

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: AMBIENTE CONSTRUÍDO

MATEUS PEDRO SCROCCARO

**ESTUDO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DE COBERTURAS  
VERDES E CONVENCIONAIS NA PERSPECTIVA DE MITIGAÇÃO DAS  
ILHAS DE CALOR URBANO NO CENTRO DE CURITIBA - PARANÁ**

CURITIBA

2016

MATEUS PEDRO SCROCCARO

**ESTUDO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DE COBERTURAS  
VERDES E CONVENCIONAIS NA PERSPECTIVA DE MITIGAÇÃO DAS  
ILHAS DE CALOR URBANO NO CENTRO DE CURITIBA - PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil – PPGCEC – Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Construção Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Cristina de Araujo Lima

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares.

CURITIBA

2016

S433

Scroccaro, Mateus Pedro

Estudo das temperaturas superficiais de coberturas verdes e convencionais na perspectiva de mitigação das ilhas de calor urbano no centro de Curitiba - Paraná. / Mateus Pedro Scroccaro. – Curitiba, 2016.

140: il. [algumas color. ]; tabs: 30 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECC).

Orientadora: Profa. Dra. Cristina de Araujo Lima

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares

Bibliografia: p.113-125

1. Climatologia urbana. 2. Calor. I. Universidade Federal do Paraná. II. Lima, Cristina de Araujo. III. Tavares, Sérgio Fernando. IV. Título.

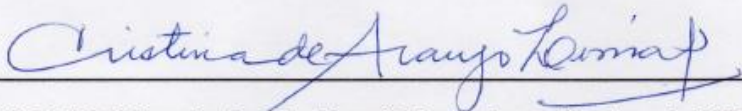
CDD 551.698162

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**MATEUS PEDRO SCROCCARO**

**ESTUDO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DE COBERTURAS VERDES E  
CONVENCIONAIS NA PERSPECTIVA DE MITIGAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR URBANO NO  
CENTRO DE CURITIBA - PARANÁ**

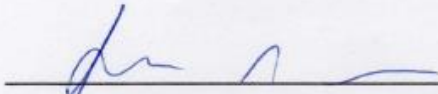
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do Grau em Mestre em Engenharia de Construção Civil, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, pela Banca Examinadora formada pelos professores:



**Profª. Drª Cristina de Araujo Lima (Orientadora - Doutorado UFPR)**  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR



**Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares (Coorientador – Doutorado UFSC)**  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR



**Prof. Dr. Aloisio Leoni Schmid (Doutorado Universität Karlsruhe - Alemanha)**  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da UFPR



**Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande Junior (Doutorado University of Nottingham, UK)**  
Departamento de Construção Civil/DACOC da UTFPR



**Profª Drª Marcia Keiko Ono Adriazola (Doutorado UFPR)**  
Departamento de Construção Civil/DACOC da UTFPR

Curitiba, 19 de abril de 2016.

*Dedico aos meus pais,*

*Luiz e Teresinha,*

*com amor.*

## **AGRADECIMENTO**

O cientista, pensador e humanista Carlos Pecotche certa vez escreveu que *“Deus é a imensidão, o eterno; é a Suprema Ciência da Sabedoria, que a mente humana pode descobrir em cada um dos processos do universo estampados na natureza, processos exatos, ciência pura, perfeita, na qual se inspira o homem para criar a “sua” ciência.”*

Dessa forma, agradeço ao espírito que, em mim, é o cientista que me impulsiona a contribuir para a minha evolução e no aperfeiçoamento da ciência humana, fazendo deste mundo um verdadeiro laboratório científico e um lugar melhor para se viver.

## RESUMO

A partir do final da década de 1960 a sociedade em seus mais variados segmentos intensificou a discussão acerca do desenvolvimento sustentável, além de incorporar novas temáticas, técnicas e comportamentos mais sustentáveis, primando por uma forma de pensar e agir que proporcione melhor qualidade de vida para as gerações presentes e as futuras. Nesse contexto, a técnica de cobertura verde (CV) é considerada uma forma de atenuar os impactos do ser humano no meio ambiente, contribuindo para amenizar efeitos notadamente negativos, como por exemplo o fenômeno de ilha de calor urbano (ICU). Sendo a alteração de temperatura uma das principais características do fenômeno ICU, a presente dissertação tem como objetivo principal investigar a possível colaboração da temperatura superficial das CVs na mitigação dos efeitos das ICUs. Para o cumprimento desse objetivo, foram estabelecidas duas principais etapas: na primeira houve a revisão do estado da arte dos temas contemplados na dissertação, abrangendo principalmente artigos científicos nacionais e internacionais e os autores já considerados como referência no tema. Num segundo momento foram utilizados dois métodos de desenvolvimento da pesquisa: um experimento físico constituído de uma CV extensiva e telhados de comparação, formados de telhas cerâmicas vermelhas e telhas de fibrocimento. A outra parte do método foi um exercício de representação gráfica, analisando um recorte urbano em Curitiba - Paraná - Brasil, no qual foram projetados os dados de temperatura superficial obtidos no experimento físico. Para o experimento físico com a CV e os telhados de comparação, os resultados permitiram inferir que quanto mais altas foram as temperaturas superficiais, maiores foram as perdas de calor para o ambiente, sendo que as coberturas cerâmica e de fibrocimento foram as que mais aqueceram durante o dia e as que mais rapidamente resfriaram à noite. A cobertura cerâmica apresentou as maiores temperaturas superficiais, seguidas pela cobertura de fibrocimento e pela CV. Contudo, através de análises estatísticas verificou-se que entre as médias das temperaturas superficiais da cerâmica e do fibrocimento não houve diferenças significativas, contrariamente à CV, que teve a menor variação na temperatura superficial, mantendo mais estáveis essas temperaturas tanto de dia quanto à noite e que, estatisticamente, apresentou diferenças significativas com relação à cerâmica e a fibrocimento. O exercício de representação gráfica dos dados do experimento físico teve como resultado a visualização através de imagens do possível desempenho da temperatura superficial dos três tipos de cobertura no recorte urbano escolhido. Como conclusões, verificou-se que o envelhecimento e a sujidade da telha cerâmica poderiam ser fatores que influenciaram o seu desempenho térmico, sobreaquecendo sua superfície mais do que a superfície do fibrocimento. O experimento físico se mostrou eficiente e recomendável quanto à obtenção de dados para o que foi proposto, ou seja, para obtenção da temperatura superficial, estando os resultados compatíveis com a bibliografia estudada e apontando positivamente para um possível benefício da CV na mitigação dos efeitos das ICUs. O exercício de representação gráfica, por sua vez, permitiu elencar as variáveis que mais poderiam influenciar nos resultados e apresentou algumas características inerentes a esse experimento, como as dificuldades em sistematizar os procedimentos metodológicos e em limitar a área de estudo.

Palavras-chave: Ilha de calor urbano. Temperatura superficial. Cobertura verde. Telha cerâmica. Telha de fibrocimento. Curitiba.

## **ABSTRACT**

*From the late 1960s the society in its various segments intensified the discussion about sustainable development, as well as incorporating new themes, techniques and more sustainable behavior, striving for a way of thinking and acting to provide better quality of life for generations in the present and in the future. In this context, the green roof (GR) technique is considered a way to mitigate the impacts of man on the environment, contributing to soften markedly negative effects, such as the urban heat island (UHI) phenomenon. Since the change in temperature is one of the main features of the UHI phenomenon, this dissertation aims to investigate the possible collaboration of the surface temperature of GRs in mitigating the effects of UHIs. For achieving this goal, two main stages were established: the first was to review the state of the art of the topics covered in the dissertation, mainly covering national and international scientific articles and authors have considered as a reference in the subject. Secondly it was used two research development methods: a physical experiment made of an extensive GR and comparison of roofs formed of red ceramic tiles and fiber cement tiles. The other part of the method was an exercise of graphical representation in an urban cut in Curitiba - Paraná - Brazil, in which the surface temperature data obtained in physical experiment were designed. For the physical experiment with GR and comparison roofs, the result showed that the higher were the surface temperatures, higher were the heat loss to the environment, and the ceramic and fiber cement roofs were the most heated during the day and the fastest cooled at night. The ceramic cover showed the highest surface temperatures, followed by the fiber cement roof and the GR. However, through statistical analysis it was found that between the mean surface temperatures of the ceramic and fiber cement no significant differences, unlike the GR, which had the lowest variation in surface temperature, maintaining more stable these temperatures both day and night and that, statistically, there was significant differences with respect to the ceramic and fiber cement. The exercise of graphical representation of the physical experiment data resulted through images in the display of the possible behavior of the surface temperature of the three types of coverage in urban crop chosen. As conclusions, it was found that aging and dirt from ceramic tile could be factors that influenced its thermal performance, overheating the surface more than the surface of the fiber cement. The physical experiment proved effective and recommended in obtaining data to what was proposed, that is for measuring surface temperature, and the results are consistent with the literature studied and pointing positively to a possible benefit of the GR in mitigating the effects of UHIs. The exercise of graphical representation, on the other hand, allowed to list the variables that most could influence the results and presented some characteristics inherent in this experiment, like the difficulties to systematize the methodological procedures and limiting the study area.*

*Keywords: Urban heat island. Surface temperature. Green roof. Ceramic tile. Fiber cement tile. Curitiba.*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo diário de oscilação da temperatura do ar .....	19
Figura 2 – Caracterização das ilhas de calor urbano.....	21
Figura 3 – Variações nas temperaturas de superfície e do ar.....	23
Figura 4 – Imagem do Bairro Centro, Curitiba, por meio de sensoriamento remoto .....	24
Figura 5 – Baton Rouge, EUA, imagens aérea e térmica.....	25
Figura 6 – Radiação eletromagnética em função dos comprimentos de onda e da frequência.....	26
Figura 7 – Interação entre a radiação térmica e a matéria.....	30
Figura 8 – Cobertura com telhas cerâmicas – Bairro Tarumã – Curitiba.....	32
Figura 9 – Cobertura com telhas de fibrocimento – Bairro Tarumã – Curitiba.....	33
Figura 10 – Esquema de troca de calor entre o telhado e o ambiente.....	35
Figura 11 – Amostras de telhas analisadas.....	42
Figura 12 – Amostras de telhas nas faixas do infravermelho e do visível.....	43
Figura 13 – Telhado com mais de 10 anos de instalação – Bairro Tarumã – Curitiba.....	43
Figura 14 – Telhados com 2 meses de instalação (à direita) e com 16 meses de instalação (à esquerda) – Bairro Tarumã – Curitiba .....	44
Figura 15 – Fachada da edificação e detalhe de sua cobertura verde – Bairro Vila Izabel – Curitiba.....	44
Figura 16 – Esquema gráfico – camadas de uma cobertura verde.....	45
Figura 17 – Acessibilidade de uma cobertura verde extensiva – Lincoln Center – New York – EUA.....	46
Figura 18 – Vista aérea de uma cobertura verde extensiva – Lincoln Center – New York – EUA.....	47
Figura 19 – Cobertura verde intensiva – Edifício Conde Matarazzo – São Paulo – exterior.....	49
Figura 20 – Cobertura verde intensiva – Edifício Conde Matarazzo – São Paulo – interior.....	50
Figura 21 – Efeitos dos <i>canyons</i> urbanos na atmosfera.....	51
Figura 22 – Mapa mental da dissertação.....	55
Figura 23 – Localização do recorte de pesquisa –.....	58
Figura 24 – Escritório Verde da UTFPR.....	59

Figura 25 – Espécies vegetais.....	60
Figura 26 – Dimensões da cobertura verde sob o telhado do Escritório Verde da UTFPR.....	62
Figura 27 – Telhados de comparação.....	64
Figura 28 – Corte esquemático da cobertura verde e dos telhados de comparação.....	65
Figura 29 – Agitador magnético de temperatura constante.....	67
Figura 30 – Estabilização das temperaturas dos termopares.....	67
Figura 31 – Termopar instalado na cobertura verde.....	68
Figura 32 – Termopar instalado na superfície da telha cerâmica – antes da proteção....	69
Figura 33 – Termopar instalado na superfície da telha cerâmica – depois da proteção.....	69
Figura 34 – Termopar instalado na superfície da telha de fibrocimento – antes da proteção.....	70
Figura 35 – Termopar instalado na superfície da telha de fibrocimento – depois da proteção.....	70
Figura 36 – Conjunto de materiais analisados.....	71
Figura 37 – Delimitação do recorte de estudo e localização do experimento físico.....	73
Figura 38 – Recorte de estudo – lotes com testada para a Av. Sete de Setembro .....	73
Figura 39 – Perfil clássico de uma ilha de calor urbano.....	74
Figura 40 – Recorte de estudo – vista aérea – imagem de 21/05/2009 .....	75
Figura 41 – Recorte de estudo – tipos de coberturas e revestimentos de piso .....	76
Figura 42 – Recorte de estudo – número de pavimentos das edificações .....	77
Figura 43 – Localização dos corredores expressos e vias exclusivas e tipo de revestimentos: asfalto ou concreto.....	80
Figura 44 – Zoneamento do Bairro Centro.....	83
Figura 45 – Período diurno selecionado para o exercício de representação gráfica do recorte de estudo .....	103
Figura 46 – Exercício de representação gráfica das temperaturas no recorte de estudo – período diurno.....	104
Figura 47 – Período noturno selecionado para o exercício de representação gráfica do recorte de estudo.....	105
Figura 48 – Exercício de representação gráfica das temperaturas no recorte de estudo – período noturno.....	106
Figura 49 – Design dos <i>canyons</i> urbanos e sua influência nos ventos.....	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do termômetro e dos termopares tipo K.....	66
Tabela 2 – Pontos de concentração de linhas de ônibus no Bairro Centro.....	79
Tabela 3 – Pavimentos: especificação de tipos e de quantidades no Bairro Centro.....	80
Tabela 4 – Parâmetros construtivos do Bairro Centro.....	82
Tabela 5 – Amostragem dos valores das temperaturas superficiais e do ar: três valores diários.....	90
Tabela 6 – Teste t de <i>Student</i> para comparação das médias de temperatura.....	92

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Desempenho das temperaturas superficiais e do ar.....	87
Gráfico 2 – Atraso do aquecimento das superfícies.....	89
Gráfico 3 – Amplitudes térmicas diárias .....	93
Gráfico 4 – Comparação entre a temperatura das coberturas e do ar.....	95
Gráfico 5 – Período de tempo selecionado para o exercício de representação gráfica..	101

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cer. – Telha cerâmica

CV(s) - Cobertura(s) verde(s)

C.V. – Coeficiente de variação

CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono

EUA – Estados Unidos da América

Fibr. – Telha fibrocimento

ICU(s) – Ilha(s) de calor urbano

IV – Radiação infravermelha

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

PPGECC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil

PEAD - Polietileno de alta densidade

RMC - Região Metropolitana de Curitiba

SE - Setor Especial Estrutural

SH - Setor Especial Histórico

SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná.

Veg. – Cobertura com vegetação

UBL – *Urban boundary layer*

UCL – *Urban canopy layer*

UFPR - Universidade Federal do Paraná

USP - Universidade de São Paulo

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

UV – Radiação ultravioleta

ZC - Zona Central

ZR4 - Zona Residencial 4

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1	Problema de pesquisa.....	12
1.2	Pressuposto.....	12
1.3	Objetivos.....	13
1.3.1	Objetivo geral.....	13
1.3.2	Objetivos específicos.....	13
1.4	Justificativa.....	13
1.5	Contextualização no programa.....	15
1.6	Estrutura da dissertação .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
2.1	Ilhas de calor urbano.....	18
2.2	Propriedades térmicas dos materiais.....	26
2.2.1	A radiação solar e o espectro eletromagnético.....	26
2.2.2	Interação entre a radiação eletromagnética e a matéria.....	28
2.2.3	Mecanismos de transferência de calor.....	28
2.2.3.1	Transferência de calor por condução .....	29
2.2.3.2	Transferência de calor por radiação.....	29
2.2.3.3	Transferência de calor por convecção.....	31
2.2.4	Materiais de cobertura comumente utilizados em edificações.....	31
2.2.4.1	Telhas cerâmicas.....	31
2.2.4.2	Telhas de fibrocimento.....	32
2.2.5	Propriedades termo físicas dos materiais utilizados para coberturas em edificações.....	33
2.2.6	Comportamento térmico de coberturas com telhas cerâmicas.....	35
2.2.7	Propriedades térmicas de coberturas e as ilhas de calor urbano.....	36
2.2.8	O albedo de telhados envelhecidos e seus efeitos sobre as ilhas de calor urbano.....	40
2.3	Caracterização das coberturas verdes.....	44
2.3.1	Coberturas verdes intensivas.....	46
2.3.2	Coberturas verdes extensivas.....	48
2.4	Coberturas verdes e as ilhas de calor urbano.....	50

<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>54</b>
3.1 Delimitação do trabalho e unidade de análise.....	54
3.2 Definição da estratégia de pesquisa.....	54
3.3 Protocolo da coleta de dados.....	56
3.4 Experimento de coleta da temperatura superficial .....	57
3.5 Exercício de representação gráfica no recorte urbano.....	72
3.5.1 Calor antropogênico.....	78
3.5.2 Refletância dos pavimentos.....	79
3.5.3 Parâmetros construtivos do zoneamento.....	82
3.6 Testes de validade.....	84
3.7 Delimitações da pesquisa.....	85
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>86</b>
4.1 Experimento físico – desempenho da temperatura superficial .....	86
4.2 Exercício de representação gráfica das temperaturas superficiais no recorte urbano.....	101
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>110</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>112</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>138</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As intensas e rápidas transformações ocorridas na dinâmica populacional brasileira desde meados do século XX estão na raiz de múltiplos desafios colocados atualmente para gestores públicos, legisladores, setores privados e sociedade em geral. As migrações internas, que em poucas décadas esvaziaram as áreas rurais do País e sustentaram o enorme crescimento da oferta de mão de obra para os mercados industriais do centro-sul brasileiro, deram substância a um processo acelerado de urbanização em todo o território, concomitante com uma expressiva concentração populacional nas regiões de maior dinamismo econômico (MAGALHÃES e CINTRA, 2012). Não obstante a urbanização não implique necessariamente a alta densificação dos espaços das cidades, é frequente que isso ocorra por fatores econômicos e culturais, entre outros, pois muitos habitantes podem assim partilhar da infraestrutura instalada. No caso desses espaços densamente ocupados, observa-se como superfícies impermeabilizadas - tais como ruas e passeios, paredes e coberturas - podem agravar ou atenuar o fenômeno conhecido como ilha de calor urbano (ICU). Um fator comum a esse processo de urbanização e ao fenômeno das ICUs é a frequente ausência de áreas verdes, seja na forma de árvores isoladas, pavimentos gramados, paredes verdes, jardineiras, hortas urbanas, ou outros elementos de cunho ecológico, como os corpos d'água. Sendo assim, a técnica de cobertura verde (CV) tem demonstrado grande eficácia para atenuar a ausência do elemento verde, do elemento natural, nos centros urbanos à medida que repõem à cidade áreas verdes suprimidas pelas áreas edificadas. Um dos benefícios ambientais das CVs amplamente reconhecido é a atenuação dos efeitos das ICUs, através dos mecanismos de evapotranspiração da vegetação, do acúmulo de umidade em seu substrato e da inércia térmica características dessa técnica.

Coberturas de telhas cerâmicas e de fibrocimento são frequentemente utilizadas nas edificações da Cidade de Curitiba-Paraná-Brasil e sendo a cobertura um dos elementos mais importantes nas trocas de calor com o meio ambiente, esta dissertação desenvolve sua investigação estudando a temperatura superficial daquelas coberturas e de uma CV na perspectiva de mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano.



## 1.1 Problema de pesquisa

O centro urbano da cidade de Curitiba, como na maioria das cidades de médio e grande porte do Brasil, apresenta fatores que contribuem para a formação da chamada ilha de calor urbano (ICU), a qual se configura pelo aumento da temperatura do ar em comparação às regiões suburbanas ou rurais próximas. Como exemplo desses fatores citam-se a elevada fração de áreas impermeáveis, representadas pelas construções, pelos passeios e pelas ruas; a poluição causada principalmente pela presença de meios de transporte movidos a combustíveis fósseis e a ausência significativa de áreas verdes (LOMBARDO, 1985).

Sendo assim, apresenta-se o problema de pesquisa: o desempenho da temperatura superficial de uma cobertura verde (CV), se comparada a outras duas coberturas convencionais – telhas cerâmicas vermelhas e de fibrocimento –, poderia mitigar os efeitos das ICUs?

## 1.2 Pressuposto

Nesta pesquisa, parte-se do princípio de que as regiões afetadas pelas ilhas de calor urbano poderiam apresentar temperaturas médias mais amenas durante todas as estações do ano com a utilização de coberturas verdes nas edificações. Formula-se o pressuposto que dentro do ambiente urbano densamente impermeabilizado a utilização desse tipo de cobertura contribuiria para a redução das temperaturas médias superficiais devido às propriedades desse tipo de cobertura, principalmente os efeitos da evapotranspiração das plantas (SUSCA *et al.*, 2011).

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

O objetivo principal da presente dissertação é investigar as variações de temperaturas superficiais em uma CV avaliando a sua possível contribuição na mitigação dos efeitos das ICUs. Para o desenvolvimento desse objetivo geral, propõem-se outros dois específicos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Como objetivos específicos, são apresentados dois pontos:

1. Averiguar o desempenho da temperatura superficial de uma CV extensiva com relação às temperaturas do ar e de outras duas coberturas convencionais: telhas cerâmicas vermelhas e telhas de fibrocimento.
2. A representação gráfica da variável anteriormente estudada (a temperatura superficial) num recorte urbano na cidade de Curitiba, a fim de se visualizar os possíveis efeitos das coberturas estudadas no fenômeno de ICU.

## **1.4 Justificativa**

As discussões acerca da sustentabilidade ganharam força nos anos 1990 a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Rio-92, a qual resultou em vários documentos, entre eles a Agenda 21. Esse documento explicita as principais questões da relação do ser humano com o meio ambiente, através de metas e ações a serem ratificadas como compromissos pelos países signatários, visando ao desenvolvimento sustentável (TAVARES, 2006).

Dentre as metas citadas na Agenda 21, salientam-se as que dizem respeito aos temas ligados à construção civil, o que levou a realização da reunião Habitat em Istambul 1996, a qual originou a Agenda Habitat II, que fala do desenvolvimento sustentável dos assentamentos humanos, prevendo a promoção de materiais de construção mais sustentáveis, que juntamente com técnicas de projeto eficientes

gerariam as chamadas construções sustentáveis. Esse conceito é desenvolvido no documento Agenda 21 para construções sustentáveis pelo CIB – *Conseil International du Bâtiment* (CIB, 1999, *apud* TAVARES, 2006).

Nesse contexto de utilização de técnicas de projetos mais sustentáveis, a CV aparece como uma interessante alternativa devido aos ganhos ecológicos comprovados em pesquisas científicas ao longo das últimas décadas e em várias partes do mundo, como se verá a seguir.

Segundo Catuzzo (2013), o componente vegetal na cobertura das edificações influencia no microclima da cidade, melhorando a qualidade dos indicadores de temperatura e umidade relativa do ar. Já de acordo com autores como Cunha e Mediondo (2004), Ferreira e Moruzzi (2007) e Baldessar (2012) a CV contribui, através dos mecanismos de evapotranspiração e armazenamento, na redução de água de chuva direcionada à galeria de águas pluviais.

A CV prolonga a vida útil de uma cobertura que, protegida pela vegetação, não sofre com os ataques da radiação dos raios ultravioleta, bem como as flutuações de temperaturas diárias que causam repetida contração e expansão das lajes de cobertura, acarretando possíveis infiltrações e os danos disso decorrentes. Sendo assim, há benefícios para o meio ambiente ao se protelar a necessidade de reformas e trocas de coberturas (PORSCH E KÖEHLER, 2003, *apud* NASCIMENTO, 2008).

O uso da CV contribui para a economia de energia em relação ao uso de equipamentos utilizados para aquecer ou resfriar a edificação. Em regiões onde há necessidade de maior isolamento nas construções, há uma redução nos gastos em materiais isolantes, pois a cobertura de uma edificação é um ponto vulnerável para perda de calor (BALDESSAR, 2012). Também Berardi *et al.* (2013) destacam que CVs são altamente eficientes na redução da temperatura interior e na diminuição do nível de consumo de energia do edifício, tanto em climas quentes quanto frios.

Ainda segundo Berardi *et al.* (2013), as CVs contribuem para atenuar muitos efeitos negativos do crescimento urbano, como altas taxas de poluição do ar, perda de habitats e o efeito de ilha de calor urbano. Sobre esta última consequência ambiental, várias pesquisas demonstram que as CVs mitigam seus efeitos, tal como é citado por pesquisadores como Bass *et al.* (2002), Alexandri e Jones (2006), Akbari (2005),

Takebayashi e Moriyama (2009), Gartland (2010), Susca *et al.* (2011), Santamouris (2014), Catuzzo (2013) e Pereira (2014).

Segundo Costanzo *et al.* (2016), a temperatura superficial das construções influencia a temperatura do ar no meio ambiente urbano. Dessa forma, o conhecimento das temperaturas superficiais dos telhados é um passo fundamental para o estudo das soluções propostas para a mitigação dos efeitos das ICUs.

Pelo breve relato das vantagens apresentadas pela técnica de CV, a presente investigação se justifica, por meio das estratégias de pesquisa utilizadas, como mais um aporte técnico-científico que corrobore as tomadas de decisão para a adoção da presente técnica ambientalmente positiva por parte dos agentes envolvidos diretamente no assunto, como arquitetos, engenheiros, investidores e gestores públicos.

### **1.5 Contextualização no programa**

Esta dissertação está inserida na Linha de Pesquisa de Sustentabilidade no Ambiente Construído, na área de concentração Ambiente Construído e Gestão, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, PPG ECC, da Universidade Federal do Paraná, UFPR. Nesse contexto, têm-se algumas pesquisas já desenvolvidas com a temática cobertura verde.

Nascimento (2008) realizou abrangente revisão histórica sobre o tema e teve como objetivo identificar os aspectos técnicos, econômicos e culturais que dificultam a disseminação das coberturas verdes como alternativa para o recobrimento de edificações no contexto urbano da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Concluiu-se com essa pesquisa que os profissionais de Curitiba e RMC, de modo geral, e não obstante o crescente uso de coberturas verdes nas edificações, não conhecem e não utilizam a tecnologia especificada e praticada em países como Alemanha, Suíça, Canadá e EUA.

O estudo desenvolvido por Baldessar (2012) teve como objetivo demonstrar experimentalmente o comportamento de um telhado verde em relação ao processo de gestão de águas pluviais. Ao final desse estudo, a autora concluiu que o telhado verde

realmente contribui, através dos mecanismos de evapotranspiração e armazenamento, para a redução de água de chuva direcionada à galeria de águas pluviais.

Miller (2014) teve como objetivo estudar qual o melhor substrato em coberturas verdes, com as mesmas plantas, para a retenção/escoamento de águas de chuvas em Curitiba. Ao final da pesquisa não foi possível responder ao objetivo proposto de qual seria o melhor substrato para o clima de Curitiba.

Savi (2015), por sua vez, avaliou a influência das espécies vegetais no desempenho dos telhados verdes na cidade de Curitiba através da análise de temperatura superficial, retenção de água da chuva e qualidade da água, em cinco protótipos de telhados verdes e três protótipos de coberturas convencionais como objetos de comparação (laje impermeabilizada, telhado em fibrocimento e telhado cerâmico). Os resultados demonstraram que, para as espécies estudadas, existe uma variação significativa das variáveis analisadas.

Considerando os trabalhos apresentados sobre o tema, a presente dissertação busca contribuir no conhecimento do desempenho da temperatura superficial em coberturas verdes acrescentando, também, o estudo de outros dois tipos de coberturas convencionais amplamente utilizadas no centro urbano de Curitiba: as telhas cerâmicas e as telhas de fibrocimento, tendo como foco as possíveis correlações dos materiais estudados e o fenômeno das ilhas de calor urbano.

## **1.6 Estrutura da dissertação**

No primeiro capítulo são apresentados o problema de pesquisa e o recorte que será dado ao tema, explicando os objetivos e a justificativa que dão relevância ao trabalho.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica do tema, baseada principalmente em periódicos científicos, mas também em livros e outros meios. São abordados principalmente os conceitos envolvendo coberturas verdes e os de ilhas de calor urbano.

No terceiro capítulo são detalhados os materiais e métodos utilizados nesta dissertação, destacando a estratégia de pesquisa e as etapas cumpridas para sua viabilização.

No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados que buscam responder ao problema de pesquisa e aos objetivos propostos.

No quinto, sexto e sétimo capítulos são apresentados, respectivamente, as considerações finais, as sugestões para trabalhos futuros e as referências.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta parte da dissertação serão abordados os assuntos diretamente relacionados ao seu tema central: as ilhas de calor urbano (ICU), as propriedades térmicas dos materiais, as coberturas verdes (CV) e a inter-relação entre CVs e ICUs.

### 2.1 Ilhas de calor urbano

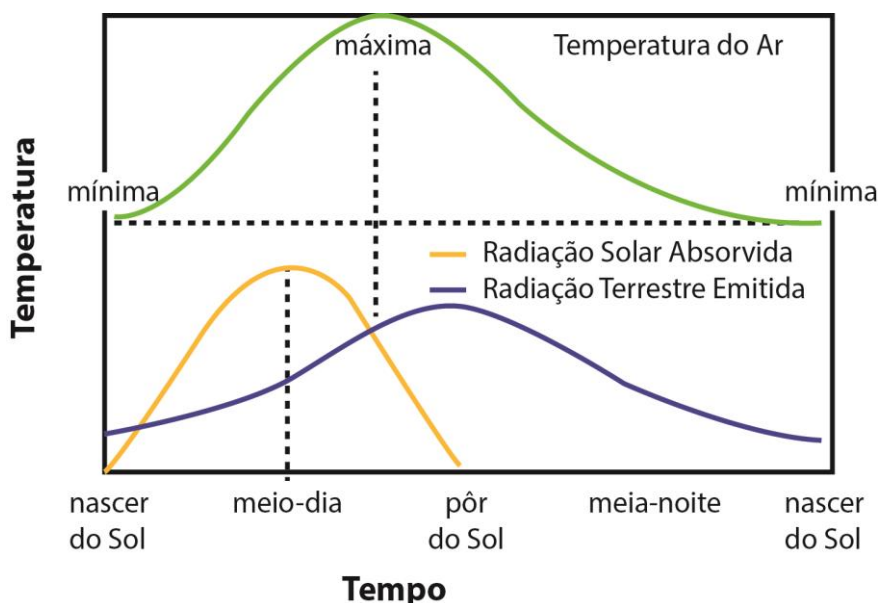
Segundo Lamberts *et al.* (2004) e Pillar (1995), os fatores climáticos podem ser estudados em diferentes escalas. As variáveis do macroclima são quantificáveis em estações meteorológicas e se referem à situação média de longo prazo que ocorrem independentemente da topografia, do tipo de solo e da vegetação. Tais variáveis descrevem as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações. O mesoclima é uma variante local do macroclima resultado da topografia, da vegetação, do tipo de solo e da presença de obstáculos naturais ou artificiais. Uma grande cidade pode alterar as condições do mesoclima pela poluição que gera ou pelo corte indiscriminado de árvores, por exemplo. Já o microclima se refere a variações devidas à proximidade da superfície do solo estando diretamente relacionada à escala da edificação e de seu entorno imediato e onde os profissionais que atuam na concepção da cidade – arquitetos, urbanistas, engenheiros, legisladores, etc – podem tomar decisões construtivas que impactam diretamente nessas variações. De acordo com Pillar (1995), é no mesoclima que acontecem as ilhas de calor urbano (ICU). Portanto, para o presente estudo serão abordados os fenômenos que acontecem no meso e no microclima.

Nas escalas meso e microclimáticas, podem ser citados variáveis como a radiação solar, a temperatura, o vento e a umidade (LAMBERTS *et al.*, 2004). A radiação solar, que pode ser direta e difusa, é interceptada pela superfície do solo, pela vegetação e pelo ambiente construído pelo ser humano. Tal radiação é refletida ou absorvida pelos corpos nos quais incide. A radiação absorvida determina o aquecimento dos corpos que passam a emitir radiação de onda longa. A atmosfera (CO<sub>2</sub>, água) absorve a radiação de onda longa e a irradia em direção à superfície. O balanço ou saldo de radiação é a diferença entre o total de radiação incidente e a soma da radiação refletida e irradiada,

representando o total de radiação que é absorvido pelo solo e vegetação (PILLAR, 1995).

O balanço de radiação é variável ao longo do dia e do ano. A variação diária é função da trajetória do sol e a variação anual é função da declinação solar (PILLAR, 1995). Segundo Roriz (2008), as oscilações horárias da temperatura do ar derivam do ciclo diário de luz e escuridão, decorrentes dos movimentos relativos entre a Terra e o Sol. A Terra absorve radiação solar desde o nascer até o pôr do Sol (FIGURA 01) e, por outro lado, emite constantemente radiações para as camadas altas da atmosfera.

Figura 01 – Ciclo diário de oscilação da temperatura do ar.



Fonte: Roriz (2008).

Ainda de acordo com Roriz (2008), a temperatura superficial do solo é função de seu calor específico e do balanço térmico entre a energia recebida e a emitida. Quanto mais alta for a temperatura superficial, maiores serão as taxas de perdas de calor. Sob condições normais, a radiação solar recebida é máxima ao meio-dia, mas a superfície do planeta continua se aquecendo até o momento do pôr do Sol. Sendo o ar atmosférico praticamente transparente para as radiações solares, seu principal processo de trocas de calor é por convecção com o solo. Assim, as temperaturas mínimas do ar acontecem aproximadamente no momento em que o Sol nasce, enquanto as máximas ocorrem no meio da tarde, quando a radiação emitida pela Terra ultrapassa a absorvida. Também Ahrens (1993) confirma isso, ao afirmar que apesar da radiação solar incidente diminuir após o meio-dia, há ainda a radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre por



algum tempo. Isto leva a um balanço positivo de energia de 2 a 4 horas a mais além do meio-dia e substancialmente contribui para um atraso entre a hora do aquecimento máximo solar e a hora da temperatura máxima, com demonstrado na Figura 02.

Ahrens (1993) afirma que a variação diária da temperatura do ar próximo à superfície é controlada principalmente pela entrada de energia proveniente do Sol e pela saída de energia emitida pela Terra. Esta é influenciada pela capacidade refletora da superfície, ou seja, o albedo ou refletância, característica térmica apresentada na Seção 2.2.

As condições do vento local podem ser alteradas com a presença de vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais (LAMBERTS *et al.*, 2004). Desde o nascer do Sol, os raios solares aquecem o solo, que por sua vez aquece o ar em contato com ele por condução. Contudo, o ar é um mau condutor de calor, e este processo só ocorre até poucos centímetros da superfície. Com o passar do tempo e o aquecimento promovido pelo Sol, próximo à superfície começa a haver convecção, e bolhas de ar ascendente ajudam a redistribuir o calor. Com tempo calmo, isso não mistura o ar efetivamente. Logo, grandes diferenças de temperatura na vertical podem ocorrer. Em dias com vento, entretanto, vórtices turbulentos são capazes de misturar o ar quente da superfície com o ar mais frio acima. Esta forma de mistura mecânica, também chamada de convecção forçada, ajuda a transferir o calor em excesso da superfície com maior eficiência. Portanto, a diferença de temperatura entre o ar próximo à superfície e o ar imediatamente acima não é tão grande em dias com vento quanto em dias calmos (AHRENS, 1993).

A umidade pode ser utilizada para refrescar as edificações, através de lagos, fontes, espelhos de água, coberturas irrigadas, solo úmido ou vegetação. A energia incidente por meio dos raios solares aquece e evapora a água, deixando menos energia para aquecer o ar, podendo ser útil em locais onde o clima é muito seco. A vegetação, por sua vez, absorve energia para o processo de evapotranspiração e entre suas folhas o calor se dissipa pelo processo de convecção. As temperaturas mais altas acontecem sobre regiões secas onde céus claros associados às baixas umidades e vegetação rala permitem que a superfície e o ar acima aqueçam rapidamente. Onde o ar é úmido, névoa e nuvens reduzem a temperatura máxima, refletindo parte da radiação solar (LAMBERTS *et al.*, 2004; AHRENS, 1993).

Segundo Lamberts *et al.* (2004), a umidade relativa tende a aumentar quando há diminuição da temperatura e a diminuir quando há aumento da temperatura. Nos locais com alta umidade, a transmissão de radiação solar é reduzida porque o vapor de água e as nuvens a absorvem e redistribuem na atmosfera, refletindo uma parte de volta ao espaço. Em locais com ar muito seco, os dias tendem a ser muito quentes e as noites frias; já em locais úmidos, as temperaturas extremas tendem a ser atenuadas. A umidade do ar atua diretamente na capacidade da pele de evaporar o suor, logo em altas umidades relativas tem-se mais dificuldades em evaporar o suor, aumentando a sensação de desconforto térmico.

O ambiente construído dos centros urbanos, com sua variedade de materiais e cores, absorve durante o dia o calor através da radiação solar direta, da radiação solar difusa e da radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno, e libera-o à noite. Nesses centros, a temperatura é maior que nas zonas suburbanas ou rurais (EPA, 2014). A energia solar converte-se em calor, a qual permanece em torno do edifício ou das superfícies impermeabilizadas, de modo que pode ocorrer a necessidade do uso de ar condicionado, aumentando o gasto em energia (TAHA *et al.*, 1988; Bass *et al.*, 2002). Forma-se, assim, o fenômeno conhecido como ilha de calor urbano (ICU) o qual pode ser visualizado como uma bolha de calor estagnada sobre as áreas mais densas e verticalizadas e isotermas são traçadas em um mapa, formando os contornos característicos de uma ilha, originando o termo “ilha de calor” (EPA, 2014) (FIGURA 02).

Figura 02 – Caracterização das ilhas de calor urbano.



Fonte: O Autor (2016), adaptado de EPA (2014).

Os efeitos das ICUs foram primeiramente observados em Londres no início do século XIX por Luke Howard, que detectou um “excesso de calor artificial” na cidade, em comparação ao campo, como consequência da revolução industrial (HOWARD, 1833, *apud* GARTLAND, 2010 e COSTANZO *et al.* 2016).

O fenômeno de ICU é amplamente documentado, podendo-se citar vários autores e grupos de estudo que o descrevem. A ICU é causada por um complexo de interações entre muitos fatores, podendo-se citar: a diminuição do albedo urbano, o aumento da rugosidade das superfícies, o aumento da massa térmica por unidade de área, a diminuição das áreas de evaporação (menos áreas verdes e mais áreas impermeáveis) e o aumento da poluição (LOMBARDO, 1985; TAHA *et al.*, 1988). De acordo com Gartland (2010) e EPA (2014), a ICU também sofre influência do calor antropogênico, representado pelo calor produzido pelo ser humano, gerado por edifícios, equipamentos e pessoas. Segundo as pesquisas de Lombardo (1985), essa interferência antropogênica gerada pela intensa atividade urbana diminui as anomalias climáticas, entre elas os efeitos de ICU, nos fins de semana demonstrando como a ação humana interfere nos efeitos da atmosfera.

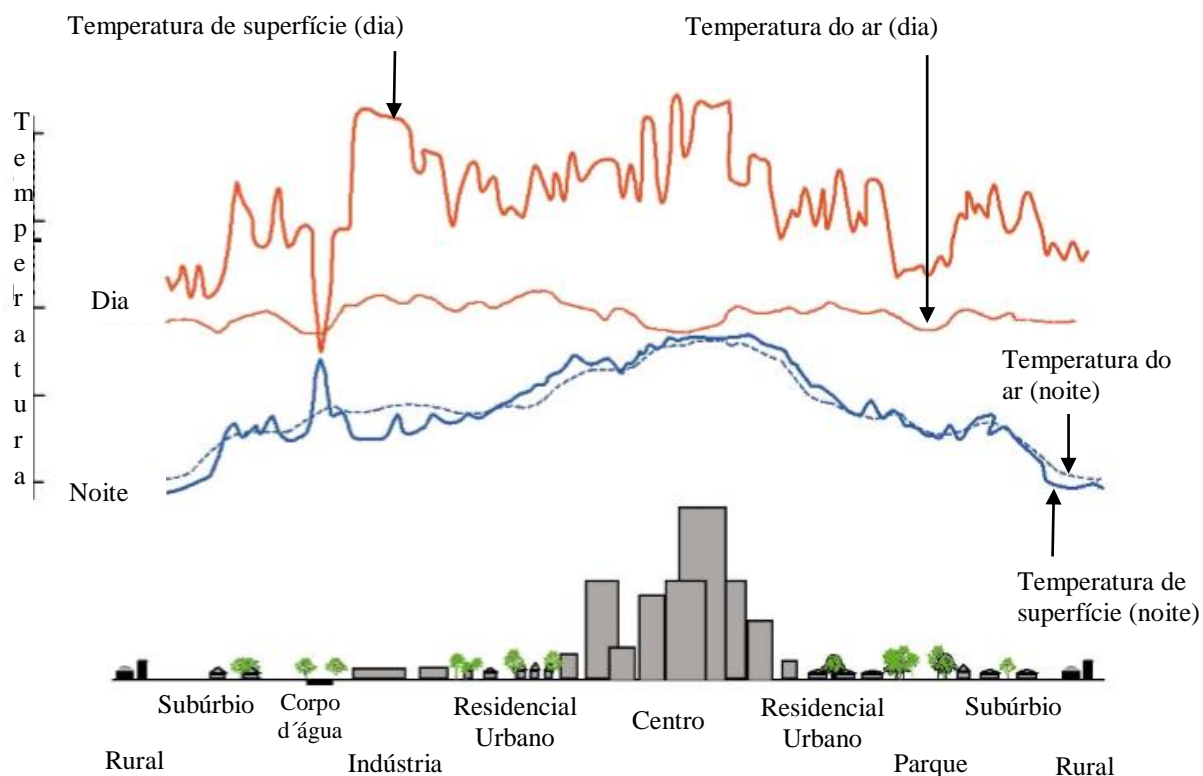
O excesso de calor associado à qualidade do ar nas cidades pode também prejudicar a saúde do ser humano, causando-lhe distúrbios de coração, de circulação e respiração (ERIKSEN, 1978, *apud* LOMBARDO, 1985). Também Bass *et al.* (2002) salientam que em geral temperaturas mais elevadas, no mínimo, aumentam o desconforto térmico dos residentes da cidade e podem causar mais riscos para habitantes com doenças respiratórias e cardíacas. A cidade de Filadélfia tem se preocupado há tempos em reduzir a taxa de mortalidade associada ao calor e foi a primeira nos EUA a implementar um sistema de alerta com relação ao calor e à saúde, o qual se tornou um modelo mundial para a previsão das ondas de calor. O Departamento de Saúde Pública da Filadélfia fornece informações sobre estratégias de redução das ICUs a longo prazo (EPA, 2014).

Outro efeito das altas temperaturas urbanas é o aumento do consumo de energia para climatização e aumento dos picos de demanda de eletricidade. Segundo Akbari (2005), em pesquisa realizada nos Estados Unidos, há um aumento da demanda elétrica urbana de 1,5 a 2% para cada aumento de 1° F (0,6 ° C) na temperatura de verão. De acordo com esse autor, um aumento constante das temperaturas nos centros das cidades

ao longo das últimas décadas significa que 5% a 10% de toda a demanda de eletricidade das comunidades será utilizada para compensar o efeito da ilha de calor, tendo como resultado, além do custo ambiental, o desperdício de dinheiro.

As diferenças de temperatura entre o centro das cidades e suas áreas suburbanas ou rurais ocorrem em duas escalas diferentes: a *urban canopy layer* (UCL) que consiste no ar contido entre os elementos que formam a rugosidade urbana (definida geralmente pela geometria e localização das construções) e a *urban boundary layer* (UBL) que é a porção da atmosfera que é afetada pela presença da área urbana, geralmente considerada a partir do nível dos telhados (OKE, 1987; WILLIAMSON e ERELL, 2001). Segundo EPA (2014), as temperaturas de superfície têm uma influência indireta, mas significativa, nas temperaturas do ar, especialmente na camada mais próxima à superfície, a *urban canopy layer*. Como é possível observar na Figura 03, as temperaturas de superfície e do ar variam mais durante o dia e menos à noite. Parques e áreas com vegetação, devido ao desempenho de suas temperaturas superficiais, contribuem para resfriar a temperatura do ar. Já áreas densamente urbanizadas tendem a apresentar temperaturas do ar mais elevadas. Nota-se como os corpos d'água

Figura 03 – Variações nas temperaturas de superfície e do ar.



Fonte: O Autor, adaptado de EPA (2014).

apresentam, em geral, uma temperatura de superfície durante o dia menor que a temperatura do ar. Devido suas características térmicas, à noite inverte esse desempenho, apresentando temperatura de superfície maior que a do ar.

Souza (2013), através de imagens de sensoriamento remoto<sup>1</sup> *Landsat* e *Modis*, detectou a presença de ICU em várias localidades de Curitiba, inclusive no Bairro Centro, destacando como causas desse fenômeno o tráfego intenso, principalmente o transporte coletivo, as áreas pavimentadas e a expressiva verticalização das construções (FIGURA 04).

Figura 04 – Imagem do Bairro Centro, Curitiba, por meio de sensoriamento remoto.



De cima para baixo, sentido horário: imagem térmica do bairro, vista aérea e vista terrestre (Praça Tiradentes).

Fonte: Souza (2013).

Em Bass *et al.* (2002) é possível observar, através de imagens térmicas de sensoriamento remoto, as diferentes temperaturas das superfícies de coberturas e outros elementos urbanos da cidade de Baton Rouge, EUA. Aqueles autores destacam que os

<sup>1</sup> O termo sensoriamento remoto surgiu na década de 1960 com o objetivo de realizar o levantamento e monitoramento dos recursos da superfície terrestre através do registro da interação da energia eletromagnética com a superfície, com o auxílio de sensores distantes, como os satélites. Uma das vantagens do sensoriamento remoto em relação às técnicas tradicionais de mapeamento, como a fotogrametria e a topografia, deve-se ao fato de que as imagens de sensoriamento remoto possibilitam cobrir grandes áreas com apenas uma imagem (SOUZA, 2013).

telhados podem desempenhar um papel vital na redução dos efeitos das ilhas de calor urbano, já que são algumas das superfícies mais quentes da cidades. Na Figura 05 é possível comparar uma foto aérea de Baton Rouge, EUA, e sua correspondente imagem térmica, destacando-se as superfícies de cores mais quentes com mais altas temperaturas superficiais.

Figura 05 – Baton Rouge, EUA, imagens aérea e térmica.



Fonte: Bass *et al.* (2002).

Para Gartland (2010), as três principais estratégias de mitigação de ICU são as coberturas frescas, pavimentos frescos e árvores e vegetação. As coberturas frescas possuem alta refletância solar (albedo) e alta emissividade térmica. Para tornar pavimentos mais frescos deve-se aumentar sua refletância solar e aumentar sua capacidade de armazenamento e evaporação de água. Já as árvores e a vegetação mitigam as ICUs através de suas sombras, pelo processo de evapotranspiração, que ocorre na fotossíntese, e pelas trocas de calor por convecção que ocorrem entre suas folhas. Nesse sentido, as CVs tornam-se um importante instrumento de mitigação das ICUs, como será relatado na Seção 2.4.

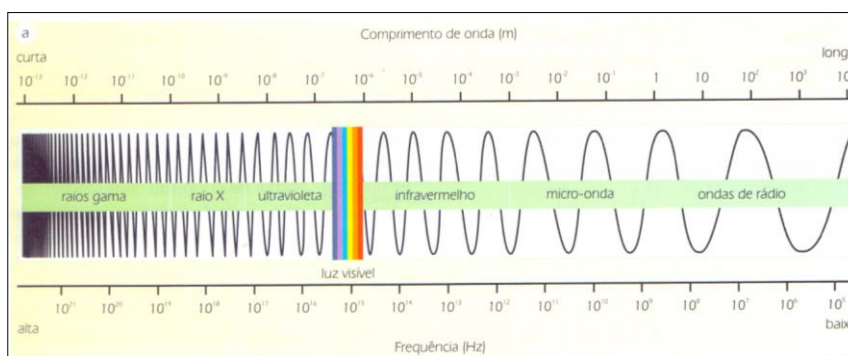
## 2.2 Propriedades térmicas dos materiais

Nesta Seção são relatados conceitos envolvendo as principais propriedades térmicas dos materiais, afim de se ter uma visão geral de como acontecem os fenômenos térmicos junto às superfícies das coberturas.

### 2.2.1 A radiação solar e o espectro eletromagnético

O Sol é a principal fonte de energia para o ser humano e para todos os processos físico-químicos e biológicos que ocorrem na superfície da Terra (MOREIRA, 2005). A propagação de energia solar ocorre em forma de ondas à velocidade da luz (300.000 Km/s) e é medida em frequência, onde a unidade utilizada é o hertz (Hz) e seus múltiplos (quilohertz e megahertz) e em comprimento de onda ( $\lambda$ ) em que a unidade de medida é o metro e seus submúltiplos: micrômetro ( $\mu\text{m}$ ) e nanômetro (nm) (FIGURA 06).

Figura 06 - Radiação eletromagnética em função dos comprimentos de onda e da frequência.



Fonte: Florenzano (2011).

A radiação eletromagnética é subdividida em regiões espectrais de acordo com as características específicas de cada região, portanto, contempla desde comprimentos de ondas curtas como raios cósmicos e raios gama, de alta frequência, até longos comprimentos de onda como ondas de rádio e TV, de baixa frequência (MORAES, 2002; FLORENZANO, 2011).

As regiões do espectro eletromagnético recebem denominações específicas em virtude do tipo de processo físico que origina a radiação eletromagnética, do tipo de

interação entre a radiação e o objeto que a recebe e da transparência da atmosfera (nebulosidade e presença de vapor d'água). A radiação térmica tem na temperatura uma característica relevante, e o domínio deste tipo de radiação é dividido em três outros de acordo com uma ordem decrescente de comprimentos de onda: região da luz ultravioleta (UV), luz visível e o do infravermelho (IV) (BEJAN, 2004). Estes três comprimentos de onda são considerados radiações de ondas curtas (FERREIRA e PRADO, 2003).

A luz ultravioleta é produzida em grande quantidade pelo Sol e apesar de ser quase toda absorvida pela camada de ozônio, tem no seu poder de penetração a característica de ser nociva aos seres humanos. Emitida na faixa de 0,003  $\mu\text{m}$  a 0,38  $\mu\text{m}$  (ou 290 a 380 nm) representa aproximadamente 7% do espectro solar. A baixa refletância deste comprimento de onda pode gerar susceptibilidade à degradação, isso porque a absorvância desse tipo de radiação pode causar, de forma permanente, alterações de ordem estrutural e anatômica em alguns materiais (FERREIRA e PRADO, 2003).

A região do espectro eletromagnético que corresponde à luz visível está localizada dentro da faixa de radiação térmica entre os comprimentos de onda 380 a 780 nm. Correspondendo a 47% do espectro solar que atinge a superfície terrestre, concentra o conjunto de radiações que são detectadas pelo sistema visual humano. A sensação de cor que é produzida através dessa luz está associada a comprimentos de onda em diferentes intervalos espectrais: violeta (0,38 a 0,45  $\mu\text{m}$ ), azul (0,45 a 0,49  $\mu\text{m}$ ), verde (0,49 a 0,58  $\mu\text{m}$ ), amarelo (0,58 a 0,56  $\mu\text{m}$ ), laranja (0,6 a 0,62  $\mu\text{m}$ ), vermelho (0,62 a 0,70  $\mu\text{m}$ ). Essa região do espectro, por estar associado à luz branca, influi diretamente no grau de iluminação dos ambientes. O infravermelho compreende a região do espectro eletromagnético entre 780 nm a 1 mm, corresponde a aproximadamente 46% da radiação solar que atinge a superfície da Terra e divide-se em três sub-regiões: IV próximo (ondas curtas – 780 a 1400 nm), IV médio (ondas médias -1400 a 3000 nm) e IV distante (ondas longas 3000 nm a 1 mm). O intervalo espectral que corresponde ao IV próximo concentra faixa de radiação proveniente do Sol ou de fontes artificiais como lâmpadas incandescentes. Os intervalos espectrais que correspondem à radiação de ondas longas representam o espectro termal, o qual se refere aos comprimentos de onda eletromagnética que são emitidas pelos objetos na superfície terrestre (MORAES, 2002).



### 2.2.2 Interação entre a radiação eletromagnética e a matéria

O Sol é, para o nosso sistema planetário, a principal fonte de radiação eletromagnética graças à sua temperatura superficial que se encontra próximo a 6.000°C. O planeta Terra também representa uma fonte de radiação, porém é muito inferior ao Sol, uma vez que sua temperatura média é de apenas 27°C (MENESES, 2012). De maneira geral, os corpos na superfície terrestre apresentam uma temperatura média de 300 kelvins (K), aproximadamente 27°C, por isso, de acordo com a termodinâmica, toda a matéria que apresenta temperatura acima de zero graus Kelvin ou -273°C, podem absorver e ou emitir energia térmica. Essa energia não necessita de meio material para ocorrer, pois é transportada por meio de radiação eletromagnética. A quantidade de energia absorvida e ou emitida é função direta da temperatura do corpo. A emissão de temperatura pelos corpos apresenta pico máximo em torno de 9,6µm, esta faixa espectral está situada dentro do comprimento de onda pertencente ao termal que vai de 8 a 14 µm (MOREIRA, 2005).

### 2.2.3 Mecanismos de transferência de calor

Para a termodinâmica, o processo pelo qual ocorre a transferência de energia é denominado de transferência de calor, assim a energia será transferida sempre que houver um gradiente de temperatura dentro de um sistema ou quando dois sistemas, com temperaturas diferentes, forem colocados em contato. A transferência de calor é definida, fenomenologicamente, como sendo a interação energética provocada pela diferença de temperatura entre o sistema e seu meio (BEJAN, 2004). Existem três mecanismos de transferência de calor reconhecidos pela literatura específica: condução, radiação e convecção.

Contudo, em Kreith *et al.* (2016), reporta-se que somente a condução e a radiação, por dependerem da existência de diferença de temperatura para ocorrerem, deveriam ser classificados como processos de transferência de calor. A condução e a convecção são mecanismos de transferência de calor que necessitam da presença de um meio para que a energia seja transferida, já a transmissão por radiação é conduzida por ondas eletromagnéticas ou fótons os quais podem viajar por longas distâncias sem interagirem com o meio (MODEST, 2003).

### 2.2.3.1 Transferência de calor por condução

Nesse processo o calor é transferido ou movido basicamente graças à existência de um gradiente de temperatura. Desta maneira, o calor pode fluir ou ser transferido da região onde a temperatura está mais alta para outra onde a temperatura encontra-se mais baixa. Tal mecanismo de transferência de calor necessita obrigatoriamente de um meio material para que o calor possa se propagar (KREITH *et al.*, 2016). Devido à condutividade térmica dos materiais ser considerada como uma propriedade de transporte, ela pode indicar a taxa em que a energia pode ser transferida pelo processo de difusão. Em sendo o processo de condução de calor dependente da estrutura molecular e anatômica da matéria, o fluxo de calor por condução pode aumentar mediante o aumento da condutividade térmica (INCROPERA e DEWITT, 2007). A quantidade de calor que pode fluir através de um corpo é função do gradiente de temperatura existente, do material pelo qual este corpo é constituído, bem como pela sua espessura, sendo assim, a condutividade térmica ( $W/m \cdot K$ ) representa a grandeza física que caracteriza um material quanto à sua capacidade de conduzir mais ou menos calor, tal grandeza classifica o material como melhor ou pior condutor de energia (RODRIGUES, 1998).

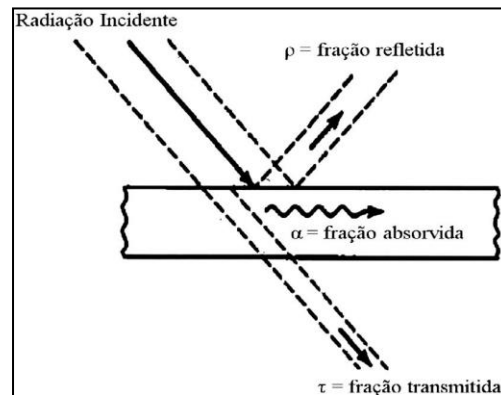
### 2.2.3.2 Transferência de calor por radiação

A energia emitida pela matéria é denominada de radiação térmica. A emissão de energia pode ocorrer não apenas a partir de superfícies sólidas, mas também de gases e líquidos. Pode ser atribuída em função de mudanças nas configurações eletrônicas a nível molecular ou atômico da matéria. A origem da radiação emitida por uma superfície provém da energia térmica da matéria delimitada pela sua superfície, sendo que o poder emissivo da superfície representa a taxa na qual a energia é liberada por unidade de área ( $W/m^2$ ) (INCROPERA e DEWITT, 2007).

A Figura 07 representa a interação entre a radiação térmica e a matéria. Quando a radiação atinge o corpo, parte desta é refletida e o restante da energia será absorvida ou transmitida. As frações da radiação incidente sobre a matéria definem as propriedades radiativas como refletividade ( $\rho$ ), absortividade ( $\alpha$ ) e a emissividade ( $\epsilon$ ). Tais propriedades tem valores que variam entre (0 e 1), portanto se a superfície de um material apresentar ( $\alpha = 1$ ), significa que o material absorve toda a radiação incidente

sobre ele, sendo assim, o material que apresentar  $\rho = 1$  tem a característica de refletir toda a energia irradiada sobre ele. Por isso, se o material é um bom absorvedor de energia, significa que é um mau refletor.

Figura 07 - Interação entre a radiação térmica e a matéria.



Fonte: Holman (1983) e Incropera (2002), *apud* Novo (2014).

A emissividade é uma das propriedades que descreve a capacidade de determinado material emitir energia por radiação. Representa a medida de capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação à outra de um corpo negro sendo que os valores desta grandeza podem variar entre  $0 \leq \epsilon \leq 1$ . De acordo com a Lei de Kirchhoff, para  $(\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda)$  um bom absorvedor em determinado comprimento de onda ( $\lambda$ ), também representa um bom emissor de calor para idêntico comprimento de onda (KREITH, 1973).

A transferência de calor pela radiação representa um importante processo de troca de energia que ocorre tanto durante o dia quanto durante a noite, sendo responsável por uma significativa parcela do total de calor transferido. Quando a porção de radiação transmitida é nula diz-se que o material é opaco e o destino da radiação que incide sobre o corpo será governado pelos processos de reflexão e ou absorção, portanto, é assumida a condição  $(\alpha + \rho = 1)$ , onde a energia radiante absorvida é transformada em energia térmica ou calor e a energia refletida não sofre modificação. Quando se trata de radiação térmica absorvida pelo material, a energia que é reirradiada para o ambiente, ocorre em comprimentos de ondas longas (HALÁSZ, 1994). Na literatura é possível encontrar valores de  $\alpha$  para diversos materiais: telhas cerâmicas ( $\alpha = 0,75/0,80$ ), chapa de alumínio ( $\alpha = 0,05$ ), revestimento asfáltico ( $\alpha = 0,85/0,98$ ), pintura branca ( $\alpha = 0,20$ ), verde-claro ( $\alpha = 0,40$ ) e preta ( $\alpha = 0,97$ ) (CTCV, 2012).

### **2.2.3.3 Transferência de calor por convecção**

O processo através do qual o calor é transferido entre uma superfície sólida e um fluido em movimento é denominado de convecção. Durante o processo, o calor é removido do material sólido aquecido, que aquece o fluido e este vem a transferir a energia recebida para o seu entorno. Este modo de transmissão de calor pode ocorrer por duas vias principais:

- a) Convecção natural: ocorre através do movimento do fluido graças ao empuxo que ocorre devido a um gradiente de massa específica de cunho gravitacional.
- b) Convecção forçada: ocorre quando a taxa de transferência de calor é aumentada por um agente externo (bombas ou ventiladores) (INCROPERA, 2007).

O processo de transmissão por convecção é caracterizado pela grandeza física representada pelo coeficiente de transmissão de calor por convecção ( $h_c$ ), cujo valor dependerá de fatores como a natureza e velocidade do fluido, geometria e rugosidade do objeto entre outros fatores que podem influenciar a transmissão de calor por este meio.

### **2.2.4 Materiais de cobertura comumente utilizadas em edificações**

Os telhados são construções destinadas a proteger os edifícios das intempéries. A sua composição emprega uma estrutura, condutores de águas pluviais e uma cobertura. Esta é verdadeiramente o elemento de proteção das edificações (MOLITERNO, 1981; LENOTTI, 2010). Para as coberturas podem ser utilizados uma vasta gama de materiais, porém como elementos principais desta pesquisa, se discute a utilização de coberturas com telhados de cerâmica, de fibrocimento e cobertura verde.

#### **2.2.4.1 Telhas cerâmicas**

As telhas cerâmicas amplamente utilizadas nos telhados brasileiros representam uma das mais antigas e acessíveis opções de telhas disponíveis. São, em geral, muito populares por se adequarem ao clima tropical e por oferecerem uma ótima relação custo-benefício. São oferecidas em uma variedade de formas proporcionando uma vasta

gama de possibilidades arquitetônicas com o uso deste material. Os vários tipos de telhas cerâmicas apresentam características comuns como isolamento térmico, isolamento acústico, difusão de vapor, variação de volume e resistência ao fogo (FIGURA 08) (LENOTTI, 2010).

No Brasil, há registros do uso de telhas cerâmicas desde seu descobrimento. Inicialmente, as telhas eram moldadas nas pernas dos escravos, com uma produção essencialmente manual e com mão-obra-escrava (ANICER, 2000 *apud* BASTOS, 2003). A NBR 15310/2009 estabelece critérios quanto à terminologia, requisitos e métodos de ensaio das telhas cerâmicas.

Figura 08 - Cobertura com telhas cerâmicas – Bairro Tarumã – Curitiba.



Fonte: O Autor (2016).

#### **2.2.4.2 Telhas de fibrocimento**

As telhas de fibrocimento, depois das telhas cerâmicas, são as mais conhecidas dos brasileiros. São fabricadas em diversos modelos, tamanhos, espessuras e tem como característica diferencial a sua constituição por fibras de cimento. Além da versatilidade, elas apresentam características importantes como leveza e resistência.

Por poderem ser pintadas, este tipo de material, usado nas coberturas de edificações no país, pode melhorar tanto a estética, quanto as características de comportamento térmico dos telhados. Por serem também materiais resistentes a atmosferas agressivas, resistindo à corrosão, tendem a ganhar mais espaço nas especificações de clientes e dos projetistas (FIGURA 09) (LENOTTI, 2010).

A NBR 7581/2014 traça os requisitos obrigatórios para as telhas de fibrocimento, como classificação, requisitos, ensaios e padronização. De acordo com essa norma, as telhas de fibrocimento são constituídas de uma mistura homogênea, em presença de água, de cimento Portland, agregados, adições de aditivos e fibras de origem mineral (crisotila). Elas podem ser fornecidas na cor natural, com ou sem revestimento incolor, ou coloridas por adição de pigmentos na mistura ou por aplicação de pintura (TARGET, 2016).

Figura 09 - Cobertura com telhas de fibrocimento – Bairro Tarumã – Curitiba.



Fonte: O Autor (2016).

### **2.2.5 Propriedades termo físicas dos materiais utilizados para cobertura de edificações**

De acordo com Peralta (2006), as propriedades termo físicas que influenciam as transferências de calor através dos materiais construtivos utilizados em edificações são:

- Em relação às características superficiais do material e a sua interação com radiação de onda longa: refletância, absorbância e emissividade;
- Em relação às características dos materiais e sua interação com a radiação solar: transparência e opacidade do material;
- Condutividade térmica;
- Resistência e condutância térmica;

- Coeficiente de convecção superficial;
- Calor específico;
- Capacidade térmica de componentes;
- Coeficiente global de transmissão térmica de componentes.

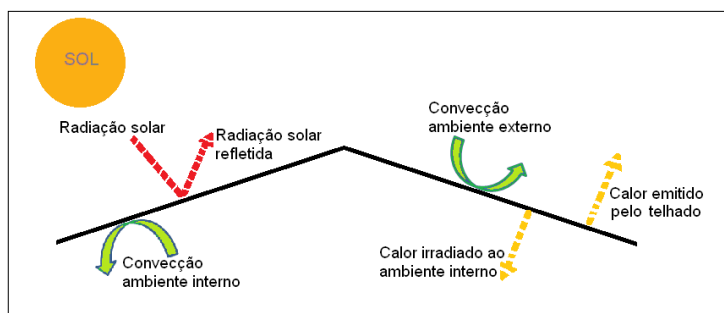
Na maioria das edificações as coberturas são o elemento mais exposto à radiação solar de ondas curtas, isso as torna componentes responsáveis pela transmissão de grande parte do fluxo de calor transferido para as edificações e seus entornos (FERREIRA e PRADO, 2003). A absorvância, refletância e emissividade estão entre as propriedades termo físicas de maior interesse para esta pesquisa, por serem aquelas que caracterizam a superfície dos materiais de cobertura em relação à sua interação com a radiação térmica.

De acordo com ABNT (2005), as propriedades térmicas podem ser definidas como:

- Absorvância: quociente entre a taxa de radiação solar absorvida por determinada área, pela taxa de radiação incidente sobre a mesma área;
- Refletância: quociente entre a taxa de radiação solar refletida por determinada área, pela taxa de radiação incidente sobre a mesma área;
- Emitância: taxa de emissão de radiação por unidade de área.

Dada à sua importância, as coberturas representam o componente responsável por grande parte do fluxo de calor transferido, não somente para a edificação, mas também para seu entorno (FERREIRA e PRADO, 2003). Nas coberturas constituídas por telhados e forros ocorrem trocas de calor entre o ambiente externo e interno (VITTORINO *et al.*, 2003). Um fracionamento da radiação solar irá ocorrer quando esta incidir sobre o telhado. Dependendo das propriedades termo físicas do material utilizado na cobertura, a radiação poderá ser parcialmente absorvida, refletida ou transmitida. Assim, a radiação solar de ondas curtas que atinge um telhado em parte é refletida, e a quantidade de energia que é absorvida pelo material de cobertura poderá retornar à atmosfera em forma de radiação de ondas longas (MICHELS *et al.*, 2008) (FIGURA 10).

Figura 10 - Esquema de troca de calor entre o telhado e o ambiente ao seu redor.



Fonte: Galindo (2015).

Quanto maior o albedo, maior a porcentagem da radiação incidente que é refletida e, portanto, uma menor parcela de energia é convertida em calor, resultando em temperaturas superficiais menores (GIORDANO e KRUGER, 2013). Bueno (1994) lista os mecanismos que interferem nos processos de transferência de massa e energia das telhas expostas ao meio ambiente:

Transferência de massa:

- Trocas de umidade entre as telhas e o meio externo;
- Trocas de umidade entre o meio interno e as telhas;
- Transferência de massa no interior das telhas devido aos gradientes de umidade;
- Acúmulo de massa no interior das telhas.

Transferência de energia:

- A radiação solar incide sobre o telhado;
- Radiação de ondas longas emitidas pelo sol e pelas telhas;
- Trocas de energia entre o ar externo em movimento e as telhas (convecção);
- Trocas de energia entre o ar interno, entre forro e telhado e as telhas (convecção);
- Trocas de energia no interior das telhas (condução);
- Acúmulo de energia nas telhas;
- Trocas de calor latente em função da condensação da umidade do ar e evaporação da umidade armazenada nas telhas.

### 2.2.6 Comportamento térmico de coberturas com telhas cerâmicas

De acordo com Bueno *et al.* (1994), as telhas cerâmicas apresentam um comportamento térmico superior ao das telhas de fibrocimento e a de outras telhas comerciais. A compreensão do fenômeno físico que dá às telhas cerâmicas esta



qualidade térmica acontece porque é durante a noite que as telhas cerâmicas perdem calor para o ambiente externo na forma de radiação de ondas longas. Como resultado da perda de energia (calor) pela radiação, a temperatura dos telhados cobertos pelo material cerâmico fica mais baixa do que a temperatura do ar ao redor da cobertura. Neste processo ocorre a formação de um gradiente de concentração de vapor onde as telhas cerâmicas passam a receber a umidade do ar.

Assim, durante o dia as telhas se encontram com alta umidade interna, adquirida durante a noite. À medida que ocorre a elevação das temperaturas atmosféricas diurnas, ocorre uma inversão do processo, ou seja, as telhas ganham energia irradiada pelo Sol, através de ondas curtas, e os telhados apresentam uma elevação de temperatura. Parte da radiação solar recebida durante o dia é utilizada no processo de evaporação da umidade que o telhado adquiriu durante a noite anterior. Isso faz com que a temperatura das telhas fique menor durante o dia.

A extensa porosidade que as telhas cerâmicas apresentam facilita o preenchimento de seus consideráveis poros com líquido. Nem todos os poros das telhas cerâmicas podem apresentar água em seu interior, naqueles que não estão preenchidos com líquido, vai ocorrer a transferência de vapor d'água por difusão, porém naqueles preenchidos, as trocas de líquido se processam por condensação, migração capilar e condensação. A fixação de umidade noturna pelas telhas, seja por orvalho ou pela chuva, proporciona ao material cerâmico uma menor amplitude térmica, visto que devido à retenção de umidade à noite, a telha ganha energia por calor latente de condensação e durante o dia perde energia por calor latente de vaporização (BUENO *et al.*, 1994).

### **2.2.7 Propriedades térmicas dos materiais de cobertura e as ilhas de calor urbano**

As ICUs contribuem para o aumento no consumo de energia de refrigeração em edificações. O balanço de energia tanto de um único edifício, quanto de uma cidade inteira, apresenta dependência da radiação líquida que é refletida de suas superfícies. Portanto, esta dependência está relacionada ao albedo (ou refletância), termo que se refere à refletividade de uma superfície em relação ao espectro solar. Por exemplo, quando se diz que um determinado material apresenta albedo igual a um, isto significa que sua superfície é completamente reflexiva, porém se uma determinada superfície

apresentar um albedo nulo, trata-se de um material que absorve completamente a radiação que incide sobre ele.

Enquanto a refletância de uma superfície estabelece uma dependência da frequência da radiação que incide sobre ela, o albedo de uma única edificação ou de uma cidade inteira pode ser modificado com a intenção de se realizar economia de energia. Em geral, na natureza são encontrados para diferentes superfícies variações de albedos que vão desde branco reflexivo (0,9) a negro escuro (0,05). Muitos prédios e cidades podem apresentar uma gama de albedo entre (0,20 a 0,35), embora tais valores possam variar dependendo das características das superfícies dos materiais (Akbari *et al.*, 1988).

De acordo com Taha (1997), é possível fazer com que as cidades revertam o processo que viabiliza a formação das ilhas de calor simplesmente através do aumento do albedo das coberturas, dos materiais de pavimentação e com o reflorestamento de áreas urbanas. Razoáveis incrementos no albedo de áreas urbanas, podem atingir um decréscimo de até 2°C na temperatura do ar, entretanto, em determinadas circunstâncias, incrementos extremos de albedo podem gerar decréscimos de temperatura que chegam a 4°C.

O albedo é, portanto, um dos parâmetros mais relevantes na caracterização dos materiais utilizados em coberturas (CTCV, 2012). De acordo com Ferreira e Prado (2003), o tema albedo e sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados nas edificações no Brasil estão atrelados à necessidade de propostas por soluções passivas que possam mitigar os efeitos nocivos das ilhas de calor. Daí surge a necessidade de avaliação do desempenho espectral dos materiais utilizados como cobertura das edificações brasileiras.

Segundo Berdahl e Bretz (1997), as trocas de calor que acontecem com as coberturas das edificações tendem a ser maiores entre a superfície do material utilizado como cobertura e seu entorno. A massa térmica das coberturas tem a propriedade de reduzir a temperatura de pico dos telhados durante o dia liberando-a durante a noite e com isso, favorecer a intensificação das ICUs no período noturno.

Cada material utilizado como cobertura pode atingir uma temperatura superficial em função de seu albedo e da sua emissividade, por isso, quanto mais próxima a temperatura superficial do material de cobertura estiver da temperatura do ar, menores serão as transmissões de calor por convecção da cobertura para o ar e por radiação de onda longa para o entorno das edificações (FERREIRA e PRADO, 2003). O desempenho térmico dos materiais é avaliado pela sua temperatura superficial, a qual

está vinculada ao poder de emissividade de cada material. A emissividade é, também, responsável pelo resfriamento radioativo do material e pela quantidade de radiação térmica que é irradiada para o entorno (FERREIRA e PRADO, 2003). De acordo com estes autores, as superfícies que apresentam albedo e emissividades elevadas tendem a permanecer mais frias quando em contato com a radiação solar direta, pois além de absorverem em menor quantidade, podem emitir mais radiação térmica para o espaço, como consequência emitem menor quantidade de calor para o entorno.

Ainda em relação às características dos materiais utilizados como cobertura de edificações, deve-se salientar que a literatura relata outros parâmetros importantes que podem influenciar na dinâmica das trocas de calor entre coberturas e o seu entorno. A cor das coberturas também representa um importante parâmetro na determinação das necessidades energéticas das edificações. De acordo com CTCV (2012), a cor é uma característica muito importante, assim devem ser utilizados materiais de cobertura de cores mais claras nas áreas de climas mais quentes que apresentam um nível de radiação solar mais elevado.

Bueno (1994) estudou a transferência de calor e umidade entre diferentes tipos de telhas, incluindo telhas de fibrocimento e telhas de cerâmica nas cores branca, vermelha e prata, com e sem permeabilidade. No experimento, as temperaturas foram tiradas no centro de cada telha. As amostras de telhas utilizadas eram novas sem a apresentar mudança de cor causada por fungos ou sujeiras. Ao comparar os perfis de temperatura de telhas de amianto pintadas com cal e de telhas de cerâmica vermelha, constatou-se que as telhas de amianto pintadas apresentaram temperaturas diurnas entre 12 e 16 horas maiores do que as temperaturas das telhas em cerâmica vermelha, mencionando que o desempenho térmico do material em fibrocimento ocorre em virtude deste absorver menor quantidade de umidade em relação ao material cerâmico o qual devido à sua porosidade tem maior capacidade de hidratação o que proporciona menor aquecimento. O autor conclui que telhas cerâmicas porosas podem absorver umidade do ar no período noturno e perder umidade no diurno ficando com temperatura menor. Esta dinâmica proporciona ao material cerâmico uma menor amplitude térmica. Portanto, o desempenho térmico das telhas cerâmicas foi considerado superior em relação a outros tipos de telhas comerciais como aquelas feitas de fibrocimento.

A característica de absorção da umidade pelas telhas cerâmicas e sua influência na temperatura também é reportada em Michels *et al.* (2008). Ao estudarem a redução do fluxo de calor em telhados com telhas de barro porosas e esmaltadas, constataram que a

utilização de telhas cerâmicas porosas proporcionou uma redução superficial de temperatura de 15,6°C em relação à temperatura de telhas esmaltadas avermelhadas. Os autores relatam que o decréscimo de temperatura ocorreu devido ao gasto de energia com o processo de evaporação da água presente nos poros das telhas cerâmicas. Em relação à capacidade de refletância da radiação solar, constataram que telhas cerâmicas esmaltadas de cor branca apresentaram uma diminuição de temperatura superficial de 12,9°C em relação às telhas esmaltadas de cor avermelhada. Atribuíram a redução de temperatura à capacidade de reflexão da cor branca que reflete 80% da radiação e absorve 20%.

Estudos sobre o desempenho térmico através de medições do albedo de materiais utilizados para cobertura de edificações, incluindo telhas cerâmicas e de fibrocimento, também são relatados em trabalhos técnico-científicos a respeito do tema. Ferreira e Prado (2003) pesquisaram a medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. Com a utilização de espectrofotômetro avaliaram o ganho de calor em coberturas através de cálculo da temperatura superficial de vários materiais de cobertura como cerâmica vermelha, cerâmica branca, fibrocimento e outros, quando estes foram submetidos à radiação solar. Em relação à radiação térmica referente aos comprimentos de ondas curtas e sua interação com a cor dos materiais, os autores relatam que materiais metálicos sem pintura apresentaram o melhor desempenho de refletância na região do ultravioleta chegando a atingir 70%. Amostras de alumínio pintado e aço galvanizado apresentaram refletância em torno de 8%. Os autores identificaram que para materiais metálicos pintados existiu uma deficiência da tinta, fator que provavelmente deixa os materiais mais susceptíveis ao desbotamento na região do UV. Quando analisaram materiais não metálicos como cimento colorido, cerâmica branca e vermelha, os valores de refletância para esses materiais ficaram em torno de 9 e 15%, valores estes que são inferiores à aqueles encontrados para o material fibrocimento que chegou a atingir refletância em torno de 25% para a região UV.

No intervalo espectral que representa a luz visível, a cor branca utilizada em aço galvanizado apresentou maior desempenho de refletância para materiais metálicos pintados com essa cor (78% aproximadamente), para os sem pintura a refletância aproximada foi de 70%. Para os materiais não metálicos, a cerâmica branca obteve o melhor desempenho, com refletância em torno de 53%. Para a região do infravermelho, Ferreira e Prado (2003) relatam que a cerâmica vermelha, a cerâmica branca e os

materiais metálicos sem pintura apresentaram elevada refletância chegando a 70%. Para este comprimento de onda espectral, os demais materiais analisados como fibrocimento e cimento colorido, os valores de refletância ficaram abaixo de 40%. Os autores enfatizam que houve variação dentre os materiais estudados e alguns obtiveram baixa refletância para a região do visível, porém aqueles que tiveram alta refletância para a região do infravermelho tiveram valores elevados de albedo.

Galindo (2015), ao analisar o desempenho térmico de quatro tipos de telhados, relata que extremo aquecimento de superfícies contribui para a formação das ilhas de calor. Em sua pesquisa foram avaliadas as temperaturas superficiais de materiais utilizados como coberturas de edificações: telhado 1A (chapa de aço galvanizado sem tinta reflexiva), telhado 1B (chapa de aço galvanizado pintado com tinta reflexiva), telhado 2A (duas chapas de aço galvanizado sem tinta reflexiva intercaladas por camada de poliuretano), e telhado 2B (duas chapas de aço galvanizado pintadas com tinta reflexiva intercaladas com camada de poliuretano). Galindo concluiu que o telhado 1A apresentou o pior desempenho térmico dentre os materiais avaliados, pois a temperatura superficial do telhado oscilou entre 47°C e 64°C e a temperatura das camadas de ar próximas à superfície oscilou entre 43°C e 67°C. Os melhores resultados foram observados com os telhados 2B com temperaturas de superfície de telhado e do ar oscilando entre 30°C a 42°C e 27°C a 37°C, respectivamente. Os piores resultados de desempenho térmico foram observados para os telhados 1A e 2A, os quais não receberam pintura com tinta reflexiva da cor branca. A autora constata a importância da utilização de tintas reflexivas no aumento da eficiência energética de telhados e com isso um elemento a mais para auxiliar na diminuição das temperaturas de superfície de materiais que contribuem para a geração de ICUs.

### **2.2.8 O albedo de telhados envelhecidos e seus efeitos sobre as ICUs**

De acordo com Taha (1997), as causas e os efeitos dos climas urbanos e as ilhas de calor, além de serem variadas, apresentam complexas interações. O fenômeno das ilhas de calor vem se tornando cada dia mais intenso nas metrópoles. Além de alterar o microclima urbano, por acentuar fenômenos climáticos, causa prejuízo de todas as espécies (FERREIRA e PARADO, 2003).

A utilização de materiais que tenham albedo (refletância) elevado pode reduzir a quantidade de radiação solar absorvida pelos envelopes das edificações e também pelas

estruturas urbanas (TAHA, 1997). Os benefícios da utilização dos materiais de cobertura que apresentem albedo elevado são representados não apenas pela diminuição de gastos de energia para refrigeração de edificações, mas sua importância é reconhecida pela mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano e do aquecimento global (SLEIMAN *et al.*, 2014).

O albedo compreende um dos parâmetros mais relevantes na caracterização dos materiais utilizados em coberturas (CTCV, 2012). Quando se trata de telhados, é preciso salientar que com o tempo de uso aqueles que apresentam alta refletância tendem a apresentar uma diminuição dessa característica devido à sua exposição natural ao meio externo (SLEIMAN *et al.*, 2014). Os benefícios térmicos proporcionados pela utilização de telhados considerados bons refletores de radiação solar podem diminuir em função de sujeidade e da ação das intempéries, pois estes dois agentes estão entre os responsáveis pela perda de refletância dos materiais de cobertura considerados bons refletores (LEVISON, 2006; REVEL *et al.*, 2013).

A diminuição do albedo de coberturas claras em função da deposição de partículas existentes na atmosfera é relatada em outras pesquisas relacionadas a esse assunto. De acordo com Bretz e Akbari (1997), o declínio da refletância solar ao longo do tempo pode variar de acordo com o material de cobertura, pois em decorrência da sujeira acumulada sobre a superfície do telhado pode haver diminuição do albedo dos materiais de cobertura que apresentam cores claras. Aqueles autores pesquisaram 25 amostras de cobertura na cor branca e puderam observar que a refletância dos telhados de cores claras diminuiu em 15% no primeiro ano de uso e que nos anos subsequentes o decréscimo diminuiu em 2%. Para Levinson (2005) e Revel (2013), o decréscimo do albedo também é resultante da exposição dos telhados às intempéries.

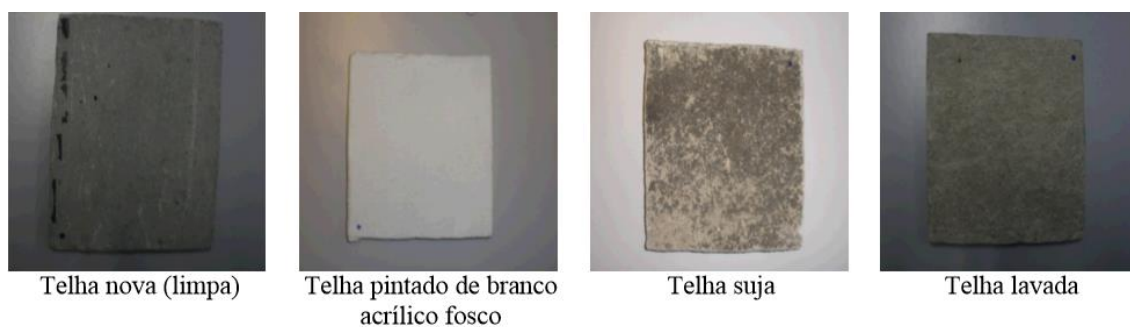
Para Berdahl *et al.* (2006), materiais de cobertura por estarem expostos a elementos como vento, radiação solar, granizo, chuva, neve e poluição atmosférica tem, como consequência, uma degradação ao longo do tempo. Alguns destes elementos são mais ou menos importantes dependendo da região e do clima local. O material particulado presente na atmosfera consiste na principal fonte de sujeidade que se acumula nas superfícies externas das edificações, por isso a sua composição indica os principais elementos que o constitui (FAVES *et al.*, 2006; FERM *et al.*, 2006). De acordo com Berdahl *et al.* (2006), o processo de sujamento das coberturas acontece devido à deposição de elementos como carbono existente na atmosfera, poeira, partículas

provenientes de material orgânico e inorgânico, além do crescimento de micro-organismos.

Levinson *et al.* (2005) analisaram os efeitos da sujeidade na refletância e absorbância solar de 15 amostras de telhados brancos ou cinza-claro retiradas de diferentes coberturas em várias localidades dos EUA e com um tempo de uso entre 5 e 8 anos. Os autores relataram que a alta refletância solar de coberturas brancas (cerca de 0,8) pode diminuir pela deposição de fuligem, poeira e biomassas, como por exemplos fungos e algas, chegando a um valor de 0,6, representando uma diminuição de aproximadamente 25% no índice de refletância da cobertura. Foram aplicadas algumas técnicas de higienização e eliminação dessas sujidades e todas as coberturas apresentaram até 90% de restabelecimento de seus índices de refletância.

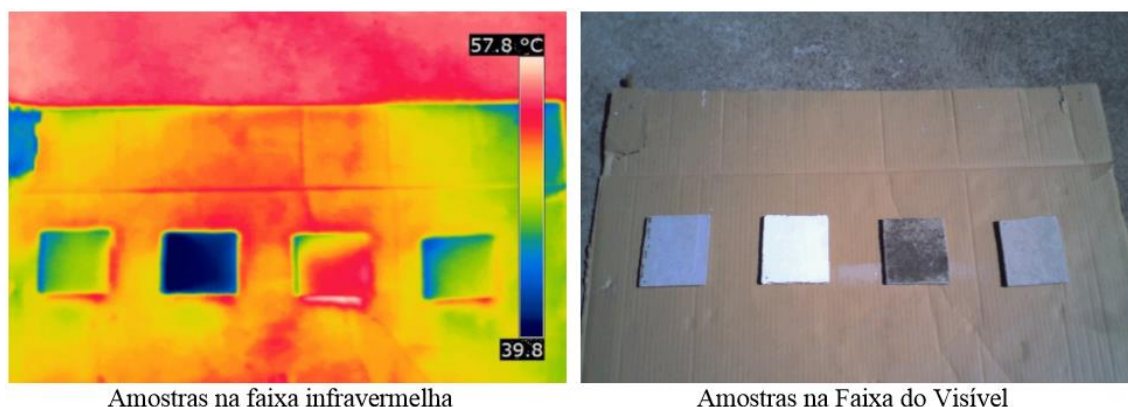
Silveira *et al.* (2012) realizaram uma avaliação comparativa dos valores de absorbância e temperatura superficial entre telhas de fibrocimento com diferentes acabamentos superficiais. As amostras consideradas (FIGURA 11) foram telha nova (limpa), telha pintada de branco (acrílico fosco), telha suja (condição normal da telha depois de vários anos) e telha lavada. As temperaturas superficiais foram registradas através de uma câmera térmica que produz imagens em infravermelho (FIGURA 12). Dentre todas as amostras analisadas, a telha suja foi a que apresentou os maiores valores de absorbância (84,4%) e de temperatura superficial (52,6°C), seguida da telha nova, com absorbância de 59,3% e temperatura superficial de 47,4°C.

Figura 11 – Amostras de telhas analisadas.



Fonte: Silveira *et al.* (2012).

Figura 12 – Amostras de telhas nas faixas do infravermelho e do visível.



Fonte: Silveira *et al.* (2012).

Suehrcke *et al.* (2008) fizeram simulações de ganhos de calor para edifícios que necessitem de refrigeração, utilizando telhados de cores com diferentes absorbâncias e concluíram que em climas quentes há uma significativa redução na necessidade de refrigeração ao se utilizar coberturas refletivas ou claras, no lugar de escuras. Também concluíram que o envelhecimento e o desgaste diminuem a refletância do telhado, principalmente em seu primeiro ano de instalação.

Nas Figuras 13 e 14 é possível verificar visualmente como há uma significativa diferença de coloração nas telhas cerâmicas presentes nos centros urbanos ao longo do tempo sujeitas, além dos fatores climáticos, à ação da poluição de agentes antropogênicos, como a fumaça dos carros e de fábricas. Como visto no relato de várias pesquisas sobre o tema é possível perceber a relevância da questão da alteração da refletividade da superfície das coberturas em sua relação com as ICUs.

Figura 13 – Telhado com mais de 10 anos de instalação - Bairro Tarumã – Curitiba.



Fonte: O Autor (2016).



Figura 14 – Telhados com dois meses de instalação (à direita) e com 16 meses de instalação (à esquerda) - Bairro Tarumã – Curitiba.



Fonte: O Autor (2016).

### 2.3 Caracterização das coberturas verdes

As coberturas verdes (CVs) caracterizam-se pela aplicação de vegetação sobre a cobertura de edificações, com impermeabilização e drenagem adequadas (NASCIMENTO, 2008). São consideradas como uma técnica passiva que pode ser utilizada para ganhos ecológicos no ambiente urbano (KOSAREO e RIES, 2006). Segundo Peck *et al.* (1999), essa técnica tem sido usada de forma recorrente em diversos países do mundo, há centenas ou até milhares de anos, o que se deve principalmente às suas excelentes qualidades de isolamento proporcionadas pelas diversas camadas que a compõem e por sua vegetação. Em climas frios as CVs ajudam a reter calor no edifício e nos climas quentes ajudam a manter o calor fora da construção (FIGURA 15).

Figura 15 – Fachada da edificação e detalhe de sua cobertura verde no Bairro Vila Isabel em Curitiba.



Figura 15 continua na próxima página.

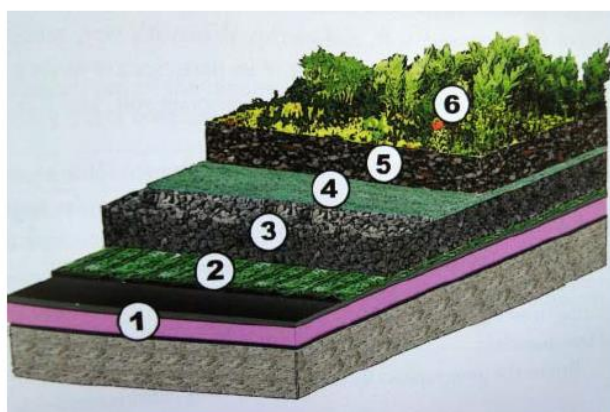
Continuação da Figura 15.



Fonte: Baldessar (2012).

Geralmente são classificadas em extensivas e intensivas, de acordo com a espessura do meio de cultura, o qual condiciona o tipo de vegetação utilizada (KOSAREO e RIES, 2006). De uma forma geral as camadas incluem, de cima para baixo: a vegetação, substrato, filtro de tecido de drenagem e camadas de retenção de água, camada de proteção da raiz, isolamentos, impermeabilização e uma cobertura ou pavimento (FIGURA 16). A vegetação aplicada às CVs não se restringe apenas a espécies ornamentais, podendo-se aplicar também o conceito de hortas urbanas, tal como fizeram Savi *et al.* (2015), os quais demonstraram a possibilidade de cultivo de hortaliças como nabo, beterraba e alface.

Figura 16 – Esquema gráfico - camadas de uma cobertura verde.



1 - pavimento do telhado, isolamento e impermeabilização.

2 - proteção e camada de armazenamento.

3 - camada de drenagem.

4 - camada anti-raiz e filtro permeável.

5 - camada de substrato.

6 - vegetação.

Fonte: Snodgrass e McIntyre, *apud* Baldessar (2012).

### 2.3.1 Coberturas verdes intensivas

As coberturas extensivas (FIGURAS 17 e 18) são as que possuem a menor espessura de substrato e, por conseguinte, condicionam a utilização de vegetação de pequeno porte e menor diversidade, como musgos, *sedum*, herbáceas e gramas (INGRA, 2016). Segundo Peck *et al.* (1999), e comparando-se com as intensivas, as coberturas extensivas geralmente não são acessíveis, têm um aspecto mais natural, baixo custo de implantação e de manutenção. Também exigem pouca ou nenhuma irrigação e fertilização, as quais são feitas geralmente até a estabilização da vegetação.

O substrato de suporte à cobertura vegetal possui entre 5 e 15 cm e seu peso pode variar entre 73 e 169 kg/m<sup>2</sup>, quando saturado d'água. Geralmente sua aplicação não requer reforço estrutural, fato pelo qual é indicada para projetos de reforma, podendo-se utilizar inclinações entre 0° a 30°. Como substrato, geralmente utiliza uma mistura tendo como base areia, turfa, cascalho e matéria orgânica (PECK *et al.*, 1999).

Como desvantagem da CV intensiva, em relação à extensiva, Peck *et al.* (1999) citam que essa cobertura retém menos água de chuva, é mais limitada quanto à escolha das espécies vegetais e usualmente não é acessível para recreação ou outros usos. Como observa-se nas Figuras 18 e 19, a acessibilidade ou não é outra característica das coberturas verdes. Quando acessível, esse tipo de cobertura pode ser franqueado ao uso do público, transformando esse espaço em áreas de recreação, de convívio, praças de alimentação ou simples espaços de contemplação.

Figura 17 – Acessibilidade de uma cobertura verde extensiva – Lincoln Center – New York – EUA.



Figura 17 continua na próxima página.

Continuação da Figura 17.



Fonte: O Autor (2012).

Figura 18 – Vista aérea de uma cobertura verde extensiva – Lincoln Center – New York – EUA.



Figura 18 continua na próxima página.

Continuação da Figura 18.



Fonte: [www.hydrotechusa.com](http://www.hydrotechusa.com), acesso em 11/04/16.

### 2.3.2 Coberturas verdes extensivas

São construções de maior complexidade que admitem uma grande variedade de plantas, como grama perene, arbustos e árvores, requerendo sistemas de irrigação e manutenção semelhantes ao de um jardim tradicional, com a espessura do substrato variando de 15 cm a 40 cm podendo ultrapassar 1m (INGRA, 2016). Comparando-se a uma CV extensiva, os custos de instalação e manutenção são maiores devido ao gasto com materiais e com mão de obra sendo, geralmente, acessíveis ao público oferecendo-lhe diversas utilizações, como recreação e praças de convívio e de alimentação (PECK *et al.*, 1999) (FIGURAS 19 e 20).

Exige um projeto estrutural compatível com a sobrecarga na estrutura da edificação, que pode alcançar entre 290 e 967 kg/m<sup>2</sup> em função da maior espessura de solo e da vegetação que comportará. Devido à maior espessura, o meio de crescimento pode

frequentemente ser composto de terra, em vez de uma mistura de componentes minerais, como a CV extensiva (PECK *et al.*,1999).

Ainda de acordo Peck *et al.* (1999), e comparadas às CVs extensivas, possuem uma maior eficiência na retenção de águas pluviais, melhor isolamento da edificação e são mais atrativas visualmente. Contudo, como desvantagem, apresentam grande sobrecarga estrutural, necessidade de sistemas de irrigação, sistemas mais complexos de drenagem e, conseqüentemente, maiores custos energéticos para a sua manutenção. Na CV extensiva que foi objeto de pesquisa de Catuzzo (2013), nota-se como a vegetação chegou até três metros de altura e, por estar no topo de um edifício, teve seus troncos amarrados para não serem danificados pela ação do vento (FIGURA 20).

Figura 19 – Cobertura verde intensiva - Edifício Conde Matarazzo – São Paulo – Exterior.



Fonte: Catuzzo (2013).

Figura 20 – Cobertura verde intensiva - Edifício Conde Matarazzo – São Paulo – Interior.



Fonte: Catuzzo (2013).

#### 2.4 Coberturas verdes e ilhas de calor urbano

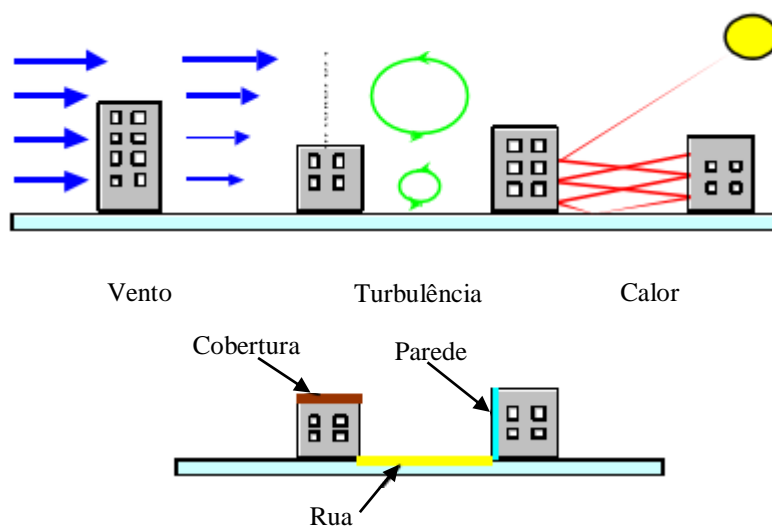
Pela relevância da técnica de cobertura verde para as questões de sustentabilidade ambiental, em várias partes do mundo são desenvolvidas pesquisas que elencam os diversos benefícios das CVs. São apresentadas, nesta parte do trabalho e consoante aos objetivos desta dissertação, as principais pesquisas ligadas às CVs e sua relação com as ICUs, evidenciando o estado da arte do tema.

O emprego de vegetação nos densos ambientes construídos pode aumentar o conforto térmico utilizando as propriedades térmicas da vegetação que, ao entrar em processo de evapotranspiração, esfria a temperatura ambiente do edifício além de dissipar o calor através do processo de convecção. Se CVs fossem instaladas em larga escala teriam um potencial para mitigar o efeito ICU.

Bass *et al.* (2002) demonstraram em pesquisa conduzida em Toronto, Canadá, através de projeção computacional, que coberturas verdes atingindo 5% dos telhados daquela cidade reduziriam a temperatura em até 0,5°C. Caso tais coberturas fossem irrigadas, a redução da temperatura seria mais intensa, em torno de 1 a 2°C se comparados aos telhados base utilizados na pesquisa.

Já Alexandri e Jones (2006) conduziram uma pesquisa abrangendo nove cidades ao redor do mundo, três geometrias de *canyons* urbanos<sup>2</sup>, duas orientações de *canyons* e duas direções de vento. Através de modelos computacionais, os autores concluíram que climas mais quentes e secos se beneficiam mais dos efeitos da vegetação nas temperaturas urbanas. Contudo, também chegaram à conclusão que climas úmidos podem se beneficiar das superfícies verdes. Em relação à geometria urbana concluíram que quanto maior é um *canyon* mais fraco é o efeito das coberturas verdes na diminuição da temperatura no interior do *canyon*. Contudo, no nível do telhado o efeito das CVs é maior e significativo, atenuando o efeito da ICU na macroescala da cidade. Na Figura 21 é possível observar como o *canyon* urbano é capaz de interferir na atmosfera. Os elementos que constituem os *canyons*, como paredes, ruas e coberturas, interferem nos fenômenos climáticos perceptíveis na escala do pedestre, como os ventos, a radiação incidente e as turbulências de ar.

Figura 21 – Efeitos dos *canyons* urbanos na atmosfera.



Fonte: O Autor, adaptado de Bass *et al.* (2002).

- 2 A palavra *canyon* poderia ser traduzida como em “forma de desfiladeiro”, contudo será empregado o termo em inglês por ser consagrado na literatura do tema. Nesta dissertação, a partir da interpretação da literatura estudada, considera-se o termo *canyon* urbano como referindo-se à geometria da cidade, ou seja, à forma dos edifícios e suas inter-relações na configuração do espaço urbano das cidades.



Takebayashi e Moriyama (2009) demonstraram através de experimentos em um estacionamento na cidade de Kobe, Japão, que a substituição de asfalto por grama em vários estacionamentos poderia reduzir a temperatura do ar naquela cidade em 0,1°C. Também Susca *et al.* (2011) demonstraram que a utilização de telhados verdes e cobertura branca, em detrimento de cobertura de cor preta, não só contribui para o melhoramento da qualidade do clima na microescala do edifício, mas também da macroescala da cidade, mitigando os efeitos das ICUs.

Ainda segundo Susca *et al.* (2011), não apenas os efeitos da evapotranspiração da vegetação auxiliam positivamente na amenização do efeito da ilha de calor, mas também o albedo da superfície, à medida que a luz difundida por uma superfície influi em sua temperatura. Além do albedo da superfície, os autores citam também a resistência térmica do telhado como um fator de amenização da temperatura. Também Pereira (2014) salienta que materiais com alta refletância proporcionam uma menor temperatura superficial resultando em menor fluxo de calor transmitido ao interior do ambiente, diminuindo a necessidade de gastos energéticos com condicionamento de ar para resfriamento. Além disso, por contribuírem com o não aquecimento do ar do seu entorno, os materiais com alta refletância são capazes de melhorar o microclima.

De acordo com a pesquisa conduzida por Catuzzo (2013), na qual foram medidos os indicadores de temperatura e umidade relativa do ar em dois edifícios da cidade de São Paulo, sendo um com cobertura verde e outro com cobertura em concreto aparente, ficou demonstrado que o uso de coberturas verdes sobre os telhados reduz as temperaturas e eleva a umidade relativa do ar no microclima, enquanto que o telhado de concreto eleva a temperatura e diminui a umidade relativa do ar significativamente, potencializando os efeitos da ilha de calor. Concluiu-se que as coberturas verdes ocasionam impactos ambientais positivos no microclima, o que também pode melhorar a qualidade de vida no meio urbano.

Berardi *et al.* (2013) fazem uma revisão do estado da arte das CVs, enfatizando os mais recentes exemplos de aplicação, tecnologias e benefícios. Dentre esses benefícios apresentados, os autores citam a redução do consumo de energia do edifício, a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano, a diminuição dos níveis de poluição do ar, a melhoria da gestão das águas pluviais, o aumento do isolamento sonoro das edificações além da melhoria da qualidade ambiental do meio urbano e da preservação ecológica. Especificamente sobre a mitigação dos efeitos das ICUs, os autores descrevem estudos experimentais e de observação realizados em diversas partes do mundo envolvendo CVs, nos quais relatam as seguintes conclusões:

- a) Redução da temperatura de 1,5 a 2°C, em média, com maiores impactos em climas quentes e secos.
- b) A aplicação em larga escala de CVs poderia reduzir a temperatura ambiente de 0,3 a 3°C.
- c) Na macroescala urbana, a aplicação de CVs poderia mitigar os efeitos das ICUs e ter uma redução máxima de temperatura na ordem de 2°C.

Santamouris (2014) faz uma revisão do estado da arte de tecnologias que visem o aumento do albedo das cidades com o objetivo de mitigar os efeitos das ICUs na escala das cidades. O autor cita estudos que, através de simulações computacionais, demonstram que a aplicação de CVs poderia reduzir as temperaturas das cidades entre 0,3 e 3 K, concluindo assim que a técnica de CV é muito promissora quanto aos benefícios ambientais que reporta ao ambiente urbano.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Esta Seção trata dos materiais e métodos utilizados no presente trabalho, dividindo-os em seis partes: delimitação do trabalho e unidade de análise, definição da estratégia de pesquisa, protocolo da coleta de dados, experimento de coleta da temperatura superficial, exercício de representação gráfica no recorte urbano, testes de validade e delimitações da pesquisa.

#### **3.1 Delimitação do trabalho e unidade de análise**

O presente trabalho considera somente o desempenho das temperaturas superficiais em uma cobertura verde extensiva e em dois telhados de comparação feitos com telhas cerâmicas vermelhas e telhas de fibrocimento. Essas temperaturas superficiais, por sua vez, servem para o exercício de representação gráfica em um recorte urbano densamente impermeabilizado na cidade de Curitiba, analisando o possível impacto dessa variável na formação das ilhas de calor urbano. Portanto, a unidade de análise da presente dissertação é a temperatura superficial das referidas coberturas.

#### **3.2 Definição da estratégia de pesquisa**

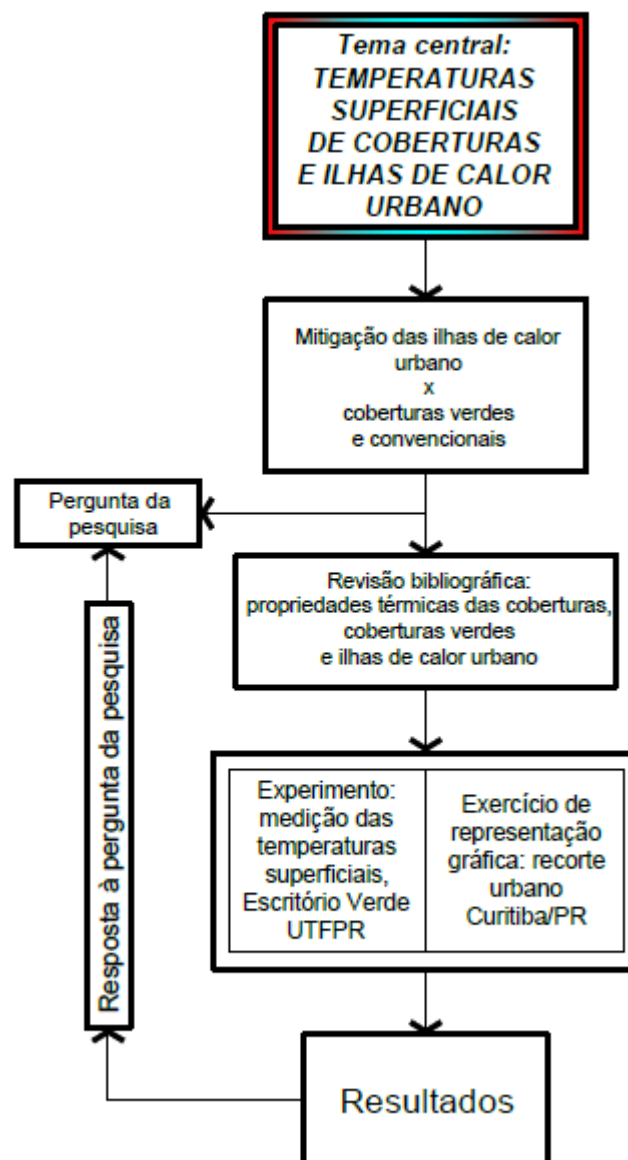
Com base no objetivo proposto nesta dissertação, é possível classificá-la como uma pesquisa explicativa, tendo em vista que se ocupa dos fatores que determinam a ocorrência de determinados fenômenos relacionados ao tema (GIL, 2009).

Como procedimentos técnicos para o desenvolvimento da pesquisa são utilizados um experimento físico e um exercício de representação gráfica. O experimento físico envolve uma cobertura verde extensiva e dois telhados de comparação, compostos de telhas de fibrocimento e telhas cerâmicas vermelhas, localizado no Bairro Rebouças, em Curitiba-Paraná-Brasil, e do qual são obtidos os dados de temperatura superficial, os quais servem de base para o exercício de representação gráfica. Este, por sua vez, tem como base o recorte urbano de uma área densamente impermeabilizada no Bairro

Centro, também em Curitiba, adjacente ao Bairro Rebouças, onde está localizado o experimento físico. Da interação dos dados obtidos no experimento físico e do exercício de representação gráfica no recorte urbano são retirados os resultados para análise da presente dissertação.

Para melhor entendimento do trabalho realizado, é apresentado o seu mapa mental, conforme a Figura 22.

Figura 22 – Mapa mental da dissertação.



Fonte: O Autor (2016).

### 3.3 Protocolo da coleta de dados

Segundo Yin (2001), o protocolo de coleta de dados é um instrumento que contém as regras e os procedimentos gerais para a condução da pesquisa e para lhe dar confiabilidade. Os procedimentos foram adotados conforme etapas descritas a seguir.

*Primeira etapa:* revisão bibliográfica.

A revisão bibliográfica abrangeu a descrição do fenômeno das ilhas de calor urbano, esclarecendo sua conceituação e características. Na sequência, foram vistas as propriedades térmicas que mais poderiam influenciar tanto no fenômeno da ICU como na análise dos resultados obtidos. Foram descritas as características térmicas e construtivas dos materiais envolvidos na pesquisa, ou seja, telha cerâmica, telha de fibrocimento e coberturas verdes. Por fim, dada relevância do tema, foi registrado o estado da arte em pesquisas envolvendo as CVs e as ICUs.

*Segunda etapa:* definição dos materiais e métodos utilizados na pesquisa.

Como materiais e métodos foram utilizadas duas estratégias. Um experimento físico formado de uma cobertura verde extensiva (4,82 x 3,60 m) e de dois telhados de comparação (0,60 x 0,80 m cada) feitos de telhas novas de fibrocimento com 0,5 cm de espessura e de telhas cerâmicas vermelhas usadas tipo francesa montados juntos à cobertura verde com o objetivo de auferir a variável escolhida para análise, ou seja, a temperatura superficial. A CV estava constituída com plantas tipos bulbine (*Bulbine frutescens*), babosa (*Aloe vera*) e clorofito (*Clorophutum comosum*). Foram utilizados termômetros digitais (Marca ICEL, modelo TD 890), com termopares tipo K. As medições foram feitas de hora em hora, durante dezesseis dias corridos, nos meses de julho e agosto de 2015. O INMET forneceu as temperaturas do ar.

A outra estratégia de pesquisa constituiu-se de um exercício de representação gráfica a partir dos dados obtidos no experimento físico. Foi adotado um recorte urbano da área central representativo dos aspectos urbanísticos que mais caracterizam as ICUs, segundo a bibliografia estudada, e próximo do experimento físico. Junto aos órgãos públicos foram levantados os seguintes dados para embasar essa escolha bem como para fornecer os dados técnicos da região: foto área retificada, legislação de uso e ocupação

do solo, planta de zoneamento e planta do sistema viário. Os desenhos foram feitos utilizando o programa AutoCad®2015.

*Terceira etapa:* resultados e discussão.

Os resultados obtidos no experimento físico foram tabelados e representados em forma de gráficos que representaram, além do desempenho da temperatura superficial (medida de hora em hora) ao longo do tempo, a amplitude térmica dos materiais estudados e um comparativo com as temperaturas do ar (fornecidas pelo INMET, com três valores diários). As temperaturas superficiais foram analisadas por meio do coeficiente de variação (C.V.) e pela Análise de variância – Anova e pelo teste de t de *Student*. O exercício de representação gráfica dos dados obtidos no experimento físico no recorte urbano utilizou uma escala gráfica de cores comparando o desempenho térmico dos três tipos de coberturas pesquisadas.

Em decorrência dos resultados obtidos, discutiu-se como principais tópicos a temperatura superficial das coberturas, a questão de seu envelhecimento e as possíveis contribuições dessas coberturas na mitigação dos efeitos das ICUs.

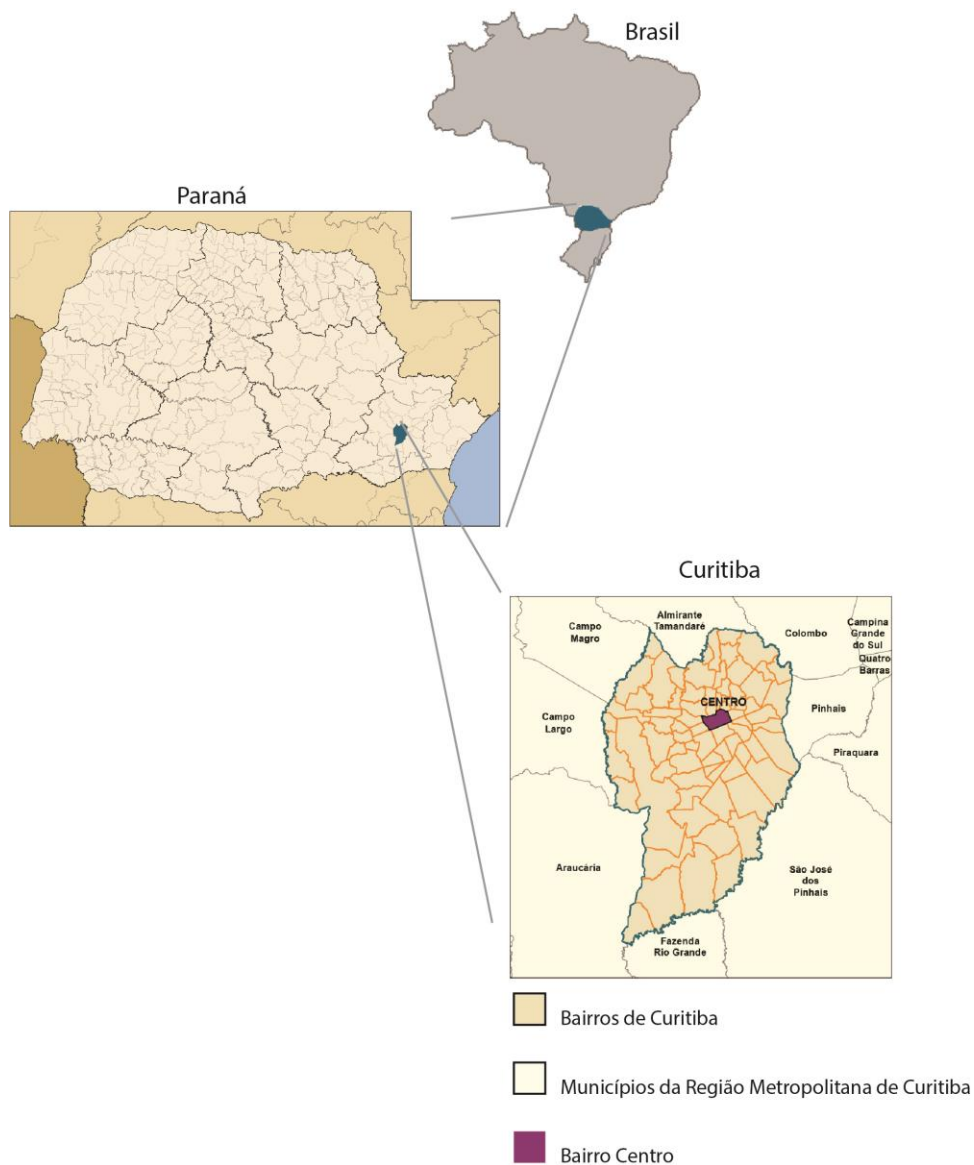
### **3.4 Experimento de coleta da temperatura superficial**

O experimento consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo (no caso, a temperatura superficial) e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que as variáveis produzem no objeto. Trata-se, portanto, de uma pesquisa em que o pesquisador é um agente ativo, e não um observador passivo (GIL, 2009).

O objeto de estudo está localizado na cidade de Curitiba, no Estado do Paraná – Brasil, a qual tem coordenadas 25°25'48"S e 49°16'15"W (FIGURA 23). O clima característico desta região é do tipo Cfb na classificação de Köppen (subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas frequentes, sem estação seca). As temperaturas médias anuais nos meses quentes e frios são inferiores a 22 °C e 18 °C respectivamente, e a temperatura média anual é igual a 17 °C. A média anual da

umidade relativa do ar fica em torno de 85% e da precipitação entre 1.300 e 1.500mm anuais, sem deficiência hídrica ao longo do ano (MAACK, 1981)

Figura 23 – Localização do recorte de pesquisa.



Fonte: O Autor (2016), adaptado de IPPUC (2014).

Em Curitiba, o experimento físico de coleta da temperatura superficial foi realizado na cobertura do Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (Ver Projeto Arquitetônico do Escritório Verde, Apêndice 1), localizado na Av. Silva Jardim, 807, Bairro Rebouças. O Escritório Verde é uma edificação experimental de técnicas construtivas mais sustentáveis, como o sistema de construção a seco (*wood-frame*), janelas de vidros duplos, coberturas verdes, iluminação natural, lâmpadas LEDs, uso de placas fotovoltaicas para a produção de energia elétrica, reaproveitamento das águas de chuva e pisos de materiais recicláveis (CASAGRANDE JR. e GÓIS, 2011). Embora não esteja localizado no Bairro Centro (do qual se extraiu o recorte urbano que foi utilizado no exercício de representação gráfica) é adjacente a ele, apresentando características semelhantes, tais como grandes áreas impermeabilizadas de ruas, passeios e edifícios (FIGURA 24).

Figura 24 – Escritório Verde da UTFPR.

a) O Escritório Verde: elevação para Av. Silva Jardim.



Figura 24 continua na próxima Página.



Continuação da Figura 24.

b) Acima do volume branco está localizada a CV.



Fonte: O Autor (2015).

A escolha pela cobertura verde do Escritório da UTFPR (cujo acesso foi cedido gentilmente pela Instituição) ocorreu pelo fato daquela já estar montada à época do desenvolvimento desta dissertação e devido às limitações burocráticas, de tempo e financeiras que impossibilitaram a montagem do experimento em outro local. Sendo assim, não houve interferência desta pesquisa na escolha das espécies vegetais que a constituem nem tampouco da composição e camadas de seu substrato (FIGURA 25).

Figura 25 – Espécies vegetais.

a) Bulbine (*Bulbine frutescens*)



Figura 25 continua na próxima Página.

Continuação da Figura 25.

c) Babosa (*Aloe vera*)



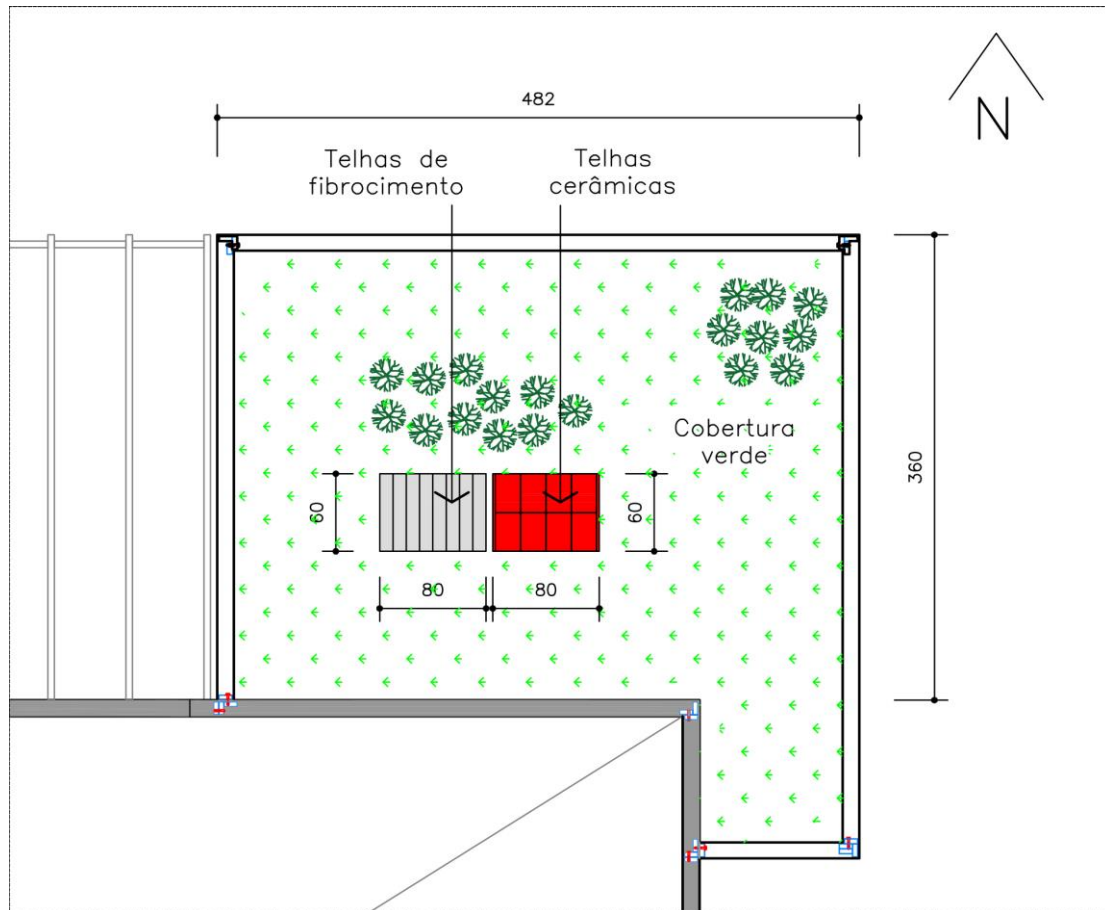
d) Clorofito (*Chlorophytum comosum*)



Fonte: O Autor (2015).

O experimento físico trata-se de uma cobertura verde extensiva com dimensões aproximadas de 3,60m x 4,80m voltada para o norte e que recebe insolação solar desde o nascer até o pôr do sol (FIGURA 26).

Figura 26 – Dimensões da CV sob o telhado do Escritório Verde da UTFPR.



Fonte: O Autor (2016), adaptado de Casagrande JR (2015).

Segundo Savi (2015a), a cobertura verde do Escritório Verde da UTFPR é composta das seguintes camadas de substrato de baixo para cima, ou seja, a partir do suporte estrutural até as plantas (Informação verbal)<sup>3</sup>:

1. Impermeabilização com geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) com 1,5mm de espessura e soldas com termofusão, feitas por um especialista. Foi realizado o teste de estanqueidade de 72 horas, após esse período o ralo foi aberto.

<sup>3</sup> SAVI, A.C. **Descrição da execução da cobertura verde no Escritório Verde da UTFPR**. Curitiba, 2015a. Relato ao Autor.

2. Sobre a geomembrana foi utilizada uma camada para proteção da impermeabilização, com outra geomembrana extrudada nodular em PEAD conhecida como “membrana geoespaçadora”, de espessura 8 mm e resistente à compressão (marca ISOSTUD GEO P). Além de proteger a geomembrana ele funciona como camada de proteção antiraízes (ISOSTUD GEO P, 2015).

3. Sobre a camada anterior foi colocada uma geomembrana estrudada em PEAD com alta resistência à compressão, de espessura de 20mm (marca MAXISTUD), com a função de drenagem e armazenamento de água da chuva (MAXISTUD, 2015).

4. Sobre a camada anterior foi colocado um geocomposto para drenagem (marca MACDRAIN J), o qual tem como função proteger a geomembrana estrudada do geotêxtil que virá em seguida, a fim de não prejudicar o sistema de retenção de água (MACDRAIN J, 2015).

5. Sobre a camada anterior foi colocada uma manta de geotêxtil, com a função de proteger mecanicamente as camadas inferiores.

6. Sobre a camada anterior foi colocada uma camada de substrato, composto de terra, areia, turfa e vermiculite.

7. Sobre o substrato foram plantadas as espécies especificadas na Figura 25, Página 60.

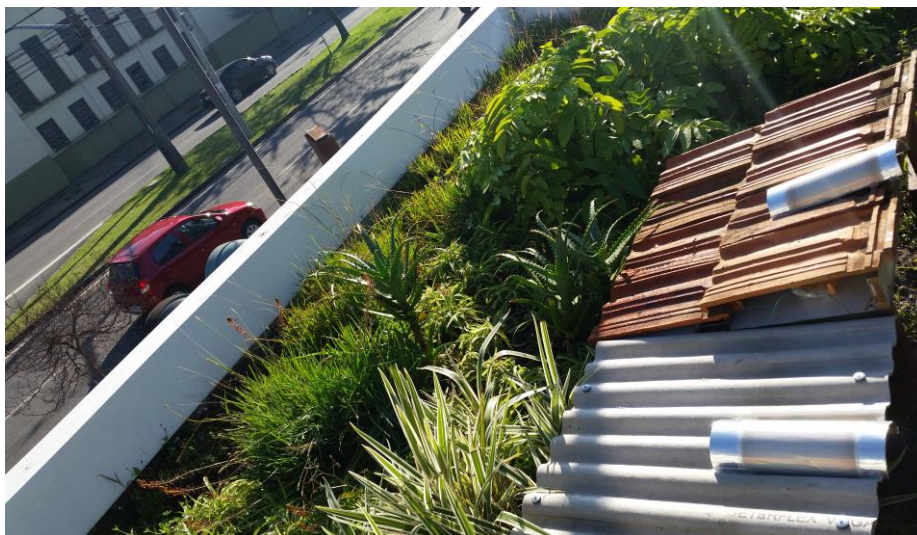
Como telhados de comparação, foram montados dois protótipos de coberturas, um com cobertura de telhas novas de fibrocimento de 0,5mm (80x60cm) e outro com telhas cerâmicas usadas de barro vermelho (80x60cm), tipo francesa, ambos adjacentes à cobertura verde, de modo a reproduzir dois tipos de cobertura frequentemente utilizados no recorte urbano escolhido para o exercício de representação gráfica (FIGURA 27). Por suas características de refletância (albedo) devido à cor cinza, a telha de fibrocimento assemelha-se ao concreto aparente, frequente principalmente nas coberturas de edifícios nos centros urbanos.

Figura 27 – Telhados de comparação.

a) Os telhados de comparação inseridos junto à cobertura verde: telhas cerâmicas (à esquerda) e telhas de fibrocimento (à direita).



b) O conjunto instalado sob a cobertura do Escritório Verde da UTFPR, com os termômetros instalados.

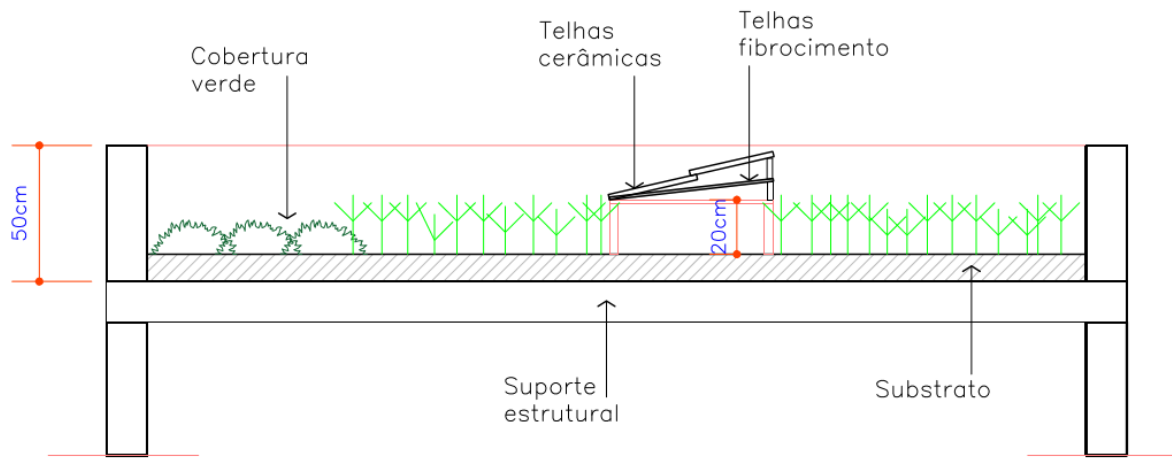


Fonte: O Autor (2015).

As telhas ficaram apoiadas numa bancada de madeira e, para evitar o empoçamento de água devido às suas saliências, adotaram-se as inclinações indicadas para cada tipo de telha de acordo com os valores prescritas pelas normas técnicas brasileiras para telhas de barro francesa e de fibrocimento (NBR 8039/1983 e NBR 7581/2014, respectivamente). As inclinações adotadas foram de 32% para a telha francesa e 15% para a telha de fibrocimento. A fim de que a eventual interferência do microclima

formado pela CV fosse uniforme nos dois telhados de comparação, ambos foram posicionados próximos um ao outro e o mais centralmente possível na CV (FIGURA 28).

Figura 28 – Corte esquemático da CV e dos telhados de comparação.



Fonte: O Autor (2015).

Para a obtenção dos dados de temperatura foram utilizados três termômetros digitais (Marca ICEL, modelo TD 890), instalados um em cada cobertura, com termopares tipo K, que são dispositivos elétricos utilizados na medição de temperatura. Devido a questões burocráticas, às limitações de tempo e financeiras, esses termômetros foram escolhidos por já pertencerem à UFPR e terem sido utilizados satisfatoriamente em outras pesquisas semelhantes, como pode-se constatar em Savi (2015). As características dos termômetros digitais e dos termopares são descritas na Tabela 01.

Tabela 01 – Características do termômetro digital e dos termopares tipo K.

<b>Escala</b>	-100 °C-1.300 °C
<b>Resolução</b>	0,1°/1°
<b>Exatidão</b>	±(0,1% + 0,7°C)
<b>Material polo positivo</b>	Cromel (90% Niquel e 10% Cromo)
<b>Material polo negativo</b>	Alumel (95% Niquel e 5% Alumínio)
<b>Revestimento do sensor</b>	Amianto

Fonte: Manual de instruções do termômetro digital de 4 canais; ECIL (2015).

Cada termômetro pode medir simultaneamente até quatro temperaturas, registrando-as em sua memória as quais, posteriormente, foram baixadas em um computador através do programa Excel (Office 2010). A exatidão dos termômetros foi verificada no Setor de Manutenção de Equipamentos da Superintendência de Infraestrutura da UFPR, através de teste em aparelho agitador magnético de temperatura constante (FIGURA 29). As pontas dos termopares tipo K foram inseridas em um tubo de ensaio com água à temperatura ambiente e submetidas a uma agitação constante com o objetivo de uniformizar suas temperaturas e verificar quais valores alcançariam. Pelas características intrínsecas dos aparelhos, não foi possível a calibração de suas temperaturas comparando-as, por exemplo, a outro equipamento padrão e de maior exatidão, tendo em vista que os aparelhos não permitiam o acesso a seus dados de configuração. Contudo, após 10 minutos de teste, aproximadamente, as temperaturas dos termopares estabilizam-se em 20°C, com margens dentro das estabelecidas pelo fabricante e descritas no manual do equipamento. Sendo assim, os termômetros estavam aptos para registrar as temperaturas de forma confiável (FIGURA 30).

Figura 29 – Agitador magnético de temperatura constante.



Fonte: O Autor (2015).

Figura 30 – Estabilização das temperaturas dos termopares.



Fonte: O Autor (2015).



Para a obtenção da temperatura superficial, três termopares foram posicionados de tal forma a ficarem em contato direto com as superfícies. Um termopar foi fixado rente ao substrato da cobertura verde, sob a vegetação de clorofito (*Clorophytum comosum*) e o mais próximo possível das coberturas de comparação. A sombra proporcionada pelo clorofito impediu a ação direta dos raios solares na ponta do termopar, evitando um sobreaquecimento (FIGURA 31). Os outros dois termopares ficaram em contato direto com as superfícies das telhas de barro (FIGURA 32) e de fibrocimento (FIGURA 34, Página 70). Para essas duas últimas coberturas, as pontas dos termopares foram protegidas da radiação solar direta, através de um anteparo revestido interna e externamente com folhas de papel alumínio (FIGURAS 33 e 36, PÁGINA 70). O conjunto de materiais analisados pode ser observado na Figura 36, Página 71.

Figura 31 – Termopar instalado na cobertura verde.



Fonte: O Autor (2015).

Figura 32 – Termopar instalado na superfície da telha cerâmica – *antes* da proteção.



Fonte: O Autor (2015).

Figura 33 – Termopar instalado na superfície da telha cerâmica – *depois* da proteção.



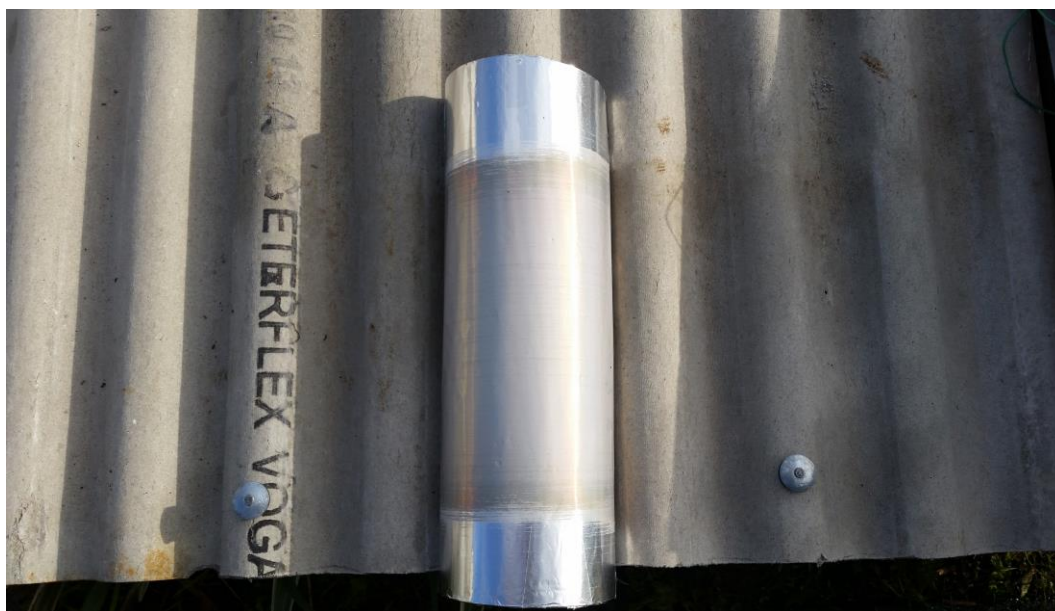
Fonte: O Autor (2015).

Figura 34 – Termopar instalado na superfície da telha de fibrocimento – *antes* da proteção.



Fonte: O Autor (2015).

Figura 35 – Termopar instalado na superfície da telha de fibrocimento – *depois* da proteção.



Fonte: O Autor (2015).

Figura 36 – Conjunto de materiais analisados.



Fonte: O Autor (2015).

A época do ano e o período de coleta das temperaturas foram escolhidos de maneira aleatória. Dos três termômetros instalados, um deles apresentou falhas no registro de dados sendo, portanto, descartado. Os outros dois termômetros registraram corretamente as temperaturas superficiais. Um deles registrou dados no período de 23/07/15 a 07/08/15 e outro do dia 25/07/15 a 07/08/15. O de menor período foi descartado e foram analisados os dados do maior período de coleta, ou seja, de 23/07/15 a 07/08/15. As medições foram feitas a cada hora.

Por questões de limitações técnicas, não foi auferida a temperatura no ar no local do experimento. Sendo assim, as temperaturas do ar foram fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016). Contudo, à época em que foram solicitadas, o INMET só dispunha de três valores diários, enquanto a medição da temperatura superficial nas coberturas foi de hora em hora. Dessa forma, para o desenvolvimento deste trabalho foi feita uma amostragem das temperaturas obtidas nas coberturas e suas correspondentes temperaturas do ar. No Apêndice 2 estão registradas todas as temperaturas auferidas para as coberturas mais as temperaturas do ar fornecidas pelo INMET.

As médias das temperaturas observadas para os diferentes materiais utilizados nesta pesquisa, bem como a média obtida com os três valores diários da temperatura do ar

fornecidos pelo INMET, foram avaliados estatisticamente através de coeficiente de variação (C.V.) e pela Análise de variância – Anova e pelo teste de t de *Student* (teste de hipóteses para uma média populacional, no qual assumiu-se haver diferença estatística significativa entre as médias quando com o valor- $p < 5\%$ ). Para isso utilizaram-se os *softwares* Excel (Office 2010) e Asistat (Versão 7.7 beta-pt).

### **3.5 Exercício de representação gráfica no recorte urbano**

Considerando o exercício de representação gráfica como um experimento, segundo Yin (2001) estes são adequados para a análise de acontecimentos contemporâneos e lidam com dados operacionais que necessitam ser traçados ao longo do tempo, em vez de serem encarados como meras repetições ou incidências. Dessa forma, os dados do experimento físico obtidos para as temperaturas superficiais das telhas cerâmicas, das telhas de fibrocimento e da cobertura verde foram utilizados para um exercício de representação gráfica do comportamento térmico desses materiais em um recorte urbano próximo ao experimento físico.

O recorte de estudo do exercício de representação gráfica pertence ao Bairro Centro, em Curitiba-Paraná-Brasil, localizado na Av. Sete de Setembro entre as Ruas Desembargador Westphalen e Lamenha Lins. Justifica-se a escolha desse recorte pois ele é contemplado pelos eixos estruturais do sistema de transporte coletivo de Curitiba, os quais são uma característica emblemática do desenho urbano da cidade, de acordo com Lima (2015). Ao longo desses eixos estruturais verifica-se a potencialidade de uma alta densificação construtiva, como se verá na Seção 3.5.3, Página 82.

Foram considerados apenas os lotes com testada para a Av. Sete de Setembro devido às seguintes justificativas: por estarem diretamente expostos ao tráfego de um eixo estrutural de intensa movimentação de ônibus e devido às limitações de tempo para analisar todos os lotes que compunham as quadras do recorte urbano escolhido. O experimento físico de coleta das temperaturas superficiais estava localizado a aproximadamente 150 m do início dessa região, a partir da Rua Desembargador Westphalen (FIGURAS 37 e 38).

Figura 37 – Delimitação do recorte de estudo e localização do experimento físico.



Legenda: ■ Experimento □ Área de estudo

Fonte: O Autor (2015), adaptado de SUDERHSA, 2000.

Figura 38 – Recorte de estudo – lotes com testada para a Av. Sete de Setembro.



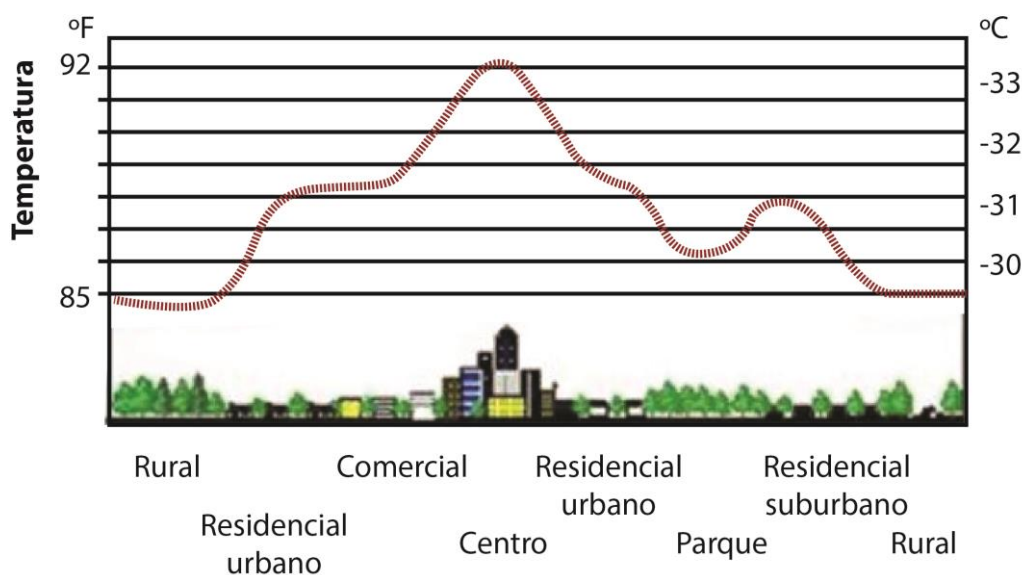
Fonte: O Autor (2015), adaptado de IPPUC (2014).

Para esse recorte urbano foram aplicados os dados obtidos no experimento físico realizado na cobertura do Escritório Verde da UTFPR (Ver Seção 3.4, Página 57), em um exercício de representação gráfica, através de uma escala gráfica de cores a qual representou a graduação de temperaturas utilizando-se, como princípio geral, que as

cores mais quentes representassem as maiores temperaturas, enquanto que as cores mais frias traduziriam as temperaturas mais baixas. A escala de cores e os mapas resultantes da aplicação dessa escala foram feitos utilizando o programa computacional AutoCad®2015.

A escolha do Bairro Centro se deve, ainda, por apresentar as características comuns aos centros urbanos de várias cidades brasileiras, tais como grandes áreas impermeáveis de ruas e passeios, ausência de vegetação e presença maciça de construções de grande porte tomando quadras inteiras. Também o Bairro Centro foi escolhido, pois segundo Oke (1987), normalmente o centro se caracteriza por ser mais quente que os bairros residenciais e periféricos devido à maior atividade antrópica, delineando o chamado "perfil clássico das ilhas de calor" (FIGURA 39).

Figura 39 – Perfil clássico de uma ilha de calor urbano.

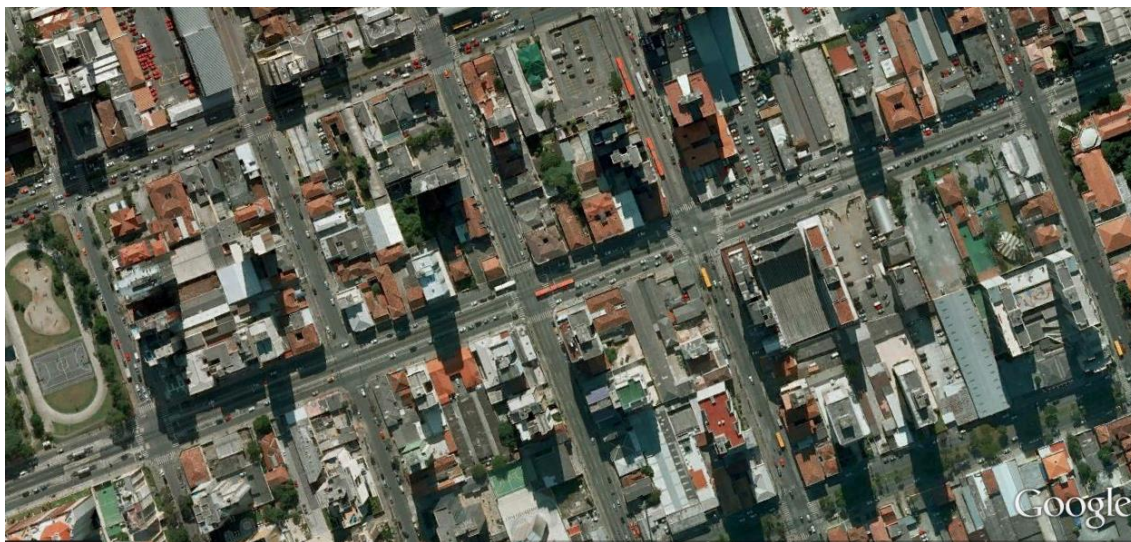


Fonte: O Autor, adaptado de EPA (2014).

Tendo como base a foto aérea fornecida pela SUDERHSA (2000) e os arquivos em DWG (AutoCad®2015) fornecidos pelo IPPUC (2014), e por meio de visitas *in loco* e dos dados obtidos pelo programa Google Earth (FIGURA 40, com imagens de 21/05/2009), foi feito o levantamento dos tipos de telhados e dos revestimentos das vias de circulação do trecho escolhido para o exercício de representação gráfica. Esta, por sua vez, abrangeu um período de 24 h dos dias 30/07/15 às 8:54:00 ao dia 31/07/15 às

8:53:36. A representação gráfica foi dividida em dois períodos aproximados de 12 horas cada.

Figura 40 – Recorte de estudo – vista aérea – imagem de 21/05/2009.



Fonte: Google Earth (2016).

Conforme a Figura 41, é possível observar que os telhados do trecho escolhido apresentam a configuração típica da maioria dos centros urbanos: telhados de fibrocimento, de concreto aparente ou telhas cerâmicas vermelhas. O revestimento dos pisos das vias de circulação de veículos é majoritariamente em asfalto, apresentando poucos trechos em concreto nas paradas de ônibus. Os passeios para pedestres têm revestimento variado: *petit-pavé*, paralelepípedos e blocos de concreto tipo *paver*.

A área de estudo compreende 56 lotes com frente para a Av. Sete de Setembro. Desses lotes, 34% (19) possuem construções com cobertura de telhas cerâmicas. Os outros 66% (37) de lotes possuem edificações com coberturas de fibrocimento ou concreto aparente, ou então áreas como estacionamento descoberto com piso em concreto aparente. Em 6 lotes há pontos de vegetação, constituídos de jardins no recuo frontal (3 unidades) ou nos fundos dos lotes (3 unidades). Tais pontos de vegetação, dada a sua quantidade e tamanho, podem ser considerados praticamente inexpressivos para efeitos de atenuação da temperatura superficial da região.

De acordo com a Figura 41 constata-se que a quase totalidade dos lotes está 100% impermeabilizada com pouquíssimas áreas verdes, ou seja, devido ao zoneamento da



região e aos incentivos municipais, os lotes utilizam a máxima taxa de ocupação possível.

Figura 41 – Área de estudo – tipos de coberturas e revestimentos de piso.



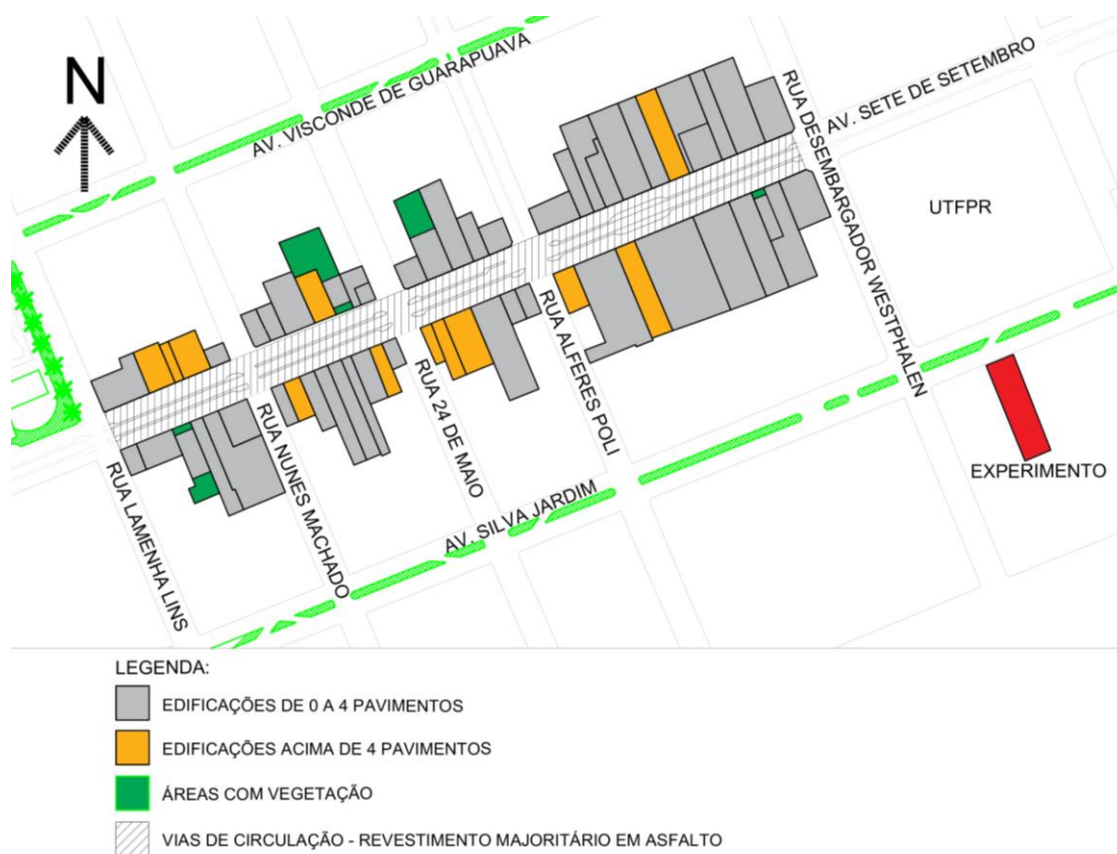
Fonte: O Autor (2015), adaptado de IPPUC (2014).

Na Figura 42 observa-se a composição do número de pavimentos das edificações na área de estudo. Dos 56 lotes, 21% (12) das edificações possuem em média 15 andares. A grande maioria, 79% (44), possuem edificações baixas, de 0 (estacionamentos descobertos, por exemplo) a 4 pavimentos.

Para o exercício de representação gráfica dos dados de temperatura superficial foram escolhidas as edificações de até 4 pavimentos, excluindo as edificações que possuíam em média 15 pavimentos e as áreas verdes ainda remanescentes. De acordo com a bibliografia estudada (SANTAMOURIS, 2014; CHEN *et al.*, 2009) quando a técnica de CV é utilizada em edifícios de média e grande altura os efeitos de arrefecimento do calor no nível da rua são baixos e são detectados, por sua vez, no

mesoclima da cidade e, ao inverso, quanto mais baixas as edificações, mais a atenuação é percebida na microescala, ou seja, seus benefícios são sentidos mais próximos à superfície do solo e de forma mais efetiva pelas pessoas.

Figura 42 – Área de estudo – número de pavimentos das edificações.



Fonte: O Autor (2015), adaptado de IPPUC (2014).

Devido à sua altura, as edificações de até 4 pavimentos também possuem um maior potencial de *retrofit* utilizando a técnica de CVs, relatado por Castleton *et al.* (2010). Tais autores destacam que o baixo isolamento térmico de edifícios antigos pode ser melhorado consideravelmente pela resistência térmica de uma CV. As coberturas verdes extensivas geralmente acarretam pouco acréscimo de carga à estrutura existente, tornando-se viáveis para a reabilitação da cobertura de edifícios existentes.

Também as edificações de até 4 pavimentos são, em sua maioria, edificações antigas, ou seja, não aproveitaram ainda todo o potencial construtivo que ao longo dos anos as sucessivas mudanças na legislação proporcionaram aos lotes desse zoneamento, vide o pouco potencial de altura utilizado (CURITIBA, LEI N° 9800/00, LEI N° 9803/00, DECRETO N° 183/00). Sendo assim, existe maior probabilidade de que novas

construções venham a substituir tais edificações e, assim, incorporar técnicas construtivas mais sustentáveis, como é o caso das CVs.

Além das características já apontadas para a escolha do Bairro Centro, é possível ainda detalhar, pela análise da bibliografia estudada e pelas observações e levantamentos *in loco*, outros três pontos relevantes na formação das ICUs e presentes no local escolhido: o calor antropogênico, a refletância dos materiais dos pavimentos e os parâmetros construtivos da região.

### **3.5.1 Calor antropogênico**

O calor antropogênico tem como causador o ser humano em suas mais diversas atividades, ou seja, o calor gerado pela sua simples presença, as intervenções urbanísticas e construtivas, as atividades industriais e os sistemas de transporte (GARTLAND, 2010). Com relação ao sistema de transporte, é possível inferir a significativa influência do sistema de transporte coletivo no Bairro Centro na formação das ICUs devido à sua prevalência nessa região em comparação às demais. Nesse bairro, apresenta-se a maior afluência de chegadas e partidas de ônibus de transporte coletivo da cidade, sendo servido atualmente por 13 concentrações de pontos nos quais convergem 201 linhas de ônibus, caracterizando-se assim como um terminal a céu aberto (TABELA 02). Os 23 terminais de ônibus espalhados pelo restante da cidade concentram, somados, 475 linhas (URBS, 2014), ou seja, no Bairro Centro convergem 42,32% de todas as linhas de ônibus da cidade, o que demonstra a relevância e os possíveis impactos ambientais do transporte coletivo nesse espaço urbano, principalmente no que tange à emissão de gases poluentes, os quais acentuam os efeitos das ICUs (GARTLAND, 2010). Também Mattos (2001) demonstrou a importância do transporte na cidade do Rio de Janeiro na emissão do principal gás do efeito estufa, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Tal setor contribui com mais da metade das emissões de CO<sub>2</sub> de todos os setores da economia daquela cidade na utilização de combustíveis fósseis. Tais dados corroboram as causas que intensificam as ICUs, ou seja, o aumento da poluição e do calor antropogênico nas áreas centrais urbanas.

Tabela 02- Pontos de concentração de linhas de ônibus no Bairro Centro.

<b>Localização</b>	<b>Número de linhas</b>
Alameda Dr. Muricy	5
Círculo Militar	6
Praça Carlos Gomes	12
Praça Rui Barbosa	60
Praça Tiradentes	21
Praça 19 de Dezembro	26
Travessa Moreira Garcez	9
Av. Marechal Floriano Peixoto	9
Colégio Estadual	18
Praça Osório	5
Praça Santos Andrade	9
Praça Zacarias	5
Rua Nestor de Castro	16
<b>Total Geral</b>	<b>201 (42,32%)</b>

Fonte: O Autor (2014).

### 3.5.2 Refletância dos pavimentos

O asfalto e o concreto têm propriedades térmicas que, através da retenção e emissão do calor solar, influenciam na formação das ICUs. Por meio de ortofoto (SUDERHSA, 2000), mapas em escala (IPPUC, 2014) e observações *in loco*, foram feitas a especificação e a quantificação dos pavimentos de ruas do Bairro Centro para os corredores expressos e vias exclusivas de ônibus <sup>4</sup> (TABELA 03 e FIGURA 43).

Analisando-se a Figura 44 constata-se que o Bairro Centro é o único que concentra todos os eixos estruturantes ao longo dos quais desenvolvem-se os corredores expressos, nos sentidos leste, oeste, norte e sul e ainda um eixo entre o leste e o sul, denominado eixo Boqueirão. Tais corredores expressos e mais as vias exclusivas tem como pavimento de revestimento o asfalto e o concreto (IPPUC, 2014).

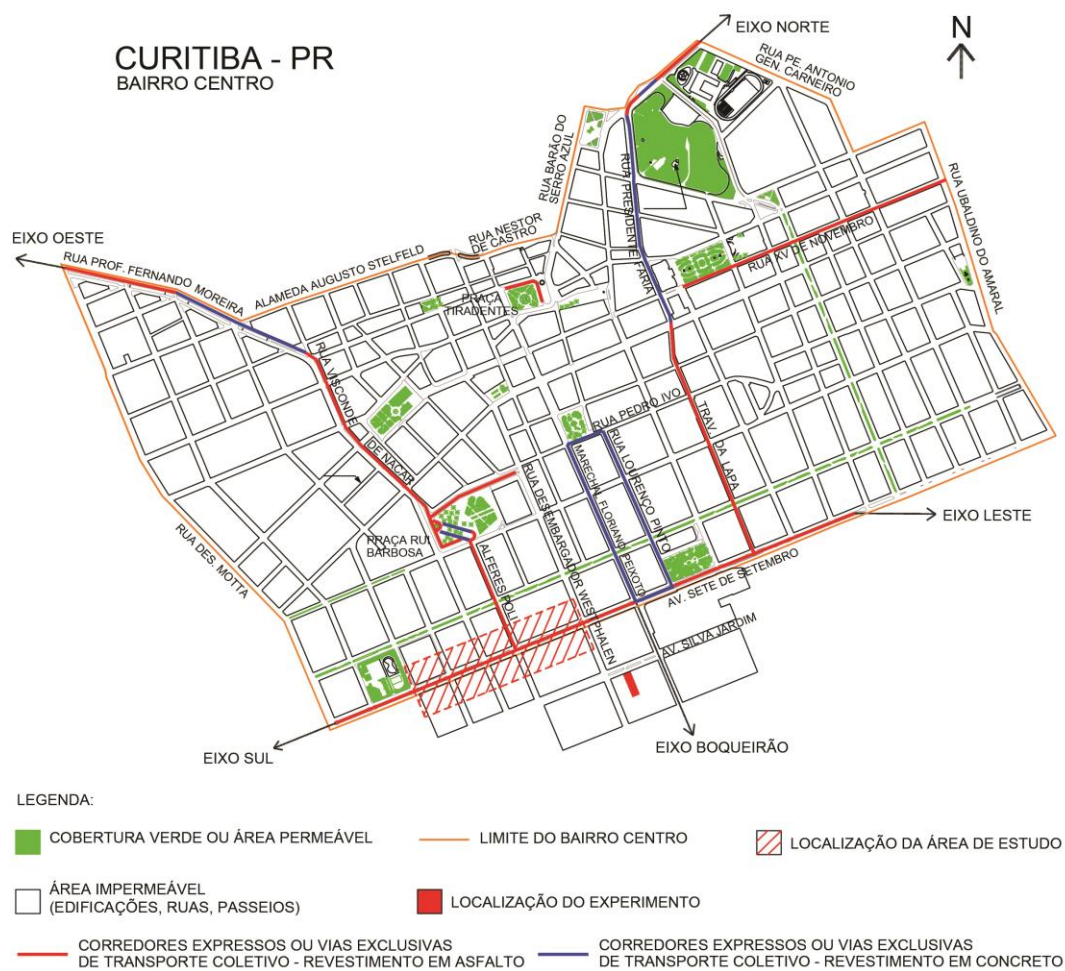
<sup>4</sup> Os corredores expressos caracterizam-se por vias projetadas para uso exclusivo de ônibus. Vias exclusivas de ônibus, por sua vez, são vias adaptadas para uso exclusivo de transporte coletivo, antes utilizadas também por carros (URBS, 2014).

Tabela 03- Pavimentos: especificação de tipos e de quantidades no Bairro Centro.

Localização	Asfalto	Concreto	Total
Sete de Setembro	1607	118	1725
Alferes Poli	373	---	373
Praça Rui Barbosa	561	188	749
Visconde de Nacar	655	---	655
Fernando Moreira	354	445	799
Marechal Floriano Peixoto	---	538	538
Pedro Ivo	---	118	118
Lourenço Pinto	---	538	538
Travessa da Lapa	776	---	776
Presidente Faria	255	743	998
Praça Tiradentes	166	---	166
XV de Novembro	879	---	879
<b>Totais parciais e geral</b>	<b>5626</b>	<b>2688</b>	<b>8314</b>
<b>Relação com o total geral (%)</b>	<b>67,67%</b>	<b>32,33%</b>	<b>100%</b>

Fonte: O Autor (2014).

Figura 43 – Localização dos corredores expressos e vias exclusivas e tipo de revestimentos: asfalto ou concreto.



Fonte: O Autor (2015), adaptado de IPPUC (2014).

A quantificação de asfalto e de concreto nas vias de transporte coletivo foi feita através de leitura direta dos mapas no programa computacional AutoCad®2015. A grande maioria dessas vias, cerca de 68%, é revestida com asfalto e 32% revestida de concreto, estando de acordo com Gartland (2010), segundo a qual por questões econômicas o asfalto ainda é o revestimento que domina as vias de circulação de veículos, pois o concreto tem um custo inicial até 33% maior que o asfalto. Nos EUA, o asfalto corresponde a 85% dos pavimentos das ruas urbanas contra 15% do concreto (HAWBAKER, 2002, *apud* GARTLAND, 2010).

Os pavimentos asfálticos têm geralmente cores preta ou cinza escuro, com valores de refletância solar entre 5-10% quando novos. Com a idade, tendem a clarear e tornar-se mais refletivos, com refletância solar entre 12 e 19% (GARTLAND, 2010). De acordo com essa autora, os pavimentos de concreto têm uma refletância solar entre 35 e 40% quando novos. Com o tempo, esses pavimentos tendem a ficar sujos e sua refletância solar é reduzida a 25-35%. Contudo, ainda assim mantêm-se mais frescos que os pavimentos asfálticos devido suas cores mais claras. O trecho escolhido para o exercício da representação gráfica – Av. Sete de Setembro, entre as Ruas Desembargador Westphalen e Lamenha Lins – tem 100% de revestimento de pavimento em asfalto e possui 543 m de extensão, o que representa 6,5 % do total de corredores expressos e vias exclusivas de transporte coletivo, no Bairro Centro. Devido às limitações de tempo e pela complexidade em quantificar todas as vias destinadas aos veículos em geral (no Bairro Centro), elas não foram consideradas nesta dissertação.

O asfalto predominante nas vias de transporte coletivo é um fator agravante dos efeitos das ICUs, se comparado por exemplo ao concreto. Os dados relativos a esses materiais foram levantados pela presente pesquisa para fundamentar a escolha e a representatividade do recorte urbano escolhido. Contudo, por questões de limitações técnicas e de tempo não foram auferidas as temperaturas superficiais do asfalto e do concreto nem tampouco foram considerados no exercício de representação gráfica.

### 3.5.3 Parâmetros construtivos do zoneamento

Segundo Schmitz (2014), o uso e a ocupação do solo são definidos em função da densificação, do regime de atividades normalmente atrelado ao zoneamento, dos dispositivos de controle do solo, dentre outros.

De acordo com a Lei de Zoneamento de Curitiba (CURITIBA, LEI N° 9800/00, LEI N° 9803/00, DECRETO N° 183/00), o zoneamento do Bairro Centro apresenta os parâmetros construtivos que mais intensificam a urbanização da cidade, ou seja, a Zona Central (ZC) e o Setor Especial Estrutural (SE), como é possível verificar na Tabela 04 e na Figura 45 (Para definições dos parâmetros construtivos, ver Anexos 1 e 2).

Tabela 04 – Parâmetros construtivos do Bairro Centro.

Zona	Coefficiente Aproveitamento	Coefficiente de Aproveitamento Máximo (com compra de potencial construtivo)	Número de Pavimentos	Usos
Zona Central (ZC)	5,0	7,0	Cone da Aeronáutica	Habitação Coletiva Habitação Transitória 1 e 2
Zona Central (ZC)	5,0	6,0	Cone da Aeronáutica	Comércio e Serviço Setorial
Setor Especial Estrutural (SE)	4,0	5,0	Cone da Aeronáutica	Habitação Coletiva
Setor Especial Estrutural (SE)	4,0	6,0	Cone da Aeronáutica	Habitação Transitória 1 e 2 Comércio e Serviço Setorial

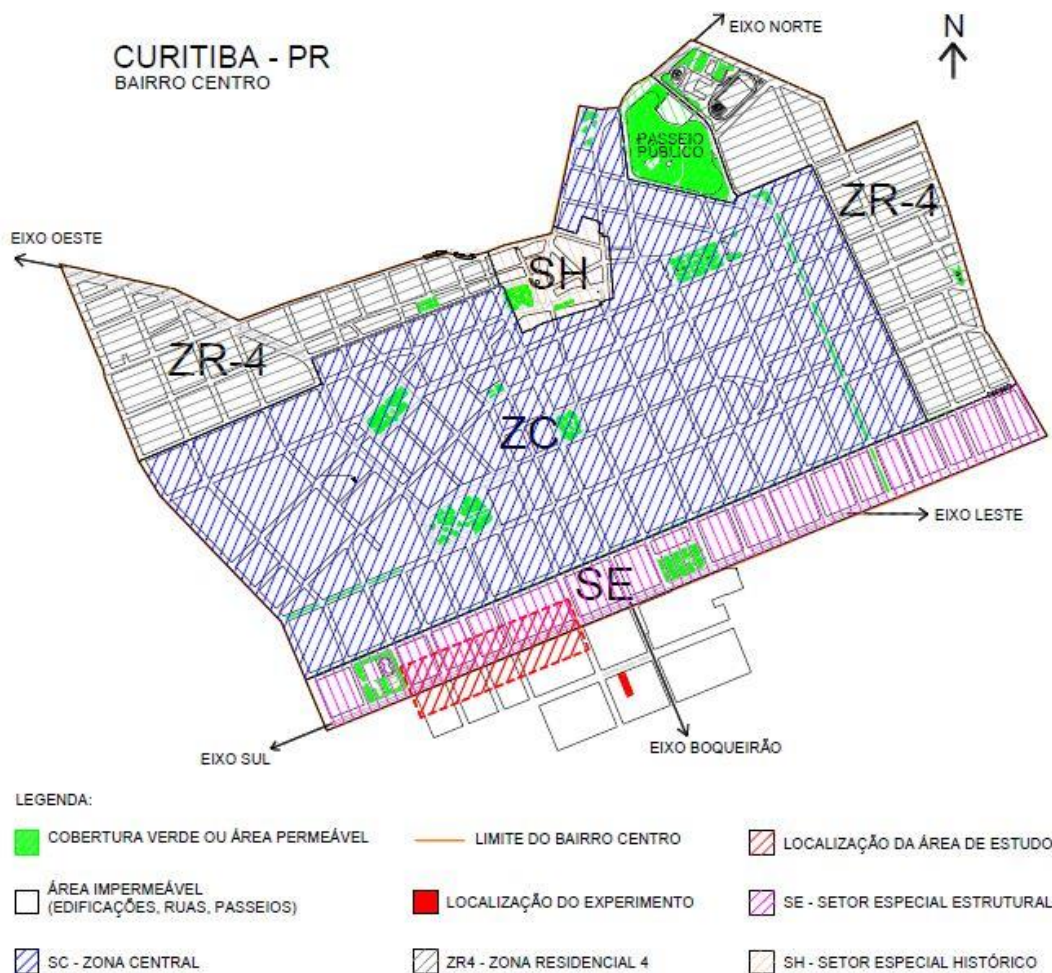
Fonte: O Autor (2015), adaptado de Curitiba, Lei n° 9800/00, Lei n° 9803/00 e Decreto n° 183/00.

Observa-se na Figura 44 as duas zonas predominantes no Bairro Centro, ou seja, a Zona Estrutural Especial e a Zona Central, as quais perfazem juntas 71% do total da área do Bairro. As demais zonas (ZR4 – Zona Residencial 4 e SH – Setor Especial Histórico) têm parâmetros construtivos mais restritivos que os do SE e da ZC e são, portanto, menos densas que a área escolhida para estudo.

Além dos parâmetros citados na Tabela 04, as construções que compõem a área em estudo podem atingir até 100% de taxa de ocupação do terreno (CURITIBA, DECRETO N° 190/00), o que pode potencializar ainda mais o fenômeno das ICUs, tendo em vista a impermeabilização total do solo para aproveitamento dos incentivos públicos de construção. De acordo com Lima (2004) e IPPUC (2014), o trecho

escolhido apresenta uma alta densidade de ocupação com vistas à otimização da infraestrutura instalada, como por exemplo as canaletas de transporte coletivo. Esse ordenamento do espaço urbano é fruto dos sucessivos Planos Diretores implantados pela Municipalidade, em especial a partir do ano 1970, no qual foram criados os eixos estruturantes (FIGURA 44) formatando a ocupação urbana nos anos que se seguiram através de uma ocupação linear da cidade (IPPUC, 2014).

Figura 44 – Zoneamento do Bairro Centro.



Fonte: O Autor (2015), adaptado de IPPUC (2014).

Notadamente nessas regiões com grande concentração de concreto (construções) e asfalto (ruas e eventualmente passeios), as coberturas verdes se apresentam como uma alternativa na mitigação dos efeitos das ICUs, de acordo com a vasta literatura do tema.



### 3.6 Testes de validade

De acordo com Yin (2001), os testes lógicos mais comumente utilizados para a validade de um projeto de pesquisa são a validade do constructo, a validade interna, a validade externa e a confiabilidade.

*Validade do constructo:* está vinculada, segundo Sampieri *et al.* (2006), com a teoria já publicada a respeito do assunto, ou seja, o que já foi estudado aponta caminhos que podem validar os procedimentos adotados nesta pesquisa? No site da *Science Direct* ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), acessado em 23/05/16) foram encontradas 2.381 referências relacionando coberturas verdes e ilhas de calor. Também se verifica a importância do tema coberturas verdes na existência de várias entidades e associações ao redor do mundo que promovem a sua divulgação e uma rede de *network* a respeito do assunto. Citam-se a *International Green Roofs Association* ([www.igra-word.com](http://www.igra-word.com)); a *Green Roofs for Healthy Cities* ([www.greenroofs.org](http://www.greenroofs.org)) e a *German Landscape Research, Development and Construction Society* (*Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau* - [www.fl.de](http://www.fl.de)).

*Validade interna:* é demonstrada ao se estabelecer possíveis relações causais entre a temperatura superficial medida *in loco* na cobertura verde e nos telhados de comparação com telhas cerâmicas e de fibrocimento e as ilhas de calor urbano, cujo fenômeno é amplamente documentado na literatura pesquisada.

*Validade externa:* acontece, segundo Yin (2001), quando as descobertas de um estudo são generalizáveis para outras situações e casos. Ao se abordar, nesta pesquisa, características comuns a vários centros urbanos causadoras do fenômeno de ilha de calor e a influência das coberturas nesse fenômeno, os dados levantados nesta pesquisa podem servir de embasamento para pesquisadores, arquitetos, engenheiros e autoridades para a tomada de decisão correlata ao tema.

*Confiabilidade:* está relacionada à possibilidade da repetição da pesquisa por outros pesquisadores e pela rastreabilidade dos dados obtidos. Para garantir esses quesitos, esta pesquisa conta com um protocolo de coleta de dados que descreve os procedimentos para a obtenção dos dados e sua análise.

### 3.7 Delimitações da pesquisa

Como já mencionado na Seção 3.1, Página 54, a presente pesquisa contempla unicamente a análise da temperatura superficial e sua possível contribuição na mitigação dos efeitos das ICUs. Vários fatores podem influenciar os resultados obtidos, tanto no que diz respeito ao experimento físico de medição da temperatura superficial quanto à projeção dessa variável na escala urbana:

- a) Precisão dos equipamentos utilizados;
- b) Erros grosseiros (humanos), causados por eventual equívoco de leitura dos dados dos equipamentos;
- c) Escala das fotos aéreas; quanto maior a escala, menor a precisão. Fotos não retificadas tendem a conter muita deformação, o que acaba por distorcer dados;
- d) Orientação solar e sombreamento dos telhados;
- e) A presença, orientação e velocidade dos ventos;
- f) As estações do ano, as quais podem intensificar ou não o efeito das ICUs;
- g) Intensidade da presença de veículos e de pessoas (calor antropogênico);
- h) A presença de áreas verdes (gramados, árvores, floreiras, etc) e corpos d'água próximos ao experimento e ao recorte urbano, os quais influenciam no microclima;
- i) A altura das edificações na formação de corredores de ventos (*canyons* urbanos);
- j) A refletância de elementos horizontais (ruas, calçadas, solos expostos, áreas vegetadas, telhados, etc. ) e de elementos verticais (as paredes das construções).
- k) Distância entre a estação meteorológica que tomou os dados de temperatura do ar e a localização do experimento.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta Seção da dissertação são apresentados os resultados obtidos no experimento físico e no exercício de representação gráfica desses resultados no recorte urbano, quanto ao desempenho da variável temperatura superficial. A partir da discussão proposta é possível inferir como seria o desempenho das coberturas estudadas na mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano.

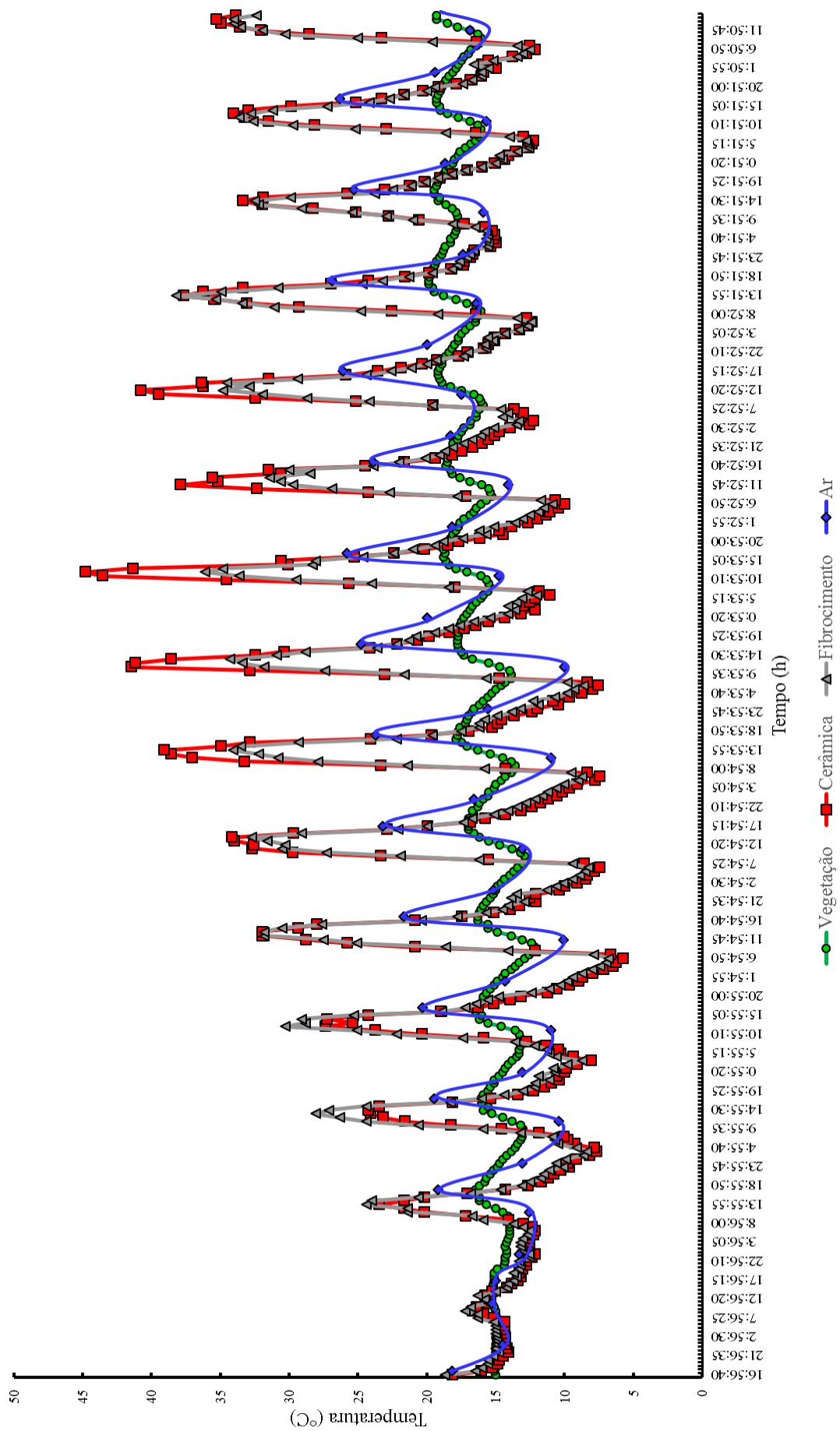
### 4.1 Experimento físico – desempenho da temperatura superficial

Todas as temperaturas medidas das coberturas (de hora em hora) mais a temperatura do ar fornecida pelo INMET (três temperaturas diárias) são apresentadas no Gráfico 01. Este Gráfico enfatiza os picos de temperaturas auferidas para as coberturas de vegetação, cerâmica e fibrocimento e do ar, bem como nos vales observam-se as temperaturas mínimas para todos os materiais avaliados.

Os coeficientes de variação (C.V.) para todas as temperaturas são apresentados no Apêndice 2, no qual se verifica que o C.V. médio para telha cerâmica (1,95) e para telha de fibrocimento (1,70) são superiores aos encontrados para a cobertura verde (0,50) e para o ar (1,16). No Gráfico 01 é possível observar as maiores e as menores temperaturas. Estas representam os valores que mais se afastaram da temperatura média encontrada para todos os materiais de cobertura (telha cerâmica 18,56°C, telha fibrocimento 18,60°C, cobertura verde 16,28°C e ar 17,61°C), pois quanto mais alta ou mais baixa foi a temperatura em relação à sua média, maior foi o valor de C.V. encontrado (APÊNDICE 2).

A respeito das diferenças entre as médias de temperatura dos materiais avaliados, o teste de *t* de *Student* indicou não haver diferença estatística significativa a nível de 5% entre as médias encontradas para as telhas cerâmicas e as telhas de fibrocimento (valor- $p = 0,95$ ), porém houve diferença estatística significativa entre as médias de temperatura quando se avaliou a cobertura verde com as demais coberturas (vegetação x fibrocimento – valor- $p = 0,000000010$ ; vegetação x cerâmica – valor- $p = 0,000000955$ ).

Gráfico 01 – Desempenho das temperaturas superficiais e do ar.



Fonte: O Autor (2016).

Os menores valores de temperatura encontrados no Gráfico 01 e no Apêndice 2 referem-se, em geral, às temperaturas registradas nos primeiros horários do dia. Essa variação provavelmente pode ser explicada pelo desempenho térmico dos materiais utilizados como coberturas. Tal comportamento é reportado em Bueno *et al.* (1994) no qual, de acordo com os autores, a telha cerâmica perde calor para o ambiente externo na forma de radiação de ondas longas à noite, o que acaba por resfriar o material, deixando-o com uma temperatura mais baixa que o ar. Esse comportamento térmico foi observado tanto para a cobertura de cerâmica quanto para a cobertura de fibrocimento. A vegetação, por sua vez, apresentou um comportamento térmico com temperaturas mais próximas às do ar, evidenciando sua inércia térmica (BASS *et al.*, 2002; ALEXANDRI e JONES, 2006; LOPES, 2007).

A diferença entre a temperatura média encontrada entre as telhas de fibrocimento e as telhas cerâmicas foi de apenas 0,04°C. Este valor estatisticamente não representa uma diferença relevante entre as médias de temperaturas desses dois materiais. Tal resultado difere de outros encontrados na literatura técnica, pois em várias pesquisas é possível constatar que as temperaturas das telhas de fibrocimento utilizadas nas coberturas das edificações são superiores às aquelas auferidas nas superfícies de telhas cerâmicas (SEVEGNANI *et al.*, 1994; JÁCOME *et al.*, 2007; LIMA *et al.* 2009).

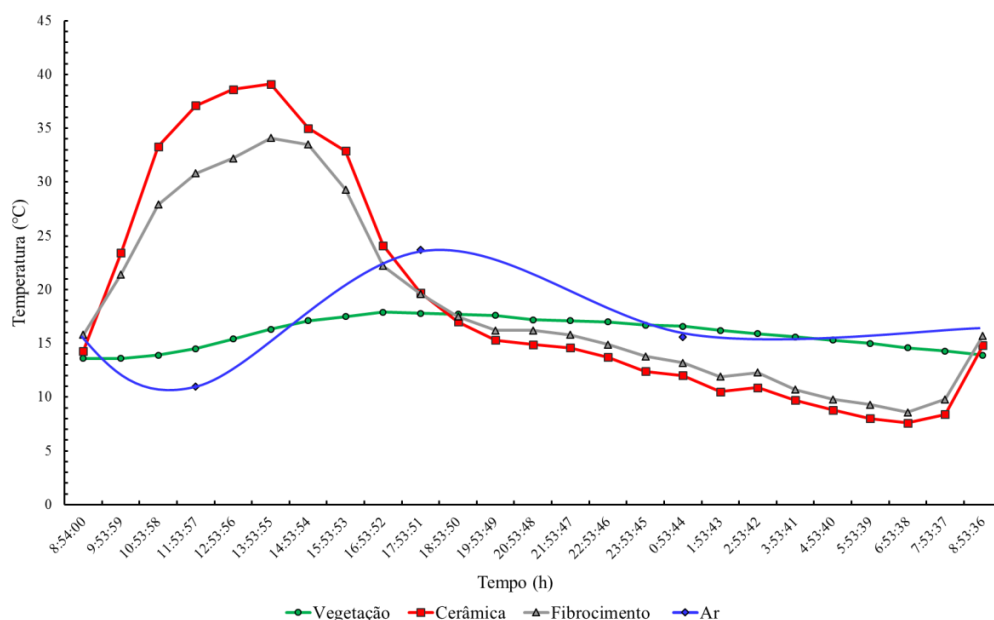
O desempenho térmico do material cerâmico é relatado por Bueno (1994), no qual o autor discorre que as trocas de umidade nas telhas cerâmicas são superiores às trocas de umidade observadas nas telhas de fibrocimento, portanto as telhas cerâmicas ao apresentarem uma característica de porosidade superior à das telhas de fibrocimento têm maiores perdas de energia por calor latente de evaporação durante o dia (MICHELS *et al.*, 2008) conseqüentemente as temperaturas superficiais das telhas cerâmicas tendem a ser menores que às das telhas de fibrocimento no período diurno. Contudo, os resultados de temperatura superficial observados na pesquisa desta dissertação mostraram que o desempenho térmico comumente apresentado pela telha cerâmica não ocorreu.

O Gráfico 02 representa um recorte da variação da temperatura referente a todos materiais utilizados na pesquisa durante um período de 24 h entre os dias 30/07/15 e 31/07/15. As temperaturas auferidas a cada hora permitem identificar de maneira clara que as temperaturas das telhas cerâmicas e as de fibrocimento foram superiores em relação à cobertura verde e do ar, durante o dia.

Um detalhe relevante observado tanto no Gráfico 02 como no Apêndice 2 diz respeito às temperaturas noturnas, pois de acordo com Bueno (1994) telhas impermeáveis (fibrocimento) tendem a apresentar temperaturas noturnas mais baixas do que as telha permeáveis (cerâmica). Este desempenho não foi observado neste experimento, no qual as temperaturas das telhas de fibrocimento apresentaram temperaturas superiores em relação às cerâmicas, no período entre 19h:53min:49s até 8h:53min:36s. Contudo, esses resultados estão de acordo com os encontrados por Abreu *et al.* (2011).

Observa-se no Gráfico 02 que a cerâmica e o fibrocimento tiveram o pico de temperatura às 13h:53min:55s, o que representa um atraso térmico entre a hora do aquecimento máximo solar e a hora da temperatura máxima, de acordo Ahrens (1993) e Roriz (2008). Segundo esses autores, a radiação solar incidente diminui após o meio-dia, porém há ainda a radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre por algum tempo. Isto leva a um balanço positivo de energia de 2 a 4 horas a mais além do meio-dia e substancialmente contribui para um atraso entre a hora do aquecimento máximo solar e a hora da temperatura máxima. Já a CV, por sua vez, manteve mais estáveis as temperaturas superficiais ao longo das 24h demonstradas no Gráfico 02 e em todo o período de coleta de dados, o que possivelmente está relacionado às suas características de inércia térmica (BASS *et al.*, 2002; ALEXANDRI e JONES, 2006; LOPES, 2007).

Gráfico 02 – Atraso do aquecimento das superfícies.



Fonte: O Autor (2016).

Na Tabela 05 é apresentada uma amostragem dos resultados obtidos para as temperaturas superficiais dos materiais avaliados nesta pesquisa: telha cerâmica, telha de fibrocimento e vegetação, bem como as temperaturas do ar. É possível observar que cada temperatura diária medida no experimento apresenta uma temperatura do ar correspondente, fornecida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016). Embora as temperaturas tenham sido auferidas de hora em hora entre os dias 23/07/2015 e 07/08/2015, a Tabela 06 apresenta somente as temperaturas em três momentos do dia, aproximadamente nos horários do meio-dia, às 18 horas e às 24 horas, isso para haver correspondência entre as temperaturas medidas e aquelas fornecidas pelo INMET, portanto essa Tabela representa uma amostra do total das temperaturas registradas para cada tipo de cobertura estudada. No Apêndice 2 constam todas as temperaturas avaliadas no experimento mais a temperatura do ar.

Tabela 05 – Amostragem dos valores das temperaturas superficiais e do ar: três valores diários.

Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
1	24/07/2015	05:632	15	1,35	14,3	5,01	14,900	4,20	14,5	2,70
2	24/07/2015	11:5621	15,3	1,07	15,6	4,06	15,500	3,74	15,3	1,99
3	24/07/2015	17:56:15	15,10	1,26	13,40	5,66	13,700	5,10	15	2,26
4	25/07/2015	05:608	14,20	2,10	12,20	6,54	12,600	5,93	13,3	3,75
5	25/07/2015	11:55:57	14,50	1,82	20,20	0,70	21,400	0,70	12,6	4,36
6	25/07/2015	17:55:51	16,50	0,06	14,30	5,01	14,600	4,42	19,2	1,43
7	26/07/2015	05:544	14,7	1,63	9,8	8,29	10,600	7,44	13,1	3,93
8	26/07/2015	11:55:33	13,8	2,48	21,6	0,32	24,400	2,97	10,4	6,30
9	26/07/2015	17:55:27	16,1	0,32	15,4	4,20	16,000	3,37	19,5	1,70
10	27/07/2015	05:520	14,5	1,82	10	8,14	10,700	7,36	13,1	3,93
11	27/07/2015	11:55:09	13,6	2,67	23,8	1,92	25,100	3,49	11	5,77
12	27/07/2015	17:55:03	16,4	0,04	16,3	3,55	17,200	2,46	20,3	2,40
13	28/07/2015	05:456	14,9	1,45	9	8,87	9,800	8,04	14,3	2,87
14	28/07/2015	11:54:45	13,1	3,14	28,8	5,56	27,500	5,30	10,1	6,56
15	28/07/2015	17:54:39	16,3	0,13	17,5	2,67	17,800	2,01	21,7	3,63
16	29/07/2015	05:432	15	1,35	10,4	7,85	11,300	6,91	15,2	2,08
17	29/07/2015	11:54:21	13,8	2,48	32,7	8,41	30,500	7,56	13,1	3,93
18	29/07/2015	17:54:15	17	0,53	20	0,85	20,000	0,35	23,2	4,95
19	30/07/2015	05:408	15,9	0,51	11,2	7,27	12,100	6,31	16,6	0,85
20	30/07/2015	11:53:57	14,5	1,82	37,1	11,62	30,800	7,79	11	5,77
21	30/07/2015	17:53:51	17,8	1,28	19,7	1,07	19,600	0,65	23,7	5,38
22	31/07/2015	05:344	16,6	0,15	12	6,68	13,200	5,48	15,6	1,73
23	31/07/2015	11:53:33	14,7	1,63	41,5	14,82	31,800	8,54	10	6,65
24	31/07/2015	17:53:27	17,8	1,28	22,2	0,75	22,200	1,31	24,8	6,35
25	01/08/2015	05:320	17,3	0,81	14,4	4,93	15,400	3,82	20	2,14
26	01/08/2015	11:53:09	16,1	0,32	43,6	16,35	33,600	9,90	14,8	2,43
27	01/08/2015	17:53:03	18,7	2,12	22,4	0,90	22,400	1,46	25,8	7,23
28	02/08/2015	05:256	17,7	1,18	13,9	5,30	15,100	4,05	18,2	0,55
29	02/08/2015	11:52:45	16	0,41	37,9	12,20	29,700	6,96	14,1	3,05
30	02/08/2015	17:52:39	18,5	1,93	21,7	0,39	22,000	1,16	23,9	5,56
31	03/08/2015	05:232	17,7	1,18	15,1	4,42	16,100	3,29	18,3	0,64
32	03/08/2015	11:52:21	16,6	0,15	39,5	13,36	31,900	8,62	17,5	0,06
33	03/08/2015	17:52:15	19,2	2,59	23,6	1,77	22,600	1,61	26,1	7,49
34	04/08/2015	05:208	18	1,46	15,6	4,06	15,800	3,52	20	2,14
35	04/08/2015	11:51:57	17,1	0,62	33,1	8,70	33,400	9,75	16,4	1,03
36	04/08/2015	17:51:51	19,9	3,25	24,3	2,28	23,200	2,06	26,9	8,20
37	05/08/2015	05:144	18,9	2,31	16,7	3,26	16,900	2,69	17,4	0,15
38	05/08/2015	11:51:33	17,9	1,37	25,2	2,94	25,400	3,72	15,9	1,47
39	05/08/2015	17:51:27	19,5	2,87	23,1	1,41	22,500	1,53	25,3	6,79
40	06/08/2015	05:120	18,1	1,56	15,1	4,42	15,000	4,12	18,7	0,99
41	06/08/2015	11:51:09	16,9	0,43	31,5	7,53	32,600	9,15	15,7	1,64
42	06/08/2015	17:51:03	19,3	2,68	23,3	1,56	22,700	1,68	26,3	7,67
		<b>Média</b>	<b>16,44</b>	<b>1,42</b>	<b>21,17</b>	<b>5,37</b>	<b>20,47</b>	<b>4,54</b>	<b>17,57</b>	<b>3,58</b>

Onde:

C.V. (veg.) = Coeficiente de variação das temperaturas da vegetação

C.V. (cer.) = Coeficiente de variação das temperaturas da telha cerâmica

C.V. (ar) = Coeficiente de variação das temperaturas do ar

C.V. (fibr.) = Coeficiente de variação das temperaturas da telha fibrocimento

Fonte: O Autor (2016).

Na Tabela 05 é possível observar que houve diferença entre a maioria das temperaturas medidas nas diferentes superfícies avaliadas (vegetação, cerâmica e fibrocimento) e a temperatura do ar. A média encontrada para a temperatura da vegetação foi de 16,44°C, sendo a menor média encontrada entre todas as coberturas avaliadas. A cobertura de telha cerâmica apresentou a maior média de temperatura (21,17°C). A temperatura média do ar foi de 17,57°C, sendo inferior à temperatura média encontrada para a cerâmica e fibrocimento (20,47°C), porém superior à temperatura média da vegetação.

A média dos coeficientes de variação (C.V.) encontrados para a vegetação foi de 1,42. O baixo valor de C.V. para essa variável indica que não houve oscilações discrepantes entre as temperaturas diárias em relação à sua média. Essa constatação no comportamento das temperaturas da vegetação pode estar relacionada com a inércia térmica característica desse tipo de cobertura (substrato e vegetação). (ALEXANDRI e JONES, 2006; BASS *et al.*, 2002). A mesma constatação não foi observada para as demais médias de coeficientes de variação.

O C.V. médio (5,37) encontrado para as telhas cerâmicas e para as telhas de fibrocimento (4,54) atestam a existência de valores discrepantes de temperatura, o que pode estar relacionado com as características térmicas desses materiais. O C.V. médio do ar (3,58) indicou haver oscilações das temperaturas em função das condições climáticas e tais valores foram utilizados na Tabela 06 com o objetivo de compará-los aos valores das temperaturas medidas nas demais coberturas avaliadas. As temperaturas do ar foram tomadas a 3,6 km lineares do local do experimento, na estação meteorológica do INMET, na UFPR.

A Tabela 06 apresenta os resultados do teste t de *Student* para averiguar a existência da diferença estatística entre as temperaturas superficiais de todas as coberturas avaliadas e para a temperatura do ar. Ao serem confrontadas as temperaturas entre ar e vegetação (valor- $p = 0,1691$ ) e entre telhas cerâmicas e telhas de fibrocimento (valor- $p = 0,6992$ ), o teste acusou não haver diferença estatística com nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ) entre as médias de temperaturas confrontadas.

Contudo, o teste t de *Student* demonstrou haver diferença estatística significativa ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ) quando foram confrontadas as médias de temperaturas do ar e da



cerâmica (valor- $p = 0,0303$ ), ar e fibrocimento (valor- $p = 0,0330$ , cerâmica e vegetação (valor- $p = 0,0023$ ) e fibrocimento e vegetação (valor- $p = 0,0009$ ).

Tabela 06 – Teste t de *Student* para comparação das médias de temperaturas.

<b>Temperaturas (°C)</b>	<b>Valor-<math>p</math></b>	<b>Médias de tratamento (°C)</b>	<b>Médias de tratamento (°C)</b>
Ar x Veg.	0,1691	Ar = 17,57 <b>b</b>	Veg. = 16,44 <b>b</b>
Ar x Cer.	0,0303	Ar = 17,57 <b>b</b>	Cer. = 21,17 <b>a</b>
Ar x Fibr.	0,0330	Ar = 17,57 <b>b</b>	Fibr. = 20,47 <b>a</b>
Cer. x Fibr.	0,6992	Cer. = 21,17 <b>a</b>	Fibr. = 20,47 <b>a</b>
Cer. x Veg.	0,0023	Cer. = 21,17 <b>a</b>	Veg. = 16,44 <b>b</b>
Fibr. x Veg.	0,0009	Fibr. = 20,47 <b>a</b>	Veg. = 16,44 <b>b</b>

Onde:

Ar x Veg. = temperaturas do ar versus temperaturas da vegetação

Ar x Cer. = temperaturas do ar versus temperaturas da cerâmica

Ar x Fibr. = temperaturas do ar versus temperaturas do fibrocimento

Cer. x Fibr. = temperaturas da cerâmica versus temperaturas do fibrocimento

Cer. x Veg. = temperaturas da cerâmica versus temperaturas da vegetação

Fibr. x Veg. = temperaturas do fibrocimento versus temperaturas da vegetação

Valor- $p$  = probabilidade de diferenças entre os grupos analisados

Obs: as médias seguidas com letras iguais não apresentam diferenças estatísticas ao nível de 5% de significância pelo teste de t de *Student* ( $p < 0,05$ ).

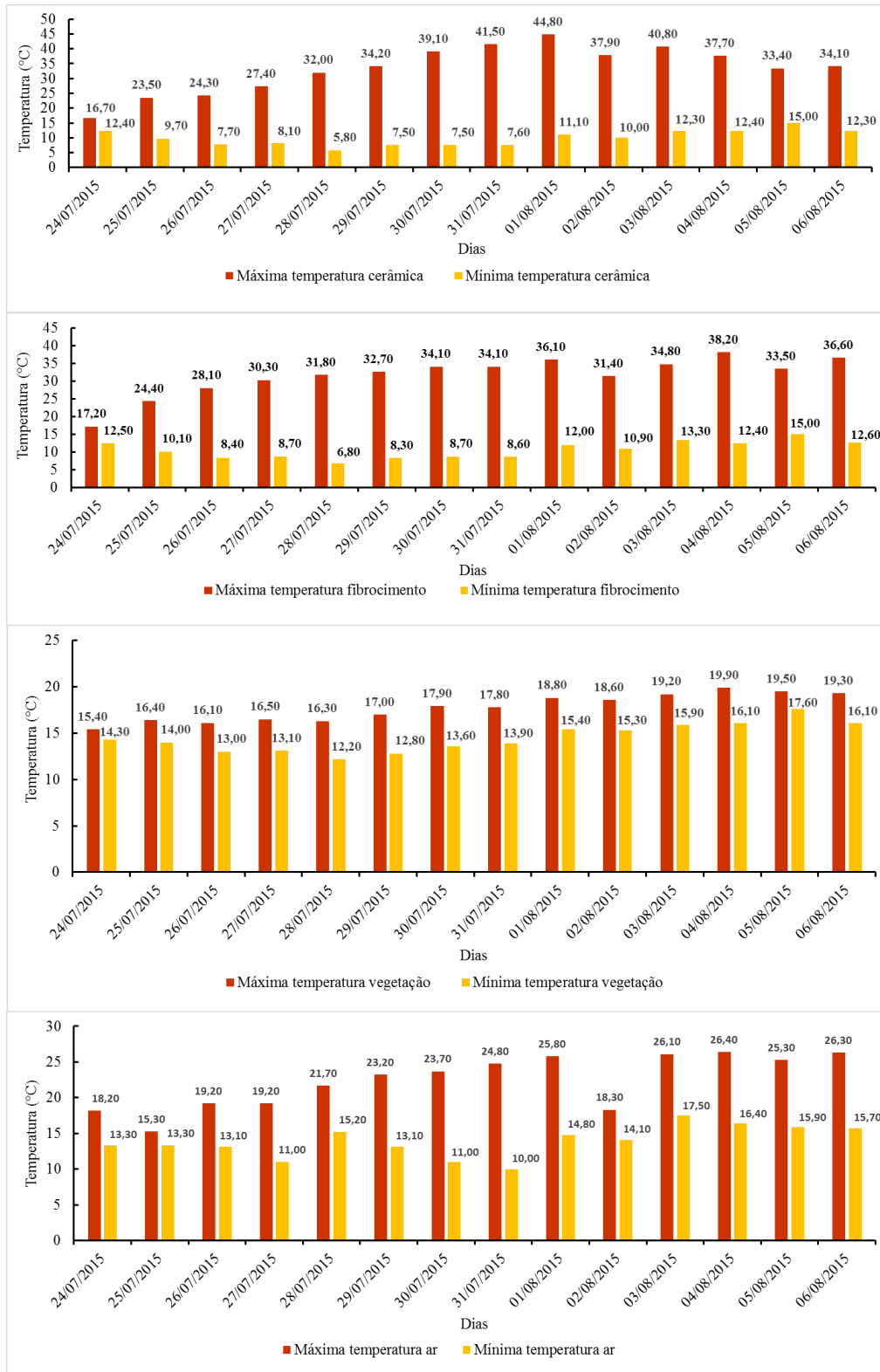
Fonte: O Autor (2016).

O Gráfico 03 representa as amplitudes térmicas diárias obtidas através da amostragem de dados do período de 24/07/15 a 06/08/15. Observa-se que a telha cerâmica foi o material cuja temperatura superficial mais variou entre a máxima e a mínima, apresentando uma amplitude térmica de 33,90°C (31/07/15), seguida pelo telhado de fibrocimento, com uma diferença de 25,80°C (04/08/15). Dentre os três materiais estudados, a cobertura verde apresentou a menor amplitude térmica, 4,30°C (30/07/15), inclusive sendo menor que a variação do ar, a qual foi de 14,80°C (31/07/15).

A amplitude térmica observada através do Gráfico 03 pode representar um elemento importante na escolha dos materiais de cobertura, pois um material que apresenta uma grande amplitude de temperatura pode significar uma maior quantidade de energia térmica liberada para o ambiente. Isso torna-se relevante uma vez que a cobertura é um dos principais elementos de proteção passiva de uma edificação, pois desempenha um papel importante na eficiência energética (CTCV, 2012), e também

porque projetos de edificações bem definidos precisam empregar conhecimentos sobre as propriedades térmicas dos elementos que serão utilizados como revestimento ou fechamento das edificações (MORAES *et al.* 1999).

Gráfico 03 – Amplitudes térmicas diárias.



Fonte: O Autor (2016).

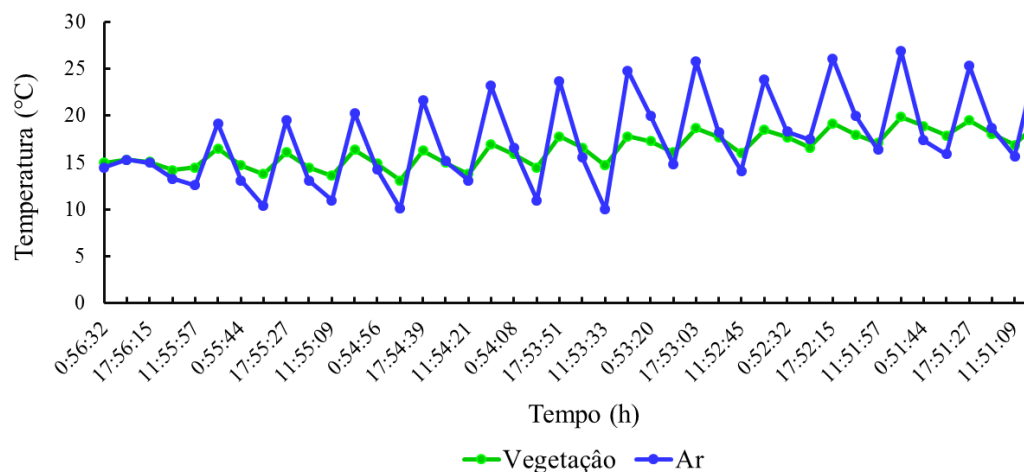
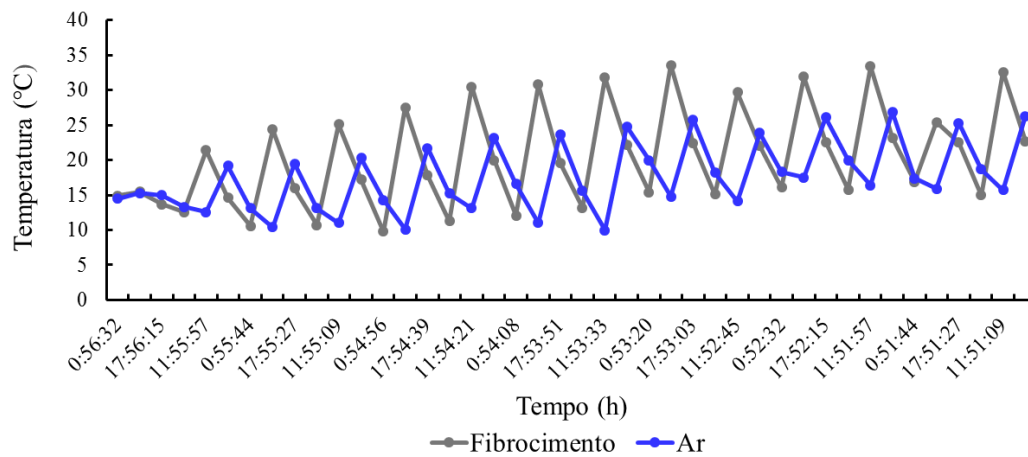
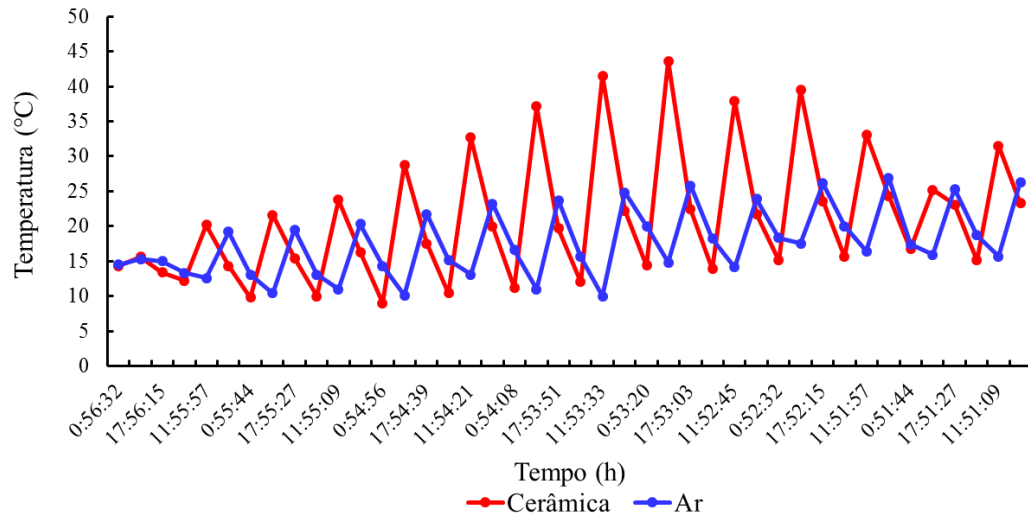
De acordo com Bueno (1994), telhas permeáveis (cerâmicas) apresentam uma temperatura superficial maior no período noturno e durante o dia esse material apresenta temperaturas superficiais mais baixas que telhas impermeáveis (fibrocimento). Esse desempenho térmico diverge do encontrado no experimento desta dissertação, pois ao se observar os dados do Apêndice 2 é possível averiguar que geralmente durante à noite as temperaturas superficiais das telhas cerâmicas foram inferiores às encontradas para as telhas de fibrocimento. Durante o dia o material cerâmico, em geral, apresentou temperaturas muito próximas às do fibrocimento, o que na média não representou diferença estatística significativa. Porém, em alguns horários, verificou-se que algumas temperaturas auferidas para o material cerâmico excederam às do material fibrocimento em até 10°C (APÊNDICE 2).

O desempenho térmico apresentado pelas telhas cerâmicas nesta pesquisa não condiz com o relatado por Ferreira e Prado (2003). Os autores reportam que o material cerâmico, em função de suas características físicas, pode atingir temperaturas superficiais mais baixas que a temperatura do ar. Enfatizam que os ganhos de temperatura superficial dos materiais de cobertura estão relacionados com o albedo e a emissividade de cada material, por isso quanto mais próxima da temperatura do ar estiver a temperatura do material de cobertura, menor será a transmissão de calor por convecção da cobertura para o ar e, por radiação de onda longa, para o entorno das edificações. Sendo assim e observando-se o Gráfico 04, nota-se que a cerâmica foi a que apresentou a maior diferença de valores para a temperatura máxima com relação ao ar (18,40°C), seguida da cobertura de fibrocimento (11,80°C) e por último a vegetação (6,50°C).

O fato do material cerâmico ter apresentado temperaturas superficiais próximos às do fibrocimento pode ter tido como um dos principais fatores alterações ocorridas no material cerâmico em função do seu tempo de uso (as telhas cerâmicas utilizadas nesta pesquisa têm aproximadamente 24 anos). O envelhecimento pode ter influenciado as trocas de calor entre o material e o meio fazendo com o que o material cerâmico ficasse mais aquecido. De acordo com Ferreira e Prado (2003), o desempenho térmico dos materiais pode ser caracterizado pela temperatura superficial que podem atingir em função de características como albedo (ou refletância) e pela sua emissividade. Conforme pesquisado por aqueles autores, o albedo de telhas cerâmicas pode chegar a 78,8% e o de telhas de fibrocimento a 40,87% para a região do espectro eletromagnético

que corresponde ao infravermelho. Tal índice de refletância foi responsável pelo menor aquecimento de telhas cerâmicas em relação às de fibrocimento. O contrário foi observado nos resultados do experimento desta dissertação,

Gráfico 04 – Comparação entre a temperatura das coberturas e do ar.



Fonte: O Autor (2016).

na qual as temperaturas superficiais da cerâmica foram próximas às das fibrocimento, sendo que alterações físico químicas (SLEIMAN *et al.*, 2014) também podem ter ocorrido no material cerâmico fazendo com que provavelmente sua capacidade de refletância tenha diminuído e sua absorvância tenha sido intensificada pelo escurecimento da superfície cerâmica em função de seu envelhecimento

Tal observação pode ser fundamentada através dos relatos de Berdahl *et al.* (2006), os quais reportam que materiais expostos sofrem ação das intempéries como umidade, ciclos diurnos de temperatura e ação da radiação ultravioleta e que materiais de coberturas podem levar vários anos para chegar à estabilização do coeficiente de reflexão, influenciado pela variabilidade sazonal da precipitação, pela deposição de poeira, e pela poluição do ar, bem como por alterações físicas e químicas dos materiais expostos. A interferência da radiação UV, na qualidade física dos materiais de cobertura, também foi observada experimentalmente por Ferreira e Prado (2003), os quais observaram uma baixa refletância para as telhas em cerâmica para o comprimento de onda entre 290-380 nm, indicando uma susceptibilidade à degradação dos materiais, a este tipo de radiação UV. Embora tais índices não tenham sido avaliados nesta pesquisa, acredita-se que a utilização de telhas cerâmicas “usadas” no experimento físico configurem o principal fator para que o seu comportamento térmico tenha sido similar ao das telhas em fibrocimento.

Pesquisas nacionais e internacionais têm destacado a relevância do envelhecimento e da sujidade no desempenho da refletância dos materiais de cobertura. Marques *et al.* (2013) registraram as temperaturas superficiais de telhas cerâmicas novas e envelhecidas sendo que para a aquisição das temperaturas superficiais utilizaram termopares tipo T (*Cobre-Constantan*) e equipamento do fabricante *Campbell Cientific*, modelo CR 1000. Nessa pesquisa, a telha cerâmica envelhecida registrou uma temperatura superficial 6,2°C acima da telha nova, não obstante ambas fossem compostas de idêntico material. O desgaste da telha envelhecida, junto com a presença de fuligem e fungos que acabou por escurecer a sua superfície, influenciou no comportamento do fluxo de calor aumentando sua temperatura superficial em relação à telha nova. Também é possível registrar as pesquisas desenvolvidas por Levinson *et al.* (2005), Berdahl *et al.* (2006), Suehrcke *et al.* (2008) e Silveira *et al.* (2012).

Já o trabalho conduzido por um grupo de pesquisadores dos Estados Unidos, França, Itália e Canadá (SLEIMAN *et al.*, 2014; SLEIMAN *et al.*, 2015), destaca o tema envelhecimento e sujidade das coberturas e sua influência na refletividade dessas superfícies. Esse grupo salienta que a alta refletividade das coberturas pode diminuir a energia para resfriamento do edifício, ajuda na mitigação dos efeitos das ICUs e do aquecimento global. Contudo, registram que esses benefícios diminuem pela ação de sujidades e pelas condições climáticas a que estão expostas as coberturas. O grupo desenvolveu um método de aceleração de envelhecimento, no qual incorpora características de sujidade e de condições climáticas afim de simular, em três dias, o desempenho de coberturas que seriam avaliadas comumente ao longo de três anos, no que tange às suas características de refletividade. As amostras de materiais foram submetidas à mistura de componentes químicos como minerais em pó, ácidos orgânicos e sais, além de ciclos de radiação ultravioleta, calor e água. Um grupo de nove laboratórios internacionais reproduziu a experiência afim de estabelecer protocolos de precisão e de repetição, utilizando doze produtos representativos de coberturas, tais como telhas de barro, de concreto, de asfalto e metálicas. Os resultados do conjunto de laboratórios atestaram que os procedimentos propostos podem ser utilizados e replicados com precisão aceitável, dando suporte às práticas de projeção de envelhecimento afim de acelerar a avaliação e o desempenho de coberturas refletivas. Sendo assim, os resultados obtidos para a temperatura superficial da telha cerâmica na pesquisa desta dissertação podem apontar para a mesma direção de vários estudos realizados ao redor do mundo.

Os resultados apontaram que no período noturno a cobertura verde manteve sua temperatura superficial mais estável se comparada às outras duas, sendo que as demais perderam calor mais rapidamente para o ambiente. No período diurno os telhados de comparação aqueceram mais rapidamente que a CV. Esta, por sua vez, manteve sua temperatura superficial mais próxima da temperatura do ar tanto no período noturno quanto no período diurno. Tais resultados corroboram os encontrados por Scherba *et al.* (2011), segundo os quais as CVs contribuem de forma significativa no período noturno, no qual a intensidade das ICUs é mais intensa. Segundo esses autores, o fluxo de calor

sensível<sup>5</sup> durante a noite é importante, pois influencia a perpetuação ou não dos ciclos de ilhas de calor. Susca *et al.* (2011) obtiveram resultados que apontaram que a CV teve um pico de calor sensível menor que outros telhados de comparação, destacando seu potencial de atenuação das ICUs.

Alguns autores citam a refletância da vegetação como sendo menor que a da telha cerâmica (30% e 78,8%, respectivamente. FERRERIA e PRADO, 2003; ALEXANDRE e JONES, 2006), o que poderia sugerir menores valores de temperatura superficial nas telhas cerâmicas. Contudo, itens como o sombreamento e cor das plantas, a umidade da evapotranspiração e a composição do substrato são fatores que muito provavelmente interferiram no desempenho da temperatura superficial da vegetação, tornando-a a temperatura mais próxima da temperatura do ar. No experimento da presente pesquisa e considerando todo o período analisado, a temperatura superficial média da cobertura verde foi de 16,28°C, menor inclusive que a do próprio ar (17,61°C), não obstante estatisticamente não haver diferenças consideráveis entre esses dois valores (APÊNDICE 2).

Embora a presença de água na CV através da evapotranspiração e do seu substrato possam sugerir que essa técnica seja mais interessante em cidades quentes e secas e não em cidades como Curitiba – com clima subtropical úmido mesotérmico sem estações secas e por ser a capital mais fria do Brasil (INMET, 2016) – salienta-se que os fatores como as altas taxas de impermeabilização dos centros urbanos e o calor antropogênico são comuns a praticamente todos os centros urbanos, independente do clima e, portanto, sujeitos aos efeitos das ICUs. Alexandri e Jones (2006), através de simulações computacionais, relatam que ainda em cidades úmidas como Hong Kong as CVs apresentam ganhos ambientais.

O maior pico de temperatura da CV foi de 19,90°C obtido aproximadamente às 18h, enquanto os maiores picos das coberturas cerâmica e de fibrocimento foram 44,80°C e 38,20° respectivamente, obtidos próximos às 14h (APÊNDICE 2). Conforme relatado por Ahrens (1993) e Roriz (2008), há um balanço positivo de energia de 2 a 4 horas a mais além do meio-dia, o que se comprovou nas coberturas cerâmica e de

<sup>5</sup> Calor sensível é aquele transferido entre duas porções de matéria com diferença de temperatura. (SCHMID, 2005). A transmissão pode ser por condução, convecção ou radiação: ver Seção 2.2, Página 26.

fibrocimento. Contudo, para a CV observou-se um retardo no ganho de energia solar, pois o maior pico aconteceu cerca de 8h após o horário de maior incidência de radiação solar. Em pesquisa de Saiz *et al.* (2006), na qual se compara a conservação de energia de telhados reflexivos e CVs através de projeções computacionais, demonstrou-se que o pico de temperatura superficial da cobertura verde foi aproximadamente 7°C mais baixa do que a de um telhado branco. Embora no experimento desta dissertação não tenha sido feita a comparação com um telhado branco, cabe ressaltar que o maior pico de temperatura superficial da CV foi 24,9° inferior ao da cerâmica e 18,3°C inferior à cobertura de fibrocimento.

Como visto nos resultados anteriormente apresentados, as coberturas cerâmica e de fibrocimento foram as que mais aqueceram durante o dia e as que mais rapidamente perderam calor à noite, o que converge com o relatado por Roriz (2008), segundo o qual quanto mais alta for a temperatura superficial, maiores serão as taxas de perdas de calor. Já a CV manteve mais estáveis suas temperaturas superficiais, tanto de dia quanto à noite, o que condiz com autores como Lopes (2007); Susca *et al.* (2011); Berardi *et al.* (2013) segundo os quais a resistência térmica da CV é um fator de amenização de sua temperatura superficial.

Nos materiais das coberturas estudadas foi possível observar o desempenho de uma das variáveis do comportamento térmico dos materiais de cobertura, ou seja, a temperatura superficial. Constatou-se através da medição dessa variável como os materiais recebem a radiação direta e indireta do sol durante o dia, armazenam o calor e à noite o liberam, sobreaquecendo o ambiente urbano, em relação às zonas suburbanas ou rurais. Tal desempenho ocorreu nos três telhados e de forma mais acentuada nas telhas cerâmica e de fibrocimento e menos acentuada na cobertura verde.

A cobertura verde apresentou uma inércia térmica maior que as outras duas coberturas, confirmando uma de suas mais relevantes qualidades, ou seja, a sua capacidade de ter menos oscilações entre os ganhos e as perdas de calor, favorecendo a economia de energia do edifício, tanto para seu resfriamento quanto para seu aquecimento, além de contribuir para a estabilidade da temperatura na mesoescala e no microclima do entorno do edifício e, conseqüentemente, da cidade.

Dos resultados do experimento desta dissertação, salienta-se aquele obtido para o desempenho da cobertura cerâmica, atestando o que vários estudos comprovam sobre a



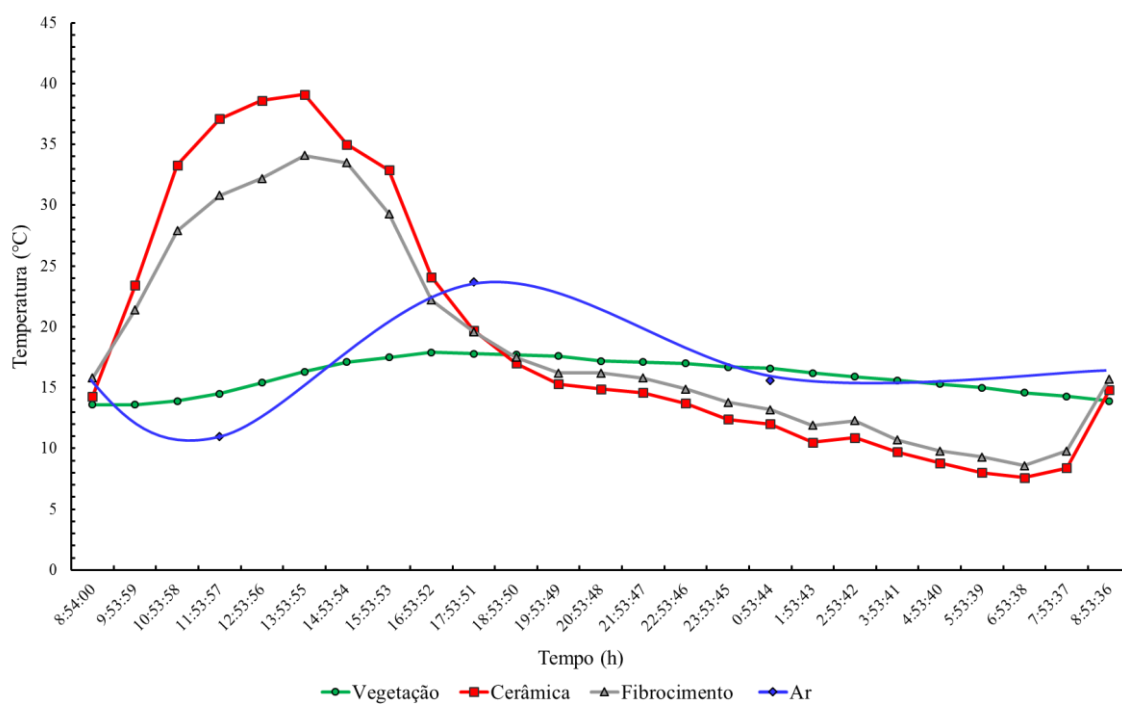
alteração dos índices de refletância dos materiais ao longo de sua vida útil (LEVINSON *et al.*, 2005; SUEHRCKE *et al.*, 2008; SILVEIRA *et al.*, 2012; MARQUES *et al.*, 2013; SLEIMAN *et al.*, 2015). Dessa forma, faz-se um contraponto às características das CVs, tendo em vista que estas, por suas características técnicas, têm maior capacidade de armazenamento térmico e pouco diminuem seu índice de refletância ao longo dos anos, como as demais coberturas, podendo-se, dessa forma, serem mais eficientes na mitigação dos efeitos das ICUs. Também como resultado é possível inferir que não basta a instalação de materiais frescos ou materiais de alta refletância se não houver a sua manutenção periódica para manter eficiente os seus índices de refletância.

Não se descarta a hipótese de ter havido uma possível interferência no desempenho da temperatura superficial dos três materiais avaliados em virtude da proximidade entre eles. A disposição entre os protótipos de cerâmica e de fibrocimento pode ter sido um fator que influenciou em seus comportamentos térmicos. Embora não tenha sido possível confirmar experimentalmente, existe a possibilidade do material fibrocimento ter contribuído, através de algum dos processos de transferência de calor, com a variação das temperaturas medidas no material cerâmico, permitindo que este apresentasse comportamento térmico próximo ao do material de fibrocimento e picos de temperatura maiores em determinados períodos. Porém, tal hipótese de influência precisa ser vista com cautela, pois os dois protótipos de cobertura estavam próximos, mas não em total contato direto, o que demandaria estudos mais específicos para a confirmação da interação térmica desses dois materiais. Também a estrutura revestida de alumínio utilizada para proteger os termopares pode ter representado uma barreira desfavorecendo a influência de um material no outro na coleta dos dados de temperatura. Já a influência da CV no comportamento térmico dos materiais fibrocimento e cerâmico pode ter sido mais efetiva, pois em vários trabalhos técnicos relatam-se que a presença da vegetação contribui para amenização das temperaturas em centros urbanos (BASS *et al.*, 2002; ALEXANDRI e JONES, 2006). Sendo assim, baseando-se na premissa do desempenho térmico da CV nos centros urbanos, é possível inferir que houve influência da vegetação na atenuação da temperatura do entorno tendo-se em vista inclusive sua maior área ocupada no experimento. Contudo, a magnitude dessa influência não foi mensurada no experimento e novos estudos poderiam confirmar essa possibilidade.

## 4.2 Exercício de representação gráfica das temperaturas superficiais no recorte urbano

Os dados de temperatura superficial obtidos no experimento físico foram transformados em uma escala gráfica de cores e, de acordo com o tipo de cobertura existente no recorte urbano escolhido, foi feito um exercício de representação gráfica para a visualização do comportamento da temperatura superficial ao longo de 24 horas escolhidas aproximadamente no meio do período total de coleta de dados. O período escolhido foi do dia 30/07/15 às 8:54:00 até o dia 31/07/15 às 8:53:36. A representação gráfica foi dividida em dois períodos aproximados de 12 horas cada, representados em cores a cada 2 horas, também aproximadamente, com o objetivo de se visualizar o comportamento da temperatura superficial durante o dia e à noite. O resultado da projeção gráfica das temperaturas da cerâmica e do fibrocimento foi colocado ao lado do resultado obtido para a vegetação, a fim de se visualizar e comparar como seria o comportamento dessas coberturas no espaço urbano. O Gráfico 05 demonstra as 24h selecionadas para o exercício de representação gráfica.

Gráfico 05 – Período de tempo selecionado para o exercício de representação gráfica.



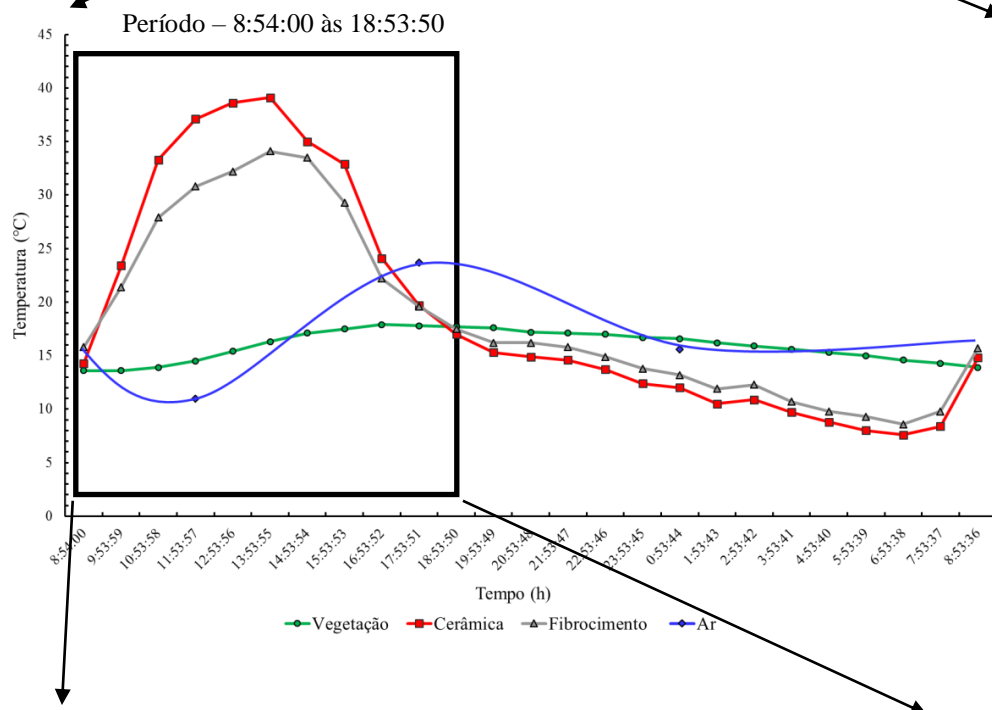
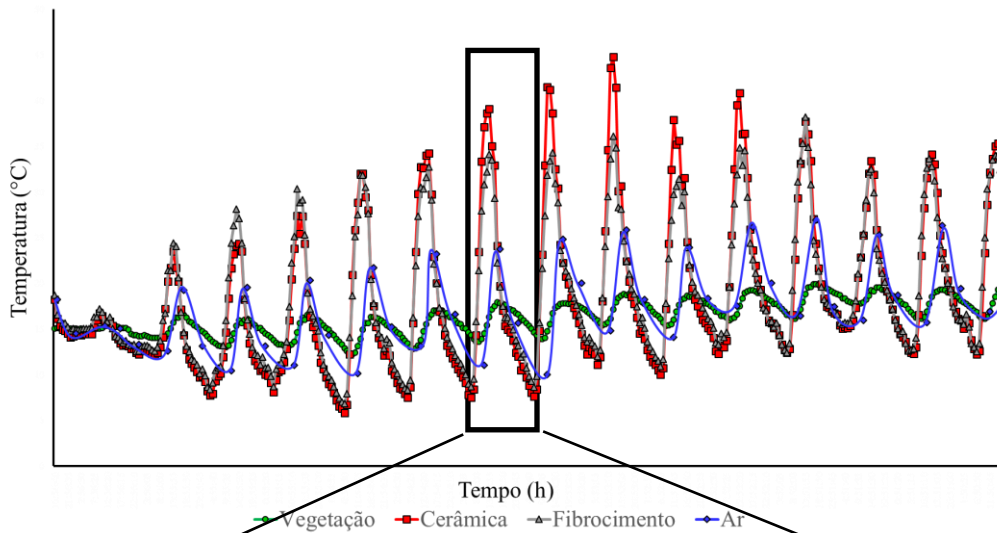
Fonte: O Autor (2016).

As Figuras 45 e 47 (Página 105) ilustram a sequência de obtenção do trecho escolhido para o exercício de representação gráfica, desde todo o período de coleta de dados até a tabulação das temperaturas utilizadas no referido exercício gráfico.

As Figuras 46 (Página 104) e 48 (Página 106), por sua vez, são resultados da aplicação, no recorte urbano, das temperaturas colhidas nos três tipos de coberturas monitorados. No lado esquerdo representam-se telhados cerâmicos e de fibrocimento, de acordo com o tipo de cobertura existente no local. No lado direito projeta-se como seriam essas coberturas utilizando-se a técnica de cobertura verde.

Figura 45 – Período *diurno* selecionado para o exercício de representação gráfica do recorte de estudo.

Dias – 30/07/2015 a 31/07/2015

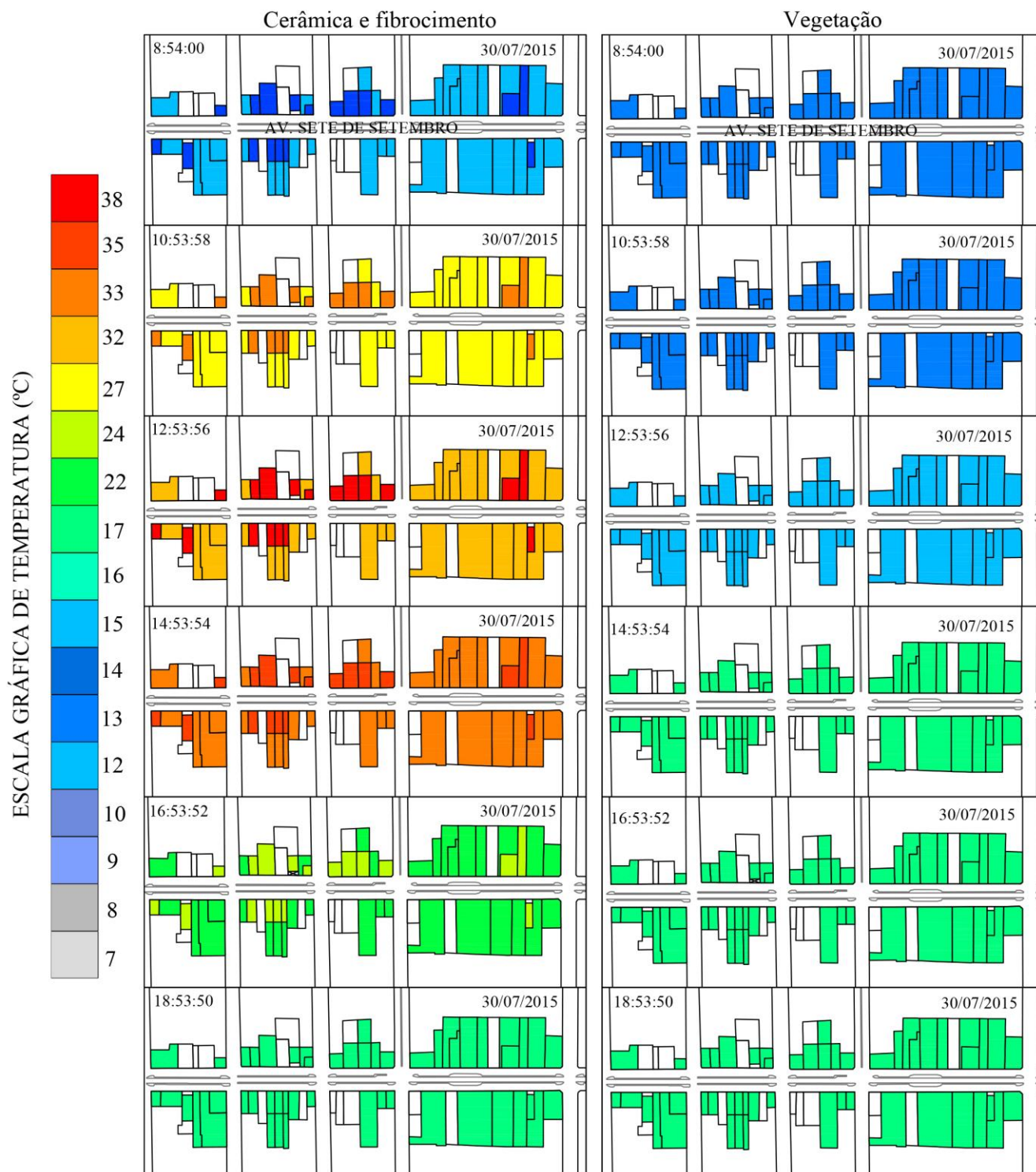


Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	Cerâmica (°C)	Fibrocimento (°C)
<b>30/07/2015</b>	<b>8:54:00</b>	<b>13,6</b>	<b>14,3</b>	<b>15,8</b>
30/07/2015	9:53:59	13,6	23,4	21,4
<b>30/07/2015</b>	<b>10:53:58</b>	<b>13,9</b>	<b>33,3</b>	<b>27,9</b>
30/07/2015	11:53:57	14,5	37,1	30,8
<b>30/07/2015</b>	<b>12:53:56</b>	<b>15,4</b>	<b>38,6</b>	<b>32,2</b>
30/07/2015	13:53:55	16,3	39,1	34,1
<b>30/07/2015</b>	<b>14:53:54</b>	<b>17,1</b>	<b>35</b>	<b>33,5</b>
30/07/2015	15:53:53	17,5	32,9	29,3
<b>30/07/2015</b>	<b>16:53:52</b>	<b>17,9</b>	<b>24,1</b>	<b>22,2</b>
30/07/2015	17:53:51	17,8	19,7	19,6
<b>30/07/2015</b>	<b>18:53:50</b>	<b>17,7</b>	<b>17</b>	<b>17,5</b>

Em negrito os horários simulados.

Figura 46 – Exercício de representação gráfica das temperaturas no recorte de estudo – *período diurno*.

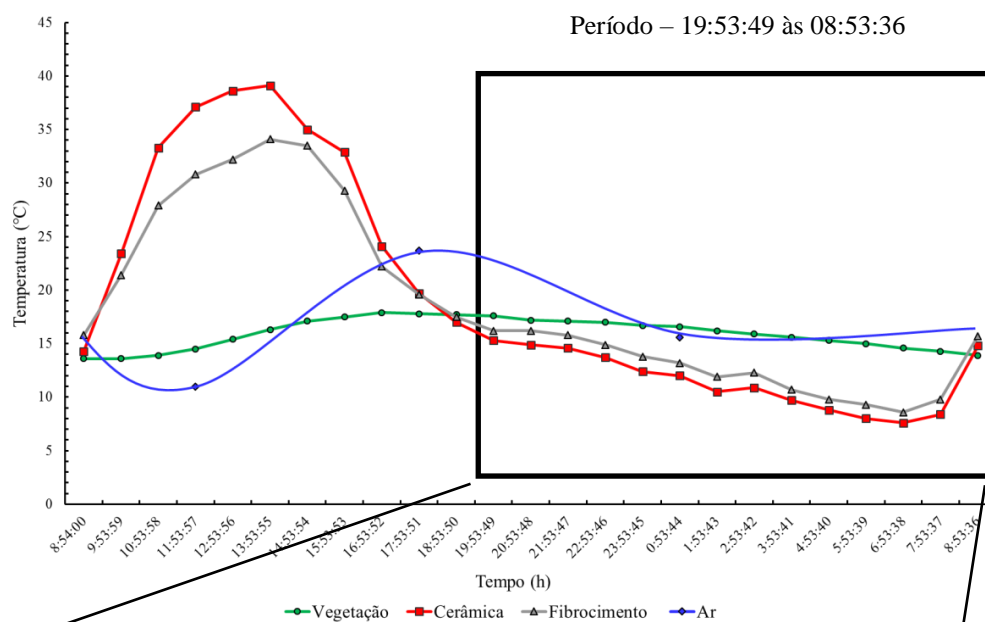
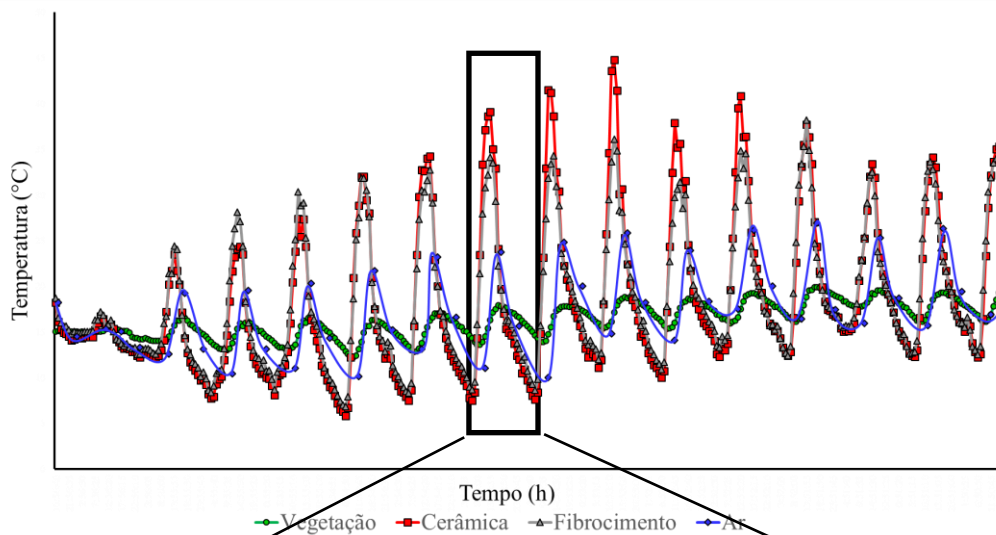
Neste trecho é possível observar através de uma escala de cores como as telhas de comparação – cerâmica e fibrocimento – ganharam e perderam calor mais rapidamente que a CV. Estando de acordo com a bibliografia estudada, confirma-se também o atraso entre a hora de aquecimento máximo solar (em torno do meio dia) e a hora da temperatura máxima (em torno de duas horas após o meio dia). A temperatura superficial da CV teve uma amplitude menor que as demais e mais próxima da temperatura do ar. Os espaços em branco representam as edificações com mais de quatro pavimentos ou as áreas de vegetação, e não foram contemplados no exercício de representação gráfica.



Fonte: O Autor (2016).

Figura 47 – Período *noturno* selecionado para o exercício de representação gráfica do recorte de estudo.

Dias – 30/07/2015 a 31/07/2015

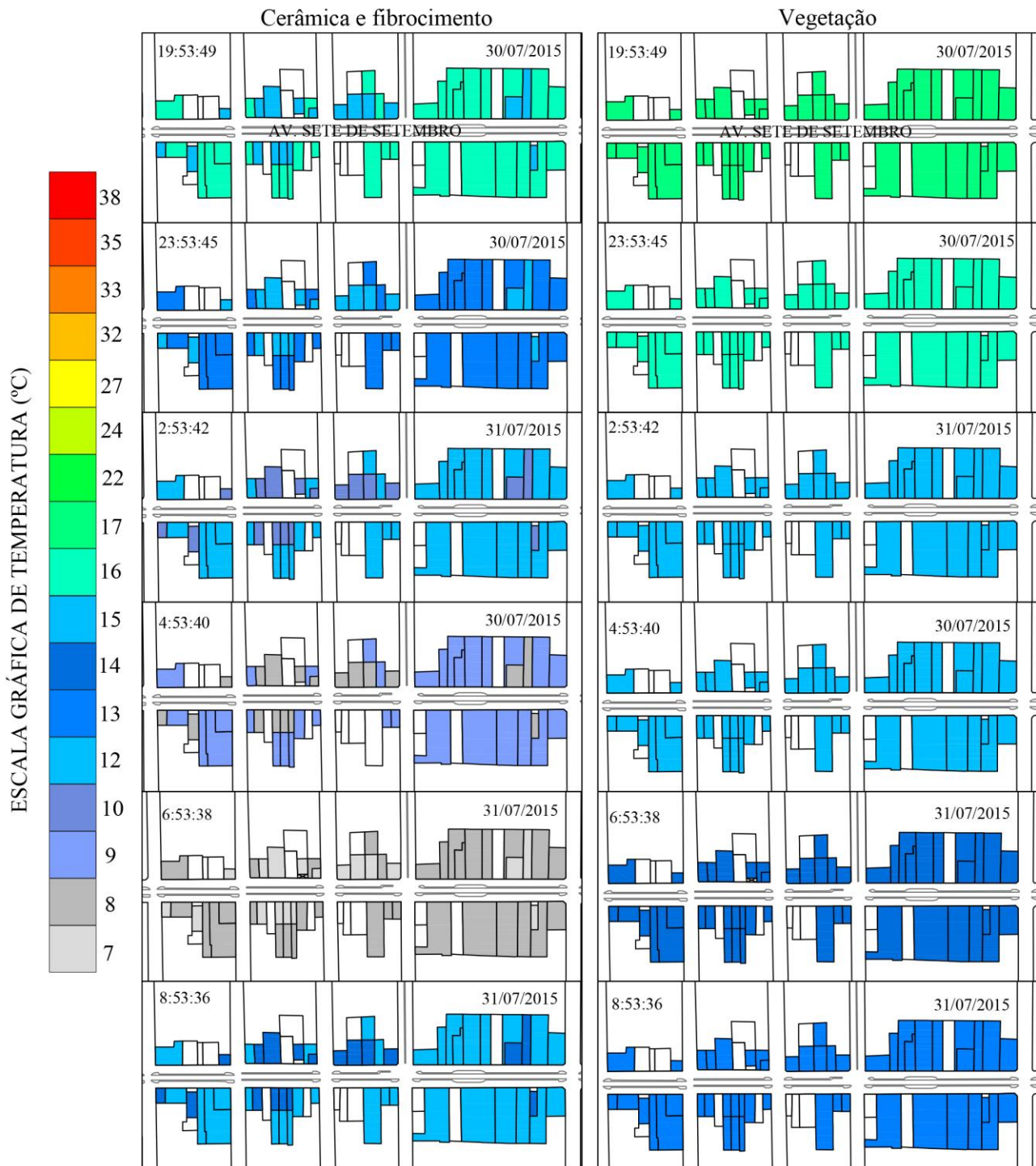


Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	Cerâmica (°C)	Fibrocimento (°C)
<b>30/07/2015</b>	<b>19:53:49</b>	<b>17,6</b>	<b>15,3</b>	<b>16,2</b>
30/07/2015	20:53:48	17,2	14,9	16,2
30/07/2015	21:53:47	17,1	14,6	15,8
30/07/2015	22:53:46	17	13,7	14,9
<b>30/07/2015</b>	<b>23:53:45</b>	<b>16,7</b>	<b>12,4</b>	<b>13,8</b>
31/07/2015	0:53:44	16,6	12	13,2
31/07/2015	1:53:43	16,2	10,5	11,9
<b>31/07/2015</b>	<b>2:53:42</b>	<b>15,9</b>	<b>10,9</b>	<b>12,3</b>
31/07/2015	3:53:41	15,6	9,7	10,7
<b>31/07/2015</b>	<b>4:53:40</b>	<b>15,3</b>	<b>8,8</b>	<b>9,8</b>
31/07/2015	5:53:39	15	8	9,3
<b>31/07/2015</b>	<b>6:53:38</b>	<b>14,6</b>	<b>7,6</b>	<b>8,6</b>
31/07/2015	7:53:37	14,3	8,4	9,8
<b>31/07/2015</b>	<b>8:53:36</b>	<b>13,9</b>	<b>14,8</b>	<b>15,7</b>

Em negrito os horários simulados.

Figura 48 – Exercício de representação gráfica das temperaturas no recorte de estudo – *período noturno*.

Neste trecho constata-se como os telhados de comparação perderam calor mais rapidamente que a CV, a qual manteve a temperatura superficial mais constante e próxima da temperatura do ar. As telhas cerâmicas oscilaram de uma máxima de 15,30°C a uma mínima de 7,60°C (diferença de 7,70°C) e as de fibrocimento oscilaram de 16,20°C a 8,60°C (diferença de 7,60°C). Já a CV oscilou de 17,60°C para 14,30°C (diferença de 3,30°C), mais próximo da oscilação da temperatura do ar, que foi de 2°C. Os espaços em branco representam as edificações com mais de quatro pavimentos ou as áreas de vegetação, não foram contemplados no exercício de representação gráfica.



Fonte: O Autor (2016).

O exercício de representação gráfica da área de estudo, dos dados colhidos no experimento físico, demonstrou por meio de imagens o comportamento da temperatura superficial nos períodos diurno e noturno para os três tipos de coberturas analisadas. Colocadas lado a lado, foi possível perceber visualmente como a temperatura superficial da CV manteve-se mais estável nos dois períodos, sendo que a cobertura cerâmica foi a que mais perdeu calor para o ambiente, seguida da telha de fibrocimento. Para o *período simulado* (30/07/15 a 31/07/15) a amplitude térmica da telha cerâmica ficou em 31,50°C, a de fibrocimento em 25,50°C e a CV em 4,30°C, enquanto que a amplitude térmica do ar ficou em 8,7°C. Consta-se pelos dados levantados que a CV teve menos variações em sua temperatura superficial que o próprio ar.

É possível inferir pelos dados obtidos no experimento físico e transportando-os através do exercício de representação gráfica para as coberturas convencionais, que a técnica de CV poderia contribuir para a mitigação dos efeitos das ICUs, tendo em vista que a totalidade das coberturas existentes no local utilizam telhas cerâmicas e de fibrocimento (34% e 66% respectivamente) e que boa parte das edificações têm potencial de substituição de suas coberturas, por serem edificações baixas (79% do total) as quais ainda não utilizaram todo o potencial construtivo permitido pela legislação vigente.

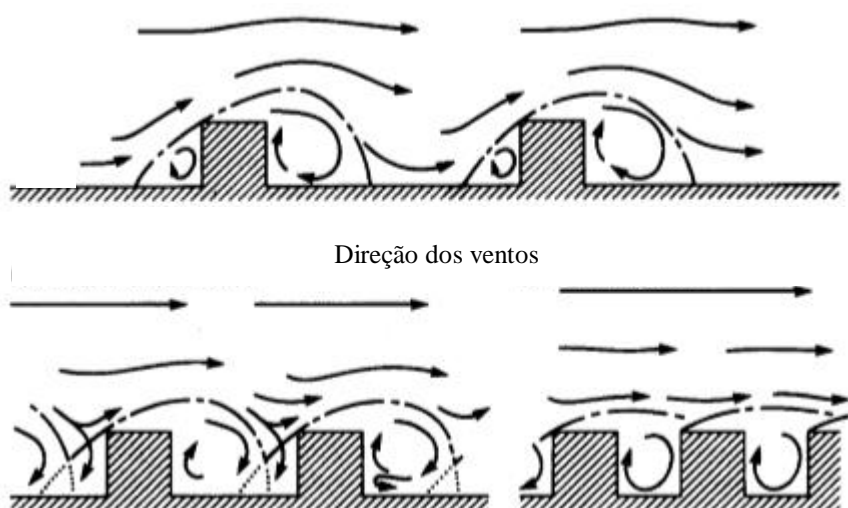
A partir do exercício de representação gráfica, uma reflexão possível é a que diz respeito às variáveis que provocariam mais erros e dúvidas quando desse exercício no recorte urbano e aquelas variáveis que dariam menores margens de erros. Variáveis como a intensidade geral da radiação solar, a temperatura do ambiente, a umidade do ar e a precipitação foram minimizadas pela proximidade do experimento ao local do exercício de representação gráfica no recorte urbano sem desconsiderar, contudo, a complexidade de tais fenômenos em cada local em que acontecem. Já a velocidade do ar é uma variável que poderia alterar significativamente os resultados projetados do experimento no recorte urbano. Ao se observar a Figura 49, e de acordo com Oke (1988), o design dos *canyons* urbanos influi significativamente na velocidade e direção dos ventos e estes, por sua vez, aceleram os processos de evaporação da umidade contida nas superfícies das coberturas e também os processos de evapotranspiração das



plantas das CVs, alterando assim o desempenho da temperatura superficial. Também a geometria dos telhados, com suas águas ora sombreadas, ora ensolaradas, é um fator que altera consideravelmente o desempenho da temperatura superficial.

Outro mecanismo pelo qual a CV poderia atenuar, ainda que em parte, os efeitos das ICUs no microclima portanto, junto à percepção das pessoas, é que as massas de ar junto às superfícies vegetadas entram no *canyon* urbano muito mais frias devido, justamente, à melhor distribuição de calor proporcionada pela CV (BASS *et al.*, 2002; ALEXANDRI e JONES, 2006). Como visto no exercício de representação gráfica, uma temperatura mais amena e constante da CV (se comparada às outras duas) teria a virtude de amenizar as temperaturas do ar em seu entorno ao transportar uma massa de ar mais fresca que as outras duas coberturas de comparação (FIGURA 49).

Figura 49 – Design dos *canyons* urbanos e sua influência nos ventos.



Fonte: O Autor, adaptado de Oke (1988).

Como se pode observar na Figura 49, o design urbano pode influenciar no desempenho dos ventos, tanto em sua direção como na criação de vórtices de ar junto às edificações e no espaço formado entre elas, geralmente ocupado pelas ruas. Os elementos vegetados junto às coberturas, por terem temperaturas menores que outros materiais, como visto nas aferições de temperatura e no exercício de representação gráfica, influenciariam, por convecção, o desempenho da temperatura em seu entorno.

O resultado do exercício de representação gráfica se encaixa numa tentativa de demonstrar experimentalmente os benefícios das CVs no espaço urbano, numa microescala, pois de acordo com Santamouris (2014), em artigo descrevendo as mais recentes pesquisas envolvendo coberturas verdes e telhados frios na mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano, relata-se que a maioria dos estudos disponíveis utiliza técnicas de projeções computacionais na mesoescala e há poucos estudos experimentais que avaliam o potencial de mitigação das CVs no microclima da cidade. Aquele autor registra que a maior parte dos estudos sobre CVs é dependente do clima e das características dos edifícios, sendo difícil extrair conclusões gerais, apesar dos resultados serem úteis para o delineamento de ideias e possíveis caminhos futuros.

Tendo em vista os resultados obtidos no experimento físico e no exercício de representação gráfica do recorte urbano, é possível concluir que as CVs poderiam atenuar, ainda que parcialmente, os efeitos das ICUs, através de vários mecanismos que influenciam a temperatura do ar. A vegetação presente na CV proporciona uma fonte de umidade para a evapotranspiração, ou seja, para o movimento da água de volta para a atmosfera em forma de vapor de água. A energia solar absorvida pelas plantas para viabilizar a evapotranspiração reduz a quantidade de energia absorvida e armazenada nos demais materiais urbanos e liberada como calor, reduzindo assim a temperatura do ar em sua volta. Superfícies rígidas e não porosas, como as telhas cerâmicas e de fibrocimento, demonstraram absorver a maior parte da energia solar incidente, irradiando-a em forma de calor sobreaquecendo a temperatura do ar ao seu redor. Essas superfícies rígidas pouco permitem que a água da chuva seja absorvida a qual, evaporando, converteria a energia solar em calor, como acontece com a CV.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o desenvolvimento da pesquisa desta dissertação foram utilizados dois métodos: um experimento físico e um exercício de representação gráfica. O primeiro mostrou-se eficiente e recomendável quanto à obtenção de dados para o que foi proposto, ou seja, para obtenção da temperatura superficial nas coberturas estudadas ressaltando as limitações que possam ter ocorrido, inerentes a qualquer experimento físico, tais como erros grosseiros (humanos) e a tecnologia do equipamento empregado, pois neste caso não foi possível utilizar para fins de comparação, na mensuração das temperaturas, outros equipamentos de nível tecnológico similar devido a limitações financeiras. Embora alguns aspectos referentes ao método utilizado para o experimento físico, como o período das medições das temperaturas ter sido realizado em 16 dias, não tendo sido realizado em outros períodos, bem como a disposição próxima das coberturas estudadas, pudessem parecer limitantes, os resultados acordes com a bibliografia estudada corroboraram aqueles obtidos nesta pesquisa.

Com base na bibliografia estudada, a maioria dos experimentos que abordam os benefícios das CVs nos centros urbanos utiliza técnicas de projeções com programas computacionais na mesoescala. Já o exercício de representação gráfica utilizado nesta dissertação abordou, por sua vez, a microescala da cidade com o intuito de se constatar como a técnica de CV poderia ser benéfica na mitigação das ICUs à medida que se visualizasse por meio de imagens uma redução das temperaturas das CVs em relação àquelas apresentadas pelas telhas cerâmicas e de fibrocimento. Ainda em relação ao exercício de representação gráfica adotado, destaca-se que este representa um meio didático que pode facilitar a aprendizagem, contrapondo-se à simples demonstração numérica de dados de temperaturas, o que é significativamente relevante em especial para leigos e profissionais de áreas afins. O exercício de representação gráfica poderia ser complementado se envolvesse variáveis passíveis de quantificação como altura e forma dos *canyons* urbanos, velocidade e direção dos ventos e valores da umidade do ar, aplicados em modelos matemáticos relatados em bibliografia. Devido a limitações técnicas e de tempo, tais variáveis não foram incluídas no exercício de representação gráfica. Uma limitação no uso desse método é que em grandes áreas urbanas as variáveis acima descritas teriam, possivelmente, cada vez maior influência no resultado

das temperaturas superficiais, tornando cada vez mais complexa a representação gráfica do desempenho da temperatura.

Dentre os diferentes tipos de coberturas avaliados, a cobertura verde foi a que apresentou o melhor desempenho térmico no quesito temperatura superficial. Suas temperaturas superficiais foram as mais baixas e mais estáveis do experimento físico, portanto seria a mais indicada para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano.

A utilização de telhas cerâmicas usadas, com características superficiais como escurecimento do material, aparecimento de manchas causadas por poluição atmosférica e fungos e a porosidade acentuada pelo envelhecimento, possivelmente contribuiu para elevar a temperatura superficial desses materiais diminuindo suas qualidades térmicas e assemelhando-se ao fibrocimento.

A cobertura cerâmica apresentou uma temperatura superficial não compatível com as características térmicas de um material poroso, descritas na literatura técnica. Foi o material que teve as maiores amplitudes térmicas diárias, seguido pelas telhas de fibrocimento. Esses dois materiais estatisticamente não apresentaram diferenças em suas temperaturas superficiais. Com base nos resultados apresentados nesta pesquisa, para a atenuação dos efeitos das ilhas de calor urbano não seriam os materiais mais indicados, se comparados às coberturas verdes.

Ao se avaliar o desempenho da temperatura superficial de três materiais de coberturas – telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento e coberturas verdes – atingiu-se o objetivo principal desta pesquisa, ao se constatar, tecnicamente, que as CVs podem contribuir para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbano.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

a) Proceder medições da temperatura do ar junto ao experimento físico ou o mais próximo possível, para diminuir as distorções causadas pela distância do experimento até as estações meteorológicas que captam a temperatura do ar.

b) Inserir o experimento de CV e telhados de comparação diretamente no recorte urbano estudado.

c) Utilizar-se de projeções computacionais e comparar seus resultados com os dados obtidos em experimento físico e suas projeções no espaço urbano.

d) Estudar a influência da geometria do *canyon* urbano interagindo com CVs nos efeitos das ICUs.

e) Inserir uma cobertura clara ou refletiva junto com os telhados de comparação. Aquela cobertura apresenta, junto com as CVs, de acordo com a bibliografia estudada, as melhores características para a atenuação das ICUs.

f) Realizar estudos em telhas novas e usadas afim de averiguar diferenças térmicas entre os materiais e o impacto do envelhecimento e da sujidade em índices como refletância e a absorvância.

## 7. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8039**: Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa - procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7581**: Telha ondulada de fibrocimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ADAM, R. **Princípios do Ecoedifício: interação entre ecologia, consciência e edifício**. Editora Aquariana, 2001.

AKBARI, H.; HUANG, J.; MATTIEN, P.; RAINER, L.; ROSENFELD, A.; TAHA, H. **The impact of summer heat islands on cooling energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions**. n.2. p. 5.8-5.24, Berkeley-California, 1988.

AKBARI, H. **Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation**. 2005. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/860475-UIH-WIq/860475.PDF>>. Acessado em: 30/12/15.

ALEXANDRI, E.; JONES, P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. **Building and Environment**, 43, p. 480-493, Elsevier, 2006.

AHRENS, A.D. **Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere**. West Publishing Company, New York, 1993.

BALDESSAR, S.M.N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Dissertação de Mestrado. Curitiba, UFPR – PPGCC, 2012.

BASS, B; KRAYENHOFF, S.; MARTILLI, A.; STULL, R. Mitigating the Urban Heat Island with Green Roof Infrastructure. **Adaptation & Impacts Research Group, Environment Canada at the University of Toronto, Institute for Environmental Studies**, 2002.

BASTOS, F.A. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando à certificação do produto**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BEJAN, A. **Transferência de calor**. Edgard Blucher. São Paulo, 2004. p.410-416.

BERARDI, U.; GHAFARIANHOSEINI, A.H.; GHAFARIANHOSEINI, A. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied Energy**, 115, p. 411-428, Elsevier, 2013.

BERDHAL, P.; BRETZ, S. Preliminary survey of the solar reflectance of roofing materials. **Energy and Buildings**, v.25, n.2, p.149-58, 1997.

BERDAHL, P.; AKBARI, H.; LEVINSON, R.; MILLER, A.W. Weathering of roofing materials – an overview. **Construction and Building Materials**. v. 22. p. 423-433. Elsevier, Berkeley, United States, 2006.

BRETZ, S.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings, **Energy and Buildings** v.25, n.2, p.159-67, 1997.

BUENO, A.D. **Transferência de Calor e Umidade em Telhas: Simulação e Análise Experimental**. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

BUENO, A. D. LAMBERTS, R. PHILIPPI. P. C. **Higroscopicidade em telhas de cerâmica: efeitos sobre o comportamento térmico**. Núcleo de pesquisa em construção. Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

CASAGRANDE JR, E. F.; GÓIS, J.A. Eficiência Energética em um Escritório Modelo Sustentável: O Caso do Escritório Verde da UTFPR. In: 3º Simpósio Brasileiro de Design Sustentável (III SBDS). **Anais...** Recife, Brasil, 2011.

CASAGRANDE JR, E. F. **Autor do projeto arquitetônico do Escritório Verde, UTFPR.** Projeto e informações repassadas ao Autor, 2015.

CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; BASSO, A.; FERNANDES, M. R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-73, 2003.

CASTLETON, H.F.; STOVIN V.; BECK, S.B.M.; DAVISON, J.B. Green roofs: building energy saving and the potential for retrofit. **Energy Build**, 42, p. 1582-1591, 2010.

CATUZZO, H. **Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da Cidade de São Paulo.** Tese de Doutorado. USP - Departamento de Geografia, São Paulo, 2013.

CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO (CTCV). **Estudo do comportamento térmico das coberturas com telhas cerâmicas.** 62.p. Coimbra-Portugal, 2012.

CHEN, H.; OOKA, R.; HUANG, H.; TSUCHIYA, T. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation. **Building and Environment**, 44, 2290–2299, 2009.

CHEN, C.F. Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: a review. **Ecological Engineering**, 52:51-58, 2013.

CONNELLY, M.; HODGSON, M. Sound transmission loss of extensive green roofs – field test results. **Can Acoust**, 36: 74-5, 2008.

CONNELLY, M.; HODGSON, M. Laboratory experimental investigation of the acoustical characteristics of vegetated roofs. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 129, 2011.

COSTANZO, V; EVOLO, G; MARLETTA, L. Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. **Energy and Buildings**, 114, p. 247-255, 2016.



CURITIBA. **Lei Municipal n ° 9800, de 03/01/2000.** Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências.

CURITIBA. **Lei Municipal n ° 9803, de 03/01/2000.** Dispõe sobre a Transferência de Potencial Construtivo.

CURITIBA. **Decreto Municipal n ° 183, de 03/04/2000.** Regulamenta o Art. 34 e seguintes, todos componentes do Capítulo IV – Da Classificação dos Usos, da Lei n ° 9.800/00, define, relaciona os usos do solo e dá outras providências.

CURITIBA. **Decreto Municipal n ° 190, de 03/04/2000.** Dispõe sobre os critérios de uso e ocupação do Plano Massa nos Setores Especiais Estruturais, e dá outras providências.

CUNHA, A.R.; MEDIONDO, E.M. Experimento Hidrológico Para Aproveitamento de Águas de Chuva Usando Coberturas Verdes Leves. **USP São Carlos**, 2004.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. A ilusão das cores na identificação da absorvância solar de superfícies opacas. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, **Anais...** p. 590-599, ANTAC, Ouro Preto, 2007.

ECIL. **Produtos e Sistemas para Medição e Controle Ltda.** Disponível em: <<http://www.ecil.com.br>>. Acessado em: 14/08/2015.

EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.. Conforto térmico de revestimentos cerâmicos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciencia dos Materiais, 17. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2006.

EPA. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of strategies.** Urban Heat Island Basics. 2014. Disponível em: <<http://www.epa.gov/heatisld/resources/compendium>>. Acessado em: 05/12/2014.

FAVEZ, O.; CACHIER, H.; CHABAS, A.; AUSSET, P. AND LEFEVRE, R. Crossed optical and chemical evaluations of modern glass soiling in various European urban environments. **Atmospheric Environment.** v. 40, p. 7192-7204, 2006.

FERM, M.; WATT, J.; O'HANLON, S., DE SANTIS, F. AND VAROTSOS, C.;  
Deposition measurement of particulate matter in connection with corrosion studies.  
**Analytical and Bioanalytical Chemistry** v. 384, 1320-p.1330. 2006.

FERREIRA, C.A.; MORUZZI, R.B. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis.** IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, ELECS, Campo Grande – MS. Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

FERREIRA, F. L; PRADO. R. T. A. **Mediação do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados nas coberturas de edifícios no brasil.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PCC/351.12.p. São Paulo, 2003.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 3. ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2011. p. 9-25.

GALINDO, A.S. **Eficiência Energética de Telhados no Brasil.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015

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

GIORDANO, D.E.; KRUGER, E. **Potencial de redução da temperatura de superfície pelo aumento do albedo nas diversas regiões brasileiras.** XII Encontro Nacional e VIII Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído ENCAC/ELACAC, Brasília, 2013.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4a Edição, Editora Atlas, São Paulo, 2009.

GOOGLE EARTH, 2016. Disponível em: <<https://earth.google.com/>>. Acessado em: 14/01/16.

HALÁSZ, J. Z. **Princípios de condicionamento de ar**. Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, São Paulo, Unicamp, 1994.

INGRA, 2016. **International Green Roofs Association**. Disponível em: <[www.igra-word.com](http://www.igra-word.com)>. Acessado em maio de 2016.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

INMET, 2016. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acessado em: 22/02/2016.

IPPUC, 2014. **Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba**. Disponível em: <<http://www.ippuc.org.br>>. Acessado em: 28/11/2014.

ISOSTUD GEO P. **Geomembrana extrudada nodular em PEAD (polietileno de alta densidade)**. Disponível em: <<http://www.tcshingle-geo.com.br/index.php/produto/isostud-geo-p>>. Acessado em 23/07/15.

JÁCOME, I.M.T.D.; FURTADO, D.A.; LEAL, A.F.; SILVA, J.H.V.; MOURA, J.F.P. **Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental. Vol. 11, nº 5, Campina Grande, 2007.

JARDIM, P.R.S.A. **Desempenho térmico de coberturas: Um estudo comparativo entre as telhas de material reciclado, de fibra e betume, fibrocimento e cerâmica**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2011.

KREITH, F. **Princípio de transferência de calor**. Edgard Blucher. Instituto nacional do livro. MEC, 1973.

KENRICK, J. **New York Theatres: Past and Present**. Compiled by Kenrick. Copyright 1997-2014. Disponível em: <<http://www.musicals101.com>>. Acesso em 12/04/2014.

KREITH, F; MANGLIK, R. M; BOHN, M. S. **Princípio de transferência de calor**. 7. ed. p. 1-22. Disponível em: <[https://issuu.com/cengagebrasil/docs/9788522118038\\_livreto](https://issuu.com/cengagebrasil/docs/9788522118038_livreto)>. Acesso em maio de 2016.

KOSAREO, L.; RIES, R. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. **Building and Environment**, 42 (2007), 2606-2613, Elsevier, 2006.

LANHAM, J.K. **Thermal performance of green roofs in cold climates**. Master Thesis. Queen's University, 2007.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 2ª Edição. São Paulo: ProLivros, 2004. 192p.

LENOTTI, J. **Tipos de telhas para cobertura de edificações**. Trabalho de organização e instalações das edificações I. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de engenharia civil. p. 1-10. Maringá, 2010.

LEVINSON, R.; AKBARI, H.; KONOPACKI, S.; BRETZ, S. Inclusion of cool roofs in nonresidential Title 24 prescriptive requirements. **Energy Policy**, v. 33. p. 151-170, 2005.

LIMA, C. de A. **Sustentabilidade e gestão urbana na Grande Curitiba**. II Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, ANPPAS, Indaiatuba, SP, 2004.

LIMA, C. de A. Configuração urbana e o Sistema BRT de Curitiba – Brasil. *VII Seminario Internacional de Investigación em Urbanismo, 2015, Barcelona. Actas. Barcelona: Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori, Universitat Politècnica de Catalunya*, 2015, 158 p., p. 64, ISSN 2339-6598.

LIMA *et al.* **Avaliação do ambiente térmico em galpões de frango com diferentes materiais de cobertura na mesorregião metropolitana de Belém**. Rev. Ciênc. Agrár., Belém, n. 51, p.37-50, 2009.

LOMBARDO, M.A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo, Hucitec, 1985.

LOPES, D. A. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos - SP, 2007.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** 2a Ed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981.

MACDRAIN J. **Geocomposto para drenagem.** Disponível em: <[http://www.macdrain.com.br/?page\\_id=50](http://www.macdrain.com.br/?page_id=50)>. Acessado em 23/07/15.

MAGALHÃES, M. V.; CINTRA, A. P. de U. Dinâmica Demográfica do Paraná: tendências recentes, perspectivas e desafios. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba: IPARDES, n.122, p.263-291, jan./jun. 2012.

MANUAL DE INSTRUÇÕES DO TERMÔMETRO DIGITAL DE 4 CANAIS. **Marca ICEL, modelo TD 890.**

MARQUES, J.I.; LOPES NETO, J.P.; CUNHA, G.C.A. **Análise termo-infravermelha de diferentes telhas para construções rurais.** Revista Educação Agrícola Superior. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS - v.28, n.2, p.96-101, 2013.

MATTOS, L.B.R. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do feito estufa no Município do Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MAXISTUD. **Geomembrana estrudada em PEAD (polietileno de alta densidade).** Disponível em: < <http://www.tcshingle-geo.com.br/index.php/produto/maxistud> > Acessado em 23/07/15.

MENESES, P. R. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília, 2012.

MODEST, M. F. **Radiative heat transfer**. 2. ed. Elsevier academicpress. p.1-30. Pennsylvania State University, 2003. Disponível em: <<http://www.amazon.com/Radiative-Transfer-Second-Michael-Modest/dp/0125031637>>. Acessado em maio de 2016.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estrutura de madeira**, Blucher, São Pulo, 1981.

MORAES, S.R.P.; TINÔCO, I.F.F.; BAÊTA, F.C.; CECON, P.R. **Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento-amianto e suas diferentes associações**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.89-92, 1999.

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE. São José dos Campos, 2002. p. 1-22.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa, 2005. p. 15-29.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Evaluations of heat flux reduction provide by the use of radiant barriers in clay tile roofs. **Energy and Buildings**, Belgrade, v. 40.p. 445-451, 2008.

MILLER, A.P.R.R. **Análise do comportamento de substrato para retenção de água pluvial para coberturas verdes extensivas em Curitiba – PR**. Dissertação de Mestrado. Curitiba, UFPR – PPGCC, 2014.

NASCIMENTO, W. C.. **Coberturas verdes no contexto da Região Metropolitana de Curitiba – barreiras e potencialidades**. Dissertação de Mestrado. Curitiba, UFPR – PPGCC, 2008.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. New York: Routedge, 1987.

OKE, T.R. Street Design and Urban Canopy Layer Climate. **Energy and Building**, 11, p. 103-113, 1988.

PERALTA, G. **Desempenho Térmico de Telhas: Análise de Monitoramento e Normalização Específica**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2006.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M. E.; BASS, B. **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada**. Peck and Associates. Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada, 1999.

PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PERI, G.; TRAVERSO, M.; FINKBEINER, M.; RIZZO, G. The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: Covering the gap. **Energy**, 48, p. 406-414, Elsevier, 2012.

PILLAR, V.D.P. **Clima e vegetação**. UFRGS, Departamento de Botânica, 1995. Disponível em <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>>. Acessado em: 04/01/16.

PINHO, C.M.D.; UMMUS, M.E.; NOVACK, T. Extração de feições urbanas em imagens de alta resolução espacial a partir do estudo do comportamento espectral dos alvos. **Revista Brasileira de Cartografia**, no 63/4, p. 439-448, 2011.

REVEL, G. M.; MARTARELLI, M.; BENGOCHEA, M. A., GOZALBO, A.; ORTS, M. J.; GAKI, A.; GREGOU, M.; TAXIARCHOU, M.; BIANCHIN, A. AND EMILIANI, M. Nanobased coatings with improved NIR reflecting properties for building envelope materials: Development and natural aging effect measurements. **Cement & Concrete Composites** v. 36, p.128-135, 2013.

RODRIGUES, E. H. V. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de resfriamento evaporativo, por aspersão intermitente, na cobertura de aviários usando modelos de escala distorcida**. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

RORIZ, M. **Estimativas de valores horários de temperaturas e umidades do ar em função de normais climatológicas**. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC, Fortaleza, 2008.

SAIZ, S.; KENNEDY, C.; BASS, B.; PRESSNAIL, K. Comparative life cycle assessment of standar and green roofs. **Environmental Science and Technology**, 40, p. 4312-4316, 2006.

SAMPIERI, R. *et al.* **Metodologia de pesquisa**. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve confort in urban environments. **Solar Energy**, 103, p. 682-703, Elsevier, 2014.

SAVI, A.C.; JÚNIOR, E. F.C.; FARIA, F.C.; UHMANN, I.M.S.; JÚNIOR, O.L.H.. **Práticas de agricultura urbana: uma análise do cultivo de hortaliças em telhados verdes**. XIII Encontro Nacional e IX Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído ENCAC/ELACAC, Campinas, 2015.

SAVI, A.C. **Telhados verdes: uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na Cidade de Curitiba**. Dissertação de Mestrado. Curitiba, UFPR – PPGCC, 2015.

SCHERBA, A.; SAILOR, D.J.; ROSENSTIEL, T.N.; WAMSER, C.C. Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment. **Building and Environment**, 46, p. 2542-2551, 2011.

SCHMID, A.L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SEVEGNANI, K.B.; GHELFI FILHO, H.; SILVA, I.J.O. **Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico**. Departamento de Engenharia Rural – ESAL/USP – Piracicaba, SP, 1997.

SILVEIRA, R.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R. **Avaliação da absortância à radiação solar e temperatura superficial de telhas de fibrocimento utilizadas nas coberturas de edificações do Campus da UFSC**. XIV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, ENTAC, Juiz de Fora, 2012.



SLEIMAN, M. *et al.* Soiling of building envelope surfaces and its effect on solar reflectance – Part II: Development of an accelerated aging method for roofing materials. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, 122, p. 271-281, 2014.

SLEIMAN, M. *et al.* Soiling of building envelope surfaces and its effect on solar reflectance – Part III: Interlaboratory study of an accelerated aging method for roofing materials. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, 143, p. 581-590, 2015.

SCHMITZ, L. K. **Reestruturação urbana e conforto térmico em Curitiba/PR: diagnóstico, modelagem e cenários.** Tese de Doutorado em Geografia – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SOUZA, S.V.R. **Mapeamento do fenômeno de ilhas de calor na cidade de Curitiba utilizando os sensores TM-Landsat e Modis.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SNODGRASS, E. C.; McINTYRE, L. **The Green Roof Manual. A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance.** Timber Press, Inc, 2010.

SUSCA, T.; GAFFIN, S.R.; DELL’OSSO, G.R. Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs. **Environmental Pollution**, 159, p. 2119-2126, 2011.

SUDERHSA. **Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2000.** Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br>>. Acessado em 03/08/15.

SUEHRCKE, H.; PETERSON, E.L.; SELBY, N. Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. **Energy and Buildings**. 40, p. 2224-2235, 2008.

TAHA, H.; AKBARI, H.; ROSENFELD, A.; HUANG, J. Residential Cooling Loads and the Urban Heat Island – the Effects of Albedo. **Building and Environment**, Vol.23, nº 4, p. 271-283, 1988.

TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Buildings**. v. 25. p. 99-103. Elsevier, Berkeley, USA, 1997.

TARGET. **NBR 7581: Os requisitos obrigatórios para a telha ondulada de fibrocimento.** Disponível em: <[www.target.com.br](http://www.target.com.br)>. Acessado em: maio de 2016.

TAVARES, S.F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TAKEBAYASHI, H; MORIYAMA, M. Study on the urban heat island. Mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking. **Solar Energy**, 83, p. 1211-1223, Elsevier, 2009.

URBS. **Urbanização de Curitiba S/A.** Disponível em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br>> Acessado em: 01/12/2014.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas.** p. 1277-1284. ENCAC/ COTEDI. Curitiba, 2003.

WILLIAMSON, T.J. e ERELL, E. Thermal Performance Simulation and the Urban Micro-Climate: Measurements and Prediction. 7 IBPSA, **Anais...** Rio de Janeiro, Brasil, Building Simulation, 2001.

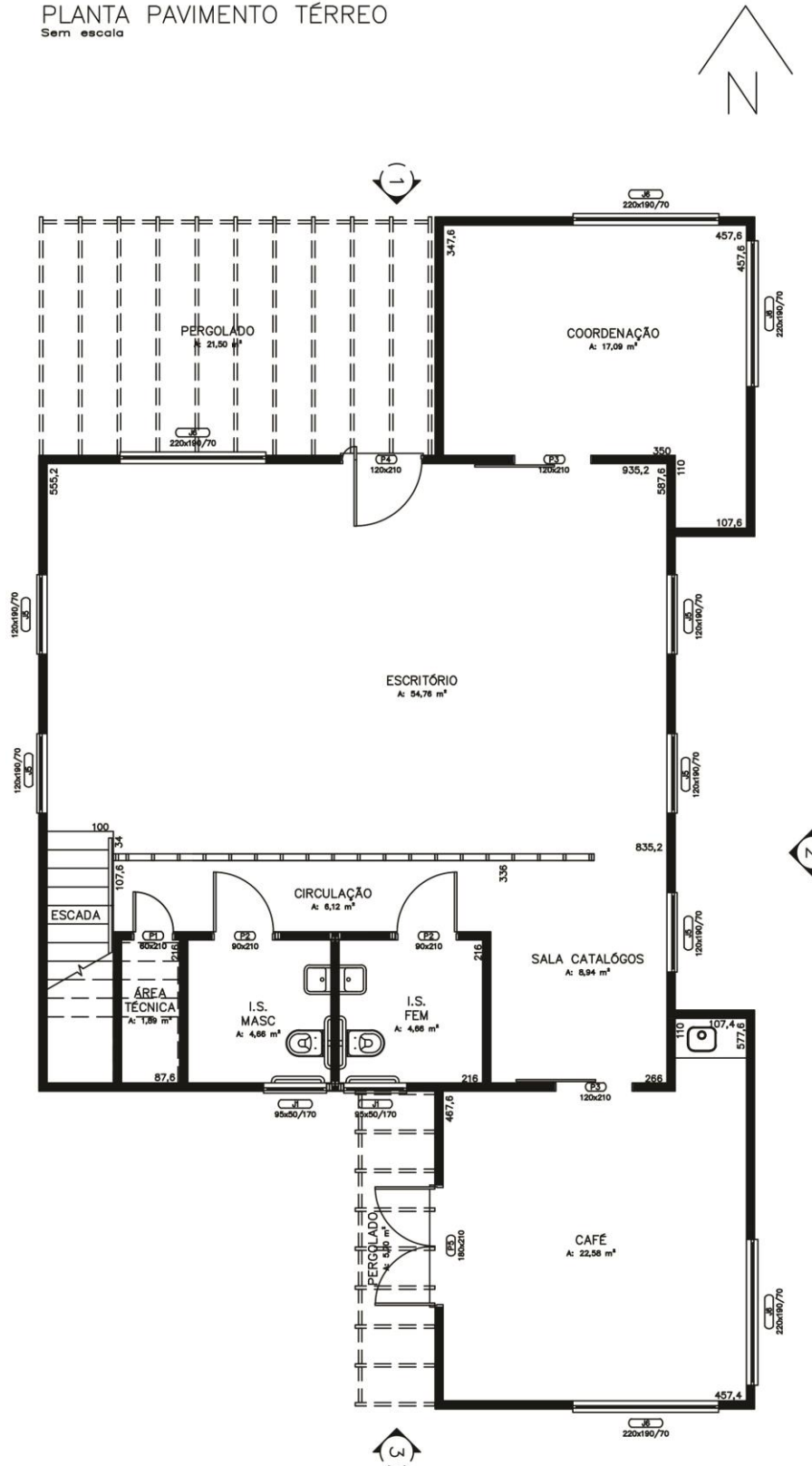
YANG, H.S.; KANG, J. CHOI, M.S. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level. **Building Environment**, 50: 45-55, 2012.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Trad. Daniel Grassi. 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE 1

Projeto arquitetônico Escritório Verde – UTFPR.

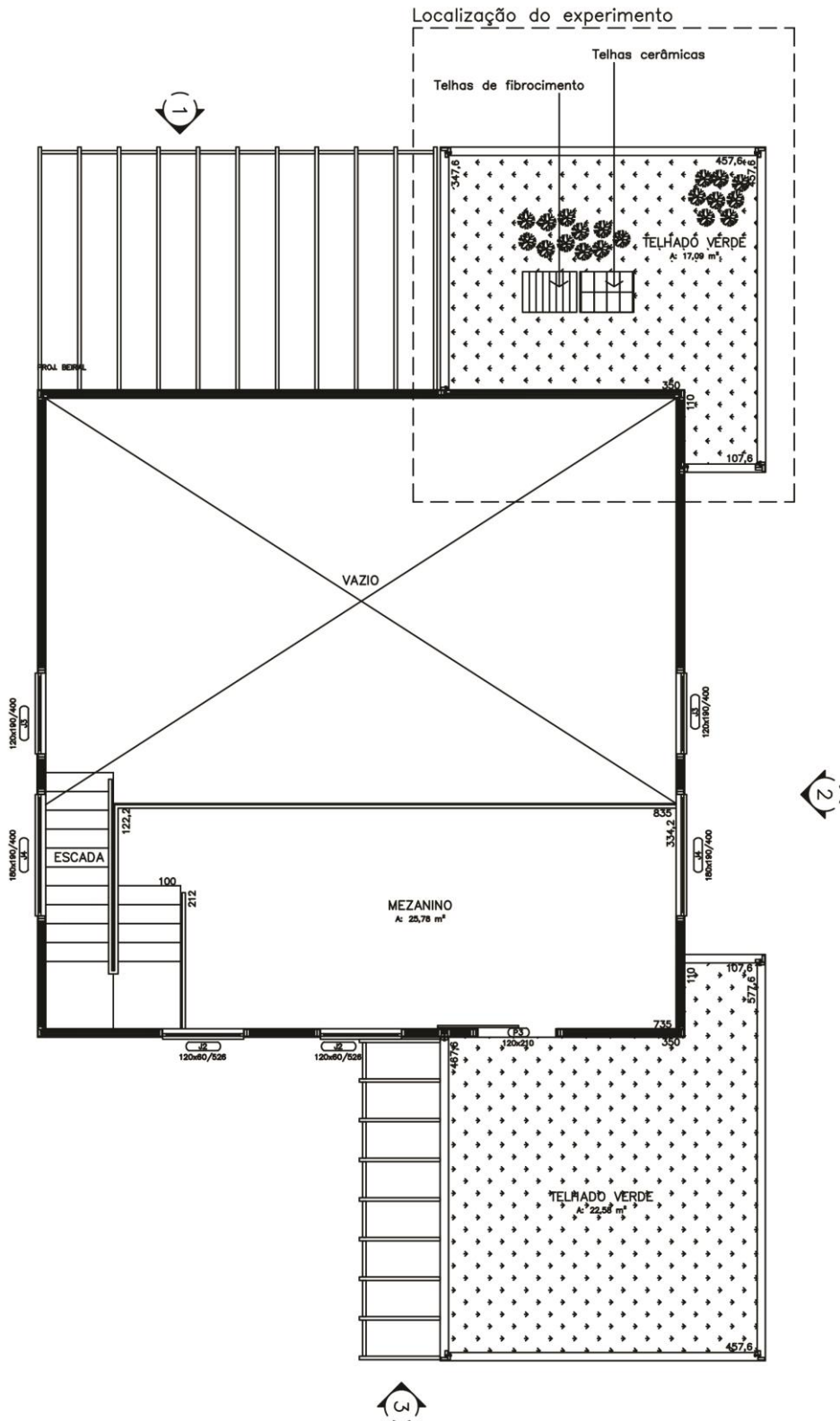
PLANTA PAVIMENTO TÉRREO  
Sem escada



Fonte: O Autor (2015), adaptado de Casagrande JR (2015).

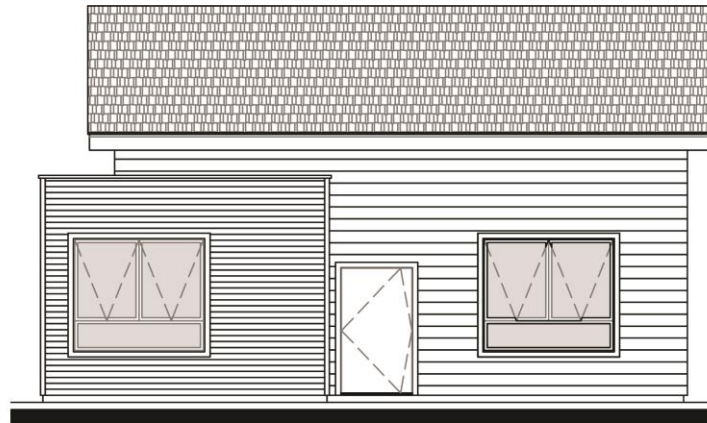
# PLANTA PAVIMENTO MEZANINO

Sem escala

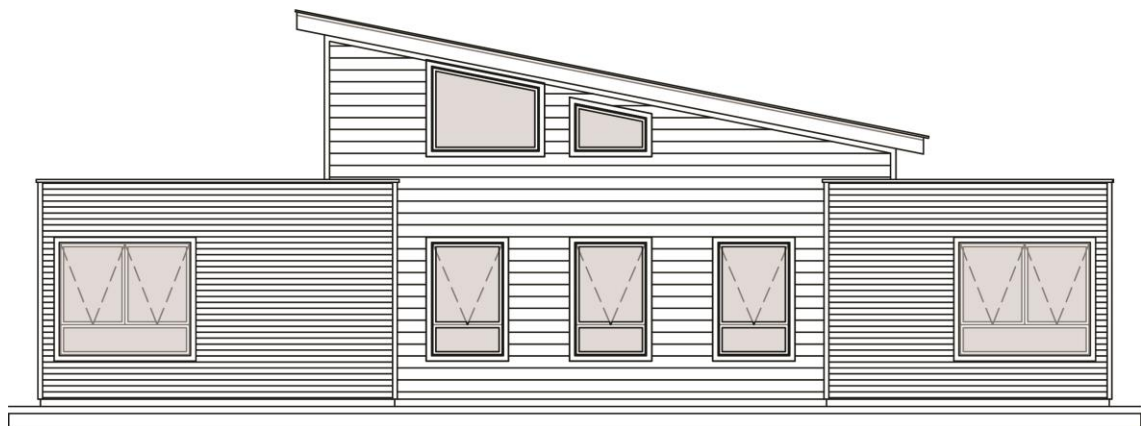


Fonte: O Autor (2015), adaptado de Casagrande JR (2015).

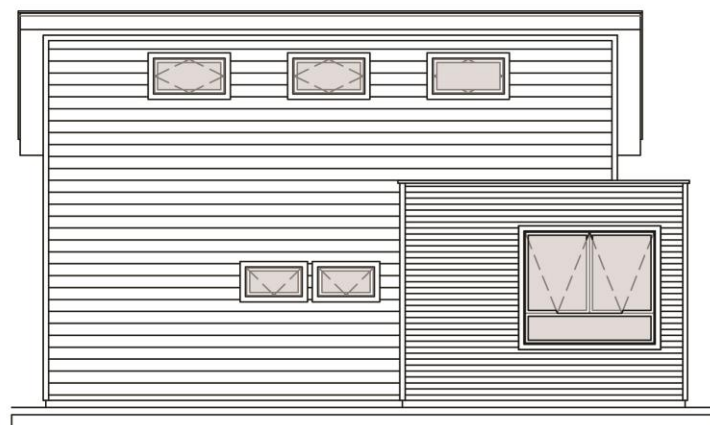
ELEVAÇÕES  
Sem escada



ELEVAÇÃO 1



ELEVAÇÃO 2



ELEVAÇÃO 3

Fonte: O Autor (2015), adaptado de Casagrande JR (2015).

## APÊNDICE 2

Relação completa das temperaturas coletadas nos três tipos de coberturas do experimento (cobertura verde, telhas cerâmicas e telhas de fibrocimento) mais a temperatura do ar fornecida pelo INMET (2016).

Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
1	23/07/2015	16:56:40	15	0,414962	18,2	0,103146	18,7	0,028455		
2	23/07/2015	17:56:39	15,1	0,382543	16,1	0,700221	16,5	0,595811	18,2	0,177170
3	23/07/2015	18:56:38	15	0,414962	15,3	0,927678	16	0,737689		
4	23/07/2015	19:56:37	14,9	0,447381	14,9	1,041407	15,6	0,851192		
5	23/07/2015	20:56:36	15,1	0,382543	14,8	1,069839	15,6	0,851192		
6	23/07/2015	21:56:35	15	0,414962	14,5	1,155135	15,2	0,964694		
7	23/07/2015	22:56:34	15	0,414962	14,1	1,268864	14,8	1,078197		
8	23/07/2015	23:56:33	15	0,414962	14,2	1,240432	15	1,021446		
9	24/07/2015	0:56:32	15	0,414962	14,3	1,212000	14,9	1,049821	14,5	0,931807
10	24/07/2015	1:56:31	14,9	0,447381	14,3	1,212000	14,9	1,049821		
11	24/07/2015	2:56:30	15	0,414962	14,3	1,212000	14,9	1,049821		
12	24/07/2015	3:56:29	14,9	0,447381	14,4	1,183568	15	1,021446		
13	24/07/2015	4:56:28	14,9	0,447381	14,4	1,183568	15	1,021446		
14	24/07/2015	5:56:27	14,9	0,447381	14,4	1,183568	15	1,021446		
15	24/07/2015	6:56:26	14,9	0,447381	14,4	1,183568	15,1	0,993070		
16	24/07/2015	7:56:25	14,9	0,447381	15,2	0,956110	16,3	0,652562		
17	24/07/2015	8:56:24	15	0,414962	15,9	0,757085	16,3	0,652562		
18	24/07/2015	9:56:23	15	0,414962	16,7	0,529628	17,2	0,397181		
19	24/07/2015	10:56:22	15,1	0,382543	16,4	0,614924	16,8	0,510683		
20	24/07/2015	11:56:21	15,3	0,317705	15,6	0,842382	15,5	0,879567	15,3	0,692028
21	24/07/2015	12:56:20	15,3	0,317705	15,5	0,870814	15,8	0,794440		
22	24/07/2015	13:56:19	15,3	0,317705	15,8	0,785517	16,3	0,652562		
23	24/07/2015	14:56:18	15,4	0,285286	15,3	0,927678	15	1,021446		
24	24/07/2015	15:56:17	15,3	0,317705	14,2	1,240432	14,2	1,248451		
25	24/07/2015	16:56:16	15,2	0,350124	13,9	1,325728	14,1	1,276827		
26	24/07/2015	17:56:15	15,1	0,382543	13,4	1,467889	13,7	1,390330	15	0,781945
27	24/07/2015	18:56:14	15,1	0,382543	13,2	1,524753	13,5	1,447081		
28	24/07/2015	19:56:13	15,1	0,382543	13,3	1,496321	13,7	1,390330		
29	24/07/2015	20:56:12	14,9	0,447381	13,1	1,553186	13,3	1,503832		
30	24/07/2015	21:56:11	14,4	0,609475	12,8	1,638482	13,2	1,532208		
31	24/07/2015	22:56:10	14,3	0,641894	12,8	1,638482	13,3	1,503832		
32	24/07/2015	23:56:09	14,3	0,641894	12,4	1,752211	12,5	1,730838		
33	25/07/2015	0:56:08	14,2	0,674313	12,2	1,809075	12,6	1,702462	13,3	1,291475
34	25/07/2015	1:56:07	14,2	0,674313	12,6	1,695346	13,1	1,560584		
35	25/07/2015	2:56:06	14,3	0,641894	12,7	1,666914	13,2	1,532208		
36	25/07/2015	3:56:05	14,2	0,674313	12,6	1,695346	13,2	1,532208		
37	25/07/2015	4:56:04	14,1	0,706732	12,6	1,695346	13	1,588959		
38	25/07/2015	5:56:03	14	0,739151	12,3	1,780643	12,7	1,674086		
39	25/07/2015	6:56:02	14	0,739151	12,2	1,809075	12,6	1,702462		
40	25/07/2015	7:56:01	14	0,739151	12,4	1,752211	13	1,588959		

Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
41	25/07/2015	8:56:00	14	0,739151	13	1,581618	13,7	1,390330		
42	25/07/2015	9:55:59	14	0,739151	14,1	1,268864	15,9	0,766065		
43	25/07/2015	10:55:58	14,1	0,706732	17,2	0,387467	16,7	0,539059		
44	25/07/2015	11:55:57	14,5	0,577057	20,2	0,465498	21,4	0,794598	12,6	1,501282
45	25/07/2015	12:55:56	15	0,414962	21,7	0,891980	21,4	0,794598		
46	25/07/2015	13:55:55	15,7	0,188030	23,5	1,403759	24,4	1,645868		
47	25/07/2015	14:55:54	16,2	0,025935	21,7	0,891980	24	1,532366		
48	25/07/2015	15:55:53	16,2	0,025935	20,2	0,465498	20,6	0,567592		
49	25/07/2015	16:55:52	16,4	0,038903	17,1	0,415899	16,8	0,510683		
50	25/07/2015	17:55:51	16,5	0,071322	14,3	1,212000	14,6	1,134948	19,2	0,476893
51	25/07/2015	18:55:50	16,2	0,025935	12,7	1,666914	13,1	1,560584		
52	25/07/2015	19:55:49	15,8	0,155611	11,7	1,951236	12,5	1,730838		
53	25/07/2015	20:55:48	15,7	0,188030	11,2	2,093397	11,7	1,957843		
54	25/07/2015	21:55:47	15,4	0,285286	10,8	2,207125	11,5	2,014595		
55	25/07/2015	22:55:46	15,2	0,350124	10,3	2,349286	11,1	2,128097		
56	25/07/2015	23:55:45	14,9	0,447381	9,7	2,519879	10,1	2,411854		
<b>57</b>	<b>26/07/2015</b>	<b>0:55:44</b>	<b>14,7</b>	<b>0,512219</b>	<b>9,8</b>	<b>2,491447</b>	<b>10,6</b>	<b>2,269976</b>	<b>13,1</b>	<b>1,351420</b>
<b>58</b>	<b>26/07/2015</b>	<b>1:55:43</b>	<b>14,5</b>	<b>0,577057</b>	<b>9,2</b>	<b>2,662040</b>	<b>9,9</b>	<b>2,468606</b>		
<b>59</b>	<b>26/07/2015</b>	<b>2:55:42</b>	<b>14,2</b>	<b>0,674313</b>	<b>8,2</b>	<b>2,946361</b>	<b>8,6</b>	<b>2,837489</b>		
<b>60</b>	<b>26/07/2015</b>	<b>3:55:41</b>	<b>13,9</b>	<b>0,771570</b>	<b>7,7</b>	<b>3,088522</b>	<b>8,4</b>	<b>2,894241</b>		
<b>61</b>	<b>26/07/2015</b>	<b>4:55:40</b>	<b>13,6</b>	<b>0,868827</b>	<b>7,9</b>	<b>3,031658</b>	<b>9,1</b>	<b>2,695611</b>		
<b>62</b>	<b>26/07/2015</b>	<b>5:55:39</b>	<b>13,4</b>	<b>0,933665</b>	<b>9,3</b>	<b>2,633608</b>	<b>10,5</b>	<b>2,298351</b>		
<b>63</b>	<b>26/07/2015</b>	<b>6:55:38</b>	<b>13,2</b>	<b>0,998502</b>	<b>9,8</b>	<b>2,491447</b>	<b>10,7</b>	<b>2,241600</b>		
<b>64</b>	<b>26/07/2015</b>	<b>7:55:37</b>	<b>13,1</b>	<b>1,030921</b>	<b>10,1</b>	<b>2,406150</b>	<b>10,9</b>	<b>2,184849</b>		
65	26/07/2015	8:55:36	13,1	1,030921	11,9	1,894371	13,2	1,532208		
66	26/07/2015	9:55:35	13	1,063340	14,6	1,126703	15,9	0,766065		
67	26/07/2015	10:55:34	13,2	0,998502	18,3	0,074713	20,6	0,567592		
68	26/07/2015	11:55:33	13,8	0,803989	21,6	0,863548	24,4	1,645868	10,4	2,160674
69	26/07/2015	12:55:32	14,5	0,577057	23,2	1,318462	26,3	2,185006		
70	26/07/2015	13:55:31	15,3	0,317705	24,1	1,574352	28,1	2,695769		
71	26/07/2015	14:55:30	15,9	0,123192	24,3	1,631216	27,1	2,412012		
72	26/07/2015	15:55:29	15,6	0,220449	23,5	1,403759	24,4	1,645868		
73	26/07/2015	16:55:28	16	0,090773	18,2	0,103146	18,3	0,085048		
74	26/07/2015	17:55:27	16,1	0,058354	15,4	0,899246	16	0,737689	19,5	0,566810
75	26/07/2015	18:55:26	15,9	0,123192	13,4	1,467889	14,4	1,191700		
76	26/07/2015	19:55:25	15,6	0,220449	12,3	1,780643	13	1,588959		
77	26/07/2015	20:55:24	15,4	0,285286	11,5	2,008100	12,2	1,815965		
78	26/07/2015	21:55:23	15,1	0,382543	11	2,150261	12,1	1,844341		
79	26/07/2015	22:55:22	15,1	0,382543	10,4	2,320854	11,1	2,128097		
80	26/07/2015	23:55:21	14,8	0,479800	10,6	2,263989	11,9	1,901092		

Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
81	27/07/2015	0:55:20	14,5	0,577057	10	2,434582	10,7	2,241600	13,1	1,351420
82	27/07/2015	1:55:19	14,3	0,641894	9,9	2,463015	10,8	2,213224		
83	27/07/2015	2:55:18	14,1	0,706732	9,1	2,690472	9,8	2,496981		
84	27/07/2015	3:55:17	13,8	0,803989	8,1	2,974793	8,7	2,809114		
85	27/07/2015	4:55:16	13,5	0,901246	9,4	2,605175	10,6	2,269976		
86	27/07/2015	5:55:15	13,3	0,966083	10,3	2,349286	11,1	2,128097		
87	27/07/2015	6:55:14	13,3	0,966083	10,5	2,292422	11,3	2,071346		
88	27/07/2015	7:55:13	13,2	0,998502	11,4	2,036532	12,2	1,815965		
89	27/07/2015	8:55:12	13,1	1,030921	12,8	1,638482	13,6	1,418705		
90	27/07/2015	9:55:11	13,2	0,998502	15,9	0,757085	17,4	0,340429		
91	27/07/2015	10:55:10	13,3	0,966083	20,4	0,522362	22,2	1,021603		
92	27/07/2015	11:55:09	13,6	0,868827	23,8	1,489055	25,1	1,844498	11	1,980839
93	27/07/2015	12:55:08	14,6	0,544638	27,4	2,512613	30,3	3,320034		
94	27/07/2015	13:55:07	15,6	0,220449	25,4	1,943970	28,8	2,894398		
95	27/07/2015	14:55:06	16,2	0,025935	27,3	2,484181	29,1	2,979525		
96	27/07/2015	15:55:05	16	0,090773	24,3	1,631216	25,3	1,901250		
97	27/07/2015	16:55:04	16,5	0,071322	19	0,124312	18,9	0,085206		
98	27/07/2015	17:55:03	16,4	0,038903	16,3	0,643357	17,2	0,397181	20,3	0,806589
99	27/07/2015	18:55:02	16,1	0,058354	15,2	0,956110	16,4	0,624186		
100	27/07/2015	19:55:01	15,9	0,123192	14	1,297296	15,6	0,851192		
101	27/07/2015	20:55:00	15,9	0,123192	13,2	1,524753	14,8	1,078197		
102	27/07/2015	21:54:59	15,7	0,188030	11,3	2,064964	12,4	1,759213		
103	27/07/2015	22:54:58	15,4	0,285286	10,6	2,263989	11,1	2,128097		
104	27/07/2015	23:54:57	15,1	0,382543	9,7	2,519879	10,3	2,355103		
105	28/07/2015	0:54:56	14,9	0,447381	9	2,718904	9,8	2,496981	14,3	0,991752
106	28/07/2015	1:54:55	14,5	0,577057	8,7	2,804200	9,4	2,610484		
107	28/07/2015	2:54:54	14,3	0,641894	8	3,003226	8,7	2,809114		
108	28/07/2015	3:54:53	13,9	0,771570	7,2	3,230683	8	3,007744		
109	28/07/2015	4:54:52	13,6	0,868827	6,5	3,429708	7,4	3,177998		
110	28/07/2015	5:54:51	13,3	0,966083	6,3	3,486572	7	3,291500		
111	28/07/2015	6:54:50	12,9	1,095759	5,8	3,628733	6,8	3,348252		
112	28/07/2015	7:54:49	12,6	1,193016	6,7	3,372844	7,9	3,036119		
113	28/07/2015	8:54:48	12,2	1,322691	12,2	1,809075	14,1	1,276827		
114	28/07/2015	9:54:47	12,2	1,322691	20,9	0,664523	18,6	0,000079		
115	28/07/2015	10:54:46	12,4	1,257854	25,8	2,057698	25,1	1,844498		
116	28/07/2015	11:54:45	13,1	1,030921	28,8	2,910663	27,5	2,525515	10,1	2,250591
117	28/07/2015	12:54:44	13,9	0,771570	32	3,820492	31,8	3,745669		
118	28/07/2015	13:54:43	14,9	0,447381	32	3,820492	31,8	3,745669		
119	28/07/2015	14:54:42	15,6	0,220449	29,4	3,081256	30,5	3,376785		
120	28/07/2015	15:54:41	15,6	0,220449	28	2,683206	27,6	2,553890		



Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
121	28/07/2015	16:54:40	16,3	0,006484	20,9	0,664523	20,4	0,510841		
122	28/07/2015	17:54:39	16,3	0,006484	17,5	0,302171	17,8	0,226927	21,7	1,226202
123	28/07/2015	18:54:38	16,2	0,025935	15,2	0,956110	15,7	0,822816		
124	28/07/2015	19:54:37	16,1	0,058354	14	1,297296	14,5	1,163324		
125	28/07/2015	20:54:36	15,9	0,123192	13,3	1,496321	14,1	1,276827		
126	28/07/2015	21:54:35	15,7	0,188030	12,1	1,837507	12,9	1,617335		
127	28/07/2015	22:54:34	15,4	0,285286	12,6	1,695346	13,9	1,333578		
128	28/07/2015	23:54:33	15,2	0,350124	12,1	1,837507	13,5	1,447081		
129	29/07/2015	0:54:32	15	0,414962	10,4	2,320854	11,3	2,071346	15,2	0,722001
130	29/07/2015	1:54:31	14,9	0,447381	10	2,434582	10,6	2,269976		
131	29/07/2015	2:54:30	14,6	0,544638	9,1	2,690472	10,1	2,411854		
132	29/07/2015	3:54:29	14,4	0,609475	8,5	2,861065	9,4	2,610484		
133	29/07/2015	4:54:28	14	0,739151	8,4	2,889497	8,9	2,752362		
134	29/07/2015	5:54:27	13,7	0,836408	7,9	3,031658	8,5	2,865865		
135	29/07/2015	6:54:26	13,4	0,933665	7,5	3,145386	8,3	2,922616		
136	29/07/2015	7:54:25	13	1,063340	8,6	2,832633	9,4	2,610484		
137	29/07/2015	8:54:24	12,8	1,128178	15,6	0,842382	16,2	0,680938		
138	29/07/2015	9:54:23	12,9	1,095759	23,4	1,375327	21,9	0,936476		
139	29/07/2015	10:54:22	13,2	0,998502	29,8	3,194985	27,3	2,468763		
140	29/07/2015	11:54:21	13,8	0,803989	32,7	4,019517	30,5	3,376785	13,1	1,351420
141	29/07/2015	12:54:20	14,7	0,512219	32,6	3,991085	30,3	3,320034		
142	29/07/2015	13:54:19	15,5	0,252867	34	4,389135	31,6	3,688918		
143	29/07/2015	14:54:18	16,2	0,025935	34,2	4,446000	32,7	4,001050		
144	29/07/2015	15:54:17	16,6	0,103741	29,7	3,166553	29,1	2,979525		
145	29/07/2015	16:54:16	17	0,233416	22,9	1,233166	22,1	0,993228		
146	29/07/2015	17:54:15	17	0,233416	20	0,408633	20	0,397338	23,2	1,675787
147	29/07/2015	18:54:14	17	0,233416	16,9	0,472764	17,3	0,368805		
148	29/07/2015	19:54:13	17	0,233416	15,8	0,785517	16,7	0,539059		
149	29/07/2015	20:54:12	16,6	0,103741	14,3	1,212000	15,1	0,993070		
150	29/07/2015	21:54:11	16,7	0,136159	13,2	1,524753	14,1	1,276827		
151	29/07/2015	22:54:10	16,3	0,006484	12,4	1,752211	13,4	1,475457		
152	29/07/2015	23:54:09	16,2	0,025935	11,8	1,922804	12,8	1,645711		
153	30/07/2015	0:54:08	15,9	0,123192	11,2	2,093397	12,1	1,844341	16,6	0,302388
154	30/07/2015	1:54:07	15,6	0,220449	10,6	2,263989	11,6	1,986219		
155	30/07/2015	2:54:06	15,5	0,252867	10,2	2,377718	11,2	2,099722		
156	30/07/2015	3:54:05	15,1	0,382543	9,7	2,519879	10,6	2,269976		
157	30/07/2015	4:54:04	15	0,414962	9,1	2,690472	10	2,440230		
158	30/07/2015	5:54:03	14,6	0,544638	7,8	3,060090	9	2,723987		
159	30/07/2015	6:54:02	14,3	0,641894	7,5	3,145386	8,7	2,809114		
160	30/07/2015	7:54:01	13,9	0,771570	8,4	2,889497	9,5	2,582108		

Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
161	30/07/2015	8:54:00	13,6	0,868827	14,3	1,212000	15,8	0,794440		
162	30/07/2015	9:53:59	13,6	0,868827	23,4	1,375327	21,4	0,794598		
163	30/07/2015	10:53:58	13,9	0,771570	33,3	4,190110	27,9	2,639017		
164	30/07/2015	11:53:57	14,5	0,577057	37,1	5,270532	30,8	3,461912	11	1,980839
165	30/07/2015	12:53:56	15,4	0,285286	38,6	5,697015	32,2	3,859172		
166	30/07/2015	13:53:55	16,3	0,006484	39,1	5,839175	34,1	4,398310		
167	30/07/2015	14:53:54	17,1	0,265835	35	4,673457	33,5	4,228056		
168	30/07/2015	15:53:53	17,5	0,395511	32,9	4,076382	29,3	3,036277		
169	30/07/2015	16:53:52	17,9	0,525186	24,1	1,574352	22,2	1,021603		
170	30/07/2015	17:53:51	17,8	0,492767	19,7	0,323337	19,6	0,283836	23,7	1,825649
171	30/07/2015	18:53:50	17,7	0,460348	17	0,444331	17,5	0,312054		
172	30/07/2015	19:53:49	17,6	0,427930	15,3	0,927678	16,2	0,680938		
173	30/07/2015	20:53:48	17,2	0,298254	14,9	1,041407	16,2	0,680938		
174	30/07/2015	21:53:47	17,1	0,265835	14,6	1,126703	15,8	0,794440		
175	30/07/2015	22:53:46	17	0,233416	13,7	1,382593	14,9	1,049821		
176	30/07/2015	23:53:45	16,7	0,136159	12,4	1,752211	13,8	1,361954		
<b>177</b>	<b>31/07/2015</b>	<b>0:53:44</b>	<b>16,6</b>	<b>0,103741</b>	<b>12</b>	<b>1,865939</b>	<b>13,2</b>	<b>1,532208</b>	<b>15,6</b>	<b>0,602111</b>
178	31/07/2015	1:53:43	16,2	0,025935	10,5	2,292422	11,9	1,901092		
179	31/07/2015	2:53:42	15,9	0,123192	10,9	2,178693	12,3	1,787589		
180	31/07/2015	3:53:41	15,6	0,220449	9,7	2,519879	10,7	2,241600		
181	31/07/2015	4:53:40	15,3	0,317705	8,8	2,775768	9,8	2,496981		
182	31/07/2015	5:53:39	15	0,414962	8	3,003226	9,3	2,638860		
183	31/07/2015	6:53:38	14,6	0,544638	7,6	3,116954	8,6	2,837489		
184	31/07/2015	7:53:37	14,3	0,641894	8,4	2,889497	9,8	2,496981		
185	31/07/2015	8:53:36	13,9	0,771570	14,8	1,069839	15,7	0,822816		
186	31/07/2015	9:53:35	13,9	0,771570	23,1	1,290030	21,6	0,851349		
187	31/07/2015	10:53:34	14	0,739151	32,9	4,076382	27,4	2,497139		
188	31/07/2015	11:53:33	14,7	0,512219	41,5	6,521547	31,8	3,745669	10	2,280563
189	31/07/2015	12:53:32	15,5	0,252867	41,2	6,436251	33,4	4,199680		
190	31/07/2015	13:53:31	16,7	0,136159	38,6	5,697015	34,3	4,455061		
191	31/07/2015	14:53:30	17,3	0,330673	32,5	3,962653	30,9	3,490288		
192	31/07/2015	15:53:29	17,5	0,395511	30,4	3,365578	28,8	2,894398		
193	31/07/2015	16:53:28	17,7	0,460348	24,2	1,602784	23,6	1,418863		
194	31/07/2015	17:53:27	17,8	0,492767	22,2	1,034141	22,2	1,021603	24,8	2,155345
195	31/07/2015	18:53:26	17,8	0,492767	20,7	0,607658	21,3	0,766222		
196	31/07/2015	19:53:25	17,7	0,460348	19,9	0,380201	20,8	0,624344		
197	31/07/2015	20:53:24	17,7	0,460348	18,4	0,046281	19,4	0,227084		
198	31/07/2015	21:53:23	17,7	0,460348	17,3	0,359035	18,4	0,056673		
199	31/07/2015	22:53:22	17,6	0,427930	16,5	0,586492	17,6	0,283678		
200	31/07/2015	23:53:21	17,5	0,395511	15,6	0,842382	16,6	0,567435		

Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
201	01/08/2015	0:53:20	17,3	0,330673	14,4	1,183568	15,4	0,907943	20	0,716672
202	01/08/2015	1:53:19	17,1	0,265835	13,2	1,524753	14,1	1,276827		
203	01/08/2015	2:53:18	16,9	0,200997	12,2	1,809075	13,6	1,418705		
204	01/08/2015	3:53:17	16,7	0,136159	13	1,581618	14,1	1,276827		
205	01/08/2015	4:53:16	16,4	0,038903	12,6	1,695346	13,5	1,447081		
206	01/08/2015	5:53:15	16,1	0,058354	12,2	1,809075	13,1	1,560584		
207	01/08/2015	6:53:14	15,9	0,123192	11,1	2,121829	12	1,872716		
208	01/08/2015	7:53:13	15,6	0,220449	11,9	1,894371	12,7	1,674086		
209	01/08/2015	8:53:12	15,4	0,285286	18	0,160010	18,4	0,056673		
210	01/08/2015	9:53:11	15,5	0,252867	25,7	2,029266	24	1,532366		
211	01/08/2015	10:53:10	15,7	0,188030	34,6	4,559728	29,5	3,093028		
212	01/08/2015	11:53:09	16,1	0,058354	43,6	7,118622	33,6	4,256431	14,8	0,841890
213	01/08/2015	12:53:08	17,1	0,265835	44,8	7,459808	36,1	4,965823		
214	01/08/2015	13:53:07	17,9	0,525186	41,4	6,493115	34,8	4,596939		
215	01/08/2015	14:53:06	18,4	0,687281	30,1	3,280281	28,3	2,752520		
216	01/08/2015	15:53:05	18,6	0,752119	30,6	3,422442	28,1	2,695769		
217	01/08/2015	16:53:04	18,8	0,816956	25,3	1,915538	24,6	1,702620		
218	01/08/2015	17:53:03	18,7	0,784538	22,4	1,091005	22,4	1,078355	25,8	2,455069
219	01/08/2015	18:53:02	18,8	0,816956	20,2	0,465498	21	0,681095		
220	01/08/2015	19:53:01	18,6	0,752119	18,5	0,017849	19,4	0,227084		
221	01/08/2015	20:53:00	18,4	0,687281	17,7	0,245306	18,8	0,056830		
222	01/08/2015	21:52:59	18,3	0,654862	16,2	0,671789	17,4	0,340429		
223	01/08/2015	22:52:58	18,1	0,590024	14,5	1,155135	15,7	0,822816		
224	01/08/2015	23:52:57	17,9	0,525186	14,8	1,069839	16,2	0,680938		
225	02/08/2015	0:52:56	17,7	0,460348	13,9	1,325728	15,1	0,993070	18,2	0,177170
226	02/08/2015	1:52:55	17,6	0,427930	12,7	1,666914	13,6	1,418705		
227	02/08/2015	2:52:54	17,3	0,330673	12	1,865939	13	1,588959		
228	02/08/2015	3:52:53	16,9	0,200997	11,4	2,036532	12,5	1,730838		
229	02/08/2015	4:52:52	16,6	0,103741	11,1	2,121829	11,9	1,901092		
230	02/08/2015	5:52:51	16,4	0,038903	10,5	2,292422	11,5	2,014595		
231	02/08/2015	6:52:50	16,1	0,058354	10	2,434582	10,9	2,184849		
232	02/08/2015	7:52:49	15,7	0,188030	10,7	2,235557	11,7	1,957843		
233	02/08/2015	8:52:48	15,3	0,317705	17,2	0,387467	17,8	0,226927		
234	02/08/2015	9:52:47	15,4	0,285286	24,3	1,631216	22,7	1,163482		
235	02/08/2015	10:52:46	15,5	0,252867	32,4	3,934221	26,9	2,355260		
236	02/08/2015	11:52:45	16	0,090773	37,9	5,497989	29,7	3,149780	14,1	1,051697
237	02/08/2015	12:52:44	16,9	0,200997	35,2	4,730321	30,6	3,405161		
238	02/08/2015	13:52:43	17,6	0,427930	35,6	4,844050	31,4	3,632166		
239	02/08/2015	14:52:42	18,2	0,622443	30,6	3,422442	28,5	2,809271		
240	02/08/2015	15:52:41	18,3	0,654862	31,5	3,678331	30	3,234907		

Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
241	02/08/2015	16:52:40	18,6	0,752119	24,5	1,688080	23,9	1,503990		
242	02/08/2015	17:52:39	18,5	0,719700	21,7	0,891980	22	0,964852	23,9	1,885594
243	02/08/2015	18:52:38	18,5	0,719700	19,4	0,238040	20,1	0,425714		
244	02/08/2015	19:52:37	18,4	0,687281	18,2	0,103146	19,1	0,141957		
245	02/08/2015	20:52:36	18,3	0,654862	17,5	0,302171	18,7	0,028455		
246	02/08/2015	21:52:35	18,1	0,590024	16,7	0,529628	18,1	0,141800		
247	02/08/2015	22:52:34	18,1	0,590024	16	0,728653	17,3	0,368805		
248	02/08/2015	23:52:33	17,8	0,492767	15,6	0,842382	16,7	0,539059		
<b>249</b>	<b>03/08/2015</b>	<b>0:52:32</b>	<b>17,7</b>	<b>0,460348</b>	<b>15,1</b>	<b>0,984542</b>	<b>16,1</b>	<b>0,709313</b>	<b>18,3</b>	<b>0,207142</b>
<b>250</b>	<b>03/08/2015</b>	<b>1:52:31</b>	<b>17,5</b>	<b>0,395511</b>	<b>14,8</b>	<b>1,069839</b>	<b>15,8</b>	<b>0,794440</b>		
<b>251</b>	<b>03/08/2015</b>	<b>2:52:30</b>	<b>17,3</b>	<b>0,330673</b>	<b>14</b>	<b>1,297296</b>	<b>15,1</b>	<b>0,993070</b>		
<b>252</b>	<b>03/08/2015</b>	<b>3:52:29</b>	<b>16,9</b>	<b>0,200997</b>	<b>12,6</b>	<b>1,695346</b>	<b>13,5</b>	<b>1,447081</b>		
<b>253</b>	<b>03/08/2015</b>	<b>4:52:28</b>	<b>16,8</b>	<b>0,168578</b>	<b>12,3</b>	<b>1,780643</b>	<b>13,3</b>	<b>1,503832</b>		
<b>254</b>	<b>03/08/2015</b>	<b>5:52:27</b>	<b>16,4</b>	<b>0,038903</b>	<b>13,2</b>	<b>1,524753</b>	<b>14,5</b>	<b>1,163324</b>		
<b>255</b>	<b>03/08/2015</b>	<b>6:52:26</b>	<b>16,4</b>	<b>0,038903</b>	<b>13</b>	<b>1,581618</b>	<b>14,1</b>	<b>1,276827</b>		
<b>256</b>	<b>03/08/2015</b>	<b>7:52:25</b>	<b>16,2</b>	<b>0,025935</b>	<b>13,7</b>	<b>1,382593</b>	<b>14,6</b>	<b>1,134948</b>		
257	03/08/2015	8:52:24	15,9	0,123192	19,6	0,294905	19,6	0,283836		
258	03/08/2015	9:52:23	16,1	0,058354	25,2	1,887105	24,2	1,589117		
259	03/08/2015	10:52:22	16,2	0,025935	32,5	3,962653	28,7	2,866023		
260	03/08/2015	11:52:21	16,6	0,103741	39,5	5,952904	31,9	3,774045	17,5	0,032637
261	03/08/2015	12:52:20	17,5	0,395511	40,8	6,322522	34,8	4,596939		
262	03/08/2015	13:52:19	18,3	0,654862	36,3	5,043075	32,9	4,057801		
263	03/08/2015	14:52:18	18,9	0,849375	36,4	5,071507	34,5	4,511812		
264	03/08/2015	15:52:17	19,1	0,914213	31,5	3,678331	29,4	3,064653		
265	03/08/2015	16:52:16	19,2	0,946632	25,9	2,086131	24,4	1,645868		
266	03/08/2015	17:52:15	19,2	0,946632	23,6	1,432191	22,6	1,135106	26,1	2,544986
267	03/08/2015	18:52:14	19,1	0,914213	21,9	0,948844	21,1	0,709471		
268	03/08/2015	19:52:13	18,9	0,849375	20,4	0,522362	20	0,397338		
269	03/08/2015	20:52:12	18,9	0,849375	19,3	0,209608	19,3	0,198709		
270	03/08/2015	21:52:11	18,6	0,752119	17,7	0,245306	17,3	0,368805		
271	03/08/2015	22:52:10	18,4	0,687281	17,1	0,415899	17	0,453932		
272	03/08/2015	23:52:09	18,2	0,622443	15,9	0,757085	15,7	0,822816		
<b>273</b>	<b>04/08/2015</b>	<b>0:52:08</b>	<b>18</b>	<b>0,557605</b>	<b>15,6</b>	<b>0,842382</b>	<b>15,8</b>	<b>0,794440</b>	<b>20</b>	<b>0,716672</b>
<b>274</b>	<b>04/08/2015</b>	<b>1:52:07</b>	<b>17,7</b>	<b>0,460348</b>	<b>15,1</b>	<b>0,984542</b>	<b>15,2</b>	<b>0,964694</b>		
<b>275</b>	<b>04/08/2015</b>	<b>2:52:06</b>	<b>17,7</b>	<b>0,460348</b>	<b>15,1</b>	<b>0,984542</b>	<b>15,6</b>	<b>0,851192</b>		
<b>276</b>	<b>04/08/2015</b>	<b>3:52:05</b>	<b>17,5</b>	<b>0,395511</b>	<b>14,3</b>	<b>1,212000</b>	<b>14,3</b>	<b>1,220076</b>		
<b>277</b>	<b>04/08/2015</b>	<b>4:52:04</b>	<b>17,2</b>	<b>0,298254</b>	<b>13,3</b>	<b>1,496321</b>	<b>13,3</b>	<b>1,503832</b>		
<b>278</b>	<b>04/08/2015</b>	<b>5:52:03</b>	<b>16,9</b>	<b>0,200997</b>	<b>12,7</b>	<b>1,666914</b>	<b>12,7</b>	<b>1,674086</b>		
<b>279</b>	<b>04/08/2015</b>	<b>6:52:02</b>	<b>16,5</b>	<b>0,071322</b>	<b>12,4</b>	<b>1,752211</b>	<b>12,4</b>	<b>1,759213</b>		
<b>280</b>	<b>04/08/2015</b>	<b>7:52:01</b>	<b>16,5</b>	<b>0,071322</b>	<b>12,8</b>	<b>1,638482</b>	<b>13,4</b>	<b>1,475457</b>		

Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
281	04/08/2015	8:52:00	16,1	0,058354	16,5	0,586492	19,2	0,170333		
282	04/08/2015	9:51:59	16,1	0,058354	22,6	1,147869	24,8	1,759371		
283	04/08/2015	10:51:58	16,4	0,038903	29,3	3,052824	31,1	3,547039		
284	04/08/2015	11:51:57	17,1	0,265835	33,1	4,133246	33,4	4,199680	16,4	0,362332
285	04/08/2015	12:51:56	17,9	0,525186	35,5	4,815618	35,3	4,738818		
286	04/08/2015	13:51:55	18,8	0,816956	37,7	5,441125	38,2	5,561713		
287	04/08/2015	14:51:54	19,5	1,043889	36,3	5,043075	34,9	4,625315		
288	04/08/2015	15:51:53	19,6	1,076308	33,4	4,218542	30,8	3,461912		
289	04/08/2015	16:51:52	19,9	1,173564	27	2,398884	24,7	1,730995		
290	04/08/2015	17:51:51	19,9	1,173564	24,3	1,631216	23,2	1,305360	26,9	2,784765
291	04/08/2015	18:51:50	19,8	1,141146	21,6	0,863548	21,3	0,766222		
292	04/08/2015	19:51:49	19,7	1,108727	19,9	0,380201	19,6	0,283836		
293	04/08/2015	20:51:48	19,6	1,076308	18,3	0,074713	18,2	0,113424		
294	04/08/2015	21:51:47	19,4	1,011470	17,4	0,330603	17,8	0,226927		
295	04/08/2015	22:51:46	19,3	0,979051	17,3	0,359035	17,6	0,283678		
296	04/08/2015	23:51:45	19,1	0,914213	16,9	0,472764	17,1	0,425556		
<b>297</b>	<b>05/08/2015</b>	<b>0:51:44</b>	<b>18,9</b>	<b>0,849375</b>	<b>16,7</b>	<b>0,529628</b>	<b>16,9</b>	<b>0,482308</b>	<b>17,4</b>	<b>0,062609</b>
298	05/08/2015	1:51:43	18,8	0,816956	16,6	0,558060	16,6	0,567435		
299	05/08/2015	2:51:42	18,7	0,784538	15,4	0,899246	15,6	0,851192		
300	05/08/2015	3:51:41	18,3	0,654862	15	1,012975	15,5	0,879567		
301	05/08/2015	4:51:40	18,3	0,654862	15,2	0,956110	15,7	0,822816		
302	05/08/2015	5:51:39	18	0,557605	15,1	0,984542	15,6	0,851192		
303	05/08/2015	6:51:38	17,9	0,525186	15,3	0,927678	15,7	0,822816		
304	05/08/2015	7:51:37	17,8	0,492767	15,9	0,757085	16,5	0,595811		
305	05/08/2015	8:51:36	17,6	0,427930	17,3	0,359035	18,1	0,141800		
306	05/08/2015	9:51:35	17,7	0,460348	20,6	0,579226	21	0,681095		
307	05/08/2015	10:51:34	17,8	0,492767	22,8	1,204734	22,9	1,220233		
308	05/08/2015	11:51:33	17,9	0,525186	25,2	1,887105	25,4	1,929625	15,9	0,512194
309	05/08/2015	12:51:32	18,2	0,622443	28,3	2,768502	29,1	2,979525		
310	05/08/2015	13:51:31	18,6	0,752119	32	3,820492	32,2	3,859172		
311	05/08/2015	14:51:30	19,2	0,946632	33,4	4,218542	32,5	3,944299		
312	05/08/2015	15:51:29	19,1	0,914213	31,9	3,792060	29,9	3,206531		
313	05/08/2015	16:51:28	19,5	1,043889	25,8	2,057698	23,8	1,475614		
314	05/08/2015	17:51:27	19,5	1,043889	23,1	1,290030	22,5	1,106730	25,3	2,305207
315	05/08/2015	18:51:26	19,3	0,979051	21,3	0,778251	21,1	0,709471		
316	05/08/2015	19:51:25	19,2	0,946632	20,2	0,465498	20,1	0,425714		
317	05/08/2015	20:51:24	18,9	0,849375	19,1	0,152744	19,2	0,170333		
318	05/08/2015	21:51:23	18,8	0,816956	18,2	0,103146	18,2	0,113424		
319	05/08/2015	22:51:22	18,6	0,752119	17,1	0,415899	17,2	0,397181		
320	05/08/2015	23:51:21	18,4	0,687281	16	0,728653	16	0,737689		

Nº	Data	Tempo (h)	Vegetação (°C)	C.V. (Veg.)	Cerâmica (°C)	C.V. (Cer.)	Fibrocimento (°C)	C.V. (Fibr.)	Ar (°C)	C.V. (Ar)
321	06/08/2015	0:51:20	18,1	0,590024	15,1	0,984542	15	1,021446	18,7	0,327032
322	06/08/2015	1:51:19	18	0,557605	14,4	1,183568	14,5	1,163324		
323	06/08/2015	2:51:18	17,7	0,460348	14,1	1,268864	14,7	1,106573		
324	06/08/2015	3:51:17	17,6	0,427930	13,6	1,411025	13,4	1,475457		
325	06/08/2015	4:51:16	17,2	0,298254	12,7	1,666914	12,6	1,702462		
326	06/08/2015	5:51:15	16,8	0,168578	12,4	1,752211	12,7	1,674086		
327	06/08/2015	6:51:14	16,5	0,071322	12,3	1,780643	12,8	1,645711		
328	06/08/2015	7:51:13	16,2	0,025935	13	1,581618	14	1,305203		
329	06/08/2015	8:51:12	16,2	0,025935	16,5	0,586492	18,6	0,000079		
330	06/08/2015	9:51:11	16,1	0,058354	23	1,261598	25,2	1,872874		
331	06/08/2015	10:51:10	16,3	0,006484	28,2	2,740070	29,7	3,149780		
332	06/08/2015	11:51:09	16,9	0,200997	31,5	3,678331	32,6	3,972674	15,7	0,572139
333	06/08/2015	12:51:08	17,7	0,460348	33,3	4,190110	33,6	4,256431		
334	06/08/2015	13:51:07	18,5	0,719700	34,1	4,417567	32,8	4,029426		
335	06/08/2015	14:51:06	19	0,881794	33	4,104814	31,2	3,575415		
336	06/08/2015	15:51:05	19,1	0,914213	29,9	3,223417	27,2	2,440388		
337	06/08/2015	16:51:04	19,3	0,979051	25,2	1,887105	24,2	1,589117		
338	06/08/2015	17:51:03	19,3	0,979051	23,3	1,346894	22,7	1,163482	26,3	2,604930
339	06/08/2015	18:51:02	19,2	0,946632	21,7	0,891980	21,6	0,851349		
340	06/08/2015	19:51:01	19	0,881794	20,3	0,493930	20	0,397338		
341	06/08/2015	20:51:00	18,9	0,849375	19,2	0,181176	19,4	0,227084		
342	06/08/2015	21:50:59	18,8	0,816956	17,9	0,188442	17,4	0,340429		
343	06/08/2015	22:50:58	18,6	0,752119	16,9	0,472764	16,7	0,539059		
344	06/08/2015	23:50:57	18,4	0,687281	16,1	0,700221	16	0,737689		
345	07/08/2015	0:50:56	18,1	0,590024	15,9	0,757085	16	0,737689	19,4	0,536838
346	07/08/2015	1:50:55	17,9	0,525186	15	1,012975	15,5	0,879567		
347	07/08/2015	2:50:54	17,7	0,460348	16	0,728653	16,6	0,567435		
348	07/08/2015	3:50:53	17,5	0,395511	15,6	0,842382	15,2	0,964694		
349	07/08/2015	4:50:52	17,3	0,330673	13,8	1,354160	13,4	1,475457		
350	07/08/2015	5:50:51	17	0,233416	12,8	1,638482	13	1,588959		
351	07/08/2015	6:50:50	16,8	0,168578	12,2	1,809075	12,5	1,730838		
352	07/08/2015	7:50:49	16,4	0,038903	12,6	1,695346	13,4	1,475457		
353	07/08/2015	8:50:48	16,1	0,058354	16,4	0,614924	19,6	0,283836		
354	07/08/2015	9:50:47	16,1	0,058354	23,3	1,346894	25	1,816123		
355	07/08/2015	10:50:46	16,3	0,006484	28,6	2,853799	30,3	3,320034		
356	07/08/2015	11:50:45	16,9	0,200997	32,1	3,848924	31,9	3,774045	16,9	0,212471
357	07/08/2015	12:50:44	17,8	0,492767	33,6	4,275407	33,5	4,228056		
358	07/08/2015	13:50:43	18,5	0,719700	35	4,673457	34	4,369934		
359	07/08/2015	14:50:42	19,3	0,979051	35,3	4,758753	34	4,369934		
360	07/08/2015	15:50:41	19,3	0,979051	33,9	4,360703	32,4	3,915923		
		MÉDIA	16,28	0,495856	18,56	1,948962	18,60	1,703234	17,61	1,163223

## ANEXO 1

Trechos da **LEI N° 9.800 de 03 de janeiro de 2000**, da Prefeitura Municipal de Curitiba, que “Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências.”:

Art. 6º. A Zona Central - ZC, centro tradicional da cidade, é caracterizada pela grande concentração de atividades e funções urbanas de caráter setorial.

Art. 16. Os Setores Especiais Estruturais – SE, são os principais eixos de crescimento da cidade, caracterizados como áreas de expansão do centro tradicional e como corredores comerciais, de serviços e de transportes, tendo como suporte um sistema trinário de circulação.

Art. 17. Os Setores Especiais Estruturais compreendem os terrenos existentes entre as vias externas de tráfego contínuo que compõem o sistema viário estrutural, à exceção do sistema viário que define o Setor Especial Estrutural ao longo da Av. Pres. Affonso Camargo.

§ 1º. Entende-se como sistema viário estrutural, o sistema trinário composto por uma via central e duas vias externas, sendo a via central aquela que contém a canaleta para o transporte de massa e as pistas lentas para atendimento às atividades lindeiras, e as vias externas, as ruas paralelas com sentido único de tráfego destinada ao fluxo contínuo de veículos.

Art. 42. Para efeitos desta lei, em cada zona ou setor, os critérios de assentamento e implantação da edificação no terreno são estabelecidos pelos seguintes parâmetros de ocupação:

I - taxa de ocupação - é o percentual expresso pela relação entre a área de projeção da edificação ou edificações sobre o plano horizontal e a área do lote ou terreno onde se pretende edificar;

II - coeficiente de aproveitamento - é o fator estabelecido para cada uso nas diversas zonas, que multiplicado pela área do terreno, define a área máxima computável admitida nesse mesmo terreno;

III - altura da edificação - é a dimensão vertical máxima da edificação, expressa em metros, quando medida de seu ponto mais alto até o nível do terreno, ou em número de pavimentos a partir do térreo, inclusive;

## ANEXO 2

Trechos do **DECRETO Nº 183/2000**, da Prefeitura Municipal de Curitiba, que “Regulamenta o Art. 34 e seguintes, todos componentes o Capítulo IV – Da Classificação dos Usos, da Lei nº 9.800/00, define, relaciona os usos do solo e dá outras providências.”

Art. 1º Ficam definidos os usos do solo para aplicação dos dispositivos da Lei de Zoneamento no Município de Curitiba, relacionados a seguir:

### I – USO HABITACIONAL

Edificações destinadas à habitação permanente ou transitória  
subclassificando-se em:

I.2 - **HABITAÇÃO COLETIVA** – edificação que comporta mais de 02 (duas) unidades residenciais autônomas, agrupadas verticalmente com áreas de circulação interna comuns à edificação e acesso ao logradouro público;

I.5 - **HABITAÇÃO TRANSITÓRIA** – edificação com unidades habitacionais destinadas ao uso transitório, onde se recebem hóspedes mediante remuneração, subclassificando-se em:

#### I.5.1 - **HABITAÇÃO TRANSITÓRIA 1**

- Apart-Hotel
- Pensão

#### I.5.2 - **HABITAÇÃO TRANSITÓRIA 2**

- Hotel



### III.3 - COMÉRCIO E SERVIÇO SETORIAL

Atividades comerciais varejistas e de prestação de serviços, destinadas a um atendimento de maior abrangência, tais como:

- Buffet com Salão de Festas
- Centros Comerciais
- Clínicas
- Edifícios de Escritórios
- Entidades Financeiras
- Escritório de Comércio Atacadista
- Imobiliárias
- Lojas de Departamentos
- Sede de Empresas
- Serv-Car
- Serviços de Lavagem de Veículos
- Serviços Públicos
- Super e Hipermercados