de teste.**

Sensores externos		
P	Preto	T5
M	Marrom	T6
V	Vermelho	T7
L	Laranja	T8
A	Amarelo	T9
V	Verde	T10
A	Azul	T11
V	Violeta	T12
C	Cinza	TU2
B	Branco	

A Figura 3.49 mostra a identificação os sensores conforme coluna de cores segundo paginação dos revestimentos na parte interna da Célula de Teste.

**Figura 3.49. Identificação de sensores segundo coluna de cores parte externa da célula de teste.**

Sensores internos		
P	Preto	T1
M	Marrom	T2
V	Vermelho	T3
L	Laranja	T4
A	Amarelo	TU1
V	Verde	-
A	Azul	-
V	Violeta	-
C	Cinza	-
B	Branco	-

São medidas a umidade relativa do ar e as temperaturas nas superfícies dos revestimentos dentro e fora da célula de teste, de acordo com uma paginação previamente estudada, para alocação dos sensores. Ao longo do dia, os dados medidos são registrados em uma tabela em linguagem TXT, onde têm-se os valores expostos separadamente para cada variável medida em cada sensor, especificamente, facilmente exportável para a linguagem Excel.

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

## CAPÍTULO IV

---

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido ao grande número de dados medidos, são apresentados os resultados dos períodos onde foram observados os maiores valores de radiação solar incidente (G) na cidade de Campina Grande. Nos últimos onze meses, os meses de março e abril apresentaram esta singularidade. Para a análise térmica foram escolhidos dez dias e nesses dias foram selecionadas faixas de tempo para se fazer os cálculos.

Como o SMAD trabalha de minuto a minuto foi calculado um valor do coeficiente de condutividade do fulget para cada instante de medição, em seguida uma média foi estabelecida. Esse procedimento foi realizado para cada um dos pares de sensores (exterior x interior) tanto no revestimento fulget quanto no reboco.

Quando os valores do coeficiente de condutividade térmica do fulget ( $k_f$ ) apresentaram discrepâncias, foram desconsiderados do cálculo. Essa divergência pode ter ocorrido por diversos fatores, um deles seria a interferência humana no momento da medição.

#### 4.1 Considerações preliminares

As análises preliminares dos resultados das medições dos dados de temperaturas nas paredes externas e internas da parede oeste (poente) da célula de teste bem como os dados da umidade no ar na superfície das referidas paredes encontram-se a seguir. Já foi possível observar que o revestimento fulget apresentou dados de temperaturas na superfície, salvo alguns eventos climáticos importantes, maiores que o revestimento reboco comparado. A textura rugosa do fulget e a cor mais escura, menos refletiva, absorveu mais calor que o reboco liso e branco. Todavia num cálculo preliminar do gradiente térmico nos dois revestimentos comparados, verificou-se que o fulget apresentou um gradiente térmico ( $\Delta T$ ) menor que o reboco quando considerados as temperaturas internas espelhadas de  $T_1$ (sensor interno) com  $Te_{10ful}$  (sensor externo),  $Ti_{2reb}$  (sensor interno) com  $Te_{9reb}$  (sensor externo),  $Ti_{3reb}$  (sensor interno) com  $Te_{12ful}$  (sensor externo) e  $Ti_{4reb}$ (sensor interno )

com  $Te_{11reb1}$  ( sensor externo). Os sensores  $Te_{10ful}$  e  $Te_{12ful}$  medem o fulget e  $Te_{9reb}$  e  $Te_{11reb}$  medem o reboco. Os sensores  $Ti_{1reb}$ ,  $Ti_{2reb}$ ,  $Ti_{3reb}$  e  $Ti_{4reb}$  medem o revestimento em reboco, pois a parte interna da parede recebeu apenas reboco interno.

O gradiente de temperatura maior no fulget pode estar sinalizando para um coeficiente de condutividade térmica do fulget ( $k_f = k_{fulget}$ ) menor do que o coeficiente de condutividade térmica do reboco ( $k_{reb} = k_r$ ), pois o fluxo térmico aumenta com o aumento da condutividade térmica para um dado gradiente de temperatura. Posteriormente foram calculados e apresentados a transferência de calor  $q_x''$  e o coeficiente de condutividade térmica  $k$  para todos os eventos deste trabalho.

Os gráficos foram gerados a partir dos dados coletados pelo SMAD. Para tanto uma sub-rotina em linguagem C+ foi criada no Matlab para facilitar a plotagem do grande número de dados. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram agrupados e plotados por semana separadamente e por característica do ambiente, externo e interno da parede oeste da célula de teste. A primeira semana de coleta de dados (21 de fevereiro a 22 de fevereiro de 2017) não entrou na plotagem dos dados e serviu apenas para testar o funcionamento do sistema.

A seguir, a apresentação dos gráficos obtidos e a respectiva análise, plotados em conjunto de 04 semanas de coletas contemplando as quatro estações do ano. A Figura 4.1 mostra as datas e inícios das estações climáticas no hemisfério sul em 2017.

**Figura 4.1. Data e início das estações do ano no Brasil em 2017.**



**Fonte: Observatório Nacional (2017).**

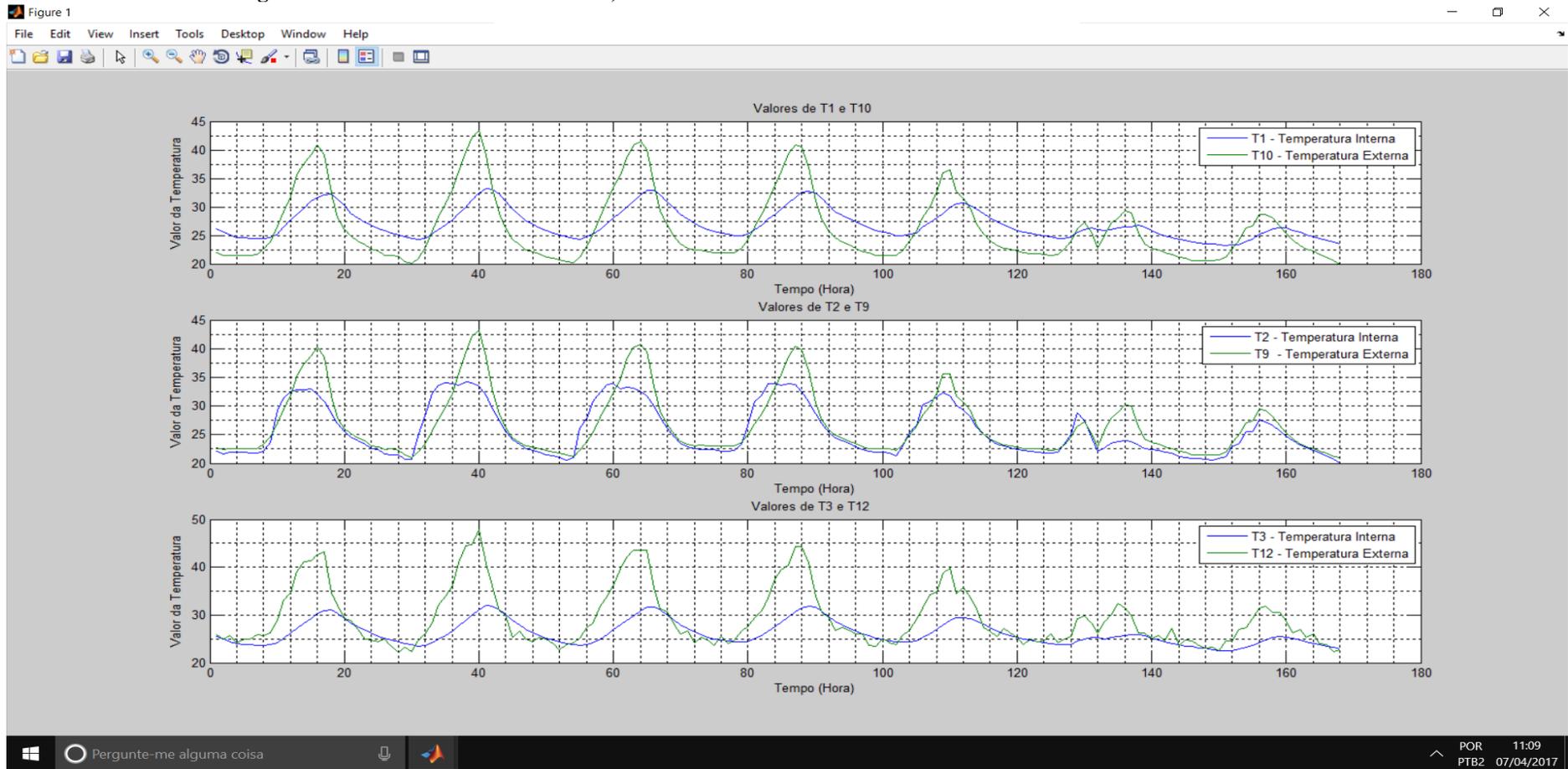
Dados da semana 01/01 (23 de fevereiro a 03 de março de 2017) Verão.

A semana é identificada por dois números, por exemplo: a semana 01/01 que dizer que o primeiro número é a semana que vai de 01 a 04 e o segundo número é o mês da medição que aqui corresponde ao primeiro, segundo mês de medição de dados e assim sucessivamente. Aqui é, portanto a primeira semana do primeiro mês de medição de dados.

São apresentados 02 gráficos de temperaturas e 01 gráfico de umidades nas superfícies dos revestimentos. Os dados de temperaturas e umidades do ar são espelhados em pares tanto para os ambientes interno e externo. Assim fica mais evidenciada o gradiente térmico nas paredes e outras propriedades técnicas.

A Figura 4.2 é o resultado da primeira semana e mostra o espelhamento entre as temperaturas *Ti1reb* (temperatura na superfície interna em reboco) com *Te10ful* (temperatura externa em Fulget), *Ti2reb* (temperatura interna em reboco) com *Te9reb* (temperatura externa em reboco) e *Ti3reb* (temperatura interna em reboco) com *Te12ful* (temperatura externa em fulget), ou seja, *Ti1reb*, *Ti2reb* e *Ti3reb* medem as temperaturas internas e *Te9reb*, *Te10ful* e *Te12ful* medem as temperaturas externas. Sendo que *Te10ful* e *Te12ful* medem as temperaturas no revestimento fulget e *Te9reb* no revestimento reboco. Para facilitar a leitura e por uma questão didática, as temperaturas medidas no fulget, nesta pesquisa, são registradas sempre em negrito. Os sensores de *Ti1reb*, *Ti2reb*, *Ti3reb* medem apenas nos revestimentos de reboco interno.

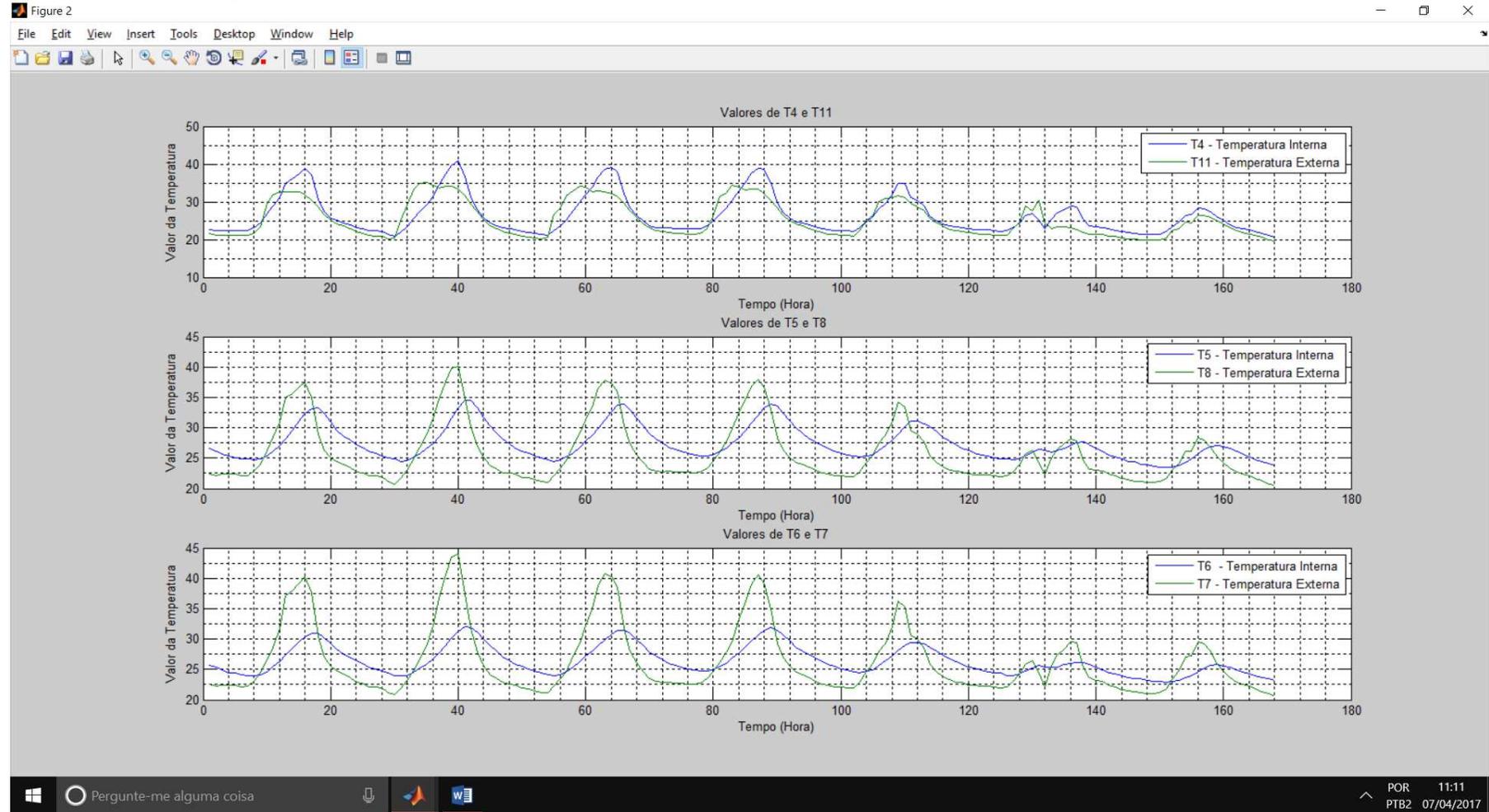
Figura 4.2. Valores de  $T_{i1reb}/T_{e10fulT}$ ,  $T_{i2reb}/T_{e9reb}$  e  $T_{i3reb}/T_{e12ful}$  da semana 01/01 de 23 /02 a 03/03 de 2017.



Observa-se que as temperaturas medidas na superfície externa da parede do revestimento fulget (sensores  $Te_{10ful}$  e  $Te_{12ful}$ ) são mais elevadas que a temperatura medida na superfície externa do reboco (sensor  $Te_{9reb}$ ). A medição das temperaturas no ambiente interno pelos sensores  $Ti_{1reb}$ ,  $Ti_{2reb}$  e  $Ti_{3reb}$  revelam que  $Ti_{1reb}$  e  $Ti_{3reb}$  são mais elevadas que  $T_2$  porque estão medindo pela parte de dentro do fulget. Todavia percebe-se que o gradiente térmico em  $Ti_{2reb}$  é maior do que em  $Ti_{1reb}$  e  $Ti_{3reb}$ . O que mostra que a transferência de calor pelo reboco é maior do que no fulget. As altas temperaturas no fulget e no reboco é justificável pelo período de verão que é de intensa radiação solar. O fato de o reboco apresentar temperaturas menores do que o fulget é justificável pela cor e a rugosidade da textura do revestimento fulget, indicando que, neste caso, a refletividade no reboco é maior do que no fulget, ou seja, aqui ( $\rho_{reboco} > \rho_{fulget}$ ).

Na Figura 4.3 os sensores de temperaturas são espelhados do interior para o exterior assim:  $Ti_{4reb}$  com  $Te_{11reb}$ , o sensor  $Te_{5ful}$  com  $Te_{8ful}$  e sensor  $Te_{6reb}$  com  $Te_{7reb}$ . Aqui o objetivo da medição é verificar o comportamento mecânico dos revestimentos e, portanto os quatros últimos sensores estão instalados na platibanda da célula de teste.

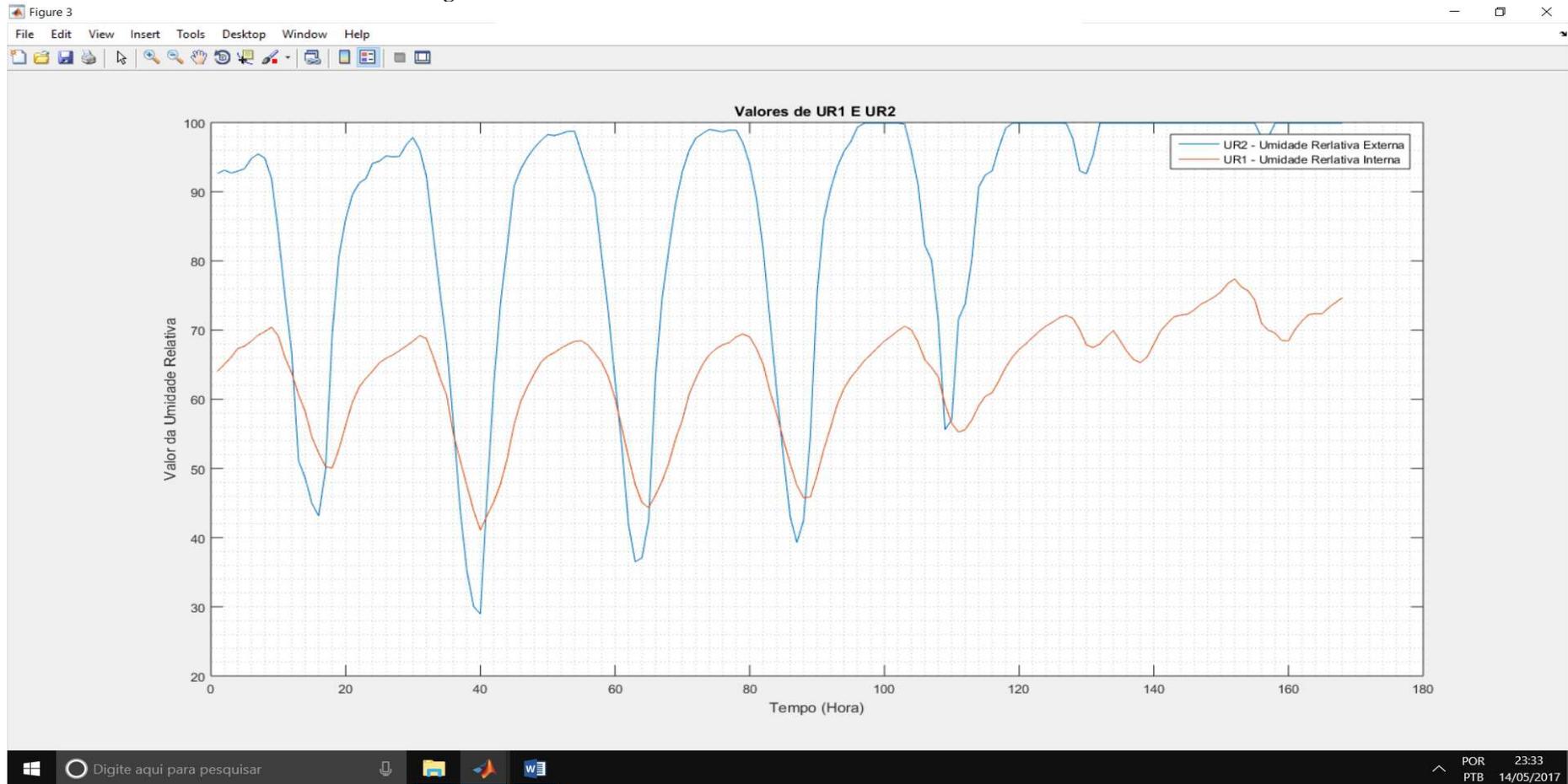
Figura 4.3. Valores de  $T_{i4reb}/T_{e11reb}$ ,  $T_{e5ful}/T_{e8ful}$  e  $T_{e6reb}/T_{e7reb}$  da semana 23 /02/ a 03/03 de 2017.



A parede onde estão instalados os sensores *Ti4reb* e *Te11reb* apresentaram uma distribuição de temperaturas uniforme, ou seja, com comportamento parecido pelo fato de que nestes pontos a parede é mais fina que o restante e portanto suponha-se que a transferência de calor deve-se ocorrer em um processo inverso de dentro para fora, em alguns dias da semana. Com relação aos sensores *Te5ful* e *Te8ful* a distribuição de temperaturas também é bem uniforme. Fato de que os sensores espelhados medem o mesmo tipo de revestimento e assim como *Te5ful* e *Te8ful* ficam na parte superior da célula de teste não se caracterizando como a tipologia convencional interior/exterior, mas apenas exterior. O gradiente de temperatura entre *Te5ful* e *Te8ful* caiu pelo fato da sua alocação e de ser do mesmo material. Quando se analisa os sensores *Te6reb* e *Te7reb* localizados na parte da coberta da célula de teste monitorando o mesmo tipo de revestimento (reboco) o sensor *T7* sinaliza ter uma temperatura maior devido a maior exposição a radiação solar.

A Figura 4.4 é o resultado da medição da umidade do sensor na superfície do reboco UR1, no ambiente interno da célula de teste e o sensor *URe2ful* mediu a umidade na superfície do fulget do lado externo da célula de teste. O sensor *URi1reb* mede também a temperatura da superfície neste ponto através da identificação *Ti13reb* e o sensor *URe2ful* mede a temperatura externa neste ponto com a identificação *Te14ful*.

Figura 4.4. Valores de URi1reb e URe2ful da semana 23 /02 a 03/03 de /2017.



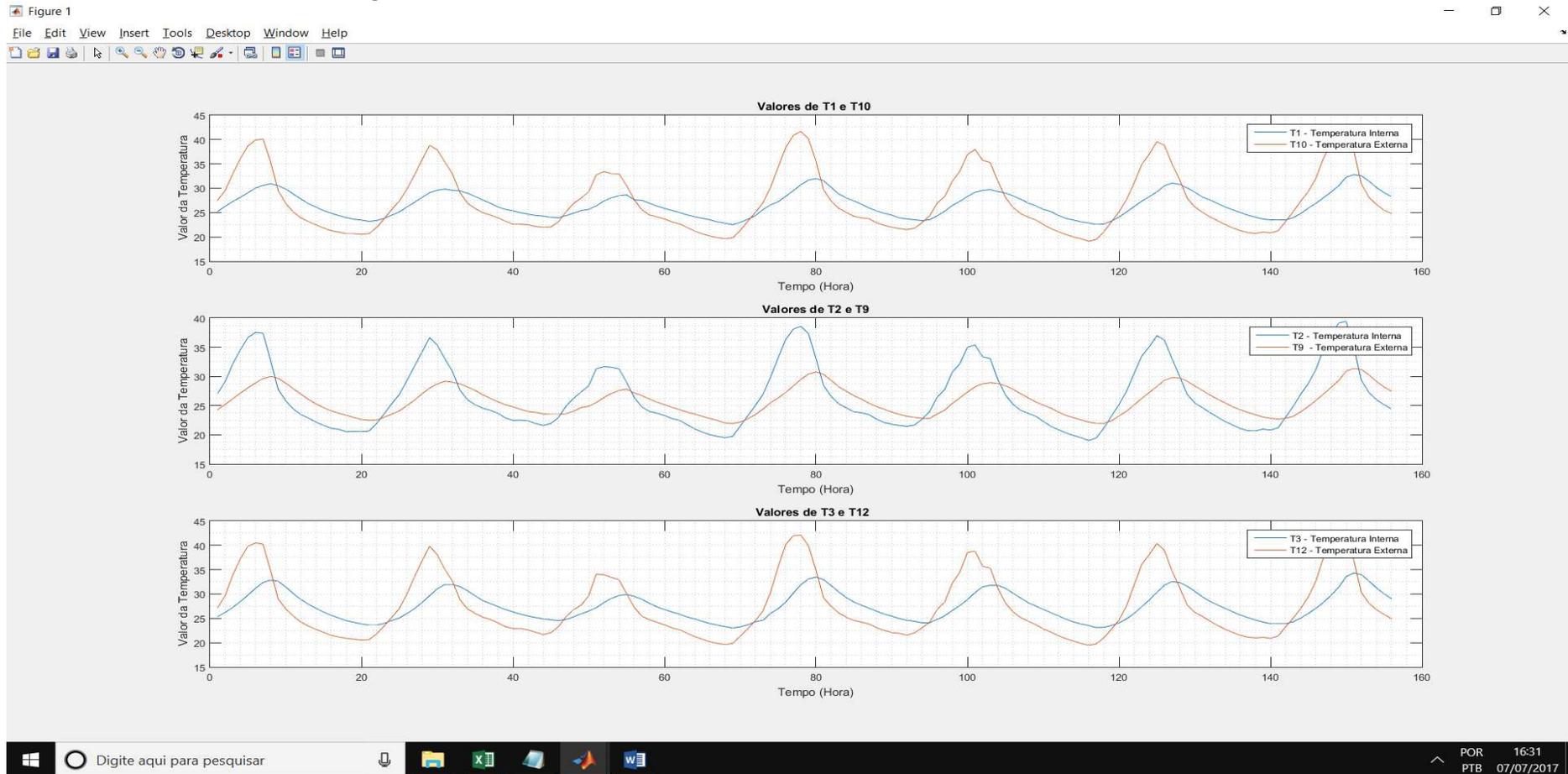
Os valores relativamente altos das umidades do ar, medidos pelos sensores *URi1reb* e *URe2ful* nas superfícies dos revestimentos interno e externo, respectivamente na primeira semana, pode ser entendido como consequência da concentração relevante de água na argamassa de assentamento do fulget bem como do processo de cura da massa acrílica utilizada para a fixação dos sensores e do hidrofulgente utilizado no processo de impermeabilização das lajotas de fulget.

Dados da semana 13 (12 a 19 de maio de 2017) outono.

Esta semana cobriu do dia 12 a 19 de maio de 2017, lembrando que este trabalho não segue o calendário convencional com o início da semana na segunda-feira. Os dados são medidos de sextas-feiras a sextas-feiras e o programa dimensiona a semana compensando o intervalo de tempo que o sistema se encontra em manutenção ou no processo de aquisição de dados pelo pesquisador.

A Figura 4.5 é da semana 04/03 (semana 04 do mês de medição 03) e apresentam os pares de sensores *Ti1reb* e *Te10ful*, *Ti2reb* e *Te9reb*, *Ti3reb* e *Te12ful*. Os sensores *Ti1reb*, *Ti2reb*, *Ti3reb* foram instalados internamente sobre reboco e os sensores *Te9reb*, *Te10ful* e *Te12ful* foram instalados externamente da célula de teste sendo que T9 sobre reboco e *Te10ful* e *Te12ful* instalados sobre o fulget.

Figura 4.5.  $T_{i1reb}/T_{e10ful}$ ,  $T_{i2reb}/T_{e9reb}$  e  $T_{i3reb}/T_{e12ful}$  da semana de 12 a 19 de maio.

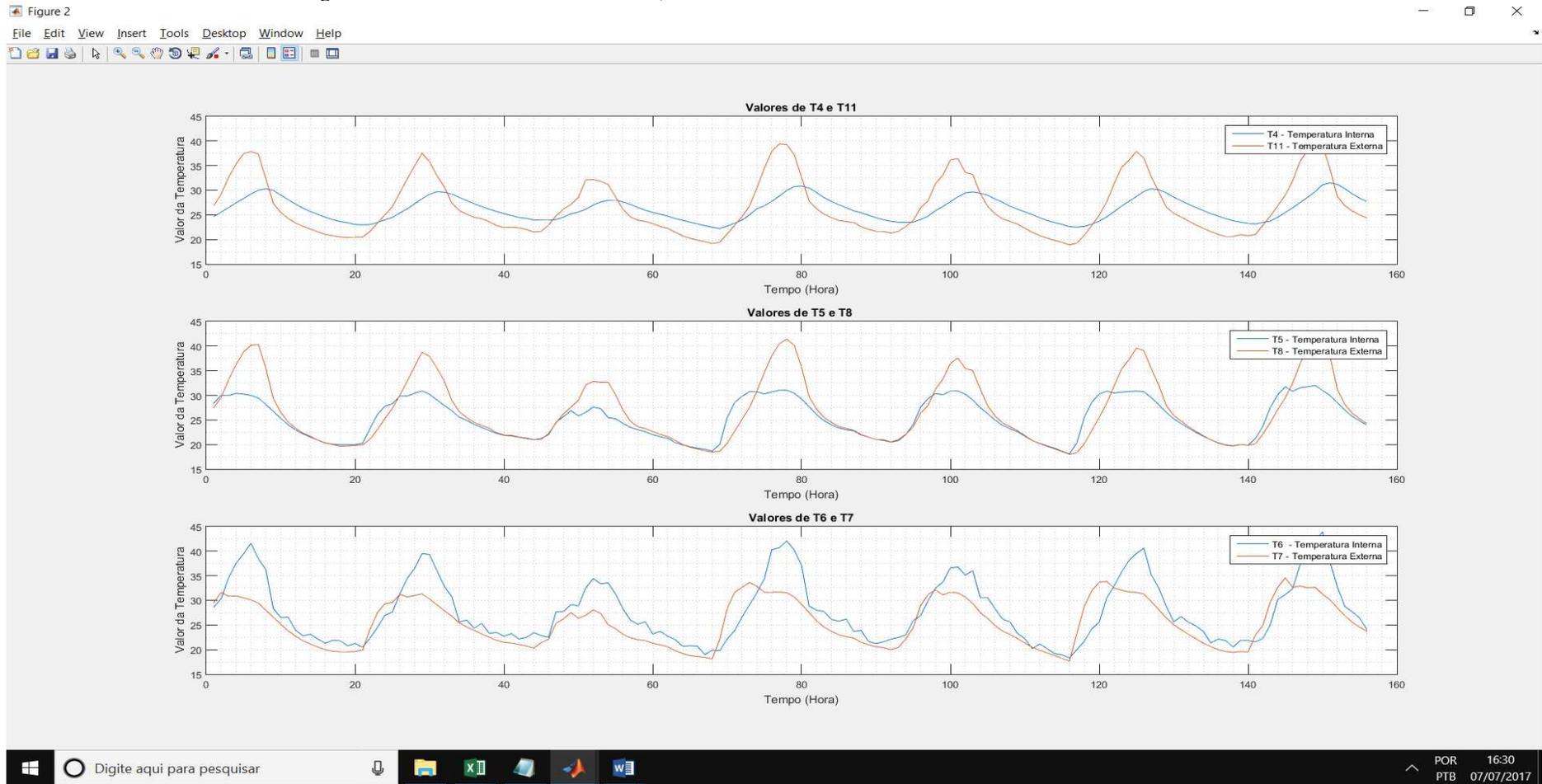


A Figura 4.5 da semana 04/03 apresentou um quadro semelhante para os sensores  $Ti1reb/Te10reb$  e  $Ti3reb/Te12ful$  nesta semana com picos de temperaturas maiores para os sensores instalados no fulget e fora da célula de teste sem, contudo seguir um padrão de ocorrência horária. Quando comparado às medições nestes sensores com o par de sensores  $Ti2reb/Te9reb$  verificou-se que o reboco interno apresentou valores significativos de temperatura e, portanto transferiu mais calor para dentro da célula de teste.

Os sensores  $Ti2reb/Te9reb$  espelha o gráfico de dados dos sensores  $Ti1reb/Te10reb$  e  $Ti3reb/Te12ful$ . O fato da temperatura no fulget ter caído no período noturno está correlacionado com a falta de radiação solar e o aumento da umidade relativa do ar, na medida na semana o que pode ser confrontado com alguns valores de temperatura na parte interna do fulget, com temperatura interna maiores que as externas. Um fato interessante observado é que o fulget se aquece e se resfria na mesma proporção do gradiente de temperatura medido.

A Figura 4.6 é da semana 04/03 (semana 04 do mês 03) e apresentam os pares de sensores  $Ti4reb$  e  $Te11reb$ ,  $Te5ful$  e  $Te8ful$ ,  $Te6reb$  e  $Te7reb$ . Os sensores  $Te5ful$ ,  $Te6reb$ ,  $Te7reb$  e  $Te8ful$  foram instalados externamente na platibanda da célula de teste sendo que sobre reboco o par  $Te6reb$  e  $Te7reb$  e os sensores  $Te5ful$  e  $Te8ful$  foram instalados sobre fulget. O par de sensores  $Ti4reb$  (interno) e  $Te11reb$  (externo) foram instalados sobre reboco com uma paginação de parede mais fina.

**Figura 4.6. Valores de  $T_{i4reb}/T_{e11reb}$ ,  $T_{e5ful}/T_{e8ful}$  e  $T_{e6reb}/T_{e7reb}$  da semana de 12 a 19 de maio.**



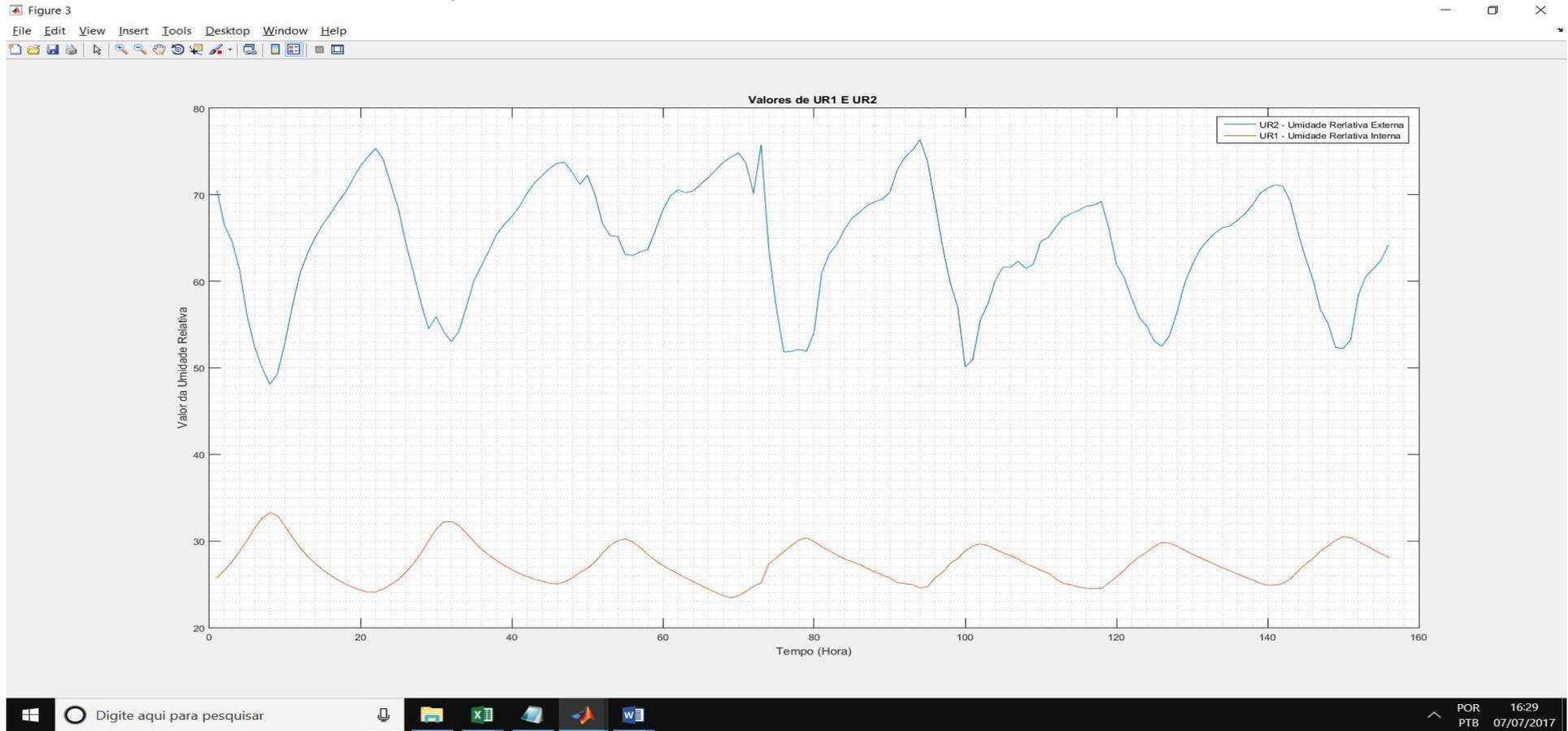
A Figura 4.6 apresentou os resultados medidos pelos sensores na platibanda da célula de teste  $Te5ful/Te8ful$ ,  $Te6reb/Te7reb$  e dois sensores na célula de teste  $Ti4reb/Te11reb$ . Excluindo os picos de temperatura no revestimento em reboco no lado externo da célula de teste verificou-se que o reboco internamente apresentou valores significativamente maiores e como neste módulo de paginação a alvenaria é mais fina contribuiu para que a transferência de calor fosse mais rápida que no módulo da paginação onde foram instalados os sensores  $Ti2reb/Te9reb$ .

Com relação às medições feitas pelos sensores  $Te5ful/Te8ful$  e  $Te6reb/Te7reb$  tem seguido uma padrão das outras semanas de medição: na face leste o revestimento fulget apresentou temperaturas menores que o reboco e na face oeste foi a vez do fulget em apresentar valores maiores que o reboco. Vale considerar que na platibanda o revestimento em fulget é dupla face. Ou seja, na presença de radiação solar o fulget esquentava mais que o reboco.

Todavia na presença da umidade e ausência de radiação solar o fulget esfria também mais rápido. O gradiente de temperatura no fulget é bem menor do que no reboco mesmo esquentando mais que o reboco.

A Figura 4.7 apresenta dos dados medidos pelos sensores de umidades relativas do ar na área interna  $URi1reb$  no reboco e na área externa  $URe2ful$  no fulget da Semana 04/03 (semana 04 do mês 03).

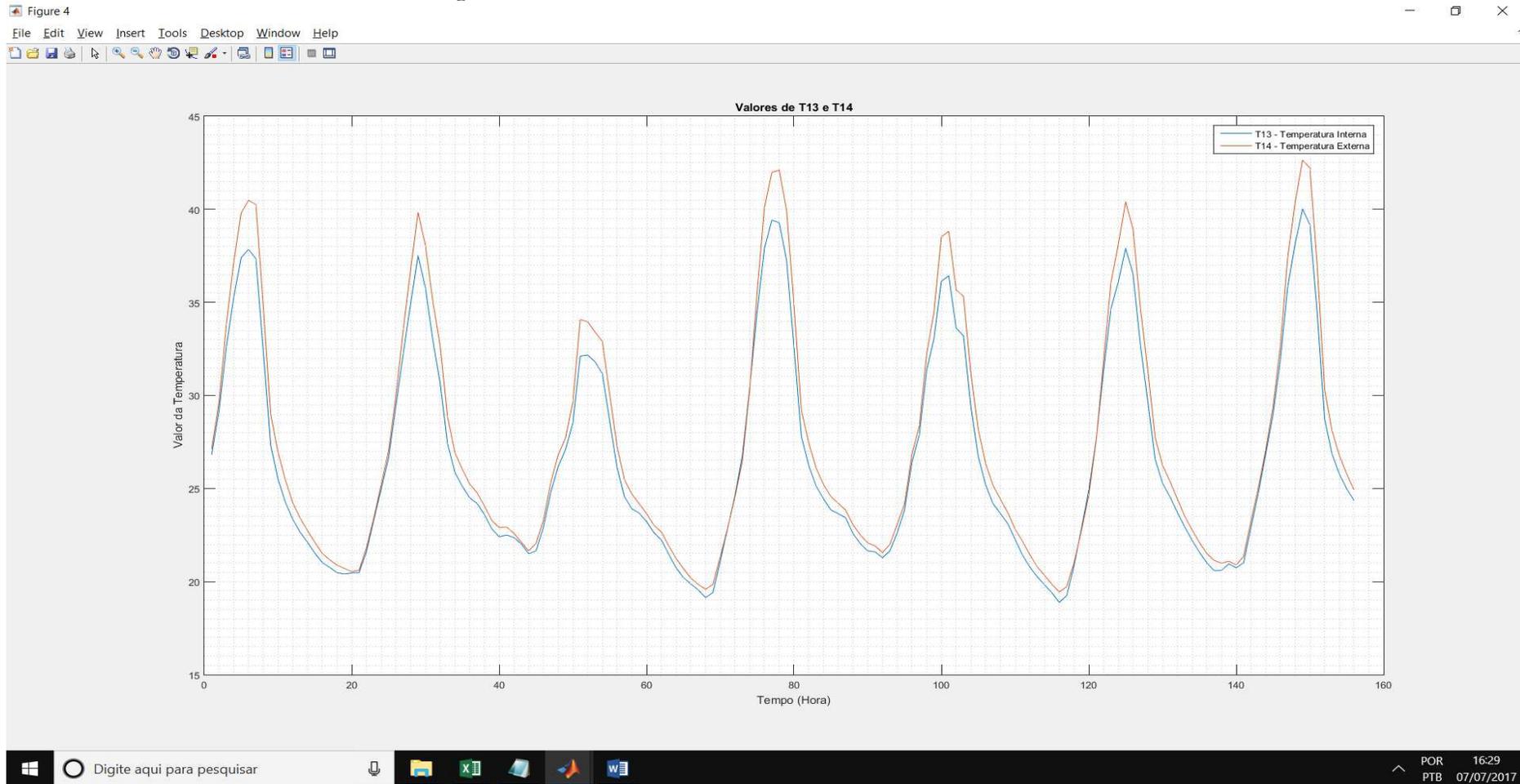
Figura 4.7. Valores de UR1reb e URE2ful da semana de 12 a 19 de maio.



A Figura 4.7 mostra como se comportou as umidades relativas do ar dentro e fora da célula de teste. A umidade fora da célula de teste medida pelo sensor *URe2ful* apresentou valores maiores para o período noturno justificável uma vez que a umidade aumenta com a diminuição da temperatura, todavia alguns picos de umidade relativa do ar foram sentidos durante o dia com características de precipitações.

A umidade interna medida pelo sensor *URi1reb* expos valores compatíveis para as características ambientais internas e para esta semana ficaram muito baixas o que pode ser explicável pela pouca ventilação admitida na célula de teste. Na parte externa a umidade variou com a temperatura e apresentou valores maiores no período da noite por isso a insolação é um fator que provoca a variação da umidade.

A Figura 4.8 apresenta dados medidos para as temperaturas ambientais dentro e fora da célula de teste com *Ti13reb* para dentro e *Te14ful* para fora da Semana 04/03 (semana 04 do mês 03).

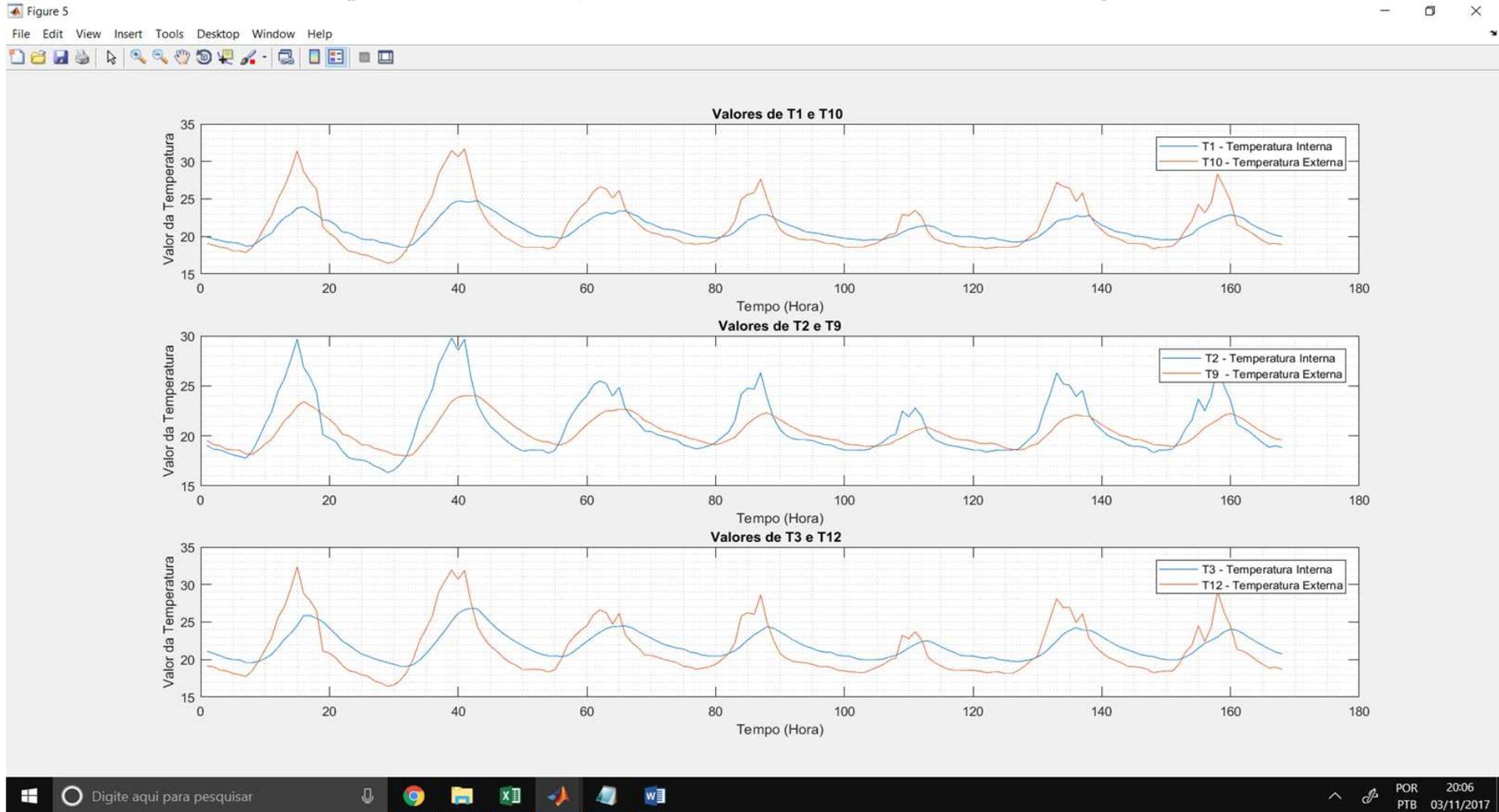
Figura 4.8. Valores de  $T_{i13reb}$  e  $T_{e14ful}$  da semana de 12 a 19 de maio.

A Figura 4.8 apresenta os sensores *Ti13reb* e *Te14ful* que mediram as temperaturas dos ambientes interno e externa durante a semana. Não existe justificativa plausível para picos tão altos o que caracterizam dados espúrios que podem ser eliminados através da análise de regressão múltipla que pode eliminar erros grosseiros de medição de dados.

Não se percebe uma acomodação dos dados num perfil mais desejável o que pode está sinalizando para uma continuidade do problema nos sensores instalados. Os picos de temperaturas são injustificáveis mesmo para o histórico da cidade considerando que dois ocorreram em períodos noturnos.

Dados da semana 22 (17 a 24 de julho de 2017) inverno.

Esta semana cobriu do dia 17 a 24 de julho de 2017, lembrando que este trabalho não segue o calendário convencional com o início da semana na segunda-feira. Os dados são medidos de sextas a sextas-feiras e o programa dimensiona a semana compensando o intervalo de tempo que o sistema se encontra em manutenção ou no processo de aquisição de dados pelo pesquisador. A Figura 4.9 mostra o comportamento da semana 22 apresenta os pares de sensores *Ti1reb* e *Te10ful*, *Ti2reb* e *Te9reb*, *Ti3reb* e *Te12ful*. Os sensores *Ti1reb*, *Ti2reb*, *Ti3reb* foram instalados internamente na célula de teste e sobre reboco e os sensores *Te9reb*, *Te10ful* e *Te12ful*. foram instalados externamente da célula de teste sendo que T9 sobre reboco e os demais *Te10ful* e *Te12ful* sobre fulget.

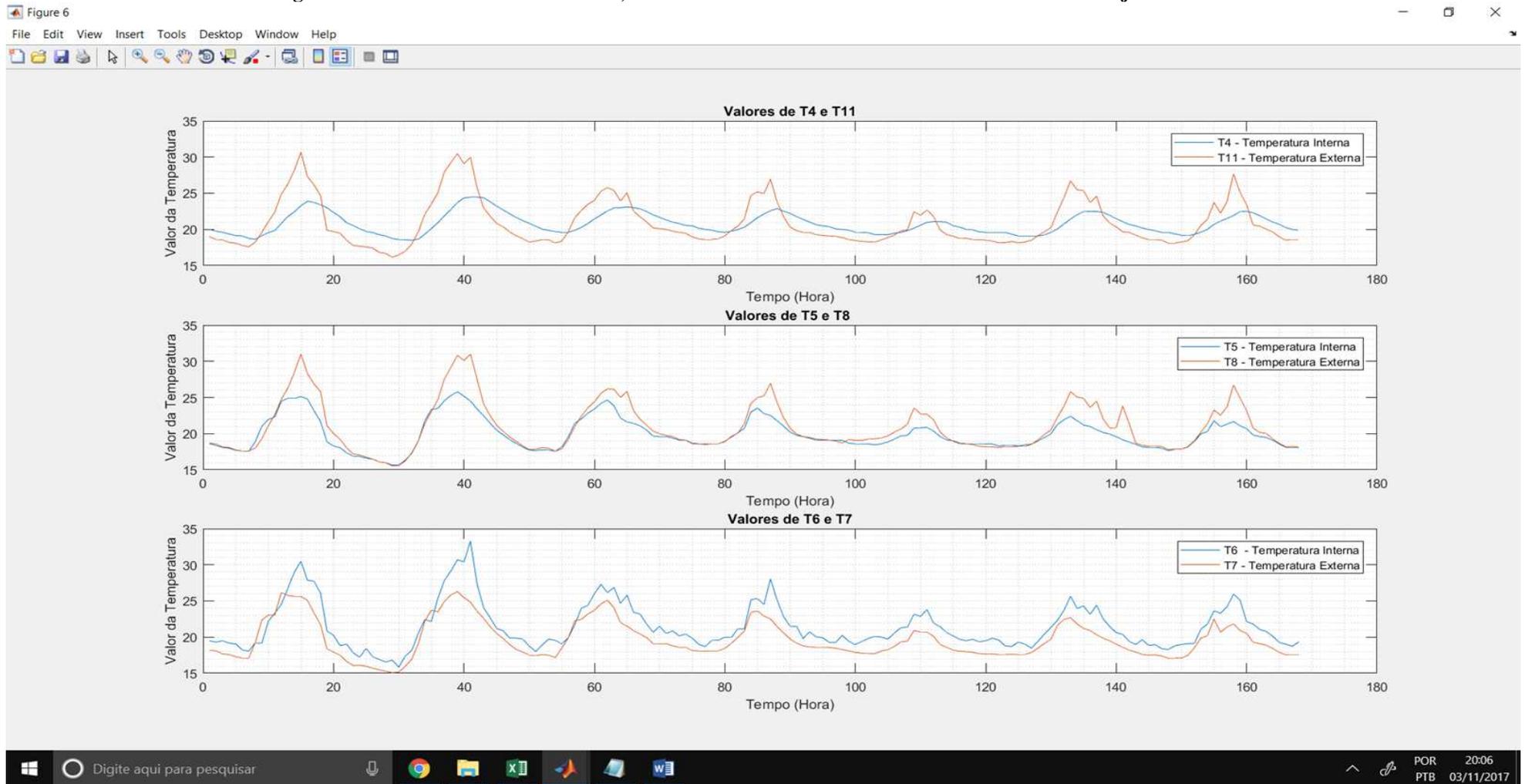
Figura 4.9.  $T_{i1reb}/T_{e10fulT}$ ,  $T_{i2reb}/T_{e9reb}$  e  $T_{i3reb}/T_{e12ful}$  da semana de 17 a 24 de julho.

Para os pares de sensores  $Ti1reb/Te10ful$  e  $Ti3reb/Te12ful$ , como ficam na mesma paginação de revestimentos na célula de teste apresentaram comportamentos idênticos para esta semana com picos de temperaturas apenas no período da tarde (face poente) para o revestimento fuget medidos pelos os sensores  $Te10ful$  e  $Te12ful$ , comportamento este justificável pela grande umidade do ar nesta semana ocasionada pelo período chuvoso.

Com relação ao par de sensores  $Ti2reb/Te9reb$ , ambos instalados em revestimento de reboco tanto interno como externo, mostrou que o sensor  $Te9reb$  sobre reboco mediu picos de temperaturas menores que o verificado pelo sensor  $Ti2reb$  o que sinaliza aqui que há uma transferência de calor de dentro para fora possivelmente motivado pela carga térmica da célula de teste. A primeira impressão quando se analisa os gráficos é que o fulget tem mais resistência térmica que o reboco.

A Figura 4.10 mostra os pares de sensores  $Ti4reb/Te11reb$  instalados dos dois lados da célula de teste, ambos sobre reboco e com espessura de parede mais estreita e os pares de sensores  $Te5ful/Te8ful$  dos dois lados em fulget e  $Te6re/Te7reb$  com os dois lados em reboco.

Os sensores  $Te5ful/Te8ful$  e  $Te6re/Te7reb$  estão instalados no solário 2 da célula de teste e foram importantes para analisar também as características mecânicas dos revestimentos. Nesta paginação a insolação se deu nos sentidos leste/oeste.

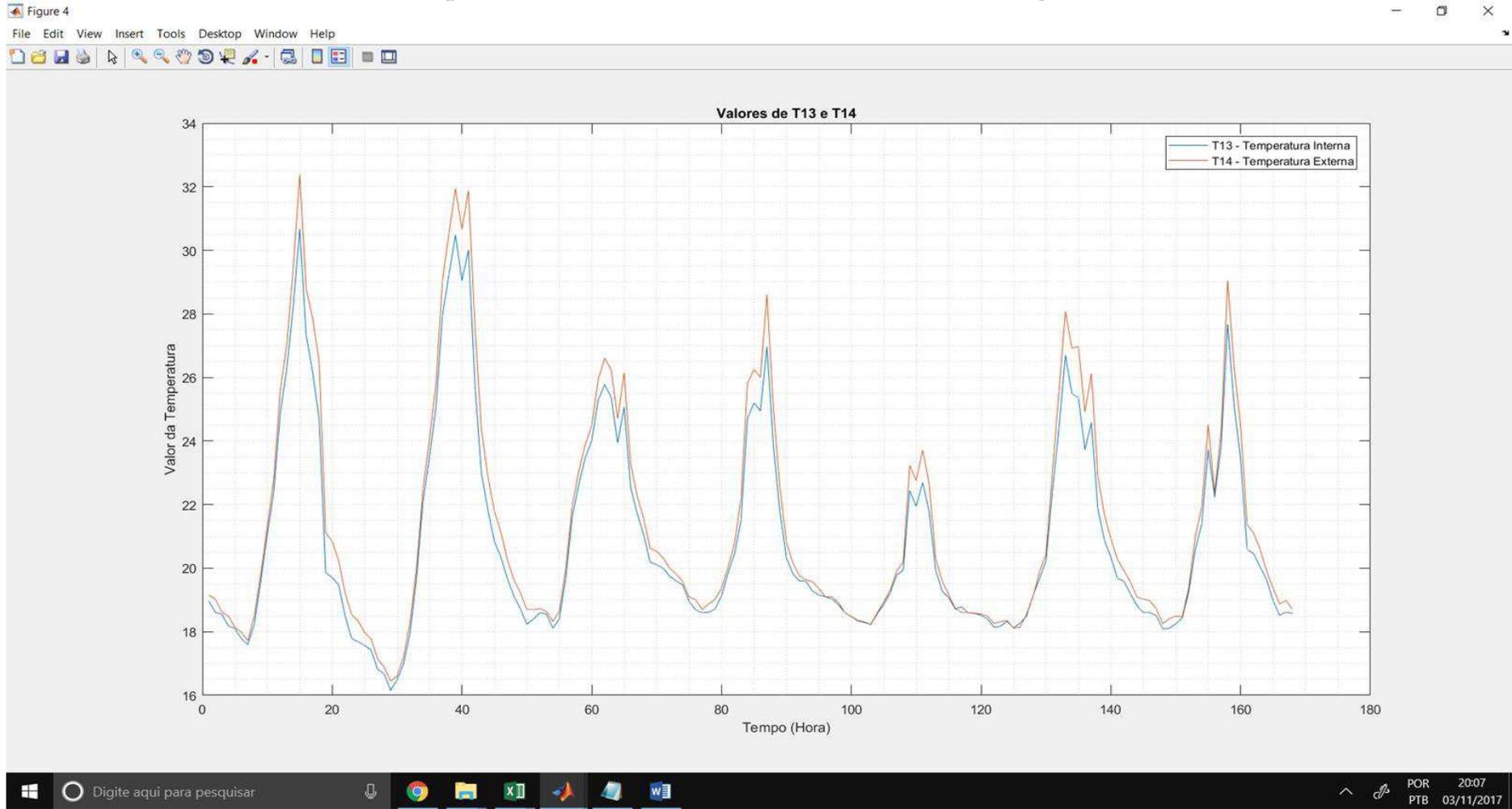
Figura 4.10. Valores de  $T_{i4reb}/T_{e11reb}$ ,  $T_{e5ful}/T_{e8ful}$  e  $T_{e6reb}/T_{e7reb}$  da semana de 17 a 24 de julho.

A Figura 4.10 mostra que o par de sensores *Ti4reb/Te11reb* apresentou um comportamento diferente do para *Ti2reb/Te9reb* apesar de todos serem instalados sobre reboco dos dois lados. Contudo este comportamento pode ser explicado pelo fato de que os sensores *Ti4reb/Te11reb* foram instalados sobre uma alvenaria mais fina o que acarretou uma transferência de calor maior de fora para dentro, ou seja, parede mais fina implica em menor resistência térmica.

Para os pares de sensores *Te5ful/Te8ful* e *Te6reb/Te7reb*, todos externos e com insolação dos dois lados mostrou que no período da manhã, ou seja, face leste da célula de teste bem como na face oeste, tanto o reboco quanto o fulget apresentaram comportamento muito parecido. Este fato pode ser explicado pela presença direta da umidade do ar e da ventilação sobre os revestimentos. Os picos de temperaturas se deram sempre no período maior incidência solar.

A Figura 4.11 mostra o par de sensores *Ti13reb/Te14ful* instalados conjuntamente com os sensores de umidades do ar *URi1reb* e *URe2ful*. No dia 18/04/2017, entre 10.25 e 11.00 horas foi feita manutenção no SMAD com o objetivo de soltar da parede os sensores de umidades *URi1reb* (sensor interno) e *URe2ful* (sensor externo) com o objetivo de aferir a umidade relativa do ar e temperatura do ambiente externo e interno. Nesta operação ficou cortado por 10 minutos o fio do sensor *Te12ful*. A partir desta data os sensores de umidade relativa do ar (*URi1reb* e *URe2ful*) e temperaturas (*Ti13reb* e *Te14ful*) medem parâmetros térmicos ambientais, internos e externos, respectivamente.

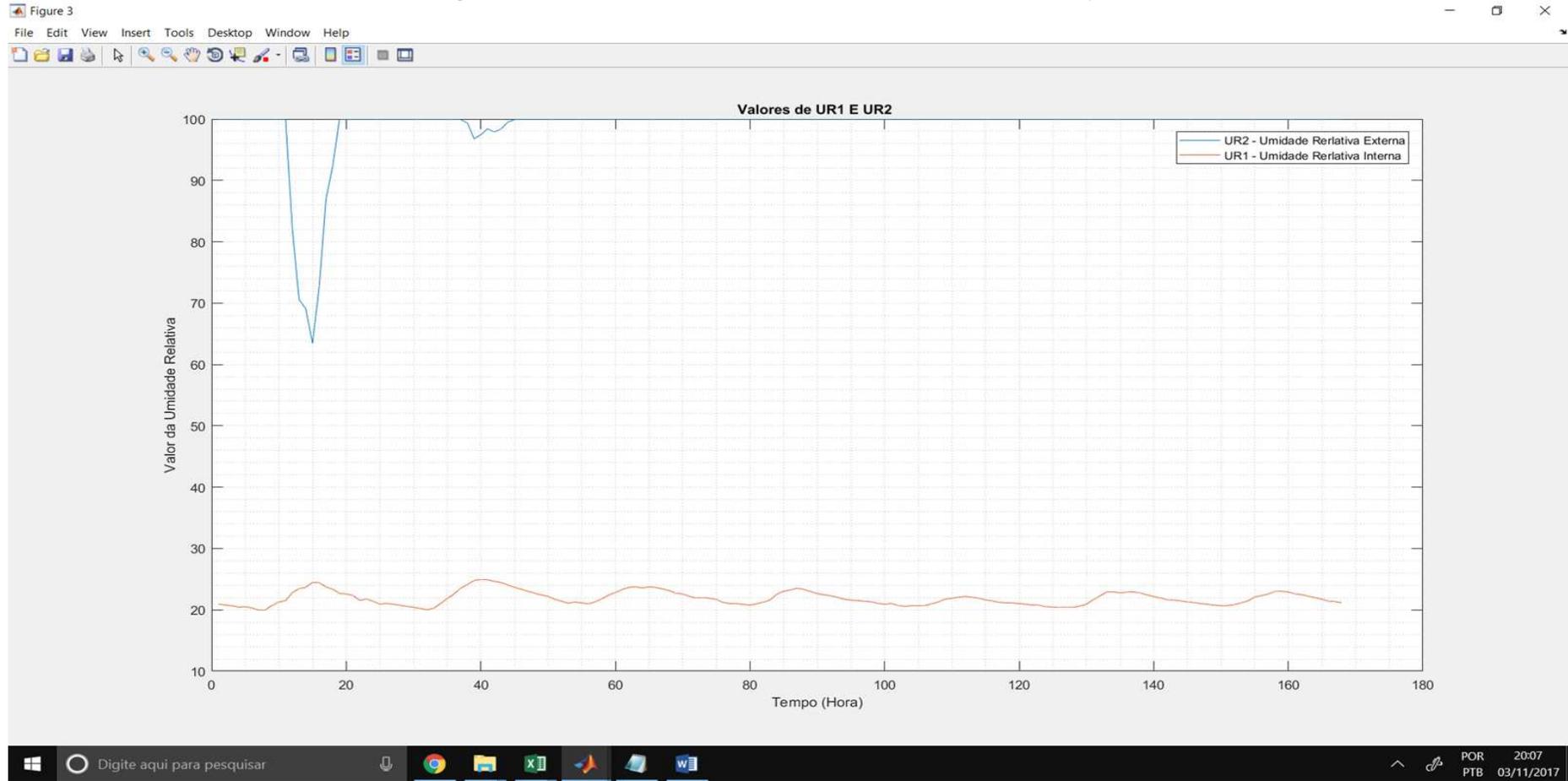
Figura 4.11. Valores de Ti13reb e Te14ful da semana de 17 a 24 de julho.



A Figura 4.11 apresentou os sensores *Ti13reb* e *Te14ful* que mediram as temperaturas dos ambientes interno e externa durante a semana. Não existe justificativa plausível para picos tão altos em alguns eventos à noite, o que caracterizam dados espúrios que podem ser eliminados através da análise de regressão múltipla que pode eliminar erros grosseiros de medição de dados.

A Figura 4.12 mostra os gráficos de umidades do ar *URi1reb* (umidade interna) e *URe2ful* (umidade externa) da célula de teste para esta semana típica de inverno.

Figura 4.12. Valores de UR1reb e URe2ful da semana de 17 a 24 de julho.



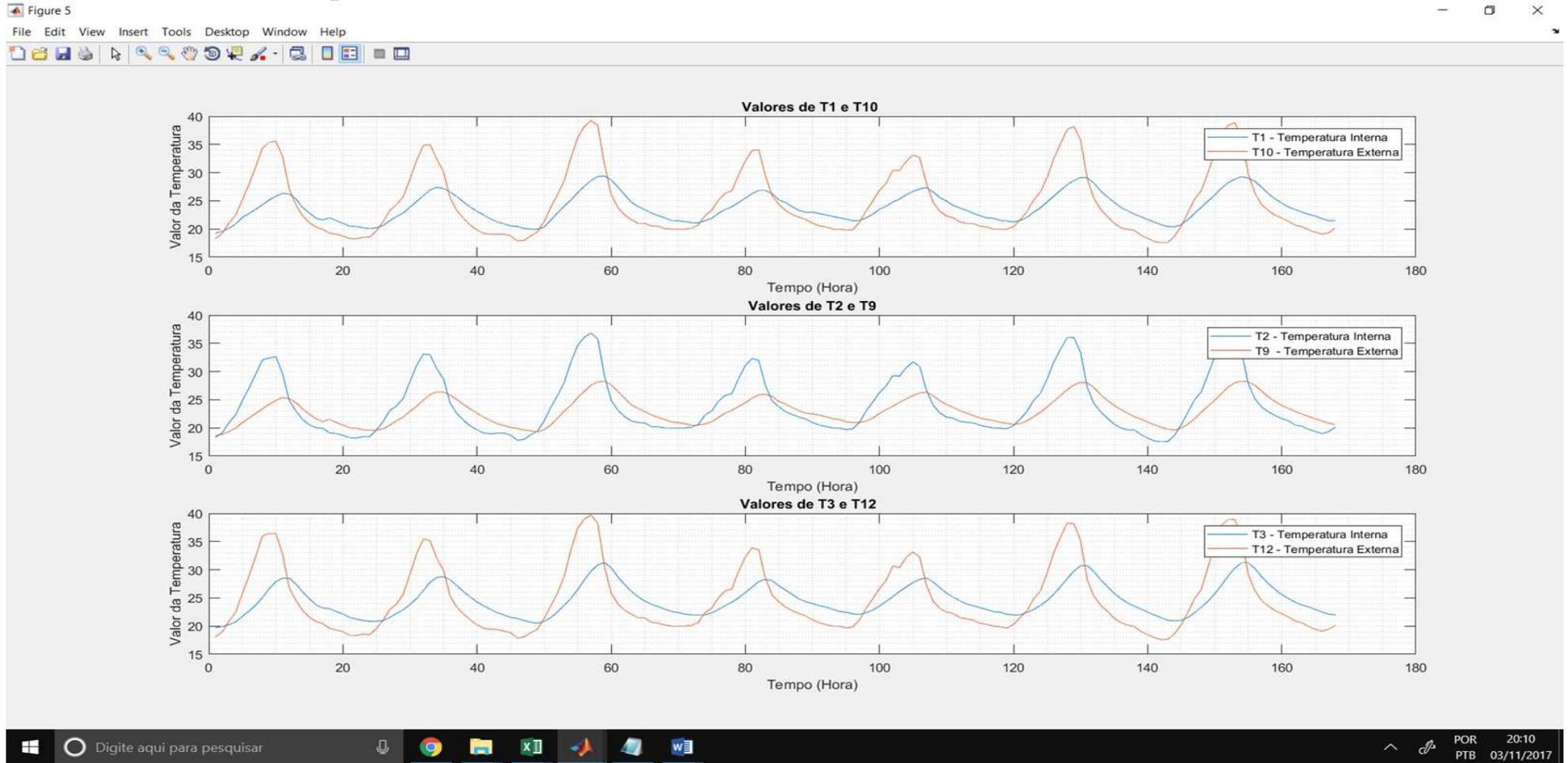
A umidade externa foi intensa durante a semana e pequena no ambiente interno. A pouca umidade interna pode ser explicada pelo fato da célula de teste ter pouca exaustão e pouca abertura de ventilação e explica também porque na parede com reboco mais grosso houve transferência de calor de dentro para fora.

Dados da semana 35 (25 de setembro a 02 de outubro 2017) primavera.

Esta semana cobriu do dia 25 de setembro a 02 de outubro de 2017, lembrando que este trabalho não segue o calendário convencional com o início da semana na segunda-feira.

Os dados são medidos de sextas a sextas-feiras e o programa dimensiona a semana compensando o intervalo de tempo que o sistema se encontra em manutenção ou no processo de aquisição de dados pelo pesquisador.

A Figura 4.13 mostra o comportamento da semana 35 e apresenta os pares de sensores *Ti1reb* e *Te10ful*, *Ti2reb* e *Te9reb*, *Ti3reb* e *Te12ful*. Os sensores *Ti1reb*, *Ti2reb*, *Ti3reb* foram instalados internamente na célula de teste e sobre o reboco e os sensores *Te9reb*, *Te10ful* e *Te12ful* foram instalados externamente da célula de teste sendo que *Te9reb* sobre reboco e os demais *Te10ful* e *Te12ful* sobre fulget.

Figura 4.13.  $T_{i1reb}/T_{e10fulT}$ ,  $T_{i2reb}/T_{e9reb}$  e  $T_{i3reb}/T_{e12ful}$  da semana de 25/09 a 02/10/2017.

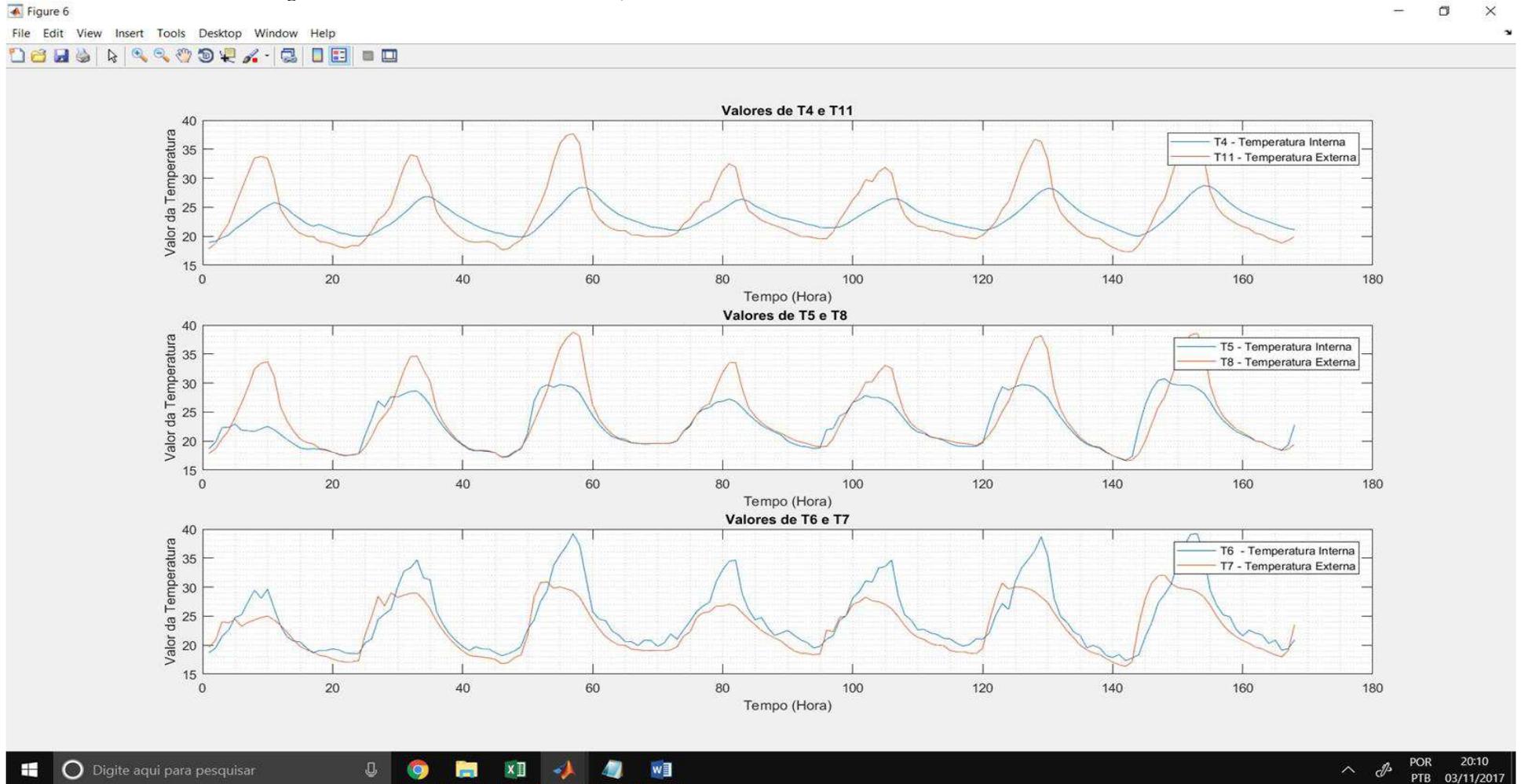
Nesta semana os pares de sensores  $Ti1reb/Te10ful$  e  $Ti3reb/Te12ful$  apresentaram distribuição de temperaturas idênticos, justificável pelo fato de estarem instalados no mesmo lado da paginação de revestimentos, todos sobre fulget do lado de fora e reboco do lado de dentro da célula de teste.

Os picos foram significativos durante o dia e na ausência da radiação solar a noite é possível verificar que neste período a transferência de calor se deu de dentro para fora em grande parte dos dados medidos. Para o par de sensores  $Ti2reb/Te9reb$ , instalados sobre reboco dos dois lados da célula de teste, mostra que internamente o reboco ficou mais aquecido o que justifica que aqui a resistência térmica foi menor e, portanto o reboco transmitiu mais calor para a célula de teste .

A Figura 4.14 mostra os pares de sensores  $Ti4reb/Te11reb$  instalados dos dois lados da célula de teste , ambos sobre reboco e com espessura de parede mais estreita e os pares de sensores  $Te5ful/Te8ful$  dos dois lados em fulget e  $Te6reb/Te7reb$  com os dois lados em reboco.

Os sensores  $Te5ful/Te8ful$  e  $Te6reb/Te7reb$  estão instalados no solário 2 da célula de teste e foram importantes para analisar também as características mecânicas dos revestimentos. Nesta paginação a insolação se deu nos sentidos leste/oeste .

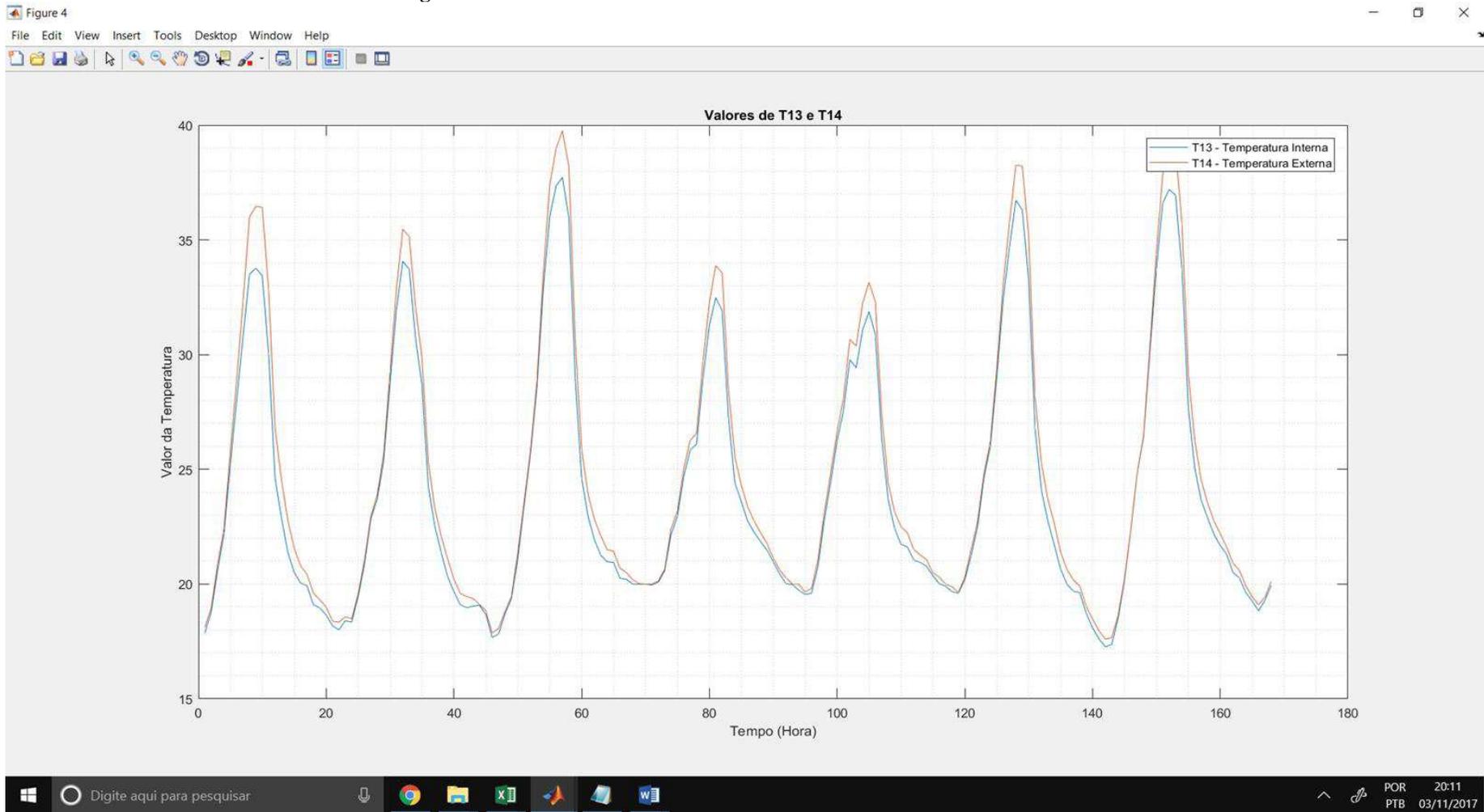
Figura 4.14. Valores de  $T_{i4reb}/T_{e11reb}$ ,  $T_{e5ful}/T_{e8ful}$  e  $T_{e6reb}/T_{e7reb}$  da semana de 25/09 a 02/10/2017.



Para os sensores *Te5ful/Te8ful* e *Te6reb/Te7reb* instalados no solário 2 da célula de teste e portanto expostos a ventilação e insolação naturais durante o dia ficou evidente que o reboco esquentou mais no período da manhã enquanto no período da tarde o fulget esquentou mais indicando que o mesmo apresentou maior resistência térmica que o reboco para as mesmas condições físicas. Para o par de sensores *Ti4reb/Te11reb1* instalados dos dois lados sobre reboco mas em paginação com alvenaria mais final mostrou que a resistência térmica foi menor e por este motivo os picos de temperaturas foram maiores de dentro para fora.

A Figura 4.15 apresentou os sensores *Ti13reb* e *Te14ful* que mediram as temperaturas dos ambientes interno e externa durante a semana.

Figura 4.15. Valores de Ti13reb e Te14ful da semana de 25/09 a 02/10/2017.



A Figura 4.15 apresentou os sensores *Ti13reb* e *Te14ful* que mediram as temperaturas dos ambientes interno e externa durante a semana. Não existe justificativa plausível para picos tão altos em alguns eventos à noite, o que caracterizam dados espúrios que podem ser eliminados através da análise de regressão múltipla que pode eliminar erros grosseiros de medição de dados.

A Figura 4.16 mostra os gráficos de umidades do ar *URi1reb* (umidade interna) e *URe2ful* (umidade externa) da célula de teste para esta semana típica de primavera.

Figura 4.16. Valores de URi1reb e URe2ful da semana de 25/09 a 02/10/2017.



A umidade externa foi significativa, mas sinalizou secura do ar em alguns horários o que caracteriza neste caso que houve alguns dados espúrios e não justifica a ausência total de umidade. A pouca umidade interna pode ser explicada pelo fato da célula de teste ter pouca exaustão e pouca abertura de ventilação e explica também porque na parede com reboco mais grosso houve transferência de calor de dentro para fora conforme distribuição horária no gráfico.

#### 4.2 Análises das propriedades termo-físicas

Na Tabela 4.1 pode ser observado o cálculo da condutividade térmica do fulget utilizando os dados dos sensores  $T_{10}=T_{e10ful}$ ,  $T_1=T_{i1reb}$ ,  $T_9=T_{e9reb}$  e  $T_2=T_{i2reb}$ . As temperaturas representadas na tabela são a média das temperaturas no período analisado. Nessa configuração, a parte externa da parede é feita com fulget (**T10**) e com reboco pintado de branco gelo (T9). Internamente existe apenas o reboco (T1 e T2).

**Tabela 4.1. Resultados do cálculo da condutividade térmica do fulget para os pares de sensores T10-T1 e T9-T2.**

Cálculos Fulget durante o dia (pf = 0,614 e pr = 0,59)											
T10 - T1 e T9 - T2											
Dia	Hora Inicial	Hora Final	kf (W/mK)	T10 (°C)	T1 (°C)	T9 (°C)	T2 (°C)	Rt(Fulget)	Rt(Reboco)		
1	15/03/2017	13:36:35	16:57:18	0,304	38,43	30,97	36,35	29,84	0,1915	0,0701	
2	19/03/2017	13:38:03	16:58:45	0,264	40,31	31,40	38,02	30,41	0,1180	0,0701	
3	21/03/2017	13:48:16	17:08:58	0,284	40,32	31,99	38,19	30,92	0,1781	0,0701	
4	25/03/2017	13:41:03	17:01:46	0,286	40,18	31,15	38,00	30,11	0,1769	0,0701	
5	27/03/2017	13:41:09	17:01:52	0,401	38,48	31,33	37,01	30,25	0,1261	0,0701	
6	28/03/2017	13:46:16	17:06:59	0,409	40,26	33,21	38,95	32,21	0,1235	0,0701	
7	30/03/2017	13:46:33	17:07:16	0,363	29,72	28,27	28,75	27,49	0,1392	0,0701	
8	06/04/2017	13:49:23	17:10:07	0,204	36,59	29,84	34,33	28,92	0,2477	0,0701	
9	07/04/2017	13:54:34	17:15:17	0,279	38,73	30,26	36,49	29,11	0,1808	0,0701	
10	08/04/2017	13:26:47	16:47:29	0,232	38,90	30,61	36,52	29,63	0,2179	0,0701	
			<b>Média</b>	<b>0,285</b>				<b>Média</b>	<b>0,178</b>		
			<b>DP</b>	<b>0,065</b>				<b>DP</b>	<b>0,041</b>		

Fonte: Próprio autor.

Onde,

$k_f$  é a condutividade térmica do fulget;

$R_f$  (fulget) é a resistência térmica do fulget;

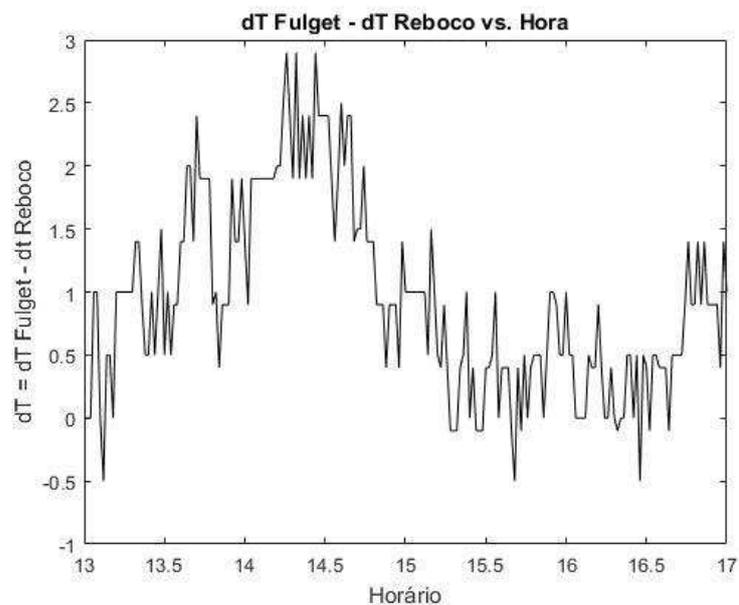
$R_t$  (Reboco) é a resistência térmica do reboco;

DP é o desvio padrão dos dados utilizados.

A condutividade térmica do fulget calculada com essa configuração de sensores se apresentou inferior em relação à do reboco, indicando que o fulget possui características isolantes melhor que o reboco. Isso pode ser visto também na resistência térmica calculada. Os desvios padrões calculados se apresentam de forma bem baixo, indicando que as medições estão bem confiáveis.

A Figura 4.17 mostra o gráfico das diferenças de temperatura que está ocorrendo no fulget e no reboco para o primeiro dia estudado (Tab. 4). Nele estão plotados todos os pontos estudados naquela faixa de horário. Pode ser observado que as diferenças de temperatura no fulget são superiores a do reboco nesse período analisado, logo reforçando que a resistência térmica total na região com fulget é superior a do reboco. Os demais gráficos para os outros dias podem ser encontrados no Apêndice – A.

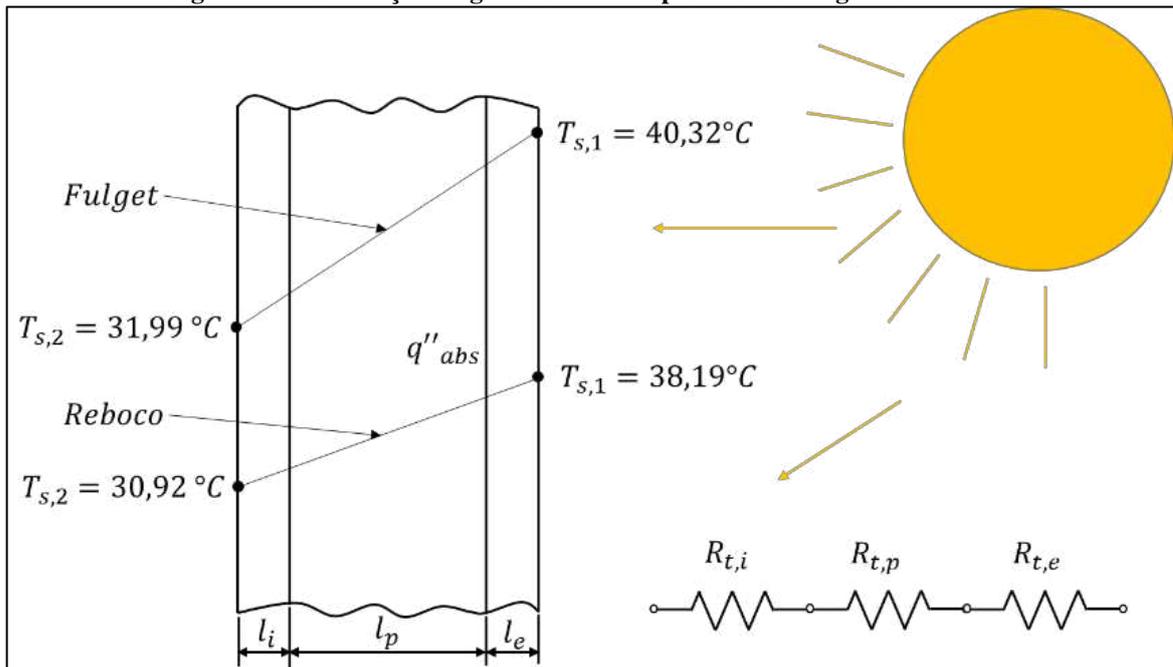
**Figura 4.17. Verificação da subtração entre as diferenças de temperaturas do fulget e no Reboco para a primeira configuração.**



**Fonte: Próprio autor.**

A Figura 4.18 é uma representação esquemática do gradiente de temperatura que está na parte com fulget e com o reboco para o terceiro dia mostrado na Tabela 4.1.

Figura 4.18. Ilustração do gradiente de temperatura no fulget e no reboco.



Onde,

$$\Delta T_{fulget} = 40,32 - 31,99 = 8,33^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{reboco} = 38,19 - 30,92 = 7,27^\circ\text{C}$$

Na Tabela 4.2 foram calculados os coeficientes para a mesma faixa de horário que a anterior. Nessa configuração, a parte externa da parede é feita com fulget ( $T_{12} = T_{e12ful}$ ) e com reboco pintado de branco gelo ( $T_{11} = T_{e11reb}$ ). Internamente existe apenas o reboco ( $T_3 = T_{i3reb}$  e  $T_4 = T_{i4reb}$ ). Nesse caso, o resultado se mostrou diferente, isso pode ter ocorrido devido ao fato de a espessura da parede na região com reboco externo ser inferior, logo perdendo a padronização do experimento. Apesar disso, os desvios se apresentam de forma baixa, indicando que os cálculos estão coerentes.

**Tabela 4.2. Resultados do cálculo da condutividade térmica do fulget para os pares de sensores T12-T3 e T11-T4.**

Cálculos Fulget durante o dia ( $\rho_f = 0,614$ e $\rho_r = 0,59$ )										
T12 - T3 e T11 - T4										
Dia	Hora Inicial	Hora Final	$k_f$ (W/mK)	T12 (°C)	T3 (°C)	T11 (°C)	T4 (°C)	Rt(Fulget)	Rt(Reboco)	
1	15/03/2017	11:06:03	14:26:45	0,766	38,65	31,82	36,09	29,94	0,0284	0,0303
2	19/03/2017	11:07:32	14:28:14	0,739	40,45	32,28	37,67	30,49	0,0295	0,0303
3	21/03/2017	11:17:44	14:38:26	0,693	40,42	32,74	37,87	31,07	0,0263	0,0303
4	25/03/2017	11:10:31	14:31:14	0,770	41,18	32,16	38,43	30,27	0,0283	0,0303
5	27/03/2017	11:10:37	14:31:19	0,756	38,79	31,99	36,71	30,35	0,0288	0,0303
6	28/03/2017	11:15:44	14:36:27	0,856	40,58	33,79	38,73	32,10	0,0255	0,0303
7	30/03/2017	11:16:01	14:36:44	0,449	29,62	29,17	28,37	27,83	0,0485	0,0303
8	06/04/2017	11:18:51	14:39:34	0,828	36,49	31,00	34,53	29,16	0,0263	0,0303
9	07/04/2017	11:24:02	14:44:45	0,881	38,77	31,08	36,54	29,24	0,0247	0,0303
10	08/04/2017	10:56:15	14:16:57	0,816	39,18	31,64	36,90	29,88	0,0267	0,0303
			<b>Média</b>					<b>Média</b>	<b>0,028</b>	
			<b>DP</b>					<b>DP</b>	<b>0,007</b>	

Fonte: Próprio autor.

Onde,

$k_f$  é a condutividade térmica do fulget;

$R_f$  (fulget) é a resistência térmica do fulget;

$R_t$  (Reboco) é a resistência térmica do reboco;

DP é o desvio padrão dos dados utilizados.

Na Tabela 4.3, os resultados se mostraram de forma mais próxima dos apresentados na Tabela 4.2. Isso ocorreu devido ao fato da espessura da parede serem iguais, logo garantindo uma melhor repetitividade. No experimento realizado que resultou na Tabela 4.3 a parede apresentou revestimento externo e interno de fulget e para o outro foi apenas reboco.

**Tabela 4.3. Resultados do cálculo da condutividade térmica do Fulget para os pares de sensores T8-T5 e T7-T6.**

Cálculos Fulget durante o dia ( $\rho_f = 0,614$ e $\rho_r = 0,59$ )										
T8 - T5 e T7 - T6										
Dia	Hora Inicial	Hora Final	$k_f$ (W/mK)	T8 (°C)	T5 (°C)	T7 (°C)	T6 (°C)	Rt(Fulget)	Rt(Reboco)	
1	15/03/2017	13:36:35	16:57:18	0,268	39,24	31,74	40,46	31,76	0,9148	0,7486
2	19/03/2017	13:38:03	16:58:45	0,214	41,01	32,67	41,34	32,68	0,9819	0,7486
3	21/03/2017	13:48:16	17:08:58	0,205	41,29	33,40	41,32	33,45	0,9961	0,7486
4	25/03/2017	13:41:03	17:01:46	0,226	40,74	32,05	41,54	32,04	0,9638	0,7486
5	27/03/2017	13:41:09	17:01:52	0,228	39,47	32,55	40,47	32,47	0,9616	0,7486
6	28/03/2017	13:46:16	17:06:59	0,261	41,67	33,71	42,95	33,52	0,9215	0,7486
7	30/03/2017	13:46:33	17:07:16	0,242	29,80	24,84	30,67	24,23	0,9435	0,7486
8	06/04/2017	13:49:23	17:10:07	0,260	36,72	30,64	37,15	30,61	0,9230	0,7486
9	07/04/2017	13:54:34	17:15:17	0,240	39,02	30,98	39,80	30,91	0,9451	0,7486
10	08/04/2017	13:26:47	16:47:29	0,178	39,09	31,82	40,29	31,93	1,0476	0,7486
			<b>Média</b>					<b>Média</b>	<b>0,953</b>	
			<b>DP</b>					<b>DP</b>	<b>0,039</b>	

Fonte: Próprio autor.

Onde,

$$T5=Te5_{ful};$$

$$T6=Te6_{reb};$$

$$T7=Te7_{reb};$$

$$T8=Te8_{ful};$$

$k_f$  é a condutividade térmica do fulget;

$R_f$  (fulget) é a resistência térmica do fulget;

$R_t$  (Reboco) é a resistência térmica do reboco;

DP é o desvio padrão dos dados utilizados.

A Tabela 4.4 mostra os valores da condutividade térmica, refletância e absorvância obtidos para os revestimentos fulget e reboco nesta tese.

**Tabela 4. 4. Propriedades térmicas dos revestimentos..**

	<b>fulget</b>	<b>reboco</b>
<b>Condutividade térmica <math>k</math></b>	0.285	0.720
<b>Refletância <math>\rho</math></b>	0.614	0.590
<b>Absorvância <math>\alpha</math></b>	0.386	0.410

Segundo a Tabela 4.4, o fulget apresentou um coeficiente de condutividade térmica  $k$  menor do que o apresentado pelo reboco, assim como sua absorvância  $\alpha$  menor o que reforça o dado da refletância  $\rho$  maior que o verificado no reboco.

### **4.3 Análises da resistência às intempéries**

A Figura 4.19 mostra como ficou a porta (parede norte) e o reboco externo (parede leste) no solário 1 da célula de teste. A tinta em PVA branco gelo utilizada sobre o reboco sofreu um processo de oxidação por conta da umidade proveniente das chuvas sudeste. É visível a existência de trincas no reboco possivelmente por falta de impermeabilização sob o acabamento. A qualidade da tinta também é um fator a ser considerado no problema.

**Figura 4.19. Oxidação da pintura sobre o reboco e ação do tempo na porta de acesso ao solário 1 do LEMT.**



A Figura 4.20 mostra um detalhe da paginação na célula de teste na parede oeste onde foi revestida uma parte com fulget e outra com reboco pintado em PVA branco gelo da marca Coral e que já vem com filtro solar de proteção a intempéries. Nota-se que existe mofo no canto do reboco e algumas manchas ao passo que o fulget se manteve preservado de suas características.

**Figura 4.20. Detalhe da parede externa oeste da célula de teste com os dois revestimentos estudados.**



A Figura 4.21 mostra uma imagem feita no dia 07/11/2017, um detalhe da paginação na célula de teste face poente, que foi revestida com fulget verificou-se a estabilidade da cor do produto aplicado em dezembro de 2016, portanto tem cerca de onze meses desde a instalação e observa-se a naturalidade do material e sua aparência inalterada apesar do tempo.

**Figura 4.21. Paredes em fulget face oeste antes e depois.**



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSÕES**

## CAPÍTULO V

---

### CONCLUSÕES

Uma textura tipo fulget foi desenvolvida utilizando como material de base areia peneirada com granulometria resultante de peneira 1, que é oriunda de descarte da construção civil. Quanto ao ligante usado no processo, como inovação desta pesquisa, optou-se pelo uso do pó de calcário, produto que é descartado no beneficiamento da pedra calcária e cujo desempenho na mistura se mostrou satisfatória por suas características similares ao cimento branco. Os mosaicos usados para teste foram montados em um molde de alumínio com dimensões de 30 x 60 cm e espessura de 2,5 cm. Durante um ano, o revestimento fulget pesquisado nesta tese foi submetido a rigorosos testes, e está pronto para ser inserido no exigente mercado da construção civil.

Uma célula de teste foi construída no LEMT da UFCG na cidade de Campina Grade, PB. A célula de teste propiciou a realização dos testes experimentais para os dois revestimentos sujeitos a mesmas condições ambientais e temporais, durante cerca de um ano, entre dezembro de 2016 e dezembro de 2017.

Um Sistema de Medição e Aquisição de Dados (SMAD) foi desenvolvido e foi utilizado para medir as propriedades de interesse. O SMAD propiciou o cálculo das propriedades de interesse da pesquisa (condutividade térmica, refletância, absorvância e resistência às intempéries).

O valor da refletância média ( $\rho_{\text{fulget}}=0,614$ ) para o fulget é maior do que o valor da refletância média ( $\rho_{\text{reboco}}=0,590$ ) para o reboco. Por outro lado o revestimento fulget tem menor absorvância que o reboco.

O valor da condutividade térmica média do fulget é menor do que o do reboco. Portanto, o revestimento fulget tem maior característica isolante do que o reboco. Os valores da condutividade térmica média obtida para os revestimentos fulget e reboco foram respectivamente:  $k_{\text{média}}(\text{fulget}) = 0,285 \text{ W/mK}$  e  $k_{\text{média}}(\text{reboco}) = 0,720 \text{ W/mK}$ .

O revestimento fulget apresentou maior resistência à ação das intempéries. O revestimento fulget desenvolvido se mostrou adequado para ser usado como revestimento

externo, considerando que o coeficiente de condutividade térmica ( $k_f$ ) é pequeno e com esta característica ele tende a isolar o ambiente construído.

### **5.1 Sugestão de trabalhos futuros**

Estudar questões referentes aos investimentos para cada tipo de revestimento e calcular o tempo de retorno, para observar sua capacidade de inserção no competitivo mercado dos revestimentos externos para construção civil.

Realizar pesquisa equivalente as que foram realizadas na célula de teste montada na UFCG em Campina Grande, PB, para condições climáticas de outras cidades e para ação temporal maior do que um ano.

## REFERÊNCIAS

---

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211. Agregados para concreto.** ABNT, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social.** 2017.

ABRE. Associação Brasileira de Embalagem. **Embalagem e sustentabilidade.** 1ª Ed., São Paulo, SP: ABRE, 2016.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** São Paulo, SP: ABRELPE, 2015.

ALBUQUERQUE, P. F. Q. **Painéis Fenólicos para aplicação em fachadas exteriores.** Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2013.

ALCHAPAR, N.L.; CORREA, E.N. Comparison of the performance of different facade materials for reducing building cooling needs. **Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs, Design, Properties and Applications**, p. 155–194, 2015.

ALMEIDA, S. L. M; FIGUEIRA, H. V. F; LUZ, A. B. Cominuição. In: **Tratamento de minérios.** Rio de Janeiro – RJ: CETEM/MCT, 2004.

ANEPAC. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. **História da Areia e Brita.** 2016. Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/areia-e-brita>>. Acesso em maio. 2016.

ANDREIS, Cínthia. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2014.

ARDUINO E CIA. **Montagem de placas e produtos.** Disponível em: <https://www.arduinoecia.com.br/>. Acesso em janeiro de 2018.

ARRUDA FILHO, N. T.; DANTAS, C. P.; LEAL, A. F.; BARBOSA, N. P.; SILVA, C. G.; ALEXANDRE, M. V. Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 16, n. 8, p. 894-902, 2012.

AZEVEDO, E. A. M. **Revestimento decorativo monocamada pigmentado, com resíduo de vidro temperado, para aplicação em fachadas**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN. 2015.

BAPTISTA JÚNIOR, J. V.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 2, p. 27-37, jul./dez. 2013.

BARROS, M. B. B. Entrevista. In: **Argamassa de revestimento**. 2009. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao /54/argamassa-de-revestimento-283277-1.aspx>>. Acesso em mar. 2016.

BAUTECH. **Produtos/Hidrofugantes e oleofugantes**. Disponível em: <http://www.bautechbrasil.com.br/produtos/hidrofugantes-e-oleofugantes>. Acesso em janeiro de 2018.

BISSOLI-DALVI, M.; NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E.; FUICA, G. E. S.; MOTARROYOS, D. C. G. The sustainability of the materials under the approach of ISMAS. **Construction and Building Materials**.106, 357–363, 2016.

BOGO, A. **Revestimentos sustentáveis: processo de fabricação impacta na decisão de compra**. Disponível em: <<http://www.brasilengenharia.com/portal/noticias/destaque/7629-revestimentos-sustentaveis-processo-de-fabricacao-iimpacta-na-decisao-de-compra>>. Acesso em mar. 2016. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília – DF: D.O.U., 2010.

CALDEIRA NETO, V. E. **Aplicações modernas de aglomerado de cortiça expandida (icb) na construção**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia do Porto. Cidade do Porto, Portugal, 2012.

CARRISSO, R. C. C.; CORREIA, J. C. G. Classificação e peneiramento. In: **Tratamento de minérios**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCT, 2004.

CASTRO, A. P. A. S; Labaki, L. C.; Caram, R. M.; Basso, A.; Fernandes, M. R. **Medidas de refletâncias de cores de tintas através de análise espectral**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre. v. 3, n. 2, p. 69-76. 2003.

CABÓ, A.E.C. **Sistema microcontrolado inteligente de baixo custo para o monitoramento de altas temperaturas em fornos da indústria de cerâmica vermelha**. Dissertação de Mestrado (Programa de Ciência da Computação), Universidade Federal do Semiárido (UFERSA), Mossoró, RN, 2015.

CBPM. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. **Cerâmica da Bahia**: Catálogo de matérias primas. 2 ed. Salvador, BA: IPT, 2006.

CEMEX. **Produtos em cimento**. Disponível em: <https://www.cemex.com/>. Acesso em janeiro de 2018.

COSTA, T. J. P. **Sistemas de deslatre de cargas elétricas adaptado para o setor industrial**. Dissertação de Mestrado. (Mestrado Integrado em Engenharia Física). Faculdade de Ciências do Porto. Cidade do Porto, Portugal, 2014.

FATEMI, S; IMANINASAB, R. Performance evaluation of recycled asphalt mixtures by construction and demolition waste materials. **Construction and Building Materials**. 120, 450–456, 2015.

FRAZÃO, E. B. **Programa de capacitação de gestores de empresas mineradoras de agregados para a construção civil**: panorama de produção e aproveitamento de agregados para construção. São Paulo, SP: CETEC, 2004.

FREITAS, J. G. **A influência das condições climáticas na durabilidade dos revestimentos de fachada: Estudo de caso na cidade de Goiânia – GO**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Geotécnica, Estruturas e Construção Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2012.

FREITAS, J. G. DE; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS. v. 14, n. 1, p. 57-73, jan./mar. 2014.

FULTEC. **Catálogo Comercial do Fultec**. Disponível em: <http://fultec.com.br/>. Acesso em abr. 2016. 2016.

GAO, W.; LI, Z.; HE, Y. High temperature oxidation protection using nanocrystalline coatings. **A volume in Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering**, p. 146–166, 2012.

GHAFFARIANHOSEINI, A.; DAHLAN, N.D.; BERARDI, U.; GHAFFARIANHOSEINI, A.; MAKAREMI, N.; GHAFFARIANHOSEINI, M. Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v 25, p. 1–17, 2013.

GONÇALVES, L. F. M. **Avaliação do desempenho térmico de tintas reflectantes em fachadas por análise termográfica**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Nova de Lisboa, 2014.

GRANITINA. **Catálogo comercial de revestimentos**. Disponível em: <<http://granitina.com.br/about.aspx>>. Acesso em out. 2016. 2016.

GRILO, Marcelo Bezerra. **Fundamentos da energia solar: radiação solar e o coletor solar plano, conceitos básicos e aplicações**, Campina Grande, Brasil: Editora da UFCG. 2007.

GUÍO, L. M. P. **Compostos orgânicos voláteis em tintas imobiliárias: caracterização e efeitos sobre a qualidade do ar em ambientes internos construídos**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2013.

HEINECK, S. **Desempenho de argamassas de revestimento com incorporação da fração miúda da britagem**. Dissertação de mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Vale do rio dos Sinos. São Leopoldo, RS, 2012.

HUNAG, L. J.; WANG, H. Y.; WANG, S. Y. A study of the durability of recycled green building materials in lightweight aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, 96, 353–359, 2015.

IBRAHIM, M.; BIWOLE, P.H.; WURTZ, E.; ACHARD, P. A. Study on the thermal performance of exterior walls covered with a recently patented silica-aerogel-based insulating coating. **Building and Environment**, v. 81, p. 112–122, 2014.

INCROPERA, FRANK P.; DEWITT, DAVID P.; BERGMAN, THEODORE L.; LAVINE, ADRIENNE S. In: Eduardo Mach Queiroz ; Fernando Luiz Pellegrini Pessoa . (Org.). **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Sexta edição. Departamento de engenharia química. UFRJ. LTC/gen.Cap.1,p.2-4,p22-23,cap.2, p.d38-40,cap .3,p.63-68, 2008.

LIMA, F. X. R. F. **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações**. Tese

de doutorado. (Programa de Pesquisa e Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. 2013.

MACHADO, G. S. **Avaliação de impacto e Plano de Controle Ambiental para uma empresa de beneficiamento de minérios.** Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Ambiental. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma – SC, 2009.

MARIBONDO, J. F. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares.** Tese de Doutorado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2000.

MATEUS, F. J. D. **Termografia em diagnóstico de revestimentos em azulejo.** Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade de Aveiro. Aveiro, 2013.

MATIAS, G.; FARIA, P.; TORRES, I. Caracterização física de argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica. In: **PATORREB**, 2015.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria nº 163, de 08 de junho de 2009.** Institui a Etiquetagem Nacional de Conservação de Energia. Brasília, DF: MDIC, 2009.

MEDINA, C.; ZHU, W.; HOWIND, T.; FRIAS, M.; SANCHEZ DE ROJAS, M. I. Effect of the constituents (asphalt, clay materials, floating particles and fines) of construction and demolition waste on the properties of recycled concretes. **Construction and Building Materials**, 79, 22–33, 2015.

MUNDURUCA, Elianne Auxiliadora Moreira Borges. **Reabilitação em Edifícios e Monumentos Art Déco – Métodos de Avaliação dos Revestimentos de Fachadas.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2013.

NADIAA, S., NOUREDDINEA, S., HICHEMA, N., DJAMILAA, D. **Experimental Study of Thermal Performance and the Contribution of Plant-Covered Walls to the Thermal Behavior of Building.** Energy Procedia, v. 36, p. 995-1001, 2013.

NAJIM, K. B. **External load-bearing walls configuration of residential buildings in Iraq and their thermal performance and dynamic thermal behavior.** Energy and Buildings. v. 84, p.169–181, 2014.

NUNES, G. **Revestimento para a fachada eficiente.** Projeto Design. Ed 415, 2014.

NUNES, G. Diversidade em pisos e seus usos. **Projeto Design**. Ed. 426, 2015.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. 1ª ed., 3ª reimpressão. São Paulo, SP: ABGE, 2002.

PACHECO-TORGAL, F. Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020. **Construction and Building Materials**. 51,151–162, 2014.

PANTONE. **Sobre o PANTONE**. Disponível em: <<http://pantone.com.br/quem%20somos.html>>. Acesso em jun. 2016. 2016.

PASCOALINHO, A. R. C. **NZEB e os novos revestimentos**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2013.

PEREIRA C. D.; MARINOSKI D. L.; LAMBERTS R.; GÜTHS S.; GHISI E. **Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas** (v.1). Centro Brasileiro de Eficiência Energética em edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2015.

PISSOLATO JÚNIOR, O. **Argamassa de Revestimento utilizando areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana). Pontifícia Universidade Católica de Campinas. 2016.

PITTALUGA, M. Electrochromic glazing and walls for reducing building cooling needs. **Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling needs Design, Properties and Applications**, p. 473–497, 2015.

ROSETA, M. O. Z. C. **Estudo laboratorial e em condições reais sobre o aglomerado de cortiça expandida aplicado como revestimento exterior**. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2013.

SILVA, S. A. **Alteração acelerada do calcário Bege Bahia: Um ensaio de predição de perda de sua intensidade de brilho em fachadas sob condições tropicais metropolitanas, em orlas litorâneas**. Tese de Doutorado. (Programa de Pós-Graduação em Geologia). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE, 2015.

TALARICO, A. **Fulget permitiu composições com vários outros revestimentos em unidade do SESC**. Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/fulget-permitiu->

composicoes-com-varios-outros-revestimentos-em-unidade-do-sesc\_16527\_3533>. Acesso em jan. 2015. 2016.

ZINZI, M. Exploring the potentialities of cool facades to improve the thermal response of Mediterranean residential buildings. **Solar Energy**, v.135, p. 386–397, 2016.

ZULIAN, C. S.; DONÁ, E. C.; VARGAS, C. L. **Revestimentos**. Ponta Grossa, PR: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2002.

## APÊNDICES

---

Apêndice A. **Gráficos das diferenças de temperatura**

Apêndice B. **Medição da refletância e absortância no fulget**

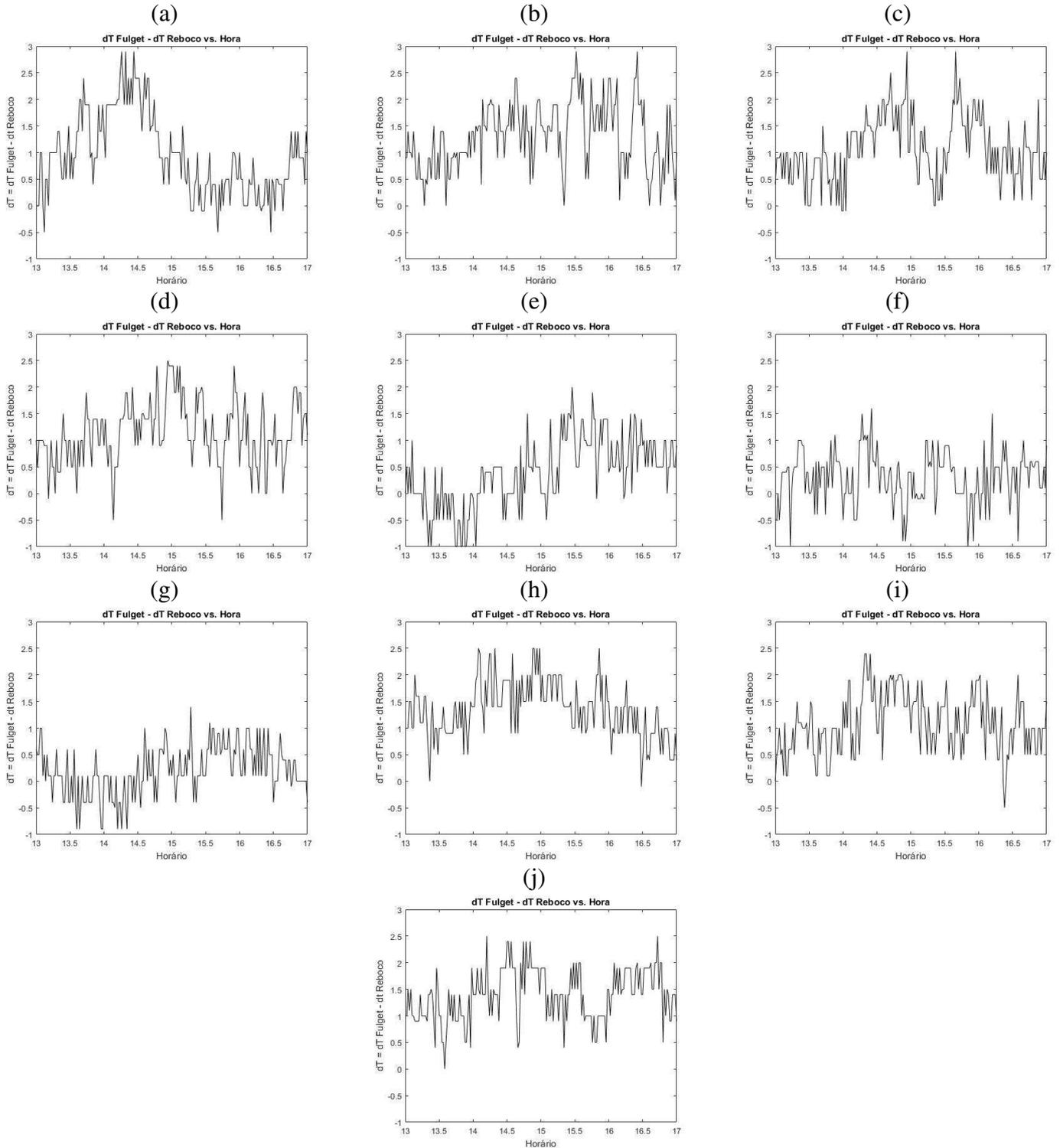
Apêndice C. **Paginação das paredes para cálculo das propriedades termo físicas**

Apêndice D. **Cartas Solares da Célula de Teste**

## APÊNDICE A

São mostrados os gráficos para os outros dias das diferenças de temperaturas no fulget e no reboco.

**Figura A.1.** Verificação da subtração entre as diferenças de temperaturas do Fulget e no Reboco para a primeira configuração. Dia 1(a); Dia 2(b); Dia 3(c); Dia 4(d); Dia 5(e); Dia 6(f); Dia 7(g); Dia 8(h); Dia 9(i); Dia 10(j).



## **APÊNDICE B**

São apresentados os procedimentos usados para a medição da refletância e absortância no revestimento fulget bem como os resultados apresentados pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, em Florianópolis, SC.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Campus Universitário – Trindade  
Florianópolis – SC – CEP 88040-970  
Caixa Postal 476**

**Lab EEE** Laboratório de Eficiência  
Energética em Edificações

<http://www.labeee.ufsc.br> | e-mail: [contato@labeee.ufsc.br](mailto:contato@labeee.ufsc.br)

Telefones : (48) 3721-5184 / 5185 / 2392

**VERIFICAÇÃO DA REFLETÂNCIA E ABSORTÂNCIA À  
RADIAÇÃO SOLAR DE TEXTURA TIPO “FULGET” PARA  
REVESTIMENTOS DE PAREDES EXTERNAS EM EDIFICAÇÃO**

**Elaborado por: Deivis Luis Marinoski, Dr. Eng.**

**Para: Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Adjalmir Alves Rocha  
Rua Abel Costa 493, 58429-166, Bairro universitário.  
Campina Grande – PB**

**Florianópolis, setembro de 2017**

## 1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta os resultados de verificação da refletância e absortância superficial à radiação solar, realizada em uma amostra de textura tipo “fulget” produzida a partir de resíduos descartados de areia usada para revestimentos de paredes externas em edificações.

O método empregado para realização do ensaio é indicado no item 2. No item 3 é feita a descrição das amostras. Por fim, o item 4 apresenta os resultados da refletância e absortância solar total determinada para as amostras.

## 2 MÉTODO

Os resultados apresentados neste documento foram obtidos através da aplicação dos procedimentos de medição descritos na Norma Técnica *ASTM C1549 (2014) “Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer”*.

## 3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

Neste estudo foi avaliada uma amostra de textura tipo “fulget” de resíduos descartados de areia para revestimentos de paredes externas em edificações, desenvolvida pelo Prof. Adjalmir Alves Rocha, em sua tese de doutorado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, da Universidade Federal de Campina Grande.

Para a realização do ensaio foi utilizada uma amostra plana com dimensões de 20cm x 20cm, com espessura de aproximadamente 18mm. A Tabela 1 mostra a imagem da amostra avaliada e a sua identificação.

**Figura 1. Amostra da Textura**

ID Amostra	Amostra
1	

#### 4 REFLETÂNCIA E ABSORTÂNCIA À RADIAÇÃO SOLAR

A NBR 15220 parte 1 (ABNT, 2005) define a refletância à radiação solar de uma superfície como sendo o “quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” representado pelo símbolo “ $\rho$ ”. Já a absorptância à radiação solar de uma superfície é definida como sendo o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” representado pelo símbolo “ $\alpha$ ”.

A refletância é determinada através de métodos normalizados, enquanto a absorptância de superfícies opacas é obtida através de procedimento matemático, onde:  $\alpha = 1 - \rho$ .

Os valores da refletância e absorptância à radiação solar são adimensionais e podem ser expressos como um número entre zero e 1, ou na forma de porcentagem (%).

A Tabela 2 mostra o valor total de refletância e absorptância à radiação solar obtido para a superfície das amostras analisadas.

**Tabela 2. Resultados de refletância e absorptância solar**

ID amostra	Nome	Refletância ( $\rho$ )										Absortância ( $\alpha$ )
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	Média	
1	Textura tipo “fulget”	0.628	0.625	0.621	0.603	0.606	0.607	0.614	0.617	0.605	<b>0.614</b>	<b>0.386</b>

Incerteza absoluta estimada no valor da refletância/absortância:  $\pm 0,030$ .

Temperatura média durante os ensaios: 22°C

#### REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS). **NBR 15220-1: Desempenho Térmico de Edificações – parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2005.

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS) **C1549 “Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer”**. 2014

*OBS: É proibida a veiculação de cópia deste documento em qualquer tipo de material com fins publicitários.*

Consultor técnico:



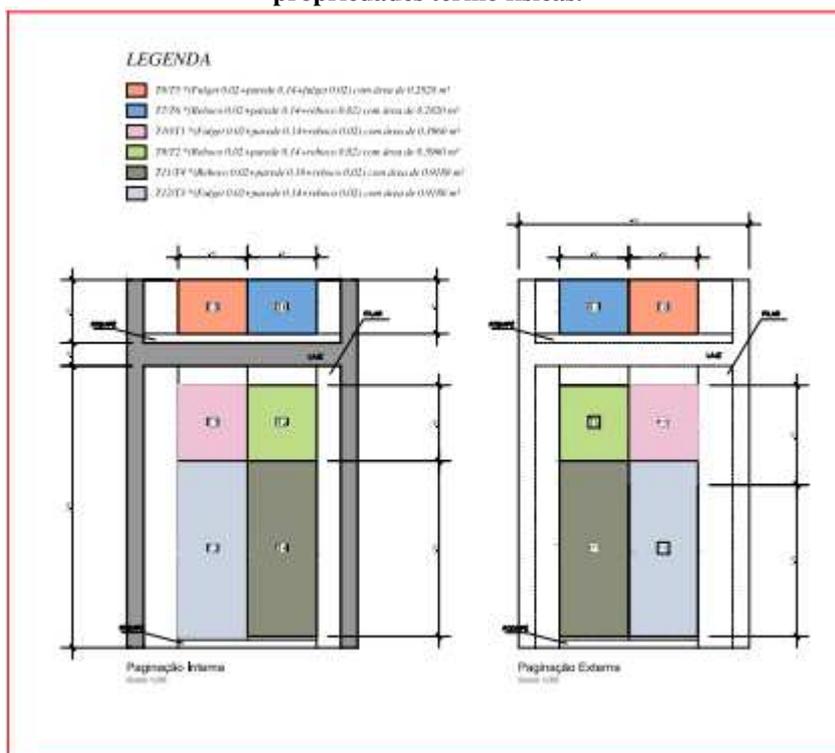
Dr. Deivis Luis Marinoski

Eng. Civil

## APÊNDICE C

A Figura A.2 mostra a paginação das paredes com dados de áreas e espessuras de paredes usadas para cálculo das propriedades termo físicas.

**Figura A.2. Paginação das paredes com dados de áreas e espessuras de paredes para cálculo das propriedades termo físicas.**

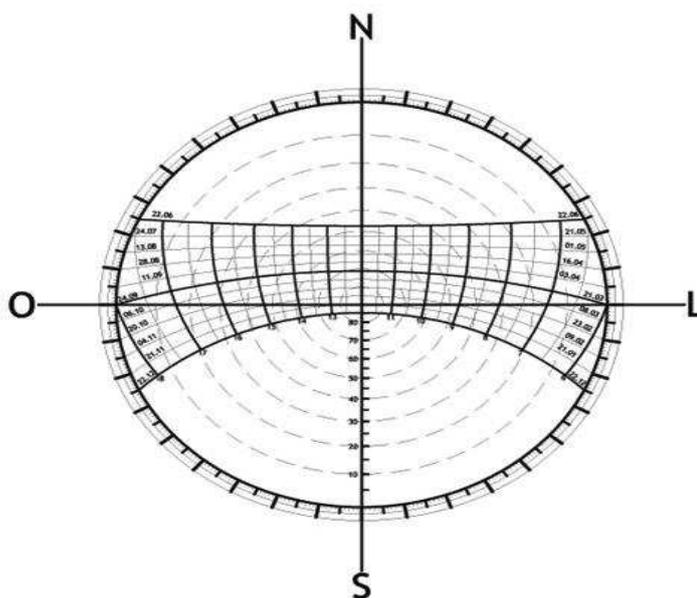


## APÊNDICE D

As cartas solares são usadas para saber a posição do sol em determinada data do ano, neste caso foram elaboradas para a célula de teste montada na UFCG. O tipo de carta solar usada foi a projeção estereográfica.

A Figura A.3 mostra o tipo de carta solar usada neste trabalho.

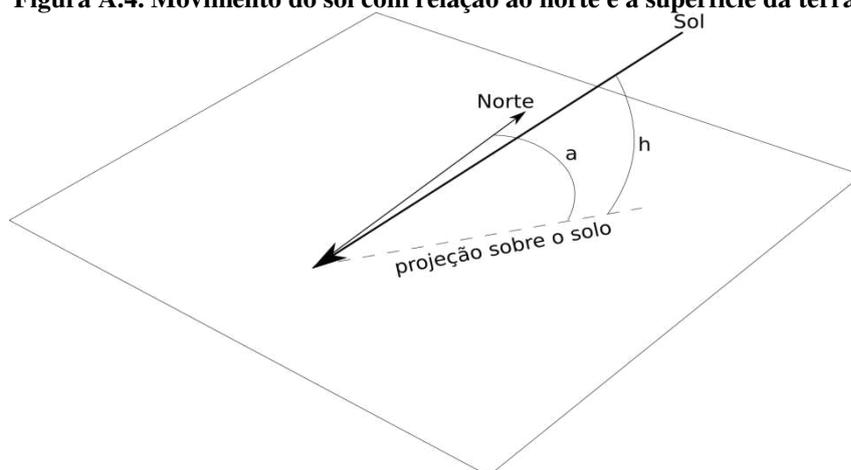
Figura A.3. Projeção tipo estereográfica de uma carta solar.



Fonte: Folha Zero (2017).

Uma carta solar fornece dois ângulos usados na orientação do raio solar em determinado instante dia. O primeiro chamado de azimute solar ( $a$ ) é em relação ao norte, e o segundo chamado de altura solar ( $h$ ) é em relação a superfície da terra. A Figura A.4 mostra o comportamento destes ângulos e sua influência na elaboração da carta solar.

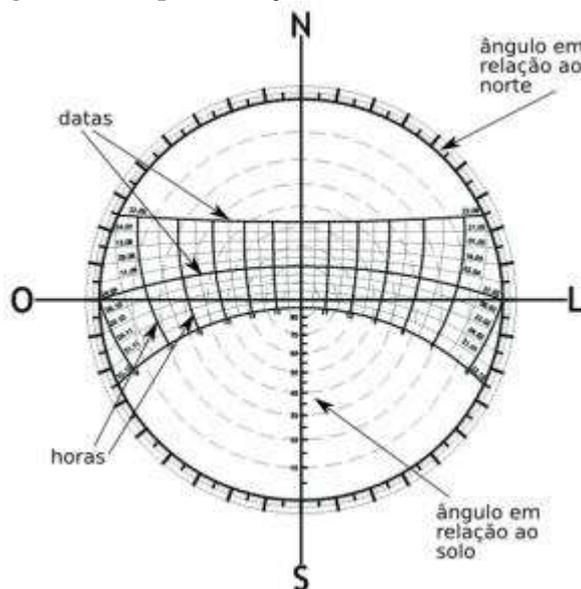
**Figura A.4. Movimento do sol com relação ao norte e a superfície da terra.**



**Fonte: Folha Zero (2017).**

A carta solar é feita para uma determinada latitude, dispõe de três informações básicas: um anel externo com ângulos em relação ao norte ( $a$ ); a malha, para localizar determinada data e hora; e um seguimento na parte inferior para fornecer a inclinação dos raios ( $h$ ), conforme mostra na Figura A.5.

**Figura A.5. Esquemática de uma carta solar básica.**



**Fonte: Folha Zero (2017).**

O uso prático das cartas solares neste trabalho é verificar a incidência insolação em determinada face da célula de teste, durante um período.

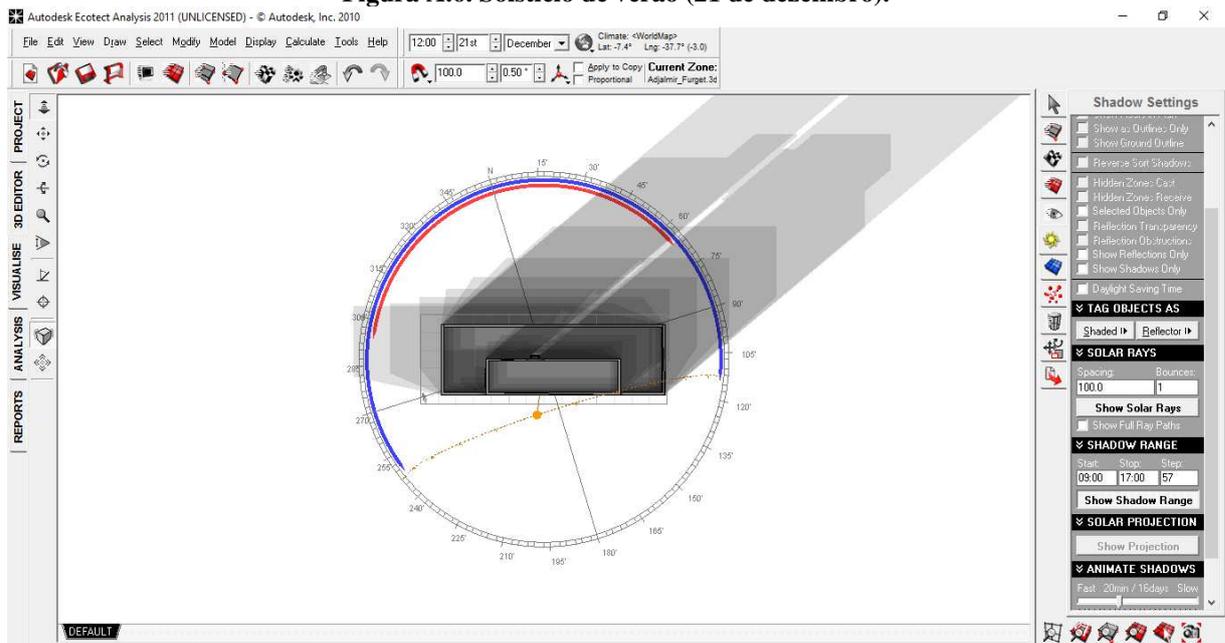
Em muitos casos o posicionamento das aberturas de portas e janelas envolvem outras questões que fogem à orientação solar. Nestas situações é importante adotar dispositivos de proteção tais como brises soleil horizontais e ou verticais para proteger as entradas dos raios solares. Neste trabalho não se necessitou de tais elementos haja vista as características ambientais da célula de teste.

### 1.1.6. Insolação e sombreamento

Utilizando a ferramenta Ecotect 2011 para simulação da insolação e sombreamento, é possível descrever as áreas sombreadas nos diferentes períodos do ano, em especial nos equinócios e solstícios. Partindo da localização e dos referenciais de latitude e longitude em que se encontra a edificação, o Ecotect 2011 simula o sombreamento resultante da incidência dos raios solares sob interferência do volume em 3D da edificação, representando as sombras a partir de uma vista do alto, em escala de cinza (hora a hora). O uso dessa ferramenta permite as seguintes conclusões, sobre os diferentes períodos do ano.

A Figura A.6 mostra o solstício de verão e sua influência na incidência solar na célula de teste.

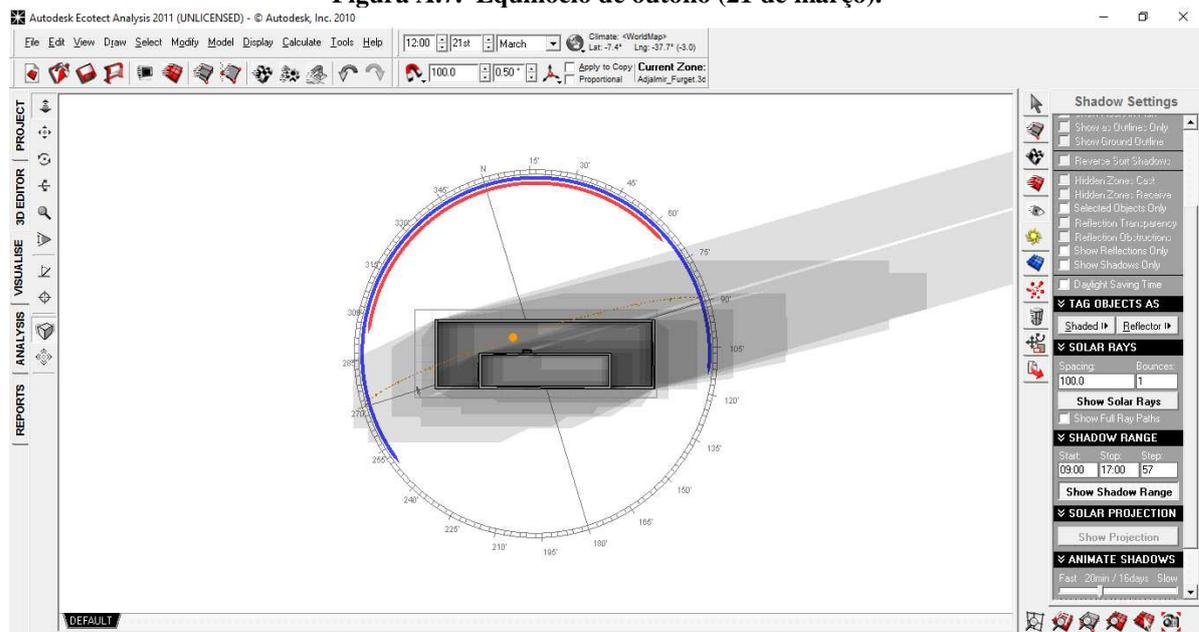
**Figura A.6. Solstício de verão (21 de dezembro).**



De acordo com o representado acima, pode-se inferir que durante o período que se aproxima do solstício de verão a fachada mais a sul da edificação está mais exposta à incidência dos raios solares durante todo o dia, o que pode elevar a temperatura nessa fachada, agravado pelo período que naturalmente é mais quente na região. A fachada mais a norte da edificação, o sombreamento acontece ao longo de todo o dia durante esse período, o que pode contribuir para a manutenção da temperatura ambiente na superfície. Com relação à fachada leste e oeste, a primeira recebe insolação apenas no período da manhã, e a segunda insolação durante o período da tarde.

A Figura A.7 mostra o equinócio de outubro e sua influência na incidência solar na célula de teste.

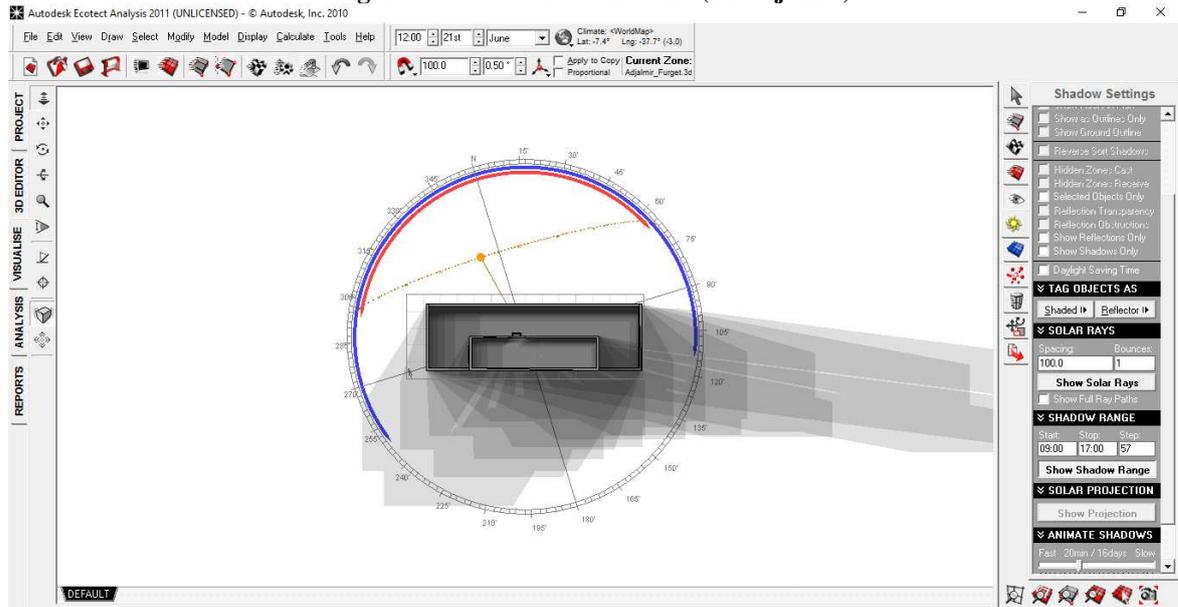
**Figura A.7. Equinócio de outono (21 de março).**



Analisando o desenho acima pode-se inferir que durante o período que se aproxima do equinócio de outono a fachada mais a norte e leste da edificação está mais exposta à incidência dos raios solares durante o período da manhã, o que pode elevar a temperatura nessa fachada. Na fachada mais a sul e oeste da edificação a insolação acontece ao longo da tarde, o que pode contribuir para a elevação da temperatura na superfície.

A Figura A.8 mostra o solstício de inverno e sua influência na incidência solar na célula de teste.

**Figura A.8. Solstício de inverno (21 de junho).**

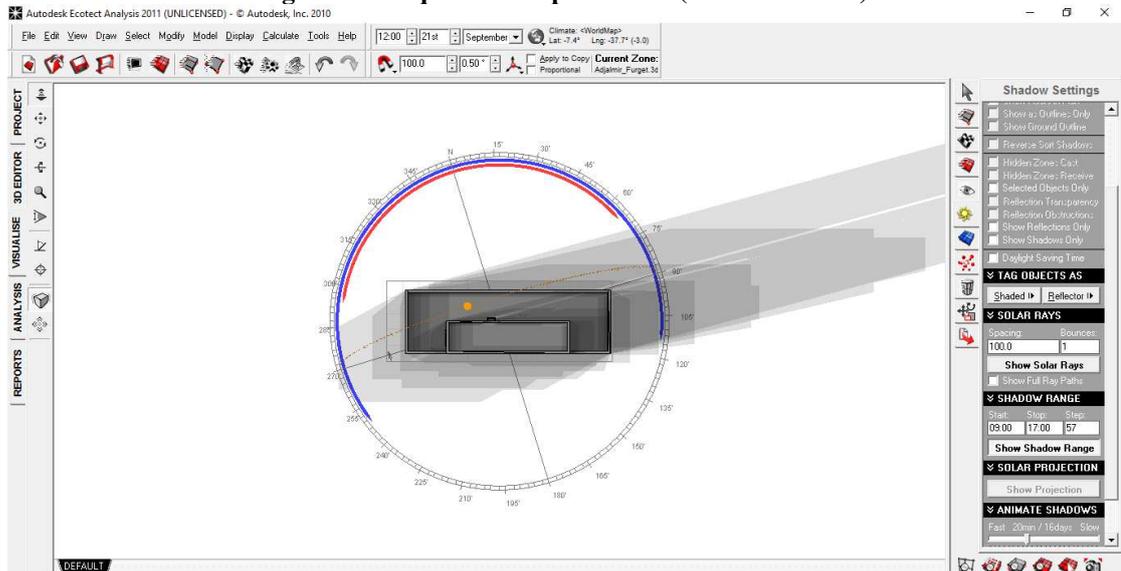


Analisando o desenho a cima pode-se inferir que durante o período que se aproxima do solstício de inverno a fachada mais a norte da edificação está mais exposta à incidência dos raios solares durante todo o dia, o que pode elevar a temperatura nessa fachada.

Na fachada mais a sul da edificação ocorre o sombreamento durante todo o dia, o que pode contribuir para a diminuição da temperatura ambiente na superfície, por tratar-se de um período mais frio nessa região. Com relação à fachada leste e oeste, a primeira recebe insolação apenas no período da manhã, e a segunda insolação durante o período da tarde.

A Figura A.9 mostra o equinócio de primavera e sua influência na incidência solar na célula de teste.

**Figura A.9. Equinócio de primavera (21 de setembro).**

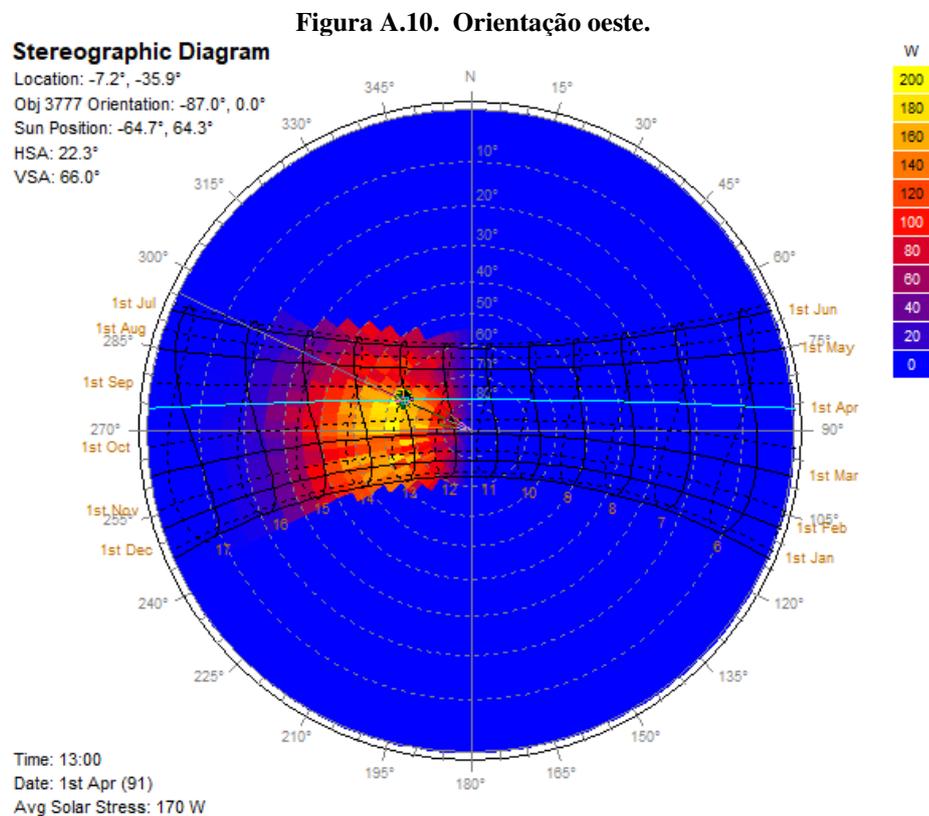


Analisando o desenho A.9 pode-se inferir que durante o período que se aproxima do equinócio de primavera a fachada mais a norte e leste da edificação está mais exposta à incidência dos raios solares durante o período da manhã, o que pode elevar a temperatura nessa fachada. Na fachada mais a sul e oeste da edificação a insolação acontece ao longo da tarde, o que pode contribuir para a elevação da temperatura na superfície.

Nas figuras seguintes são mostradas a radiação direta do sol incidente nas superfícies da célula de teste, foram geradas para cada fachada uma máscara de radiação que mede a radiação incidente durante o ano com a carta solar por baixo representando os dias, meses e horários do ano.

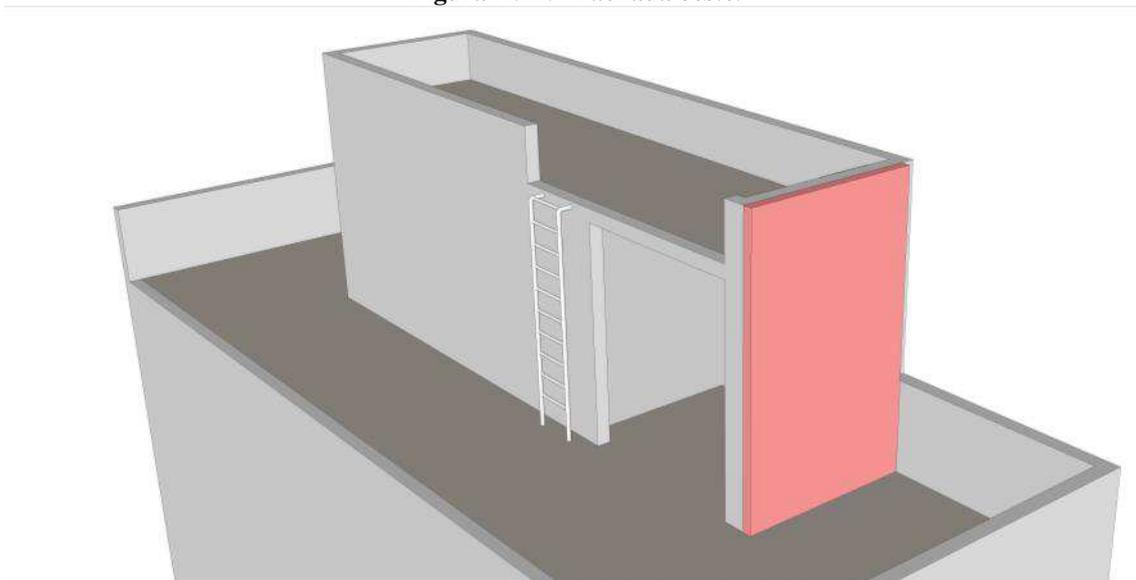
Os dados a seguir se mostraram elevados (níveis de radiação) por ter sido medido a radiação das fachadas, que não possuem algum tipo de proteção (brise soleil ou cobertura com beiral) e que provavelmente nem era necessária para paredes.

A Figura A.10 mostra a radiação direta sobre a face oeste (poente) da célula de teste representada por uma carta solar mais detalhada.



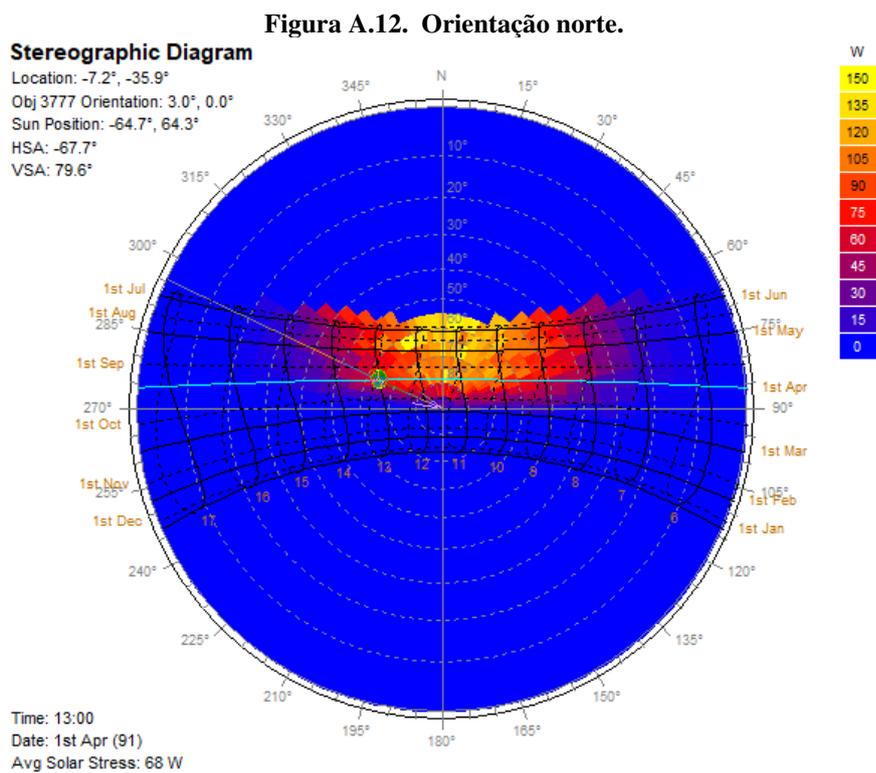
A Figura A.11 mostra em perspectiva 3D a incidência solar sobre a célula de teste na face oeste.

**Figura A.11. Fachada oeste.**



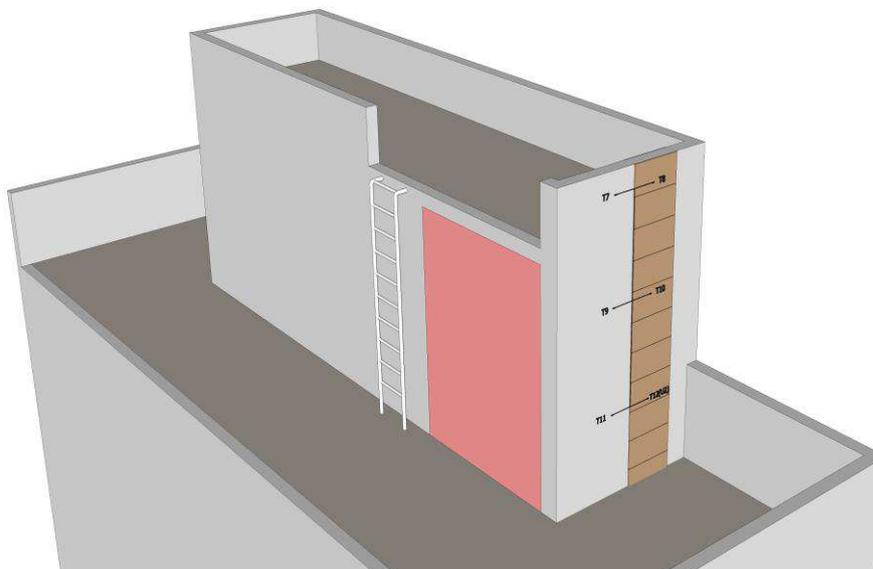
Radiação direta na fachada oeste se mostra elevado por se tratar de uma fachada mais “crítica” do ponto de vista da radiação direta, fachada poente.

A Figura A.12 mostra a carta solar para orientação norte da célula de teste.



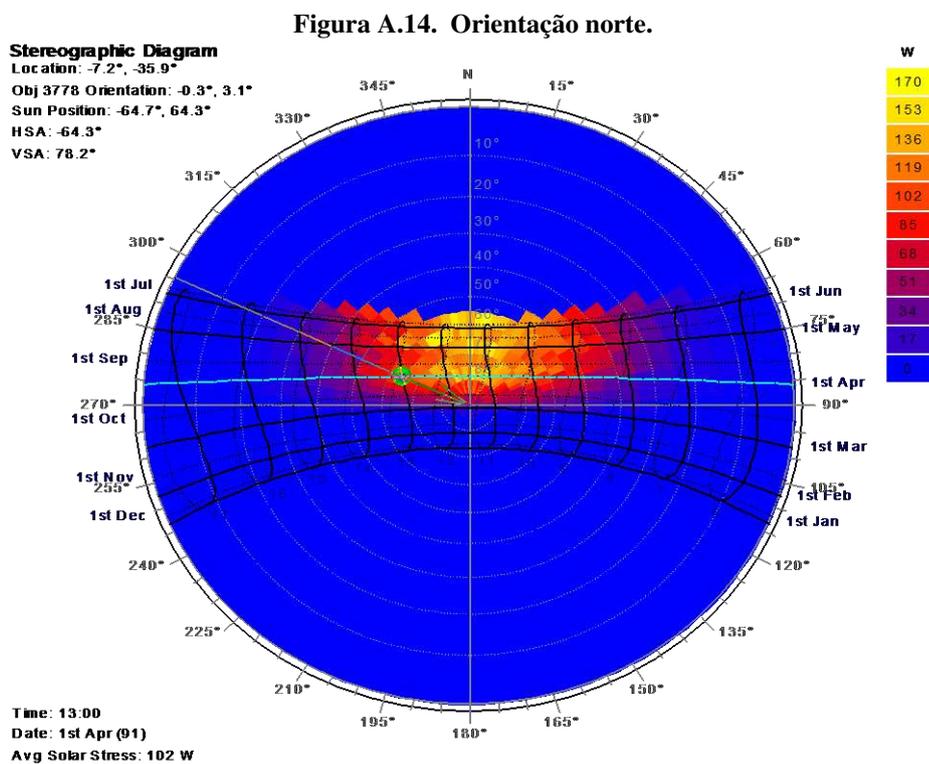
A Figura A.13 mostra a maquete em 3D da célula de teste e a incidência solar na fachada norte.

**Figura A.13. Fachada norte.**



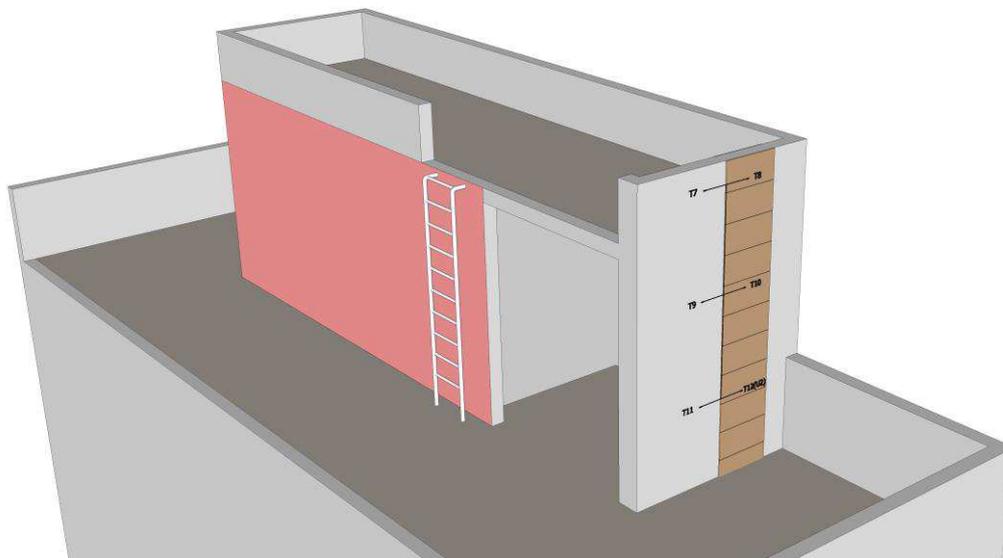
Radiação direta na abertura voltada para norte possui resultados um pouco menores por se tratar de uma fachada menos crítica (não receber tanta radiação direta).

A Figura A.14 mostra a incidência solar na face norte da célula de teste e sua carta solar mais completa.



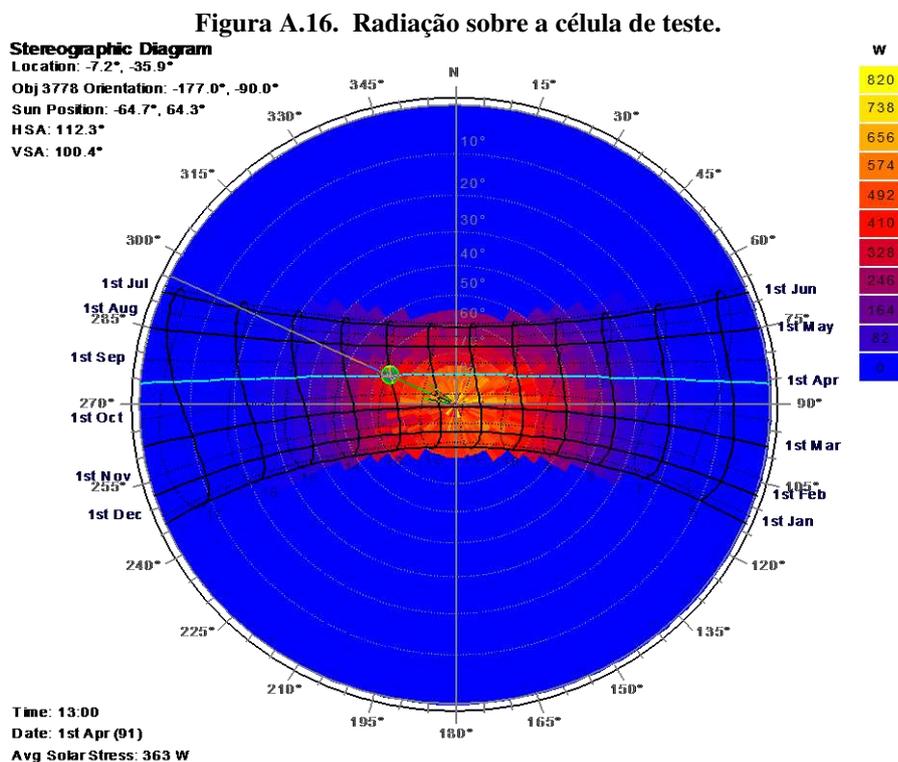
A Figura A.15 mostra a maquete em 3D da célula de teste e sua incidência solar na face norte complementar.

Figura A.15. Fachada norte.



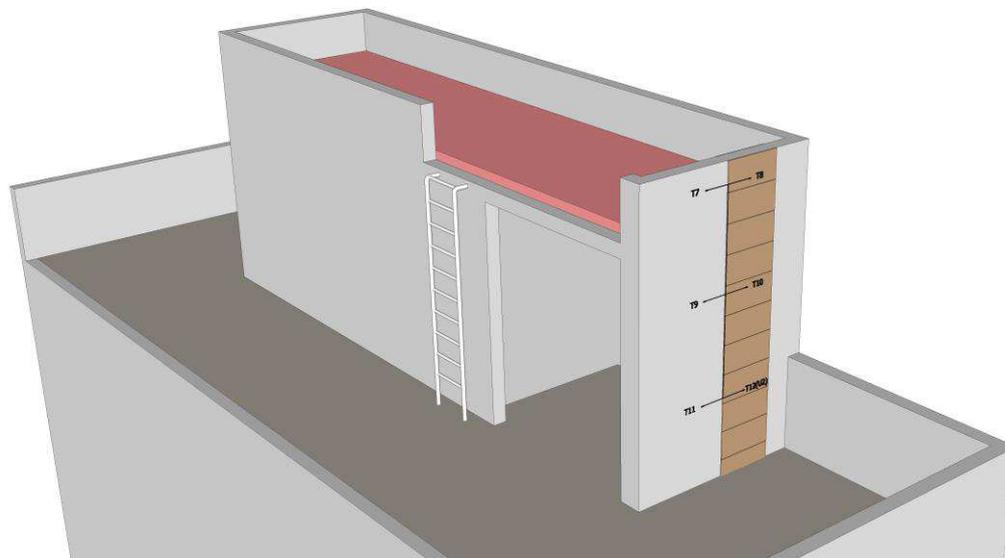
A Radiação direta na fachada norte tem comportamento semelhante à abertura de mesma fachada.

A Figura A.16 mostra a carta solar sobre a laje da célula de teste.



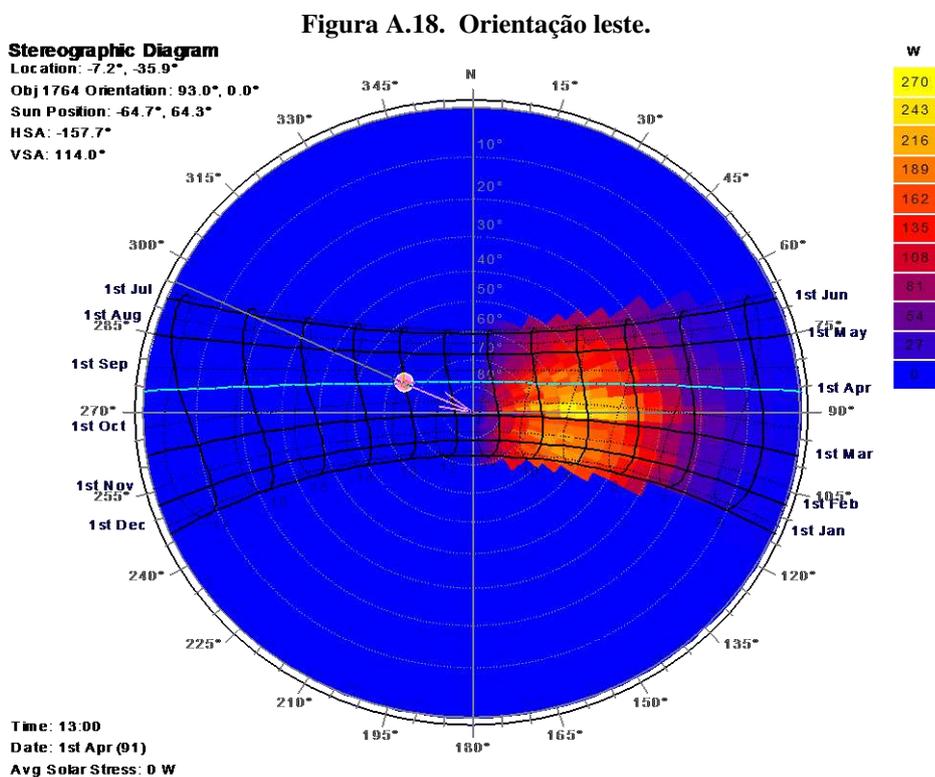
A Figura A.17 mostra a maquete eletrônica da célula de teste e a projeção da radiação solar sobre a célula de teste.

**Figura A.17. Projeção sobre a laje.**



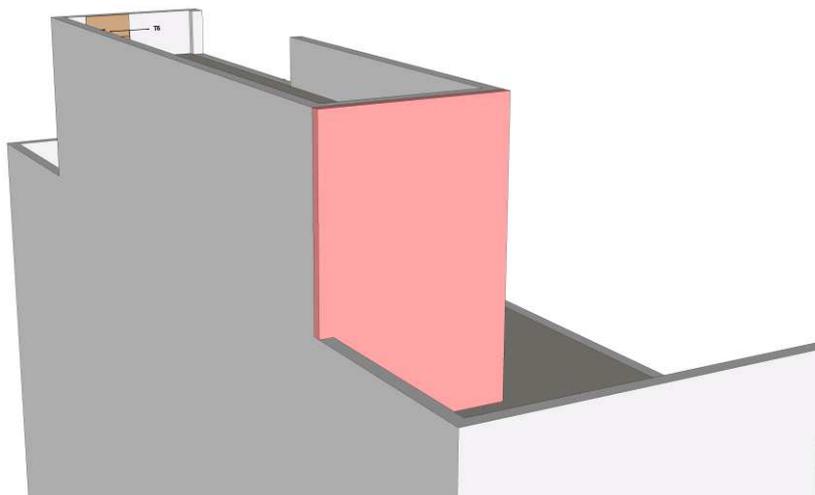
Radiação direta no piso de cobertura possui os maiores níveis de radiação por estar totalmente exposto a radiação direta nos horários mais críticos (10 às 14h).

A Figura A.18 mostra a carta solar para orientação leste da célula de teste.



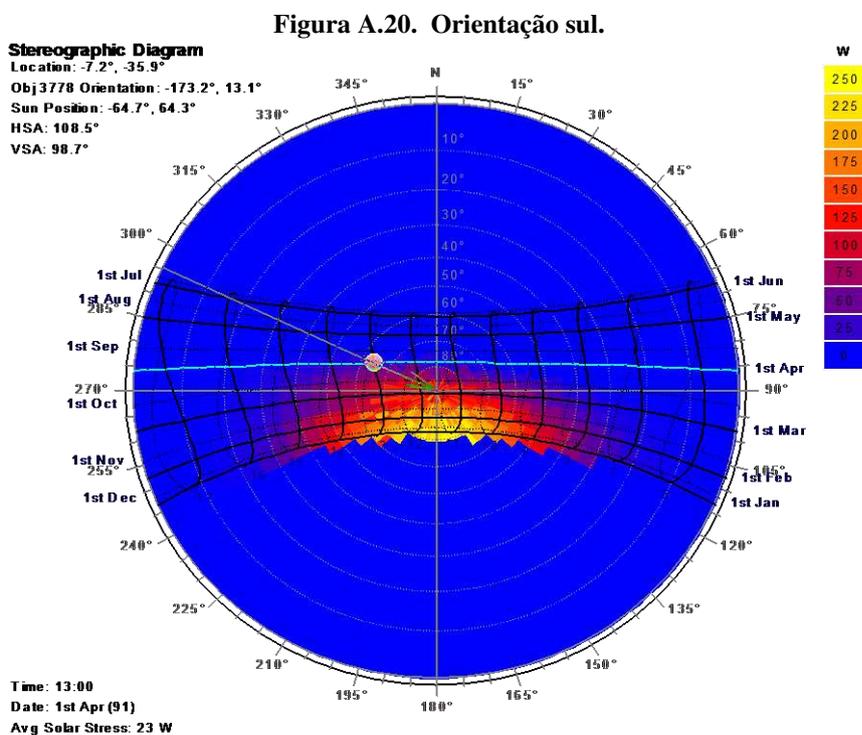
A Figura A.19 mostra a radiação solar na face leste da célula de teste em maquete 3D.

**Figura A.19. Fachada leste.**



Radiação direta na fachada leste, novamente por se tratar de uma fachada que recebe radiação direta do sol, possui níveis de radiação mais elevados.

A Figura A.20 mostra a carta solar para a face sul da célula de teste.



A Figura A.21 mostra em 3D a projeção do sol na célula de teste na face sul.

**Figura A.21. Fachada sul.**

