UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

HUMBERTO CATUZZO

**Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar.
O Caso da Cidade de São Paulo**
(versão corrigida)

São Paulo
2013

HUMBERTO CATUZZO

**Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar.
O Caso da Cidade de São Paulo**

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e
Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Doutor.

Área de Concentração: Geografia Física.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Magda Adelaide Lombardo

(versão corrigida)

De acordo

Prof^a. Dr^a. Magda Adelaide Lombardo

São Paulo
2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Catuzzo, Humberto	
C357t	Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O Caso da Cidade de São Paulo / Humberto Catuzzo ; Orientadora Magda Adelaide Lombardo. – São Paulo, 2013. 206 f.
Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.	
1. Climatologia Urbana. 2. Geografia Física. 3. Meio Urbano. I. Lombardo, Magda Adelaide, oriente. II. Título.	

Humberto Catuzzo

Telhado Verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O Caso da Cidade de São Paulo

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor.

Área de Concentração: Geografia Física.

Aprovado em: 04/10/2103

Banca Examinadora

Prof. Dr. Demóstenes Ferreira da Silva Filho

Instituição: USP/ESALQ

Assinatura:

Prof. Dr. Emerson Galvani

Instituição: USP

Assinatura:

Prof. Dr. José Bueno Conti

Instituição: USP

Assinatura:

Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro

Instituição: Unesp/Rio Claro

Assinatura:

Prof. Dra. Magda Adelaide Lombardo

(Orientadora)

Instituição: USP

Assinatura:

À minha esposa Letícia Carolina Teixeira Pádua,
pelo amor, carinho, compreensão e apoio para que
mais esta etapa da minha vida e carreira acontecesse.

Aos meus pais e minha irmã que sempre me
apoiaram para que continuasse estudando.

AGRADECIMENTOS

A Prof^a. Dr^a. Magda Adelaide Lombardo que possibilitou, apoiou e concordou com a realização da temática desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Emerson Galvani por ter ajudado e indicado o caminho a ser percorrido durante esta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Luis Antonio Bittar Venturi pelas contribuições na disciplina por ele ministrada e pelos dois anos que passamos juntos na Comissão Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física.

A Profa. Dra. Ligia Vizeu Barrozo também pelos dois anos que passamos juntos na Comissão do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física.

Ao Rogério Rozolen Alves Técnico do Laboratório de Climatologia e Biogeografia que me auxiliou na organização dos dados.

Ao José Cavalcanti da Prefeitura de São Paulo que me acompanhou durante toda a pesquisa e possibilitou que eu tivesse acesso ao telhado verde.

Ao Orlando Bragança que me acompanhava durante as visitas para a coleta de dados e que cuida de forma zelosa daquele oásis em pleno centro de São Paulo.

Ao Valério Igor Victorino que foi a ponte para o contato com o pessoal da Prefeitura.

A Livia Franco pela receptividade, compreensão e ajuda para que fosse possível a instalação do equipamento no alto do Edifício Mercantil/Finasa.

Ao Sr. Gilberto Taccolini síndico do Edifício Mercantil/Finasa, o qual foi extremamente receptivo e autorizou a colocação do equipamento no alto do edifício.

A todos os bombeiros do Edifício Mercantil/Finasa que me acompanharam durante todo o processo de coleta de dados.

A minha esposa Letícia Carolina Teixeira Pádua por ter mudado toda a sua vida, para que juntos possamos trilhar novos caminhos.

Aos meus padrinhos Adicélia M. Yado, Tsutomu Yado e ao meu primo Luiz Augusto M. Yado pelo acolhimento, carinho e ajuda quando chegamos a São Paulo.

Ao meu sogro Clarindo Pádua pelo apoio e ajuda durante a nossa difícil fase inicial em São Paulo.

Ao meu amigo e irmão de coração Bruno de Camargo Mendes que leu e corrigiu a tese.

A minha amiga e vizinha Maria Ignez Sampaio que também leu e corrigiu a tese.

A amiga de outros tempos da Unesp e que compartilhou os anseios, dúvidas e discussões sobre nossas teses Letícia Palazzi.

A amiga Renata Cavion que também fez parte dos anseios, dúvidas e discussões sobre a tese.

A amiga Amanda Ramalho Vasques que me incentivou para que fizesse o doutorado e, ajudou muito na fase inicial do projeto.

Agradeço aos secretários do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física programa Maria Aparecida Brambila Antonio e José Fermino da Silva.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado e apoio financeiro fundamental para a realização desta pesquisa

A nova sociedade cria uma nova civilização urbana e busca novos caminhos. Ao longo do seu crescimento secular, a cidade de São Paulo conseguiu finalmente valer-se de seu contexto geográfico. Mas agora ela se encontra presa a seus problemas”.

Pierre Monbeig

RESUMO

CATUZZO, H. **Telhado Verde**: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O Caso da Cidade de São Paulo. 2013. 206 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Em virtude da urbanização descontrolada e a falta de um planejamento técnico adequado, bem como, da alta densidade urbana, ocorreu uma ocupação em áreas naturais de extrema importância para a cidade de São Paulo. As construções e a pavimentação reduziram as áreas verdes, o que alterou a temperatura e a circulação dos ventos, provocando a formação da chamada ilha de calor. Esta pesquisa teve como objetivo principal o estudo do impacto no microclima dos telhados verdes ou “*green roofs*” - que são coberturas vegetadas, que podem ser extensivas (plantas de porte baixo ou rasteiras) ou intensivas (plantas de porte médio e arbóreo). A metodologia utilizada foi a analítico-comparativa, relacionando a temperatura e umidade relativa do ar, comparando dois tipos de cobertura, uma de telhado verde intensivo (estrutura jardim) localizada no Edifício Conde Matarazzo e, outra de um telhado de concreto localizado no Edifício Mercantil/Finasa, ambos na borda direita do Vale do Anhangabaú, no centro de São Paulo, e ainda com os dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), coletado em Santana. Os dados foram organizados em gráficos que retrataram um ano e onze dias de coleta, no período de 20 de março de 2012 a 31 de março de 2013. Ao comparar os dados coletados no telhado verde e de concreto com os dados do INMET, observou-se que durante os horários de maior radiação solar as temperaturas do telhado de concreto e do INMET apresentaram valores similares e elevados, enquanto o telhado verde teve temperatura menos elevada e maior umidade do ar, inclusive aquecendo posteriormente ao telhado de concreto e ao local onde são coletados os dados do INMET. As maiores amplitudes térmicas entre os telhados ocorreram no verão de 2012 e outono de 2013, registrando respectivamente, 6,7° C e 6,6° C e, as maiores amplitudes higrométricas ocorreram no outono e primavera, sendo de 7,1% e 5,2%. A maior variação da temperatura do ar entre os dois telhados foi de 5,3° C e, da umidade foi de 15,7%. Portanto, a pesquisa demonstrou que a utilização deste tipo de cobertura vegetal sobre os telhados, reduz as temperaturas e elevam a umidade do ar no microclima, enquanto que o telhado de concreto eleva a temperatura e reduz a umidade do ar significativamente. Esta cobertura emite calor para atmosfera, principalmente em áreas urbanas altamente adensadas, potencializando a ilha de calor. Assim, conclui-se que o telhado verde ocasiona impactos ambientais positivos no microclima, o que também pode melhorar a qualidade de vida no meio urbano. Mas ainda há um longo caminho a ser percorrido para a implantação deste tipo de cobertura, demandando principalmente do poder público, a promoção de incentivos ao uso deste tipo de telhado.

Palavras-chave: telhado verde, temperatura, umidade, urbanização, qualidade de vida.

ABSTRACT

CATUZZO, H. **Green Roofs**: positive impact in temperature and humidity. São Paulo's City Case. 2013. 206 f. Tese (Doutorado) – Geography Department, University of São Paulo, São Paulo, 2013.

Due to uncontrolled urbanization and lack of adequate technical planning, as well as the high urban density, people occupied natural areas of vital importance to São Paulo. Buildings construction and road paving diminished green areas, altering wind circulations, creating the so called heat islands. This research had as central aim the study of microclimate impact of the green roofs – vegetated coverage that can be extensive (with creeping or low stature plants) or intensive (high stature plants or trees). It was used the comparative-analytical method to compare the temperature and humidity

of two different kind of coverage, one is an intensive green roof (garden structure) in the Conde Matarazzo's building, and the other a concrete roof at Mercantil/Finasa's building, both located at the right side of Anhangabaú's valley, in São Paulo's centre, and also comparing the INMET (National Meteorological Institute) data, which are collected in Santana. The data were organized in graphics that demonstrates a year and eleven days of data, within march 20th 2012 and march 31th 2013. Comparing the green roof, concrete roof and INMET's one, it was possible to observe that during times of high solar radiation, the concrete roof's and INMET's presented similar and high temperature values, meanwhile the green roof's ones were lower and had higher humidity. It also warms latter in regard to the concrete roof and the place where INMET data are collected. The bigger temperatures range among the roofs happened in the 2012 summer and 2013 fall, marking respectively, 6,7° C and 6,6° C. The bigger humidity ranges happened in the fall and spring: 7,1% and 5,2%. Comparing both the concrete and green roof, the biggest temperature difference was of 5,3 °C, and in humidity was of 15,7%. Therefore, the research proved that the use of this kind of plant coverage over the roofs reduces the temperatures and enhances humidity in the microclimate, while the concrete roof significantly increases the temperatures and decreases humidity, because this kind coverage transmits heat into the atmosphere, especially in high density urban areas, potentiating the heat island. In other words, the green roof causes positive environmental impacts in the microclimate, and can also enhance life quality in urban areas. But there still is a long path until to impart this kind of coverage, with actions to be taken by the government to promote, by incentives, the usage of this type of roof.

Keywords: green roof, temperature, humidity, urbanization, life quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama básico S.C.U. – Sistema Clima Urbano	30
Figura 2 – Características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre	32
Figura 3 – Triângulo Histórico – Largo São Bento, Largo São Francisco e Praça da Sé	38
Figura 4 – A evolução do centro da cidade de São Paulo	40
Figura 5 – Edifício Conde Matarazzo – Prefeitura de São Paulo	42
Figura 6 – Mapa da Área urbanizada	49
Figura 7 – Urbanização e Áreas Verdes no Município e Região Metropolitana de São Paulo	50
Figura 8 – Principais Parques na Área Urbana de São Paulo	51
Figura 9 – Mancha urbana da cidade de São Paulo	53
Figura 10 – Camadas do Telhado Verde Ajardinado	58
Figura 11 – Kings Court English College House Green Roof Project	58
Figura 12 – Telhado Verde Extensivo – Toronto, Ontário, Canadá	61
Figura 13 – Telhado Verde Extensivo	61
Figura 14 – Telhado Verde Extensivo	63
Figura 15 – Telhado Verde Semi-intensivo	63
Figura 16 – Telhado Verde Intensivo	64
Figura 17 – Implantação do telhado verde em Washington D.C.	67
Figura 18 – Área dos Parques Naturais na Alemanha	71
Figura 19 – Comparação da temperatura entre o telhado sem cobertura “Cook County” e a parte do <i>green roof</i> sobre a Prefeitura de Chicago	73
Figura 20 – Prefeitura de Chicago, telhado verde	74
Figura 21 – Resultados da simulação para o dia 05 de dezembro (EnergyPlus)	76
Figura 22 – Resultados da simulação para o dia 09 de janeiro (EnergyPlus)	76
Figura 23 – Experimentos para medição do desempenho do Ecotelhado	77
Figura 24 – Evolução das temperaturas externa e interna das caixas	78
Figura 25 – Evolução das temperaturas externa e interna das caixas	78
Figura 26 – Módulo experimental com telhado verde (ecotelhas) – IPH/UFRGS	79
Figura 27 – Telhado Verde Extensivo instalado no Campus de Ottawa, Canadá.	81

Telhado Referência à esquerda e o Verde a direita	
Figura 28 – Telhado Verde, Abril, 2005 e Agosto de 2005	83
Figura 29 – Localização das estações meteorológicas sobre os telhados verdes	84
Figura 30 – Albedo do telhado verde durante Julho de 2008	85
Figura 31 – Comparação da superfície das membranas dos telhados convencionais e verde	85
Figura 32 – Localização dos Edifícios Conde Francisco Matarazzo, Mercantil/Finasa e das ruas Dr. Falcão Filho, Líbero Badaró, Viaduto do Chá e o Vale do Anhangabaú.....	86
Figura 33 – Área do Triângulo Histórico.....	87
Figura 34 – Visão em 3D dos Edifícios Conde Francisco Matarazzo e Mercantil/Finasa	88
Figura 35 – Edifício Conde Matarazzo.....	89
Figura 36 – Edifício Conde Matarazzo, fachada de travertino.....	90
Figura 37 – Telhado Verde Intensivo – Face Oeste – Edifício Conde Matarazzo.....	91
Figura 38 – Telhado Verde Intensivo – Face Leste – Edifício Conde Matarazzo.....	91
Figura 39 – Telhado Verde Intensivo – Face Norte – Edifício Conde Matarazzo.....	92
Figura 40 – Face Sul – Única não vegetada.....	93
Figura 41 – Sensor 1- Face Leste – Telhado Verde	94
Figura 42 – Sensor 2 – Face Oeste – Telhado Verde	95
Figura 43 – Sensor 3 – Telhado Concreto – Mercantil/Finasa	95
Figura 44 – Localização dos sensores 1 e 2 no telhado verde (Edifício Conde Matarazzo/Prefeitura de São Paulo) e sensor 3 no telhado de concreto (Edifício Mercantil/Finasa	96
Figura 45 – Edifício Mercantil/Finasa	97
Figura 46 – Sensor 3 – Edifício Mercantil/Finasa	97
Figura 47 – Telhado Convencional – Edifício Mercantil/Finasa	
Formação de fungos e microrganismos deixando o telhado escuro.....	98
Figura 48 – Copas das árvores e folhagem no solo.....	101
Figura 49 – Face Oeste – Lado com vegetação densa do Telhado Verde	102
Figura 50 – Face Leste – Vegetação esparsa do Telhado Verde	102
Figura 51 – Classificação das espécies realizado pelo Centro de Pesquisas de História Natural	104

Figura 52 – Plantas do Telhado Verde	105
Figura 53 – Plantas do Telhado Verde	106
Figura 54 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 20 a 31 de março de 2012	117
Figura 55 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associado a Temperatura Máxima – Dados de 20 a 31 de março de 2012	117
Figura 56 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 20 a 31 de março de 2012	118
Figura 57 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 20 a 31 de março de 2012	118
Figura 58 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 30 abril de 2012	121
Figura 59 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 30 de abril de 2012	121
Figura 60 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 30 de abril de 2012	122
Figura 61 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 30 de abril de 2012	122
Figura 62 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 9 de maio de 2012	124
Figura 63 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 9 de maio de 2012	124
Figura 64 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 9 de maio de 2012	125
Figura 65 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 9 de maio de 2012	125
Figura 66 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) –	127

Temperatura Máxima do Ar – Dados de 14 a 30 de junho de 2012	
Figura 67 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 14 a 30 de junho de 2012	127
Figura 68 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 14 a 30 de junho de 2012	128
Figura 69 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 14 a 30 de junho de 2012	128
Figura 70 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 31 de julho de 2012	130
Figura 71 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 31 de julho de 2012	130
Figura 72 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 31 de julho de 2012	131
Figura 73 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 31 de julho de 2012	131
Figura 74 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 31 de agosto de 2012	133
Figura 75 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 31 de agosto de 2012	133
Figura 76 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 31 de agosto de 2012	134
Figura 77 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 31 de agosto de 2012	134
Figura 78 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 30 de setembro de 2012	136
Figura 79 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a	136

30 de setembro de 2012	
Figura 80 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 30 de setembro de 2012	137
Figura 81 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 30 de setembro de 2012	137
Figura 82 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 31 de outubro de 2012	139
Figura 83 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 31 de outubro de 2012	139
Figura 84 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 31 de outubro de 2012	140
Figura 85 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 31 de outubro de 2012	140
Figura 86 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 30 de novembro de 2012	142
Figura 87 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 30 de novembro de 2012	142
Figura 88 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 30 de novembro de 2012	143
Figura 89 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 30 de novembro de 2012	143
Figura 90 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 31 de dezembro de 2012	145
Figura 91 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 31 de dezembro de 2012	145
Figura 92 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 31 de dezembro de 2012	146

Figura 93 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 31 de dezembro de 2012.....	146
Figura 94 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 31 de janeiro de 2013.....	148
Figura 95 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 31 de janeiro de 2013.....	148
Figura 96 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 31 de janeiro de 2013	149
Figura 97 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 31 de janeiro de 2013	149
Figura 98 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 28 de fevereiro de 2013	151
Figura 99 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 28 de fevereiro de 2013	151
Figura 100 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 28 de fevereiro de 2013	152
Figura 101 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 28 de fevereiro de 2013	152
Figura 102 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Máxima do Ar – Dados de 1º a 31 de março de 2013	154
Figura 103 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima – Dados de 1º a 31 de março de 2013	154
Figura 104 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Temperatura Mínima do Ar – Dados de 1º a 31 de março de 2013	155
Figura 105 – Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima – Dados de 1º a 31 de março de 2013	155

Figura 106 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – março de 2012	157
Figura 107 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – março de 2012	158
Figura 108 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – abril de 2012	158
Figura 109 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – abril de 2012	159
Figura 110 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – maio de 2012	160
Figura 111 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – maio de 2012	160
Figura 112 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – junho de 2012	161
Figura 113 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – junho de 2012	161
Figura 114 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – julho de 2012	162
Figura 115 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – julho de 2012	163
Figura 116 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – agosto de 2012	163
Figura 117 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – agosto de 2012	164
Figura 118 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – setembro de 2012	165
Figura 119 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – setembro de 2012	165
Figura 120 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – outubro de 2012	166

Figura 121 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – outubro de 2012	167
Figura 122 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – novembro de 2012	167
Figura 123 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – novembro de 2012	168
Figura 124 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – dezembro de 2012	169
Figura 125 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – dezembro de 2012	169
Figura 126 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – janeiro de 2013	170
Figura 127 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – janeiro de 2013	171
Figura 128 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – fevereiro de 2013	172
Figura 129 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – fevereiro de 2013	173
Figura 130 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – março de 2013	173
Figura 131 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – março de 2013	174
Figura 132 – Amplitude Térmica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Outono – 20 de março a 20 de junho de 2012	176
Figura 133 – Amplitude Térmica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Outono – 20 de março a 20 de junho de 2012	176
Figura 134 – Amplitude Térmica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Outono – 20 de março a 20 de junho de 2012	176
Figura 135 – Amplitude Térmica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Inverno – 20 de junho a 22 de setembro de 2012	178
Figura 136 – Amplitude Térmica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Inverno	178

– 20 de junho a 22 de setembro de 2012	
Figura 137 – Amplitude Térmica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Inverno – 20 de junho a 22 de setembro de 2012	178
Figura 138 – Amplitude Térmica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Primavera – 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012	180
Figura 139 – Amplitude Térmica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Primavera – 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012	180
Figura 140 – Amplitude Térmica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Primavera – 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012	180
Figura 141 – Amplitude Térmica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Verão – 21 de dezembro a 20 de março de 2013	182
Figura 142 – Amplitude Térmica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Verão – 21 de dezembro a 20 de março de 2013	182
Figura 143 – Amplitude Térmica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Verão – 21 de dezembro a 20 de março de 2013	182
Figura 144 – Amplitude Térmica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Outono – 20 a 31 de março de 2013	184
Figura 145 – Amplitude Térmica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Outono – 20 a 31 de março de 2013	184
Figura 146 – Amplitude Térmica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Outono – 20 a 31 de março de 2013	184
Figura 147 – Amplitude Higrométrica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Outono – 20 de março a 20 de junho de 2012	186
Figura 148 – Amplitude Higrométrica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Outono – 20 de março a 20 de junho de 2012	186
Figura 149 – Amplitude Higrométrica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Outono – 20 de março a 20 de junho de 2012	186
Figura 150 – Amplitude Higrométrica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Inverno – 20 de junho a 22 de setembro de 2012	188
Figura 151 – Amplitude Higrométrica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Inverno – 20 de junho a 22 de setembro de 2012	188
Figura 152 – Amplitude Higrométrica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Inverno – 20 de junho a 22 de setembro de 2012	188

Figura 153 – Amplitude Higrométrica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Primavera – 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012	190
Figura 154 – Amplitude Higrométrica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Primavera – 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012	190
Figura 155 – Amplitude Higrométrica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Primavera – 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012	190
Figura 156 – Amplitude Higrométrica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Verão – 21 de dezembro a 20 de março de 2013	192
Figura 157 – Amplitude Higrométrica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Verão – 21 de dezembro a 20 de março de 2013	192
Figura 158 – Amplitude Higrométrica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Verão – 21 de dezembro a 20 de março de 2013	192
Figura 159 – Amplitude Higrométrica – Sensor 1 (Telhado Verde) – Face Leste – Outono – 20 a 31 de março de 2013	194
Figura 160 – Amplitude Higrométrica – Sensor 2 (Telhado Verde) – Face Oeste – Outono – 20 a 31 de março de 2013	194
Figura 161 – Amplitude Higrométrica – Sensor 3 (Telhado de Concreto) – Outono – 20 a 31 de março de 2013	194

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios para a classificação de três formas diferentes de Telhado Verde ..	65
Tabela 2 – Telhado Jardim e Telhado Verde: Uma comparação	66
Tabela 3 – Temperatura Máxima	109
Tabela 4 – ANOVA (valor crítico para médias das temperaturas máximas)	109
Tabela 5 – HSD para diferença entre os grupos	110
Tabela 6 – Temperatura Mínima	110
Tabela 7 – ANOVA (valor crítico para médias das temperaturas mínimas)	110
Tabela 8 – Temperatura Média	111
Tabela 9 – ANOVA (valor crítico para temperatura média)	111
Tabela 10 - Δ da temperatura diária (diferença entre a máxima e a mínima diária)	111
Tabela 11 – ANOVA (valor crítico – médias das diferenças da temperaturas máximas e mínimas)	111
Tabela 12 – HSD para comprovar diferença da temperatura entre os grupos	112
Tabela 13 – Umidade do ar (máxima)	112
Tabela 14 – ANOVA (valor crítico para umidade do ar (máximas)	112
Tabela 15 – Umidade do ar (mínima)	112
Tabela 16 – ANOVA (valor crítico para diferenças entre as umidades (máxima e mínima)	113
Tabela 17 – HSD para provar diferença da umidade entre os grupos	113
Tabela 18 – Média das Umidades	113
Tabela 19 – ANOVA (valor crítico para as médias de umidade máxima)	113
Tabela 20 - Δ da umidade diária (diferença entre a máxima e a mínima diária)	114
Tabela 21 – ANOVA (valor crítico para médias das diferenças entre umidades máxima e mínima)	114
Tabela 22 – HSD para comprovar a diferenças entre os grupos	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APA	Área de Preservação Ambiental
art.	Artigo
ASLA	American Society of Landscape Architects
BfN	Agência Federal Alemã para a Conservação da Natureza
D.C.	Capital District
GLA	Greater London Authority
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGRA	Internacional Green Roof Association
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
Máx.	Máxima
Mín.	Mínima
NBR	Norma Brasileira
NRC	National Research Council Canada/Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá
NTJ	Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo
O	Oeste
PVC	Policloreto de polivinila
S	Sul
S.C.U	Sistema Clima Urbano
S1	Sensor 1
S2	Sensor 2
S3	Sensor 3
TC	Telhado de Concreto
Temp.	Temperatura
TVL	Telhado Verde Leste
TVO	Telhado Verde Oeste
Umid.	Umidade

LISTA DE SÍMBOLOS

kg/m ³	quilograma por metro cúbico
°	graus
%	porcentagem
° C	graus Celsius
kg/m ³	quilograma por metro cúbico
dB	decibéis
n°	número
€	Euro
/m ²	por metro quadrado
km ²	quilômetro quadrado
mm	milímetros
m ²	metro quadrado
\$	dólar
lbs/ft ²	pound per square foot/libra por pé quadrado
XX	vinte
XVII	dezessete
XVIII	dezoito
XV	quinze
W/m ²	Watts por metro quadrado
cm	centímetro
km	quilômetro
p.	página
m	metros
Δ	delta
H ₀	hipótese/não existe diferença entre as médias
H ₁	hipótese/existe diferença entre as médias
F	Teste Fisher
SQ	soma dos quadrados
MQ	média quadrática
gl	graus de liberdade
n	número de elementos na amostra
k	número de grupos
valor F	Teste Fisher
HSD	Diferença Honestamente Significante

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.2 – Objetivos	28
1.3 – Hipótese	28
1.4 - Bases Teóricas e Metodológica da Pesquisa	28
1.5 - Material e Método	33
2 - A CIDADE DE SÃO PAULO E A POLICENTRALIDADE: A PERMANÊNCIA DOS PROBLEMAS SOCIOAMBIENTAIS	36
2.1 - Centralidades de São Paulo: da Monocentralidade à Policentralidade	37
2.2 - Processos de Requalificação e a Cidade Global	41
3 - MEIO URBANO, CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E A AÇÃO ANTRÓPICA	45
4 - TELHADOS VERDES: COMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA PARA A INSTALAÇÃO DO TELHADO VERDE	57
4.1 - Telhados Verdes: Características Gerais e Experiências Pelo Mundo	60
4.2 - Legislação Municipal para Coberturas Vegetadas no Brasil	67
4.3 - Telhados Verdes: Incentivos e Benefícios	69
4.4 - Telhados Verdes e Minimização das Condições Termohigrométricas Locais	74
5 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	86
5.1 - Vegetação da Área de Estudo	100
6 - ANÁLISE ESTATÍSTICA COMPARANDO OS DADOS DOS SENSORES 1 E 2 (TELHADO VERDE) E SENSOR 3 (TELHADO DE CONCRETO)	109
7 - ANÁLISE DOS DADOS	115

7.1 - Análise dos Dados Compilados dos Sensores 1, 2 e 3 relacionando as máximas e mínimas de Temperatura e Umidade Relativa do Ar	115
7.2 - Análise da marcha horária dos sensores 1, 2 e 3, comparando com os dados do INMET	156
7.3 - Análise e Comparação dos Dados de Amplitude Térmica verificada Sazonalmente no período de 20 de março de 2012 a 31 de março de 2013	174
7.4 - Análise e Comparação dos Dados de Amplitude Higrométrica verificada Sazonalmente no período de 20 de março de 2012 a 31 de março de 2013	185
8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	195
REFERÊNCIAS	199

1- INTRODUÇÃO

As cidades, desde o seu surgimento, se formaram a partir de um excedente populacional advindo das áreas rurais. Tornaram-se centros de trocas de mercadorias, de vida social, política, cultural, extremamente diversificada. Já a infraestrutura e os equipamentos da cidade como pontes, casas, ruas, prédios, viadutos, bem como a oportunidade de trabalho, educação, cultura, saúde e lazer promoveram nas cidades, principalmente nas metrópoles, um grande processo de atração.

Para Santos (1996), as cidades se dividem em áreas luminosas e zonas urbanas opacas, sendo a primeira voltada à modernidade e racionalidade, já a segunda é resultado da pobreza, estando essa a margem da primeira.

Para Hobsbawn (1977), a mão-de-obra rural foi atraída para as cidades a partir da Revolução Industrial Inglesa, quando foram definidas como centros produtores e mercados. Entretanto, no Brasil, devido à industrialização tardia, esta migração do trabalho ocorreu com grande intensidade, num tempo relativamente curto, uma vez que a população rural perdeu espaço no campo em decorrência do processo de mecanização agrícola e, até mesmo as condições de trabalho, como por exemplo, a institucionalização do Estatuto do Trabalhador Rural que acabou por dificultar a inclusão desse trabalhador no campo, em função dos encargos trabalhistas.

Deste modo, a cidade passou a ser o grande centro de atração desses novos trabalhadores, além dos migrantes de pequenas cidades e regiões desfavorecidas que viam nas metrópoles a chance de mudar de vida. As cidades passaram a ser assentamentos humanos de atividades diversificadas, diferentes das áreas rurais que apesar de atualmente se encontrarem inseridas no contexto do agronegócio, não apresenta os serviços e equipamentos urbanos, pois a negociação e o escoamento da produção dependem geralmente dos grandes centros metropolitanos.

Em nosso país, as próprias ações governamentais acabaram por incentivar o crescimento das áreas metropolitanas, pois foram realizados maciços investimentos nas metrópoles até a década de 1970. A partir 1980 ocorreu uma política de desconcentração industrial dos grandes centros, medida utilizada para conter o inchaço metropolitano e, conseqüentemente, redirecionar o crescimento para outras cidades ou regiões, principalmente, cidades de porte médio e com relativa proximidade da metrópole. A partir dessa nova atuação do governo, em 1980, novas metrópoles surgiram expandindo os grandes aglomerados.

Há atualmente, especialmente no continente europeu, um equilíbrio entre a população urbana e rural, fazendo com que o fluxo migratório entre elas tenha praticamente cessado. Entretanto, as grandes cidades de “países periféricos” ou “semi-periféricos” ainda continuam a exercer uma forte atração populacional em diversas regiões e até mesmo sobre outros países, uma vez que esses espaços são vistos como oportunidades de satisfação das necessidades básicas materiais (moradia, saúde...) e imateriais (cultura, educação...). Hoje, no caso brasileiro, de acordo com IBGE (2010) 84,4% da população reside em áreas urbanas.

Essa tendência do aumento das aglomerações e da população urbana em regiões tropicais úmidas é ressaltada por Conti (2004), pois o autor relata que as maiores metrópoles impulsionadas pelo desenvolvimento econômico e industrial, estão hoje concentradas na zona tropical úmida, impactadas por problemas ambientais de toda ordem como clima/atmosfera, hidrografia, solo, vegetação, ocasionados pelo Homem e que refletem no próprio processo de urbanização das cidades/metrópoles.

Nesses grandes centros são criados outros problemas para além da concentração populacional tais como: a poluição, o tempo que se perde em deslocamentos, criminalidade que pode ter como um de seus fatores disseminadores o abandono das áreas centrais. De acordo com Souza (2003), os moradores das metrópoles compartilham dois sentimentos, tais como o de orgulho e satisfação e, ao mesmo tempo descontentamento e frustração. Pode-se considerar que um dos fatores que provocam este paradoxo é o fato de que as políticas públicas são pontuais e fracionadas quando aplicadas no meio urbano.

Porém, as áreas urbanas não estavam - e talvez ainda não estejam - preparadas para esse grande fluxo de pessoas, ou seja, inicialmente implantada para uma população restrita, algumas metrópoles e cidades brasileiras em poucas décadas, tiveram sua população exponencialmente aumentada e concentrada sem, entretanto, haver um planejamento adequado para a absorção desta população.

Dentro do contexto das grandes metrópoles, melhorar a qualidade urbano-ambiental dos centros urbanos significa trabalhar com a sustentabilidade urbana, para Ultramari (1998), as cidades são sistemas abertos (estruturas não auto-sustentáveis) que apresentam dependência profunda e complexa de fatores externos, pois tem grande gasto de energia e descarte de produtos. Neste caso, as alterações ocasionadas pelo uso e ocupação do solo, em decorrência do espraiamento urbano, resultam em impactos no meio ambiente.

Para Acserald (1999), a sustentabilidade urbana e a adaptação das estruturas urbanas encontram-se no reajustamento da base técnica das cidades, nos princípios que fundam a

cidadania das populações urbanas ou na redefinição das bases de legitimidade das políticas urbana.

Observa-se que há uma necessidade urgente de se redefinir os padrões do ambiente urbano, pois a falta de aplicabilidade da legislação urbana, o crescimento desordenado, a verticalização e a redução dos espaços verdes impactam cada vez mais a vida do cidadão.

De acordo com Motta (2001), a gestão das cidades encontra-se deficitária, devido à limitada capacidade institucional e aponta para as políticas urbanas três desafios: melhorar as condições de vida da população pobre, aumentar a competitividade das cidades e fortalecer o planejamento e a gestão urbana.

A partir destas considerações sobre as cidades e seus impactos resultantes do processo de urbanização, a pesquisa tem como objeto de análise o telhado verde (cobertura vegetada) do Edifício Conde Matarazzo baseado na coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar deste e, comparando com outro Edifício Mecantil/Finasa, cujo telhado é de concreto, ambos localizados na área central da cidade de São Paulo.

Por meio do estudo comparativo entre as duas coberturas, buscou-se pelos dados coletados e analisados demonstrar que em decorrência das escassas áreas verdes na região central, o uso do telhado verde é uma possibilidade para reduzir os impactos no clima, porém, na escala microclimática.

A importância de se pesquisar o telhado verde na cidade de São Paulo, deve-se principalmente, em repensar o contexto urbano dos grandes centros, bem como seus espaços verdes, a viabilidade de aproveitamento da estrutura verticalizada dos prédios fazendo dos telhados espaços verdes. Uma vez que, o espraiamento e o adensamento urbano resultaram na redução das áreas verdes, aumentando o impacto ambiental, torna-se ainda fundamental compreender como a implantação dos telhados verdes pode melhorar a qualidade ambiental nesses lugares altamente adensados e que apresentam uma concentração de calor, como por exemplo, a formação da ilha de calor.

1.2 - Objetivos

O objetivo geral da tese foi estudar a eficiência do telhado verde para a minimização das alterações no microclima urbano no centro da cidade de São Paulo.

Os objetivos específicos são:

- (a) avaliar como o telhado verde (estrutura vegetada) pode colaborar na questão microclimática mediante a diferença de temperatura e umidade relativa do ar de um teto com vegetação e outro sem.
- (b) detectar se as temperaturas e umidade apresentam grandes alterações.
- (c) contribuir para as políticas públicas da cidade.

1.3 – Hipótese

Considerando a diferença de temperatura e umidade relativa do ar entre o telhado verde e o telhado de concreto, a resposta do telhado verde na zona tropical como é o caso de São Paulo, pode gerar uma resposta positiva na redução da temperatura e aumento da umidade relativa do ar, as quais influenciam no microclima urbano, principalmente, na área central, onde frequentemente ocorre a formação da ilha de calor.

1.4- Bases Teóricas e Metodológica da Pesquisa

Para compreender o objeto de estudo desta pesquisa, foram escolhidas teorias que se correlacionam entre si, uma vez que tratam da relação entre meio urbano, atmosfera, microclima e estruturas verdes.

O adensamento urbano e a consequente redução das áreas verdes alteram as condições microclimáticas. Sendo assim, o meio urbano influencia a atmosfera, em especial nas áreas mais densamente ocupadas e impermeabilizadas. No caso do município de São Paulo, de acordo com a SMDU (2011), a área urbana construída gira em torno de 1.000 km² do total de 1.521,101 Km² da área do município, ou seja, 65,7% do total é considerado urbanizado. A área de estudo está localizada no centro histórico da cidade, sendo considerada a área mais densamente ocupada e impermeabilizada.

Para compreender a relação e a influência das cidades na dinâmica climática, Monteiro (1975), considera o “Sistema Clima Urbano”:

O S.C.U. visa compreender a organização climática peculiar da cidade e, como tal, é centrado essencialmente na atmosfera, que, assim, é encarada como o operador. Toda a ação ecológica natural e as associações ao fenômeno da urbanização constituem o conjunto complexo sobre o qual o operador age. Por isso, tudo o que não é atmosférico e que se concretiza no espaço urbano, incluindo o homem e demais seres vivos, constitui elemento do sistema, estruturando-se em partes que, através de suas relações, definem atributos especiais. Assim, esse conjunto complexo e estruturado constitui o operando do sistema. Pela sua natureza, é um tipo especial de operando, que não é estático, ou passivo (MONTEIRO, 1975, p. 119).

O diagrama do Sistema Clima Urbano é essencial para a análise de entrada, transformação e saída de energia. Pois para esta pesquisa sobre o telhado verde, a transformação da energia que entra na estrutura interna do sistema, sendo esta composta por espaços geoecológicos, urbano adaptado, natural transformado e pela dinâmica urbana que geram processos importantes de alterações climáticas que potencializam alguns eventos de forma extrema como: precipitações, poluição atmosférica, ilhas de calor, ventilação e condensação. Estes eventos que correspondem à saída de energia irão afetar o meio ambiente, inclusive o próprio homem.

Porém, o diagrama é importante para compreender a dinâmica climática da área central de São Paulo, onde se localizam os objetos de estudo, sendo estes o telhado verde e o telhado de concreto. A partir dos dados coletados da temperatura e umidade do ar é possível analisar e comparar os telhados e verificando a resposta destes na área onde estes eventos são intensificados. Além disso, a implantação do telhado verde pode compor a esfera da autorregulação, entrando como estratégia pública para melhoria da qualidade ambiental do centro de São Paulo.

Figura 1 – Diagrama básico S.C.U. – Sistema Clima Urbano

Fonte: MONTEIRO, 2011. p. 45.

O autor ainda afirma que “o modo de transmissão, entrada e fluxo de energia através do sistema, é fundamental. Eles explicam a geração dos estados iniciais e a seqüela de processos de mudanças e transformação no interior do sistema” (MONTEIRO, 2011, p. 23).

Portanto, existe uma relação entre a ação antrópica que resulta na expansão da cidade, a qual irá refletir no microclima. Nesse caso, o autor diz:

...aumentos de capitais e de população na cidade não podem ser considerados fluxos de energia no S.C.U., mas, inevitavelmente, os elementos internos do núcleo serão aumentados pelo volume do aglomerado humano, pelo número de edificações e viaturas decorrentes, refletindo-se na estrutura do S.C.U. (MONTEIRO, 1975, p. 119).

Monteiro (2011), ressalta que existem dinâmicas internas dentro do S.C.U. que são afetadas pelo crescimento e desenvolvimento urbano, assim como, pela sua estrutura ao longo do processo de urbanização. Destacam-se principalmente “Poluição do ar, ilha de calor, inundações no espaço urbano, dentre outras formas, assumem destaque nos climas urbanos, refletindo, com isso, peculiaridades do clima da cidade” (MONTEIRO, 2011, p. 24).

Para Monteiro (1975), o Homem age direta e indiretamente na estrutura interna do sistema, pois ele altera a energia de entrada (de natureza térmica da Terra e do Sol), em virtude das alterações urbanas. Ou seja, essas alterações levam a segunda teoria que é a Ilha de Calor.

De acordo com Lombardo (1985), a Ilha de Calor é um fenômeno produzido pelas ações Homem no meio urbano, assim como, o tipo de uso do solo e os condicionantes do meio físico e seus atributos geoecológicos. Para a autora, o processo de urbanização, a sua forma construída no espaço físico, proporciona alterações no clima local, sendo a temperatura da superfície mais elevada que nas áreas circunvizinhas, cuja causa é resultante “(...) do aumento das superfícies de absorção térmica, impermeabilização dos solos, alterações na cobertura vegetal, concentração de edifícios que interferem nos efeitos dos ventos, contaminação da atmosfera através da emissão dos gases” (LOMBARDO, 1985, p. 77).

Neste caso, a ilha de calor está relacionada à estocagem de calor durante o dia, ocasionada pela utilização de materiais no meio urbano que apresentam maior condutividade térmica e capacidade calorífica, ou seja, o espaço construído pelo homem gera o calor antropogênico, como resultado ocorre menor evaporação e evapotranspiração reduzindo a umidade, diminuindo o fluxo de calor latente e aumentando o de calor sensível.

Ou seja, o maior aquecimento da camada de ar junto ao solo relativo à absorção da radiação solar, e conseqüentemente, maior aquecimento da atmosfera por irradiação do solo (podendo também ocasionar o esfriamento), levam ao aumento da temperatura do ar e redução da umidade.

A compreensão do que significa e das dinâmicas do microclima permitem explicar a necessidade das estruturas verdes e, como essas podem responder positivamente para minimizar as temperaturas do ar, pois se ampliadas podem resultar em impactos positivos dentro do sistema clima urbano.

Para Gartland (2010), os efeitos como o aquecimento, o arrefecimento, transportes e os processos industriais ocasionam o aumento da temperatura urbana, efeitos estes, que são potencializados no inverno. Outros elementos contribuem para a formação do fenômeno da ilha de calor:

“Edifícios também diminuem a velocidade média dos ventos, o que atrasa a transferência do calor das superfícies para o ar. A poluição do ar urbano também contribui, pois as partículas no ar absorvem e emitem calor para as superfícies da cidade” (GARTLAND, 2010, p. 26).

Gartland (2010), diz que as superfícies construídas pelo Homem absorvem e armazenam calor devido aos materiais escuros utilizados nas construções e pavimentos, os quais tendem a refletir o calor, além disso, grande parte dos materiais escoam rapidamente a água, impossibilitando a dissipação do calor.

A autora destaca que as superfícies impermeáveis podem atingir 87,7° C, enquanto uma superfície vegetada pode chegar a 21,1° C, ou seja, as temperaturas de superfícies

contribuem para elevar ainda mais a temperatura do ar, e durante a noite como perdem calor aquecem o ar do entorno.

Outros fatores contribuem para a formação do fenômeno de ilhas de calor, tanto nas cidades, quanto nos subúrbios, os quais são elencados a seguir:

Características que contribuem para a formação de ilhas de calor	Efeitos sobre o balanço de energia
Falta de vegetação	Reduz evaporação
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Reduz evaporação
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa refletância solar dos materiais urbanos	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam o calor	Aumenta saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz convecção
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta saldo de radiação
Aumento da utilização de energia	Aumenta o calor antropogênico

Figura 2 – Características urbanas e suburbanas importantes para a formação de ilhas de calor e seus efeitos no balanço de energia sobre a superfície terrestre.

Fonte: GARTLAND, 2010. p. 26.

A partir dos elementos que contribuem para formar a ilha de calor, observa-se que ocorre um desequilíbrio no balanço de energia (energia absorvida é refletida das superfícies terrestres).

Segundo Gartland (2010), o balanço de energia é composto por: Convecção + Evaporação + Armazenamento de calor = calor Antropogênico + Saldo de radiação, porém, este último é composto por quatro processos que ocorrem na superfície da terra, ou seja, o Saldo de radiação = radiação solar global – radiação solar refletida + radiação atmosférica – radiação da superfície. Portanto, qualquer alteração destes elementos, ou processos, seja no balanço de energia ou no saldo de radiação, irá refletir na temperatura do ar e, consequentemente na umidade.

Para Geiger (original 1961), a camada do ar junto ao solo que fica cerca de dois metros de altura é onde se encontram condições diversas a serem estudadas, pois o atrito junto ao solo é maior e consequentemente menor a velocidade do vento e também, a mistura do ar. Essa camada de ar junto ao solo, também é fonte de evaporação, poeira e gases, sendo importante para entender os fenômenos da atmosfera.

De acordo com Geiger (original 1961):

Ora nestas camadas de ar junto do solo vivem também as plantas, especialmente as plantas novas que mais sensíveis são às intempéries; daí o designar-se muitas vezes o clima das camadas junto do solo simplesmente como clima das plantas. Mas também os animais sofrem a sua influência. A ciência do clima junto do solo designar-se-á por isso, com mais propriedade, climatologia de estação ou, segundo a designação grega, ecoclimatologia (GEIGER, 1961, p.6).

Para o autor, as alterações climáticas em áreas reduzidas se devem as características do solo, umidade, declividade e altura de vegetação que se encontram sobre a mesma. Os climas resultantes dessas áreas são denominados de microclima, o qual se contrapõe ao macroclima.

Ao utilizar essas teorias para o embasamento da pesquisa é possível entender as varias dinâmicas do clima urbano, que vão desde a compreensão das alterações em nível metropolitano considerado como escala local, até a escala microclimática, na qual o objeto de estudo da pesquisa está inserido.

A base metodológica da pesquisa foi analítico-comparativa que se ocupa da explicação de fenômenos permitindo:

Analisar o dado concreto, deduzindo do mesmo os elementos constantes, abstratos e gerais. Constitui uma verdadeira “experimentação indireta”. É empregado em estudos de largo alcance (desenvolvimento da sociedade capitalista) e de setores concretos (comparação de tipos específicos de eleições), assim como para estudos qualitativos (diferentes formas de governo) e quantitativos (taxa de escolarização de países desenvolvidos e subdesenvolvidos). Pode ser utilizado em todas as fases e níveis de investigação: num estudo descritivo pode averiguar a analogia entre ou analisar os elementos de uma estrutura (regime presidencialista americano e francês); nas classificações, permite a construção de tipologias (cultura de *folk* e civilização); finalmente, a nível de explicação, pode até certo ponto, apontar vínculos causais, entre os fatores presentes e ausentes (MARCONI; LÁKATOS, 2009, p. 107).

Para a análise dos dados coletados pelos sensores instalados na cobertura dos prédios, foi utilizada essa metodologia de modo a analisar e comparar a temperatura e umidade relativa do ar nos dois tipos de cobertura, para demonstrar por meio de comparação qual é a real diferença entre o telhado verde vegetado e o telhado de concreto.

1.5 - Material e Método

Para a pesquisa foram instalados abrigos meteorológicos a 1,5 m do chão (composto da haste de metal e do abrigo), no interior destes fixaram-se os aparelhos dataloggers para a coleta de dados primários de temperatura e umidade relativa do ar.

Na escala temporal dos fenômenos atmosféricos foram analisadas as variações diária e anual da temperatura e umidade relativa do ar.

Foram coletados dados a cada dez minutos pelos sensores Dataloggers HT-500 instalados no alto dos Edifícios Conde Matarazzo e Mercantil/Finasa, que registraram dados durante um ano e onze dias no período entre 20 de abril de 2012 e 31 de abril de 2013, possibilitando a análise da variação diária e sazonal da temperatura e umidade relativa do ar no topo destes edifícios, verificando as condições climáticas nestas coberturas.

Os dados foram coletados a cada 15 ou 30 dias, dependendo da condição do tempo, pois nos períodos de chuva não era possível fazer a coleta em virtude da segurança, pois os equipamentos ficavam no topo dos edifícios. Estes eram descarregados no computador por meio do programa Datalogger HT-500, sendo tratados e organizados em tabelas onde se registrou os valores da temperatura relativa do ar (máximas e mínimas), assim como, da umidade, sendo o primeiro em graus Celsius e o segundo em porcentagem. Porém, houve um problema na coleta dos dados entre maio e junho, quando houve um erro de programação do Datalogger, os quais registraram a temperatura e umidade de 10 em 10 segundos. Dos dados coletados foram considerados até o dia 9 de maio de 2012, reiniciando a coleta em 14 de junho de 2012.

A partir das tabelas geradas pelos dados coletados foram elaborados gráficos de temperatura e umidade (máxima e mínima) para cada sensor, cujas cores utilizadas para representação das linhas foram; vermelha para a temperatura e azul para a umidade; os gráficos somente associando as temperaturas e umidades agrupando os três sensores, foram definidas cores iguais independente das variações, para o Sensor 1 (verde), Sensor 2 (azul) e Sensor 3 (Vermelho); para os gráficos de amplitude térmica e higrométrica com base na sazonalidade, as cores escolhidas foram vermelha para a temperatura máxima, azul para a temperatura mínima e amarelo para a representação da amplitude, sendo usado o mesmo esquema de cores para a umidade; gráficos de temperatura e umidade anual as cores atribuídas foram o azul para a representação da umidade e vermelho para a temperatura e, para os gráficos da média de temperatura e umidade dos dados coletados, correlacionados com os dados do INMET referentes ao mesmo período de 2012 a 2013, as cores verde para o Sensor 1, azul para o Sensor 2, vermelho para o Sensor 3 e roxo para os dados do INMET.

O tempo de armazenagem dos dados foi estipulado a cada 10 minutos, propiciando uma grande quantidade de dados, possibilitando uma análise mais detalhada da variação da temperatura e umidade relativa do ar.

A coleta de dados teve como princípio a escolha de dois diferentes tipos de telhados, sendo um vegetado (intensivo), onde foram instalados dois sensores dataloggers em abrigos meteorológicos, sendo um na face leste denominado de Sensor 1 e, outro na face oeste denominado de Sensor 2, para verificar se havia diferença das faces relacionadas a temperatura e umidade do ar em virtude da insolação no decorrer do dia, além de comparar os dados deste telhado com o telhado de concreto, onde se localizava o Sensor 3, em outro edifício, porém ambos localizados no lado direito do Vale do Anhangabaú.

Além da escala temporal, outra importante consideração para a análise dos dados é a escala espacial. Os objetos de estudo que são o telhado verde e o telhado de concreto dos edifícios citados, estão inseridos no contexto da microescala, sendo esta influenciada pela meso e macroescalas.

Para Pereira et al (2002), na macroescala os fenômenos atmosféricos correspondem a escala regional ou geográfica; na mesoescala os fenômenos são de escala local, onde a topografia influencia o (topo ou meso) clima, ou seja, a exposição, a configuração e o grau de inclinação determina o clima local e na microescala o clima influencia uma área pequena, por exemplo, um terreno onde o tipo de cobertura (diversos níveis de vegetação ou solo nu) irão determinar o microclima.

Neste caso, o microclima da cobertura do Edifício Conde Matarazzo é propiciado por diferentes tipos: de vegetação, portes e padrões no topo do edifício. Já a cobertura de concreto do Edifício Mercantil/Finasa também produz um microclima, uma vez que não há nenhum anteparo vegetal que absorva e emita parte da radiação solar, além disso, o telhado tem uma coloração escura em decorrência da própria poluição e do crescimento de micro-organismos.

Todos os dados foram tratados estatisticamente comparando as máximas e mínimas e as médias de temperatura e umidade, entre os sensores 1, 2 para verificar a existência de semelhanças ou diferenças, sendo posteriormente comparado com o sensor 3, as comparações tiveram como principal enfoque demonstrar qual a real diferença entre as temperaturas e umidade relativa do ar entre os telhados. Para a análise foram utilizados o teste Tukey para verificar a existência de diferenças significativas entre os dados, a tabela ANOVA em que se comparou o valor F (Teste Fisher) com o valor crítico e a HSD (Diferença Honestamente Significante) para verificar a diferença entre os grupos representados pelos sensores.

A comparação dos dados de temperatura e umidade relativa do ar entre o telhado verde e de concreto, tem como principal objetivo demonstrar qual a diferença existente destes dois elementos entre os edifícios.

2 - A CIDADE DE SÃO PAULO E A POLICENTRALIDADE: A PERMANÊNCIA DOS PROBLEMAS SOCIOAMBIENTAIS

As cidades modernas que tiveram sua origem na Revolução Industrial já apresentavam uma configuração caótica e degradante, tanto no âmbito natural como no social. De acordo com Mumford (1991), a configuração da cidade paleotécnica no espaço ocorre de acordo com os processos produtivos, pois não existia o planejamento da mesma, indústrias e casas ocupavam o mesmo lugar, destacando-se a total falta de infraestrutura e degradação humana, seja nas habitações como no trabalho. Tornaram-se centro de produção e comercialização de mercadorias, onde a participação do Estado era mínima no que se refere a sua atuação no espaço urbano, bem como nas políticas sociais.

A partir do desenvolvimento da sociedade fordista, o espaço torna-se racionalizado, as cidades são construídas em função das indústrias, configuradas por grandes parques fabris também caracterizados pela modernidade e racionalidade em seu processo de produção. Harvey (2010, p. 121) destaca a visão de Ford sobre o sistema de produção onde “Uma produção em massa significa consumo de massa, um novo sistema de reprodução da força de trabalho, uma nova estética e uma nova psicologia, em suma, um novo tipo de sociedade democrática, racionalizada, modernista e populista”.

Durante o sistema capitalista de acumulação flexível, a sociedade presente nesse sistema presencia e vive uma cidade voltada ao setor de serviços, onde a qualificação passa a ser primordial para que as pessoas façam parte desse mercado de trabalho e surge o processo de terceirização. Com relação à configuração do espaço, este está voltado aos espaços inteligentes e informacionais. O espaço urbano torna-se multicentralizado, onde os novos centros são voltados ao mercado global, e estes são determinados por um capital imobiliário especulativo, a descentralização de parte do setor industrial, desloca as indústrias para cidades próximas da metrópole e, ao longo de eixos rodoviários, como é o caso de São Paulo.

O Estado passa a ter uma participação cada vez menor tanto no setor social, quanto no urbano, onde o capital privado passa a determinar a configuração urbana, tanto o morar como o de localização das indústrias e dos novos centros de serviços.

Segundo Harvey (2010), o processo de acumulação flexível reconfigura as regiões geográficas, dessa forma ressalta:

A acumulação flexível envolve rápidas mudanças dos padrões do desenvolvimento desigual, tanto entre os setores como entre regiões geográficas, criando, por exemplo, um vasto movimento no emprego do denominado ‘setor de serviços’, bem como conjuntos industriais completamente novos em regiões até então subdesenvolvidas (HARVEY, 2010, p. 140).

Com o processo de industrialização tardia nos países atualmente denominados “emergentes”, se presenciou um grande fluxo migratório para as metrópoles que não estavam preparadas para um rápido crescimento e expansão, ocasionando impactos socioambientais que foram potencializados pela ausência de planejamento urbano-técnico que fosse adequado à nova realidade dessas cidades.

Desse modo, as cidades brasileiras em poucas décadas, principalmente as grandes metrópoles tiveram suas áreas centrais abandonadas e que, rapidamente entraram num estado de degradação. Ou seja, o surgimento de novas centralidades resultou no “abandono” de espaços centrais já constituídos e tidos como tradicionais.

Portanto, é possível observar que mesmo com políticas de desconcentração da metrópole a partir de 1980 para outras regiões e cidades de porte médio, São Paulo continua apresentando crescimento, ainda que reduzido, porém, concentrando cada vez mais o setor de serviços ligados ao processo global.

2.1 - Centralidades de São Paulo: da Monocentralidade à Policentralidade.

São Paulo teve em sua origem a fundação religiosa e escolar, o que resultou em uma cidade diferenciada de todas as outras. Segundo Monbeig (2004), ela não foi fruto de um acaso, não foi fundada por aventureiros à procura de ouro, ou por comerciantes querendo estabelecer um entreposto bem localizado.

Para este autor, durante os séculos XVII e parte do XVIII, a posição geográfica de São Paulo foi privilegiada, pois todas as rotas das bandeiras saíam da cidade em direção ao interior. Mesmo após o declínio das bandeiras, a cidade continuava com suas lojas, comércio de produtos agrícolas e movimentação econômica.

Porém, São Paulo ganha grande impulso econômico e social com o ciclo do café, pois o capital cafeeiro proporcionou a estruturação da cidade, centralizando serviços como bancos, escritórios, comércio e lojas, que se localizavam no denominado hoje de “Centro Histórico”. Para Monbeig (2004), este já passava por transformações desde 1877, pois nos bairros mais antigos várias casas foram transformadas em estabelecimentos comerciais, como a expulsão dos quitandeiros para a alocação de lojas e escritórios, também as famílias mais ricas já abandonavam o centro. No que se refere ao triângulo histórico (figura 3) este concentrava todas as atividades de serviços, e o adensamento nessa área já apresentava uma extrapolação para o entorno próximo.

Figura 3 – Triângulo Histórico – Largo São Bento, Largo São Francisco e Praça da Sé
 Fonte: GOOGLE EARTH, 2011.

Mesmo extrapolando os limites, a cidade de São Paulo continuava monocêntrica, mas a expansão para além do “Centro Histórico” configurado pelas Ruas XV de Novembro, Direita e São Bento, apresentava um crescimento de comércio e serviços em direção a Praça da Sé.

Na primeira metade do século XX, São Paulo deixava de ser a urbe dos fazendeiros e passava a ser a metrópole voltada para a industrialização e a eletrificação, pois para Monbeig (2004), a fase contemporânea da evolução urbana da metrópole de São Paulo, ocorreu com os bondes elétricos.

O centro urbano da década de 1920 foi marcado pelas instituições, espaços públicos e outros marcos simbólicos que são importantes até os dias atuais. Nos anos de 1930 a cidade e o centro passaram por um processo metropolização, cujo “Plano de Avenidas” de Prestes Maia, lançou a cidade na modernização.

Na década de 1950 o “Centro Histórico” já se vivia o tempo veloz, que de acordo com Scarlato (2004), apresentava grande fluxo de pessoas fosse para trabalhar, para o lazer, para as compras ou serviços. Frúgoli Júnior (2000) destaca que nessa mesma área o centro se configurava também como importante espaço cultural e intelectual, mas a fase de

reestruturação urbana levaria a metrópole a ser multipolar, isso em decorrência da industrialização e abertura ao capital estrangeiro.

A São Paulo monocêntrica vai até o final da década de 1960, quando a sua saturação viária e de estacionamentos dão lugar a uma nova centralidade, o “Centro Paulista”, o qual passou a abrigar as sedes de bancos e escritórios. Ao “Centro Histórico” restou a “subutilização” de seu espaço e equipamentos urbanos, assim como a desvalorização imobiliária, deslocando cada vez mais as classes abastas e os serviços do centro. Para Frúgoli Júnior (2000), cada fase do sistema econômico proporciona o surgimento de novas centralidades, como é o caso do “Centro Berrini”, cujas empresas multinacionais estão ligadas ao recente processo de mundialização.

Arantes (2002) assinala que as cidades passam a conter megaconstruções ligando a imagem das cidades a ultramodernidade, pois o capitalismo é uma “máquina de gerar insignificância” (esse se apropria das oportunidades de fazer a cidade, mesmo que não seja uma prioridade urbana). O fazer a cidade está ligando a abertura para a globalização, ou seja, as cidades passam a ser mercadorias, que ainda de acordo com a autora, são pautadas no marketing, onde as políticas do *image-making*, ou também, denominado *business-oriented* conferem visibilidade aos indivíduos e a coletividade que querem essa nova forma de cidade, ou seja, passa a ser uma “vontade conjunta”.

Para Claval (2004), os novos centros diversificam suas atividades quando grande parte da mão-de-obra tem carro, assim como, os clientes que vão até a local destas novas empresas. No caso de São Paulo, o autor destaca que o vetor de crescimento está concentrado no sul e sudoeste da cidade, facilitando a localização devido as grandes vias de acesso. E destaca a dicotomia entre os centros:

O centro antigo beneficia da notável estrela de vias-férreas que partem da estação da Luz, e da convergência das linhas de Metro. A partir da Avenida Paulista, o carro e o ônibus torna-se meios de transporte essenciais. O centro antigo guarda um aspecto muito popular. Os novos núcleos da vida social são frequentados pelas novas classes abastadas.

A dicotomia social: classes abastadas de um lado, classes modestas de outro, reflete-se, cada vez mais, na geografia dos bairros de função central (CLAVAl, 2004, p. 336).

Figura 4 – A evolução do centro da cidade de São Paulo
Fonte: CLAVAL, 2004. p. 336.

A figura 4 ilustra o deslocamento da região central (Centro Histórico), para a Avenida Paulista, Faria Lima e, atualmente Marginal Pinheiros, na qual encontra-se o novo centro da capital paulista, localizado na área de várzea do Rio Pinheiros.

Dessa forma, as cidades passam a ser configuradas de acordo com a economia vigente, ou seja, o urbanismo atual não tem como meta corrigir os problemas, mas sim otimizar a competitividade das cidades, cuja visão é empresarial, como é o caso do CENU (Centro Empresarial Nações Unidas) de São Paulo, cujos complexos de prédios de escritórios, hotéis e serviços são voltados para a economia global, utilizando-se de uma infraestrutura de alta tecnologia e informatizada, cujos espaços inteligentes estão ligados ao sistema globalizado, e também configurando o novo vetor de crescimento e de valorização urbana, agregando a esse as classes abastadas e mão-de-obra extremamente qualificada. Esse processo de reestruturação urbana é levado para além da Berrini, expandindo-se também para a Marginal Pinheiros.

É possível destacar que as novas centralidades como o “Centro Paulista” e o “Centro Berrini”, por mais que se configurem como os espaços respectivamente da modernidade e pós-modernidade, possuem problemas semelhantes como os do “Centro Histórico”, pois são caracterizados pela alta densidade de pessoas, assim como, de veículos, ocasionando

congestionamentos nas principais vias de acesso a esses lugares e na Marginal Pinheiros (devido ao complexo Berrini). Além disso, tanto o “Centro Histórico” como o “Centro Berrini”, sofrem um esvaziamento após o encerramento das atividades de trabalho ao final do dia, diferentemente do “Centro Paulista” que além das atividades de trabalho, agrega teatros, shoppings, escolas e faculdades.

Porém, essas novas centralidades, em virtude de seu crescimento decorrente do sistema econômico, provocam impactos ambientais como: o aquecimento local (formando as ilhas de calor) e corredores de vento, os quais são ocasionados pelo padrão construtivo, a redução de espaços verdes, concentração de poluentes em virtude do aumento de carros, enchentes devido a impermeabilização entre outros fatores, ou seja, esses novos lugares inserem-se apenas no contexto econômico e, se esquecem do planejamento técnico e, principalmente das condições ambientais que já se encontram altamente impactadas no contexto da metrópole paulistana.

2.2 - Processos de Requalificação e a Cidade Global

Frúgoli Júnior (2000), destaca que em 1991 surge em São Paulo a Associação Viva o Centro, uma instituição não governamental, a qual busca resgatar e reestruturar por meio de requalificações o “Centro Histórico” da capital.

Essa visão parte do setor privado ainda presente no “Centro Histórico”, que vem trabalhando em processos de requalificação em virtude da ampla infraestrutura ali instalada, resultando num resgate do centro histórico, além de reduzir gastos públicos na implementação de equipamentos urbanos em novas centralidades, gerados pela ação do mercado imobiliário.

Porém, a requalificação do “Centro Histórico” passa por questões de ordem socioeconômica, como por exemplo, a retirada dos camelôs dos espaços públicos, denominado de “higienização”, e a questão da habitação, uma vez que a Associação tem como meta requalificar áreas de cortiços.

Para Scarlato (2004), mesmo com as críticas feitas a Associação Viva o Centro, em virtude das estratégias para solucionar o problema da pobreza, diz que “essa veio para ajudar a resgatar a identidade destes lugares e da Cidade e recolocar nos questionamentos teóricos a importância do imaginário da população que nunca deveria ter sido relegada”.

A partir dessa consideração é possível afirmar que mesmo de forma pontual, o processo de requalificação executado pela Associação e pelo governo municipal do “Centro Histórico” gerou pontos positivos, mesmo que ainda não atraia de volta os residentes das

classes médias. Investiu-se principalmente em centros culturais e de artes, espaços de compras e lazer como: o Edifício de Correios e Telégrafos, o Shopping Light instalado no Edifício Alexandre Mackenzie, a Estação da Luz que abriga o Museu da Língua Portuguesa, a Pinacoteca do Estado e a Estação Pinacoteca, além da Sala São Paulo, na Estação Júlio Prestes.

Outras ações estão vinculadas ao poder público, que centralizou diversas secretarias administrativas na região central (figura 5), o que facilita a acessibilidade das pessoas, além da redução de gastos públicos, uma vez que os prédios são de sua propriedade.

Figura 5 – Edifício Conde Matarazzo – Prefeitura de São Paulo
Autoria: CATUZZO, 2012.

De acordo com Bidou-Zachriasen (2006), em São Paulo os processos de requalificação da área central são pontuais e isolados, a mesma autora destaca que no caso paulistano não existe gentrificação, como ocorre nas cidades europeias como Londres, Barcelona, Paris, etc., as intervenções que aqui ocorreram se comparadas com as já realizadas nessas cidades, ou com Nova Iorque, são pontuais e insuficientes para atrair novamente as classes abastadas. Para uma valorização imobiliária do “Centro Histórico” será necessário muito investimento privado e público, além de ações que melhorariam as condições degradantes dessa área urbanizada. Ao comparar o caso da metrópole de São Paulo, com o

processo de requalificação de Barcelona, percebe-se, por exemplo, que bairros como o de La Ribera passaram por esse processo. Para Claver (2006), esse bairro agregou o consumo de lazer e cultura, tornando o bairro da moda em lazer noturno. Outro grande diferencial entre São Paulo e Barcelona é que o centro desta última nunca foi totalmente deixado pela classe média, situação essa completamente inversa em São Paulo, cujas classes mais abastadas se deslocaram para outros bairros da cidade em busca de qualidade de vida e, fuga do caos urbano do centro.

Ainda relacionado ao “Centro Histórico”, destaca-se que:

Nas cidades europeias, o centro se transforma cada vez mais em espaço privilegiado de consumo, lazer, e sobretudo de turismo, onde o cenário histórico passa a fazer parte da musealização do espaço urbano, legitimando essas áreas fragmentadas no espaços urbanos centrais (PRIGGE, 2002, p.51).

O autor ainda ressalta que esses espaços que passam a ser monitorados, determinam quem pode utilizar dos mesmos, pautado na tolerância zero, como por exemplo, Nova Iorque, ressalta também a produção de espaços privados que conservam um caráter semipúblico, porém, voltado para o setor terciário, no caso de São Paulo, destaca-se a Berrini e até mesmo a Paulista.

Para Santos (2001), os países “subdesenvolvidos” se caracterizam por se organizarem e se reorganizarem em virtude dos interesses da escala mundial, porém, as variáveis de modernização não ocorrem em todos os lugares e ao mesmo tempo, ou seja, é uma história espacial seletiva. Provocando, segundo o autor, grande instabilidade na organização do espaço havendo desequilíbrios e ajustamentos, caracterizando um espaço multipolarizado.

Dessa forma, os espaços urbanos da cidade de São Paulo, assim como a sua policentralidade estão ligados principalmente a uma dinâmica econômica, pois os novos centros ou centralidades que surgiram em substituição ao “Centro Histórico” podem estar relacionados a dois movimentos: um refere-se as ações do mercado imobiliário e, outro ao cenário econômico vigente no surgimento dessas novas centralidades.

Porém, não se pode negar a origem e o surgimento da cidade em seu “Centro Histórico”, pois este ainda agrega funções e serviços que estão ligados ao setor terciário. É importante lembrar que todo o fluxo de negócios de São Paulo e até mesmo do Brasil, realizados na Bolsa de Valores fica localizado na parte histórica, mantendo a identidade inicial dessa área.

Dessa forma é necessário que se faça do “Centro Histórico”, um espaço de convivência, tornando esse atrativo novamente para todos, exigindo um maior empenho e

atuação dos setores público, privado e da própria sociedade. Ainda dentro desse contexto Lynch (1997) diz:

Existem, porém, algumas funções fundamentais, que as formas da cidade podem expressar: circulação, usos principais do espaço urbano, pontos focais chaves. As esperanças, os prazeres e o senso comunitário podem concretizar-se. Acima de tudo, se o ambiente for visivelmente organizado e nitidamente identificado, o cidadão poderá impregná-lo de seus próprios significados e relações. Então se tornará um verdadeiro *lugar*, notável e inconfundível (LYNCH, 1997, p.101-102).

Ou seja, o “Centro Histórico” jamais poderá ser negado, pois é a origem da cidade, da sociedade e até mesmo do próprio desenvolvimento de São Paulo, pois preservar o que restou e dar qualidade para essa localidade significa guardar a identidade do lugar, das pessoas. Pois negar essa área em detrimento de outras centralidades com características pós-modernas significa recorrer no mesmo erro, já que ao não solucionar o problema de uma, transferem-se os mesmos para a nova localidade, a qual poderá se tornar obsoleta em detrimento de uma nova centralidade, uma vez que o espaço urbano é extremamente dinâmico.

Com as novas centralidades e novos costumes se modificam os vetores de crescimento e valorização urbana, assim como, redirecionam o morar e o lazer que ficam concentrados em lugares tidos como seguros “os *shoppings*”.

Pensar a requalificação do “Centro Histórico” e as centralidades (Paulista e Berrini) deve-se levar em consideração as condições culturais, a estruturação da cidade e até mesmo da própria sociedade no que diz respeito ao pertencimento desse espaço.

Pois caso contrário, na metrópole paulistana continuarão sendo reproduzidos locais obsoletos, cuja dinâmica do espaço urbano está atrelada ao sistema econômico, o qual é capaz de estruturar novos espaços em detrimento do interesse privado, porém, reproduzindo os mesmos impactos ambientais.

É de suma importância relatar a parte histórica do desenvolvimento da cidade de São Paulo, pois ao compreender a dinâmica do crescimento e o desdobramento da produção de novas centralidades é possível destacar que são reproduzidos os mesmos padrões de verticalização, adensamento, redução de áreas de verdes, aumento da circulação de veículos, poluição, enchentes e aquecimento, todos estes elementos afetam a qualidade ambiental e, consequentemente a saúde humana.

3 - MEIO URBANO, CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E A AÇÃO ANTRÓPICA

No Brasil, assim como em outras partes do mundo as cidades passaram a ser grandes centros de atração em virtude do processo de industrialização. No caso brasileiro, São Paulo é um exemplo concreto, pois atraiu pessoas de diversas regiões do país em busca de trabalho e melhores condições de vida, impulsionadas pelo crescimento do setor industrial. O que se presenciou foi um rápido desenvolvimento da metrópole, assim como, dos impactos socioambientais provocados pelo adensamento urbano.

Segundo Lombardo (1985), o grande deslocamento de pessoas para as cidades impossibilita que o poder público, o planejamento e o controle de saúde acompanhem este crescimento, o que torna as cidades e, principalmente as metrópoles, em lugares inconvenientes para a população residente. Além disso, o adensamento de edificações torna a qualidade de vida precária em virtude do aumento da temperatura (ilha de calor), provocando desconforto térmico em seus habitantes.

Para Jacobs (2009), o planejamento urbano é executado por ações pequenas ou específicas, seja em ruas, bairros ou distritos. Para a autora, no planejamento urbano é necessário conhecer a especificidade local, que deve se sobrepor ao resultado da execução, pois:

É mais importante conhecer aquela localidade específica do que saber quantas coisas da mesma categoria estão implantadas em outros locais e o que está sendo feito com elas. Não há conhecimento que substitua o conhecimento do local no planejamento, não importa se ele é criativo, coordenado, ou antecipatório (JACOBS, 2009, p. 465).

O que se verifica é que nas áreas urbanas brasileiras o planejamento urbano se dá a partir de corporações imobiliárias que, muitas vezes pautada pela ação do poder público, que delineiam a cidade induzindo os vetores de crescimento, e também, a localização das novas áreas de empreendimentos. Porém, embora os problemas e impactos anteriormente ocasionados não sejam resolvidos, novas áreas são construídas como forma de substituição de estruturas urbanas consideradas obsoletas, de acordo com o sistema vigente, mas acabam cometendo os mesmos erros, principalmente os relacionados aos impactos ambientais já existentes em outras áreas consolidadas.

No que diz respeito ao uso do solo urbano, Monteiro (2011) destaca que é uma ação pautada na especulação imobiliária desenfreada, a qual impacta não só o meio ambiente, mas também a sociedade, ressaltando que as cidades devem ter uma atenção maior referente a esta questão.

As políticas públicas mediante a ação do ordenamento territorial, nem sempre contribuem para melhorar a qualidade urbano-ambiental. Destaca-se que:

as políticas públicas de ordenamento territorial e desenvolvimento urbano são, na maioria das vezes, inexistentes, inócuas e ineficazes, pois que pouco ou quase nada tocam em causas fundamentais dos problemas socioambientais urbanos que estão, na sua quase totalidade, ligados à superestrutura da sociedade (MENDONÇA, 2004, p. 192).

Neste caso, a ineficácia ou inexistência de leis e do planejamento urbano nas cidades impactam o meio natural, ou o que ainda resta deste, alterando o clima, em decorrência do adensamento de construções; degradando a vegetação, com a redução dos espaços verdes e poluindo os cursos hídricos, cuja falta de um sistema de tratamento fazem dos rios um verdadeiro canal de escoamento do esgoto doméstico e industrial.

Para Ayoade (1986), o maior impacto no clima é ocasionado pela intervenção do homem no ambiente urbano. Destaca que “Nas áreas urbanas altera-se a composição química da atmosfera. As propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, assim como seus parâmetros aerodinâmicos são modificados pelos processos de urbanização e industrialização” (AYODE, 1986, p. 300).

As cidades além dos diversos problemas conjunturais de infraestrutura, segregação socioespacial e degradações ambientais, geram cada vez mais impactos ao se espalhar sobre o solo, o que ocasiona uma subutilização das áreas centrais, resultando a criação de novas áreas de expansão, reduzindo os espaços verdes e ampliando ainda mais os efeitos das ações antrópicas no meio urbano, cujos elementos como poluentes, radiação, nebulosidade, precipitação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento são acentuados, provocando impactos ambientais que se intensificam cada vez mais nas áreas das grandes metrópoles.

Para Jacobi (2004), as grandes metrópoles enfrentam problemas ambientais, os quais são agravados pela falta de gerência adequada das autoridades locais. Portanto, destacam-se duas questões relevantes que vão de encontro com as discussões apontadas nesta pesquisa. São elas:

A redução de áreas verdes, o que implica na excessiva impermeabilização do solo e na multiplicação de áreas críticas de ocorrência de enchentes, com impactos ambientais, sociais e econômicos sobre toda a estrutura da cidade, perdurando praticamente por todo o ano e;
A falta de medidas práticas mais definidas, de curto prazo e de políticas para controlar a poluição do ar (JACOBI, 2004, p. 173).

Estas duas questões abordadas pelo autor são extremamente importantes quando ocorre nas metrópoles, pois agravam as condições climáticas concentrando o aquecimento e as chuvas, além de outros fatores.

O meio urbano, em decorrência da densidade de pessoas, das construções, da falta de áreas verdes, do concreto, da pavimentação e do envidraçamento dos prédios provocam alterações climáticas locais como a formação das ilhas de calor, resultante do aumento da superfície de absorção térmica, cujas consequências são o aumento da temperatura e, principalmente nos centros das grandes metrópoles como é o caso de São Paulo, a ocorrência de maior concentração e torrencialidade das chuvas nas áreas densamente urbanizadas, enchentes e o agravamento da poluição.

Segundo Lombardo (1985), as ações e atividades humanas e todos os elementos que compõem o meio urbano resultam em alterações de temperatura, umidade e vento.

A metrópole de São Paulo se destaca por ter influência mundial, com grande diversificação das atividades econômicas que se relacionam com o tamanho da cidade, fatores históricos, diversidade socioeconômica espacial, sofisticação dos bens e serviços, ou seja, a centralidade econômica. O que resultou num processo de urbanização que impactou e impacta profundamente o meio natural, onde a natureza foi subjugada a um segundo plano, resultando em problemáticas quase insolúveis.

Uma delas é o seu adensamento urbano, o qual reduziu drasticamente os espaços verdes da cidade onde hoje. Segundo o Atlas Ambiental do Município de São Paulo – existem trinta e um parques sob a administração da prefeitura (figura 6). Entretanto, poucos deles se localizam na área central e, àqueles que aí estão, possuem extensão relativamente modesta. Além dos parques, no território do município de São Paulo existem quatro unidades de conservação integral (Parque Estadual da Cantareira, Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, Parque Estadual do Jaraguá, Parque Estadual da Serra do Mar), cinco unidades de conservação de uso sustentável (APA do Carmo, APA da Várzea do Rio Tietê, APA da Mata do Iguatemi, APA do Capivari-Monos, sendo esta última uma área municipal).

Espaços verdes são importantes no contexto urbano, pelo fato de poder reduzir; o calor sensível, o escoamento superficial, a poluição, além de contribuir para o aumento da qualidade de vida urbana.

Desse modo, os espaços verdes são essenciais para o controle e minimização dos impactos, principalmente os relacionados às mudanças do clima local que são ocasionadas pelas alterações no meio urbano, como nas áreas centrais metropolitanas, por exemplo, São Paulo. Nessa situação, o telhado verde (cobertura vegetada), o qual é objeto dessa pesquisa, pode colaborar para o aumento destes espaços verdes, bem como, reduzir as temperaturas e elevar a umidade no contexto microclimático.

Porém, as intervenções públicas quando se trata de infraestrutura urbana para a cidade de São Paulo estão quase sempre voltadas para o tráfego de veículos automotores, sem pensar ao menos no aumento das áreas verdes, principalmente no centro da cidade, o qual concentra as maiores consequências da formação da ilha de calor.

A aglomeração de São Paulo, segundo Conti (2004), está entre as dez maiores metrópoles do trópico úmido, apresentando duas estações de chuvas bem definidas onde as precipitações alcançam 66,1% de outubro a março e 33,9% de maio a setembro. Além disso, encontra-se numa região de confronto entre os sistemas tropicais e extratropicais.

Lombardo (1985), em seus estudos sobre a ilha de calor na metrópole paulistana, destaca que em decorrência das próprias feições geográficas do seu sítio, e das próprias condições climáticas locais - essas últimas favorecendo a concentração de poluentes na região central em virtude dos ventos que sopram predominantemente de sudeste, ou seja, da região do Grande ABC - atrelado às condições meteorológicas tanto no verão quanto no inverno, irão agravar a ilha de calor.

Ainda segundo a autora, a ilha de calor na metrópole de São Paulo, em decorrência de sua estrutura espacial, contribui para a ocorrência desse fenômeno, onde as maiores alterações de temperatura acontecem durante a tarde até a noite, havendo uma redução na madrugada e aos domingos (redução dos poluentes). Para o estudo da ilha de calor devem ser consideradas para análise as áreas de adensamento vertical, horizontal e com vegetação.

De acordo com Gartland (2010), o efeito da ilha de calor é maior em dias claros e com ventos brandos, em decorrência da maior energia solar captada e a remoção lenta do calor, porém, é menos intenso nos dias nublados e com ventos.

Associado a esse maior aquecimento há uma incidência mais elevada da precipitação, principalmente na área central devido à concentração urbana e a insuficiência de espaços verdes.

O mapa da figura 7 demonstra que o processo de adensamento urbano extravasa as fronteiras do município de São Paulo, formando um grande aglomerado onde as áreas de vegetação praticamente inexistem. Além disso, é possível observar que dentro do município de São Paulo, há uma pressão urbana sobre as áreas protegidas ambientalmente como a Cantareira, a Represa Guarapiranga e a Represa Billings.

A figura 8 ilustra as condições da intensa urbanização da cidade, assim como, a carência de espaços verdes, os quais se apresentam de forma muito restrita na mancha urbana paulistana.

Figura 6 – Mapa da Área urbanizada

Fonte: Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano, 2002/2003. Disponível em: <
<http://sempla.prefeitura.sp.gov.br/historico/img/mapas/urb-2000.jpg>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

Figura 7 – Urbanização e Áreas Verdes no Município e Região Metropolitana de São Paulo
Fonte: Plano Diretor de Macro Drenagem da Bacia do Alto Tietê (PDMAT-3), relatório 6, DAEE, 2012
(elaborado por PALAZZI, L., 2013)

Figura 8 – Principais Parques na Área Urbana de São Paulo
 Fonte: Plano Diretor de Macro Drenagem da Bacia do Alto Tietê (PDMAT-3), relatório 6, DAEE, 2012
 (elaborado por PEREZ, L. P., 2013).

Os objetos de estudo estão relacionados neste mapa, sendo os edifícios (Conde Matarazzo e Mercantil/Finasa). Pode-se, portanto, observar que os dados de temperatura e umidade foram coletados numa área altamente adensada, onde praticamente inexistem

parques vegetados ao redor. Porém, foram relacionados os escassos parques da área urbana de São Paulo, com destaque para os principais. Partindo deste contexto, é possível afirmar que o adensamento urbano e sua reduzida área vegetada é um forte componente para a alteração do clima na cidade, como por exemplo, a formação das ilhas de calor.

Para Cabral (2002), as áreas com elevada densidade urbana tem apresentado uma concentração no aumento e recorrência das chuvas torrenciais, e consequentemente uma diminuição de precipitações menos intensas. O autor faz uma correlação de que o aumento dos valores pluviométricos anuais e durante o verão estão relacionados ao maior aquecimento urbano, aos altos índices de poluição atmosférica e o efeito da rugosidade devido a verticalização na Região Metropolitana de São Paulo.

Segundo Monteiro (2011), tanto a estrutura térmica, como de ventilação urbana presentes dentro do Sistema Clima Urbano são necessárias para compreensão da difusão da poluição do ar. Os poluentes aumentam a possibilidade de condensação da umidade, e consequentemente, aumentam o potencial de precipitações locais no meio urbano.

De acordo com Ross (2004), dois problemas se concentram na área metropolitana de São Paulo durante o verão, em virtude das chuvas intensas e concentradas, sendo as inundações e os deslizamentos.

A “mancha urbana” que as imagens de satélite [figura 9] revelam para a Região Metropolitana é surpreendente, pois se estende por mais de 70 km no sentido leste-oeste e em torno de 40 km de norte a sul. Considerando as irregularidades espaciais do território urbanizado, dos 8500 km² que compreende os 39 municípios da região, 1500 km², correspondem as áreas urbanizadas contínuas. Assim sendo, 20 dos 39 municípios têm suas áreas urbanas conurbadas, ou seja, constituem um *continuum* urbano quase que totalmente impermeabilizado na alta bacia do rio Tietê e de seus maiores afluentes de alto curso, os rios Pinheiros e Tamanduateí (ROSS, 2004, p. 204-205).

Figura 9 – Mancha urbana da cidade de São Paulo

Fonte: Imagem do Satélite Landsat 7 ETM+, 2000, processamento SVMA/Atlas-PMSP. Disponível em: http://smdu.prefeitura.sp.gov.br/historico_demografico/img/mapas/2000.jpg. Acesso em: 10 nov. 2012.

Para Ross (2004), a mancha urbana, a alta densidade populacional deixa poucos espaços para as áreas verdes que ainda tem que disputar espaço com os carros.

No entanto, a paisagem da cidade de São Paulo foi alterando cada vez mais suas áreas naturais espalhando-se por várzeas, encostas e as serras. Segundo Furlan (2004), a cidade se estruturou a partir de tecnologias que permitiram a urbanização, alterando as condições naturais para que essa fosse possível, o que tornou a paisagem cada vez mais “árida” e dependente da tecnologia para a solução de problemas.

As atuais condições dos centros urbanos pedem ações emergenciais no sentido de criar medidas e diretrizes que minimizem sua degradação tanto ambiental, afetando especialmente a climática, como para o social, pois o ônus para a sociedade torna-se maior à medida que ações sustentáveis e de planejamento urbano não são tomadas, ou simplesmente são realizadas pontualmente.

Para melhorar as condições no meio urbano é essencial ampliar os espaços verdes, assim como, aumentar as superfícies líquidas (espelhos d’água).

Silva Filho (2004), indica que para reduzir o problema da impermeabilização do solo por materiais que aumentam a amplitude térmica das cidades é necessário ampliar a vegetação do meio urbano, principalmente a arbórea. O autor destaca que em virtude da dinâmica do espaço urbano e a falta de trabalhos para avaliar as alterações, impedem que se possa intervir por meio de políticas públicas para manter ou ampliar os espaços vegetados.

Apesar da existência de políticas públicas voltadas para o controle do uso do solo e para o planejamento, o que se tem é uma ineficácia em sua aplicação dentro do contexto urbano. De acordo com Lombardo (1985), “uma metrópole sem planejamento adequado do uso do solo, com ausência de parâmetros adequados de verticalização e ocupação, sobretudo onde ela cresce a uma velocidade rápida e com poucos recursos técnicos, pode colocar em risco a qualidade de vida dos seus habitantes”.

Para Furlan (2004), a cobertura vegetal deveria ser incorporada nos processos de requalificação territorial, cuja ampliação e manutenção desta devem estar inseridas no processo de planejamento urbano, resultando em melhoria da qualidade ambiental do mesmo, juntamente com o ecoplanejamento. Ainda de acordo com a autora, a cidade poderia aumentar sua arborização por meio das estruturas viárias, utilizando as calçadas e canteiros centrais, porém um dos problemas são as múltiplas funções dadas a estes, o que resultaria num ganho ambiental para a cidade.

Para Monteiro (2011), as áreas verdes têm um papel importante dentro da estrutura urbana regulando o escoamento superficial, possibilitam a infiltração em meio à massa de edificações e ruas pavimentadas. O autor destaca que:

Deveriam, pois, ser elementos obrigatórios na cidade intertropical, em vez de serem vistas com certa ojeriza por um verdadeiro complexo de inferioridade que conduz ao abate sistemático de árvores e eliminação de resíduos e nichos de vegetação, inclusive nas cabeceiras dos mananciais. Além do que, são complementos necessários ao lazer, especialmente para as classes que não dispõem de recurso para buscar entretenimento fora da circunscrição urbana (MONTEIRO, 2011, p. 57).

As intervenções associadas ao aumento dos espaços verdes melhorariam a qualidade ambiental dos lugares altamente adensados, ampliariam as áreas sombreadas, reduziriam a temperatura, elevariam o percentual da umidade relativa etc., pois de acordo com Freitas e Lombardo (2007, p. 70) “(...) o planejamento urbano é um processo constante que permite diagnosticar os problemas locais visando promover o ordenamento racional, a avaliação da qualidade ambiental (...)”.

Para Gartland (2010), a vegetação pode arrefecer de duas maneiras o calor:

a evapotranspiração que converte energia solar em água evaporada ao invés de calor, mantendo as temperaturas da vegetação e do ar mais baixas e; árvores e vegetação promovem sombras para as superfícies e protegendo-as do calor do sol, mantendo as superfícies mais frescas e reduzem o calor armazenado por elas (GARTLAND, 2010, p. 64-65).

A vegetação além de contribuir para a redução das temperaturas e, conseqüentemente minimizar o efeito do fenômeno da ilha de calor, também contribui para reduzir o escoamento superficial das chuvas, evitando a sobrecarga dos sistemas de drenagem e, também as enchentes.

Segundo Hough (2004), a vegetação controla tanto a radiação solar direta, como o calor irradiado, pois a floresta pode absorver 90% da luz incidente reduzindo a temperatura máxima, além de reduzir para menos de 10% a velocidade dos ventos, deste modo, equilibrando as temperaturas diárias e a intensidade de chuva que atinge o solo.

Além dos espaços verdes públicos (parques e jardins) nos grandes centros, atualmente estão sendo implantadas coberturas vegetadas sobre os telhados das residências e edifícios, o “*Green Roof*” ou Telhado Verde, que segundo as bibliografias consultadas é ambientalmente eficaz, como por exemplo, a experiência de Chicago que por meio do estudo sobre a utilização deste tipo de estrutura verde, tem como resultado a redução da temperatura no microclima.

No documento “*Strategy 1. Energy Efficient Buildings*” o uso do telhado verde como é o caso da Prefeitura de Chicago, resulta na redução da temperatura tanto acima, quanto na

parte interna proporcionando o aumento do conforto térmico, resultando na diminuição dos gastos energéticos com o controle da temperatura.

Outro documento é “*A Guide to Rooftop Gardening*” relata que o uso dos telhados verdes intensivos reduz a temperatura, o efeito do vento e, também, o escoamento das águas pluviais para as redes públicas.

Há também a possibilidade de clareamento dos telhados via pintura branca, uma vez que as cores claras absorvem menos calor e refletem a radiação, ou seja, apresenta maiores índices de albedo, cuja legislação e leis serão apresentadas no subcapítulo pertinente.

4 – TELHADOS VERDES: COMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA PARA A INSTALAÇÃO DO TELHADO VERDE

A estrutura e os componentes para a instalação do telhado verde, seja do tipo extensivo ou intensivo, devem ser realizados por empresas especializadas, porém, o que requer maiores cuidados relacionados aos componentes utilizados no processo construtivo são os de característica intensiva, ou telhado jardim.

Para Gartland (2010), os componentes do telhado verde requerem maior cautela, por exemplo, a laje deve ser reforçada, a membrana de impermeabilização pode ser superior a 0,25 centímetros de espessura. A membrana de isolamento serve para conservar a energia durante as chuvas e depois da irrigação, o sistema de drenagem em forma de caixas de ovos serve para armazenar um pouco de água, entre esta e o solo devendo ser instalada uma barreira de raiz evitando que estas penetrem nos drenos da cobertura e outros materiais, já as plantas devem ser nativas ou adaptadas ao clima do local.

Na Espanha existem dois tipos de normas tecnológicas para os telhados verdes, sendo a NTJ-11E (1999) *Jardineria i Paisatgisme para Cobertes Ecològiques Extensives* e NTJ-11I (2000) para *Cobertes Enjardinades Intensives*, as quais são aplicadas em projetos, construções e manutenção de coberturas vegetadas. Os padrões são definidos para cada tipo de cobertura, ou seja, na extensiva essa deve ter um substrato de no máximo 15 centímetros de espessura, com plantas de até 50 centímetros de altura, sendo o peso inferior a 120 kg/m², já para os telhados verdes intensivos ou semi-intensivos, o substrato deve ter mais de 15 centímetros de espessura e o peso contendo o substrato e a vegetação deve ser superior a 120 kg/m².

De acordo com Almeida (2008), os elementos que compõem as coberturas vegetadas são estrutura de suporte, camada de proteção contra água de chuva, proteção térmica, drenagem, substrato e vegetação. Para esta última é necessário uma membrana resistente a perfuração de raízes, as quais podem ser: membranas de polímero-elastómero-betuminosas; membranas de PVC; membranas de polietileno; seladores fluídos com poliuretano e com resinas de poliéster; lonas de poliéster revestido de PVC.

Para Thompson (2010), o telhado verde apresenta diferentes camadas que servem para propósitos distintos, sendo composto por: substrato, membrana a prova d'água, camada de drenagem/barreira de raízes, tecido filtrante, tapete de estabilização, sistema de irrigação, camada para cultura, manta de controle de erosão e plantas.

A figura a seguir ilustra a disposição dessas camadas:

Figura 10 – Camadas do Telhado Verde Ajardinado
Fonte THOMPSON, 2010.

Outro exemplo da forma de utilização das camadas para a estruturação do telhado verde, pode ser demonstrado no Projeto do Telhado Verde da “*Kings Court English College House*”.

Figura 11 – Kings Court English College House Green Roof Project
Fonte: GREEN ROOF, 2008.

A figura tem como componentes construtivos os seguintes elementos:

- 1) estrutura do telhado, a membrana de isolamento, a membrana a prova d'água;
- 2) camada de proteção e armazenamento;
- 3) camada de capilaridade e drenagem;
- 4) camada de filtro permeável;
- 5) substrato para o cultivo;
- 6) plantas e vegetação.

Todos os componentes relatados são de extrema importância para compor o telhado verde, seja ele intensivo ou extensivo, sendo necessário o uso de todos os materiais e camadas para que não haja problemas na estrutura do telhado. Proporcionando uma melhor qualidade ambiental para os centros urbanos, além de resultados na questão da redução de temperatura no microclima urbano.

Ainda dentro do contexto da composição de coberturas, as normas elaboradas por associações internacionais, guias de diretrizes e até mesmo por órgãos de normas técnicas, são de suma importância para determinarem as formas necessárias de elaboração das estruturas dos telhados verdes, sejam estes intensivo, semi-intensivo ou extensivo.

No caso brasileiro, ainda não existe uma normatização para os tipos de telhados verdes, sendo que a única norma técnica da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) normatiza cargas estruturais é a NBR 6120:1980 versão corrigida: 2000 que dispõe sobre as Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. O objetivo da desta é “fixar as condições exigíveis para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos previstos em normas especiais”.

Porém, no Brasil, as empresas especializadas é que fazem todos os cálculos para a instalação da estrutura do telhado verde.

Como não existe uma normatização brasileira, existe um projeto de lei de 2011 e, também alguns municípios estão elaborando leis locais para a implantação dos telhados verdes.

4.1 - Telhados Verdes: Características Gerais e Experiências Pelo Mundo

Os telhados verdes, também denominados de coberturas verdes são áreas vegetadas sobre casas ou edifícios residenciais, industriais, comerciais ou públicos. A vegetação pode ser rasteira, arbustiva ou de porte arbóreo. Dentro da arquitetura é considerada como o futuro do urbanismo, para os geógrafos pode-se dizer que é a possibilidade para minimizar os efeitos do aquecimento no microclima urbano.

O “*Green Roofs*” denominação em inglês para os telhados verdes podem ser de dois tipos:

Um extensivo ou simples, sendo mais leve e raso, com 3 ou 4 polegadas essencial para o crescimento médio de plantas tolerante a secas como as suculentas ou gramíneas que requerem manutenção mínima. O outro mais elaborado (intensivo) pode ser uma paisagem com flores e vegetação de jardins, ou mesmo árvores (PLEGDE; SCHOLZ-BARTH, 2005, p. 16) [tradução nossa].

Plegde e Scholz-Barth (2005), relatam que os telhados verdes atuais são baseados nos desenhos alemães da década de 1970, mas o histórico é anterior como, por exemplo, os jardins suspensos da Babilônia, ou os telhados de relva escandinavos.

Para Peck e Kuhn (2003), os telhados verdes extensivos apresentam peso menor, baixo custo, menor diversidade de plantas e manutenção mínima, já para o intensivo, o solo é mais profundo, maior peso, maior diversidade de plantas e manutenção.

Porém, a estrutura a ser utilizada irá depender do tipo escolhido e, para os edifícios existentes que queiram fazer esse tipo de telhado será necessário o acompanhamento de um engenheiro. Os autores acima, em seu artigo “*Desing Guidelines for Green Roofs*” indicam a espessura de solo necessária, o peso, as plantas e a manutenção, respectivamente no extensivo e intensivo:

Para o plantio, tipicamente é usado uma mistura de base mineral contendo, areia, cascalho, tijolo triturado, leca, turfa, matéria orgânica e um pouco de terra, a profundidade varia entre 5 e 15 centímetros, e um aumento de peso entre 72,6 a 169,4 kg/m² quando totalmente saturado. Devido superficialidade do meio para o plantio e uma condição microclimática mais seca dos telhados, as plantas devem ser resistentes e baixas, do tipo alpino, sequeiro ou indígena. As plantas necessitam de irrigação e fertilização até se estabelecerem, e depois de um ano, a manutenção requer duas visitas ao ano para retirar as espécies invasoras, a segurança e inspeção das membranas.

No outro, o plantio requer um solo com profundidade que varia entre 20 e 60 centímetros, e um aumento de peso quando saturado entre 290 a 967,7 kg/m². Devido ao solo mais profundo, a seleção de plantas é mais diversificada e pode incluir árvores e arbustos, permitindo o desenvolvimento de um ecossistema maior. A manutenção requer – uma irrigação especial – sendo uma demanda maior e permanente, ou seja, um sistema de irrigação específico. Tanto para a estrutura quanto a horticultura é recomendado empresas e instaladores experientes (PECK; HUNK, 2003, p. 4-5)”.

Figura 12 – Telhado Verde Extensivo – Toronto, Ontário, Canadá

Figura 13 – Telhado Verde Extensivo

Fonte: Project Profile: Vancouver Library. Disponível em: <http://www.waterproofmag.com/back_issues/201104/vancouver_library.php>. Acesso em: 10 jul. 2013.

É necessário esclarecer que essas medidas e pesos são atribuídos para a instalação do telhado verde em países de média latitude, onde a neve é uma constante. Diferentemente do caso brasileiro em que a carga na estrutura está relacionada à retenção da água.

Para Gartland (2010), os telhados extensivos com aproximadamente 10 centímetros de terra, variam de peso entre 25 a 150 kg/m² excluindo a saturação por água, são mais leves e não requerem apoio estrutural e a inclinação do telhado pode ser de até 30°. Já os telhados intensivos utilizam 25 centímetros ou mais de terra, pesam entre 100 e 200 kg/m² sem contar a saturação por água, necessitam de apoio estrutural, além de um sistema de irrigação e drenagem.

Para a IGRA (*Internacional Green Roof Association*), existem dois motivos principais para a utilização do telhado verde, um é a visão agradável de um maravilhoso telhado jardim, o outro, um habitat para a fauna e flora nos cinzentos centros urbanos.

A IGRA, além das classificações em intensivo também denominado de “*Roof Garden*” ou “Telhado Jardim” e extensivo “*Green Roof*” ou “Telhado Verde”, relatam as mesmas condições anteriormente descritas para a composição do telhado intensivo e extensivo, apresentando também uma terceira forma que não foi tratada em outras referências, trata-se do “*Semi-intensive Green Roof*” ou Telhado Verde Semi-Intensivo, um tipo intermediário entre o telhado verde intensivo e extensivo. Porém, as características desse tipo requer maior manutenção, custos mais elevados e um peso maior se comparado com o telhado verde extensivo.

Para a IGRA, os benefícios dos telhados verdes são:

- Habitat de Animais e Plantas, criando lugares vivazes que conectam refúgios isolados da flora e fauna com os centros estéreis das cidades, promovendo a biodiversidade;
- Retenção das Águas Pluviais, o escoamento para os sistemas de drenagem através do uso do telhado verde que pode ser reduzido de 50% a 90%, já que a maior parte dessa retenção retorna ao ciclo natural da água por meio da transpiração/evapotranspiração.
- Efeitos das Ilhas de Calor, o adensamento urbano e o tráfego aumentam as temperaturas nas cidades em quase 10° C durante o verão, porém, as áreas verdes e parques absorvem até 80% da entrada de energia, além disso, o uso do telhado verde reduz o efeito do calor em decorrência da transpiração que umidifica o ar.
- Redução dos níveis de particulados e poluentes da atmosfera, um metro quadrado de telhado verde pode filtrar 0,2 kg de partículas de poluentes e poeira por ano.
- Cidades e Paisagens, os telhados verdes aumentam visualmente a qualidade de vida nas cidades.
- Aumento da vida útil do telhado, com o uso do telhado verde que protege a impermeabilização da ação do tempo (condições climáticas), a vegetação é um isolante térmico tanto no verão como no inverno.
- Redução dos Níveis de Ruídos, os telhados verdes podem reduzir a reflexão do som em até 3 dB (decibéis) e melhorar o isolamento acústico em até 8 dB (decibéis).
- Isolamento térmico, o telhado verde é considerado um isolante térmico adicional, reduzindo o uso de energia.
- Escudo contra o calor, nos meses de verão reduz a temperatura interna, contribuindo para diminuir os gastos de energia e o uso do ar condicionado.
- Uso do Espaço, os telhados verdes também podem ser utilizados como: habitats de animais e plantas, de visitação, cafés e áreas esportivas.

Figura 14 – Telhado Verde Extensivo
Fonte: IGRA (Internacional Green Roof Association).

Figura 15 – Telhado Verde Semi-intensivo
Fonte: IGRA (Internacional Green Roof Association).

Figura 16 – Telhado Verde Intensivo
Fonte: IGRA (Internacional Green Roof Association).

De acordo com Peck et al. (1999), tanto o telhado verde como o jardim vertical (muros ou paredes) tem como benefícios: a redução dos gases do efeito estufa e o escoamento de água pluvial e, também, criam condições microclimáticas melhores daqueles que se localizam em seu entorno. Ainda os autores ressaltam que na Europa já foram criadas diversas políticas públicas que apoiam essas tecnologias, resultando inclusive, em uma indústria do telhado verde. Portanto, o governo canadense vem se inspirando nestes exemplos, para a aplicação destas novas tecnologias em suas cidades.

Para melhor compreender e comparar esses tipos de telhados a IGRA apresenta a seguinte tabela:

	Telhado Verde Extensivo	Telhado Verde Semi-Intensivo	Telhado Verde Intensivo
Manutenção	Baixa	Média	Alta
Irrigação	Não precisa	Periodicamente	Regularmente
Tipos de Plantas	Musgo, herbáceas e gramíneas	Gramíneas- herbáceas e arbustos	Gramado permanente, Árvores e arbustos
Altura do sistema construtivo	60 – 200 mm	120 – 250 mm	150 – 400 mm
Peso	60 – 150 kg/m ²	120 – 200 kg/m ²	180 – 500 kg/m ²
Custos	Baixo	Médio	Alto
Uso	Proteção Ecológica	Telhado Verde com <i>design</i>	Jardim tipo parque

Tabela 1 – Critérios para a classificação de três formas diferentes de Telhado Verde
Fonte: IGRA (Internacional Green Roof Association, tradução nossa).

Esse tipo de classificação serve como base para a escolha do tipo de cobertura vegetada a ser instalada sobre o telhado, obviamente que custo e manutenção são itens de grande relevância na hora da escolha, deve ser levado também em consideração a estrutura construída, bem como, a sua capacidade de suporte de sobrecarga.

Para Johnston e Newton (2004), ainda relacionado à comparação dos tipos de telhado verde, os autores demonstram por meio da tabela a seguir, as vantagens e desvantagens dessas coberturas vegetadas.

Telhado Jardim Intensivo – tradicional Solo profundo, sistema de irrigação, condições mais favoráveis para as plantas.	Telhado Verde Extensivo – ecológico Solo raso, pouca ou nenhuma irrigação, condições estressantes para as plantas.
Vantagens	Vantagens
<ul style="list-style-type: none"> - permite maior diversidade de plantas/habitats; - boas propriedades de isolamento; - pode simular um jardim que fica acima do chão; - pode ser visualmente atrativo; - utilização diversificada do telhado, por exemplo, cultivo de alimento, e como um espaço aberto. 	<ul style="list-style-type: none"> - baixo peso – geralmente o telhado não precisa de reforço; - indicado para grandes áreas; - indicado para telhados com inclinação de 0° - 30°; - baixa manutenção; - às vezes não precisa de sistemas de irrigação/drenagem; - relativamente é necessário pouco conhecimento técnico; - frequentemente indicado para projetos já existentes; - pode deixar a vegetação desenvolver espontaneamente; - relativamente barato; - visualmente mais natural; - fácil para a autoridade em planejamento demandar o telhado verde como uma condição para permitir a execução.
Desvantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - maior peso sobre o telhado; - precisa de sistemas de irrigação e drenagem (maior necessidade de energia, água, materiais, etc.); - alto custo; - sistemas mais complexos e requer conhecimento técnico. 	<ul style="list-style-type: none"> - maior limite para escolha das plantas; - usualmente não é usado para recreação etc.; - pouco atrativo, especialmente no inverno.

Tabela 2 – Telhado Jardim e Telhado Verde: Uma comparação
Fonte: JOHNSTON; NEWTON, 2004.

Embora existam vantagens em custo e manutenção do telhado verde extensivo, ao adentrar um telhado verde intensivo ou telhado jardim, como foi o caso desta pesquisa, é possível relatar uma sensação de conforto térmico interno no telhado verde e visual

inimaginável, pois no entorno do edifício o que se vê é um centro cinza e concretado, dando ao Edifício Conde Matarazzo um *status* de verdadeiro oásis na região central de São Paulo.

Porém, é possível instalar os telhados verdes em estruturas já construídas, desde que realizado o cálculo estrutural para a verificação de suporte de carga extra a ser adicionado sobre o edifício, ou residência.

Segundo Eisenman (2006), um exemplo foi à instalação do telhado verde sobre um edifício sede já existente da *American Society of Landscape Architects* (ASLA) em Washington D.C., o qual é aberto à visitação pública. Na figura a seguir é possível visualizar o telhado sem e com o telhado verde instalado.

Figura 17 – Implantação do telhado verde em Washington D.C.
Fonte: EISENMAN, 2006. p. 24.

Além disso, a implantação do telhado verde nas coberturas já existentes, ou em construção nos grandes centros urbanos como no caso de São Paulo, são extremamente importantes para que se formem corredores ecológicos, pois a multiplicação desses telhados vegetados podem ligar os centros urbanos com áreas naturais que ficam ao redor das cidades. Como dito anteriormente, o telhado verde do Edifício Conde Matarazzo (Prefeitura de São Paulo) no 14º andar, foi possível encontrar insetos e abelhas atraídos pelas espécies de vegetação existentes.

4.2 – Legislação Municipal para Coberturas Vegetadas no Brasil

No Brasil não existe uma normatização técnica ou lei nacional que regularize a elaboração e os elementos componentes do telhado vegetado.

Em 2011, foi elaborado um Projeto de Lei 1703 que ainda está em tramitação, porém, “Dispõe sobre a instalação do denominado “Telhado Verde” e dá outras providências”. Dentre os artigos se destacam: o artigo 1º e o artigo 4º nos parágrafos II e III, respectivamente

relatam que os condomínios verticais com mais de três unidades agrupadas, devem prever a instalação do Telhado Verde; e sobre a vegetação extensiva, deve ter um solo que varie entre 25 mm e 127 mm de espessura e, uma estrutura que suporte uma carga que varie entre 50 kg/m² e 250 kg/m², já na cobertura intensiva a espessura do solo deve variar entre 150 mm a 300 mm, e uma estrutura que suporte uma carga entre 400 kg/m² e 750 kg/m².

De acordo com Spitzcovsky (2013), o município de Curitiba em 2009 elaborou o Projeto de Lei que propõe o incentivo a implantação do Telhado Verde nas coberturas de edificações no município, dispõe também sobre os tipos de cobertura intensiva e extensiva, bem como, os componentes para a instalação da estrutura.

Para o município de São Paulo, existe um Projeto de Lei nº 115/2009, “Dispõe sobre o desconto no pagamento anual de IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) na adoção de telhados verdes em imóveis em cidades com população superior a quinhentos mil habitantes”, esta ainda não sancionada visa estimular o uso do telhado verde, pois nas cidades que tenham mais de 500 mil habitantes, as residências, edifícios e comércio que implantarem terão um desconto de 5% no valor bruto do IPTU.

Outro Projeto de Lei discutido para o município de São Paulo foi o 01-0615/2009, o qual acresceria o item na Lei nº 11.228 de 1992 do Código de Obras e Edificações, cuja proposta era que os telhados e coberturas das edificações fossem pintadas de branco, foi aprovado em primeira votação em 2010. Segundo Alisson (2011), a publicação denominada “Lei do Telhado Branco pode agravar o aquecimento em São Paulo”, apontou por meio de estudos realizados pela Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica problemas com as tintas comuns utilizadas, as quais em virtude do crescimento de microrganismos podem causar o escurecimento dos telhados, e conseqüentemente, o aumento da temperatura interna e o gasto de energia. Outra consideração a ser feita é que o telhado pintado de branco altera somente o balanço de radiação e não o de energia.

No Estado de Santa Catarina a Lei nº 14243, de 11 de dezembro de 2007, sancionada pelo Governo do Estado, que “Dispõe sobre a implementação de sistemas de naturação através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina”, serão citados os artigos mais importantes:

art. 1º Fica criado no âmbito do Estado de Santa Catarina o Programa Estadual de Incentivo a Adoção de Telhados Verdes em espaços urbanos densamente povoados objetivando:

- I – minimizar as chamadas ilhas de calor;
- II – minimizar a poluição atmosférica;
- III – criar corredores verdes;
- IV – reduzir o consumo de energia elétrica;
- V – atuar como isolantes térmicos; e

VI – promover o desenvolvimento sustentável.

Neste art. 1º, a principal preocupação é com as atuais condições do meio urbano altamente adensado, e os telhados verdes que apesar de atuarem numa escala microclimática, segundo leituras realizadas são capazes de minimizar impactos no clima, reduzir gastos de energia e o escoamento das águas pluviais, além de ampliar a qualidade ambiental nas cidades.

O parágrafo único do art. 2º - fala sobre a área utilizada na implantação dos telhados verdes, que não pode ser inferior a 40% da área total.

É interessante a questão da quantidade de espaço a ser utilizada pelo telhado verde, pois quanto maior a área de implantação, maiores serão os benefícios ambientais para os centros urbanos.

No art. 3º - Fica o Poder Executivo autorizado a criar parcerias, incentivos fiscais e financeiros aos municípios partícipes do Programa.

Assim como em outras cidades, principalmente estrangeiras, o poder público busca parcerias junto ao capital privado e, promove parcelas de isenção nos impostos.

O interessante é que de todas as leis anteriormente citadas, no caso brasileiro a do Estado de Santa Catarina é a única sancionada, todas as outras estão em processo de tramitação.

A falta de leis sobre os telhados verdes colocam o país numa situação de “atraso” quando se refere à resolução de problemas urbanos, principalmente, os climáticos. Pois no caso de São Paulo, onde as Ilhas de Calor foram relatadas desde a década de 1980, por meio do trabalho da Prof^a. Dr^a. Magda Adelaide Lombardo, se faz necessário à implantação de uma lei que implante e regularize o uso do telhado verde, uma vez que a metrópole aumentou o seu processo de adensamento, reduziu seus espaços verdes, além de aumentar o número da frota de veículos, que ocasionam o aumento da poluição e, consequentemente a ilha de calor.

4.3 - Telhados Verdes: Incentivos e Benefícios

Na Argentina, recentemente foi sancionada a lei das coberturas verdes e os prédios que adotarem esse tipo de teto terão desconto no IPTU. De acordo com Rodrigues (2013), os projetos novos já deverão incluir esse tipo de cobertura, além disso, o objetivo da lei é controlar o calor urbano e reduzir o consumo de energia.

Segundo Kohler e Keeley (2005), o telhado verde moderno teve origem na Alemanha de 1880, quando houve uma rápida urbanização em virtude da industrialização. Para evitar o

incêndio dos telhados que utilizavam piche comum, altamente inflamável, H. Koch desenvolveu um telhado menos inflamável, cuja técnica utilizava um tipo especial de piche coberto com uma camada de areia e cascalho.

Os autores ainda destacam os programas de incentivos para o verde desenvolvido pelo governo de Berlim, como o “*Courtyard Greening Program*” que subsidiava metade dos custos de instalação do telhado verde, este vigorou de 1983 até 1997. No nível federal foram elaboradas as leis “*National Nature Protection Law*” e a “*National Building Law*” referentes a avaliação e mitigação local dos impactos ambientais resultantes do novo desenvolvimento. O “*Biotope Area Factor*” denominado de plano paisagístico para áreas altamente adensadas é atualmente usado como guia para o desenvolvimento das cidades. Hoje, mais da metade dos prédios públicos de Berlim tem o telhado verde.

De acordo com Gauzin-Müller (2002), na Alemanha existem incentivos para a instalação dos telhados verdes, onde autoridades locais de Stuttgart e Bremen financiam mais de 50% do custo total (€ 17,90/m²), assim como, Backnang e Duisburg que também incentivam mais de 50%, porém, com um valor maior (€ 25,56/m²). A autora ainda ressalta que:

Outras reduzem os impostos quando o telhado verde é instalado sobre a superfície impermeabilizada: Freiburg im Breisgau, Aix-la-Chapelle, Paderborn e Giessen reduzem os impostos em torno de 50%, enquanto em Hildesheim é reduzido para zero (GAUZIN-MÜLLER, 2002, p. 53).

Os incentivos públicos como redução de impostos ou financiamento de parte da instalação do telhado verde, são importantes para melhorar a qualidade de vida e ambiental nas áreas urbanas, pois podem potencializar a implantação do telhado verde.

Pois a Alemanha, como país vanguardista nas questões de preservação do meio ambiente e sustentabilidade, tem na sua Agência Federal Alemã para a Conservação da Natureza (BfN), a responsabilidade nacional e internacional, tanto em pesquisas como nos programas de financiamento nas áreas de conservação de espécies e conservação da natureza. Atualmente, de acordo com a BfN (Bundesamt für Naturschutz), os parques naturais cobrem 27% da superfície da Alemanha, com um total de 9,5 milhões de hectare, ou 95.000 km². Como pode ser visto na figura 18.

Figura 18 – Área dos Parques Naturais na Alemanha
Fonte: BfN (Bundesamt für Naturschutz). Naturparke in Deutschland.

Para Mikami (2005), em Tóquio a ilha de calor urbano teve seu primeiro registro em 1939, porém, nos anos de 1980 e 1990 ocorre um segundo “boom” de crescimento potencializando os problemas da cidade com o aumento do uso de combustível fóssil e demanda de energia. A gravidade dos problemas climáticos particularmente os que afetaram a saúde humana, demandaram uma resposta do governo municipal. Em 2001, foi realizado um estudo sobre a porcentagem de superfícies impermeabilizadas que absorve o calor, constatando um calor de 37% a mais que no meio natural. Nesse mesmo ano o Governo Metropolitano de Tóquio baseado no plano verde de Kojima, incluiu os telhados verdes para as novas construções. Depois de um ano da lei em vigor dobrou a área total dos telhados verdes de 52.428 m² para 104.412 m².

De acordo com Frith e Gedge (2005), as políticas governamentais de Londres e Grã-Bretanha até a década de 1990 ignoravam os telhados verdes, havia uma escassez de normas e diretrizes técnicas. Depois de 1993, o governo de Londres por meio do “*Greater London Authority*” (GLA) deu suporte para os telhados verdes inserindo o tema nas políticas públicas.

Em Chicago, segundo o “*City of Chicago Department of Enviroment*” e o “*City of Chicago Department of Planning and Development*” (2005), incentivou o desenvolvimento dos telhados verdes no setor privado. Em 2002, a cidade modificou o planejamento municipal incluindo os telhados verdes nas construções. Os dois departamentos acima citados implantaram vários incentivos políticos como o zoneamento com bônus para quem instalasse o telhado verde em áreas altamente adensadas no distrito financeiro, ofereceu aos construtores um incentivo fiscal para a inclusão do telhado verde, inseriu o telhado verde no código de energia, bem como, novas regulamentações sobre a reflectância mínima dos novos telhados permitindo o uso do telhado verde e de painéis solares no lugar de materiais reflectivos.

Eisenman (2006), aponta o desenvolvimento dos telhados verdes em cidades norte-americanas e a questão da implantação dos telhados verdes por meio das políticas de incentivo.

Chicago lidera a implantação dos telhados verdes com mais de 914.400 m², que são atribuídos a um conjunto de programas e políticas. Outras cidades como Portland, Oregon e San Diego tem um programa de bônus por densidade, enquanto Toronto optou por um programa piloto que provê um subsídio de \$3 por pé quadrado até o limite de \$20.000 (EISENMAN, 2006 p. 28).

No caso de Chicago – EUA, o uso deste tipo de estrutura verde está sendo implantada em diversos telhados, pois são gerados impactos positivos de grande relevância ambiental para o meio urbano.

De acordo com o “*Chicago Climate Action Plan*”, o telhado verde que utiliza diferentes tipos de vegetação representa a eficiência do seu uso, quando comparado a um

telhado sem vegetação, pois as diferentes temperaturas radiantes podem ser vistas por meio da imagem termal.

Dos 6.187 metros quadrados de telhado verde sobre a Prefeitura de Chicago, o qual foi implantado pelo prefeito Daley e finalizado em 2001. O jardim é o habitat de mais de 20.000 plantas herbáceas, incluindo 100 arbustos lenhosos, 40 vinhas e 2 árvores. Como a imagem direita mostra, em um típico dia de agosto temperaturas entre 32° e 35° Celsius, a temperatura ambiente do ar sobre o telhado verde da Prefeitura é de 4° e 5° C mais fresco do que o telhado sem cobertura (Strategy1.Energy Efficient Buildings, s/d, tradução nossa)

Figura 19 – Comparação da temperatura entre o telhado sem cobertura “Cook County” e a parte do *green roof* sobre a Prefeitura de Chicago

Fonte: CHICAGO Climante Action Plan.

Ao observar a imagem captada por termovisor Flir a direita é possível verificar que no telhado verde a temperatura radiante da superfície gira em torno de 23° C (parte vegetada e sombra), em contraposição ao telhado sem cobertura que chega a 66° C, deste modo comprovando a eficiência do uso de estruturas verdes no topo dos prédios.

Para o *Green Roof for Healthy Cities* anunciou em 2011 que o crescimento da indústria de telhados verdes foi de 28,5%, acima dos significativos 16% registrados em 2009, entre as 10 regiões metropolitanas que mais implantam telhados verdes, a de Chicago tem liderado a lista nos últimos 7 anos, tendo registrado em 2011 a instalação de 152.400 m².

Chicago está orgulhosa do nosso progresso na promoção e instalação dos telhados verdes, considerando os vários benefícios que eles promovem na colaboração com o Plano de Ação Climática de Chicago. Eles incluem: coleta de água pluvial; isolamento térmico; redução da ilha de calor local e novos espaços verdes para as pessoas e a animais. Telhados Verdes são apenas uma parte do plano de suporte para soluções em infraestruturas verdes de Chicago, com o intuito de fazer das cidades locais melhores ambientalmente para se viver por meio do design sustentável e programas inovadores, diz Suzanne Malec-McKenna Chefe do Departamento de Meio Ambiente de Chicago (GREEN ROOF FOR HEALTHY CITIES, s/d tradução nossa).

Figura 20 – Prefeitura de Chicago, telhado verde
Fonte: Chicago Green Roof Program.

Além de todos os benefícios apontados, o “*Chicago Department of Environment*” elaborou um guia denominado de “*A Guide to Rooftop Gardening*” através do qual consideração capacidade estrutural pelo Código Municipal que deve ser de 30 lbs/ft², que seriam 146,47 kg/m² considerados para o peso da neve, para um telhado verde extensivo seria entre 97,65 a 166 kg/m² e para um intensivo seria de 390 a 732,4 kg/m², também são considerados custos que na cidade de Chicago chegam a 50% a mais que um telhado convencional, além de tipos de plantas, sistemas de drenagem, irrigação e manutenção.

Outras cidades como Portland, Toronto e Nova Iorque, a implantação do telhado verde está concentrada no setor privado, mas os governantes por meio de programas e incentivos buscam aumentar a adesão desse tipo de cobertura em virtude dos benefícios gerados pela mesma.

4.4 - Telhados Verdes e Minimização das Condições Termohigrométricas Locais

A vegetação utilizada nos telhados verdes são de extrema importância quando relacionadas as características climáticas do país, pois a resistência das plantas ao calor e ao frio, bem como, aos períodos úmidos e secos devem ser consideradas.

No Brasil, as regiões de clima tropical apresentam duas estações perceptíveis, uma chuvosa que vai de setembro a março e, outra seca, cujo período vai de abril a agosto, as quais podem interferir no desenvolvimento das plantas caso estas sejam sensíveis a um desses fatores.

Ferraz e Leite (2011), desenvolveram uma pesquisa com telhado verde extensivo de grama-amendoim no município de São Paulo, esse tipo de vegetação demonstrou sensibilidade no período mais seco, necessitando de regas, apesar de fácil manutenção. Ressalta o desempenho térmico no substrato devido à geometria foliar horizontal, além de abrigar diversos tipos de animais de pequeno e médio porte.

Beatrice (2011), avaliou três espécies de grama (batatais, amendoim e preta) para coberturas leves de telhados, utilizou plataformas com profundidades de solo diferenciadas de 5,0, 7,5 e 10 centímetros e a 15 centímetros do solo, analisando temperatura do ar e radiação solar global, temperatura do solo, precipitação e resposta de crescimento da cobertura vegetal durante um ano.

Como resultado, o autor destaca que durante a primavera e o verão com disponibilidade hídrica natural, as espécies tiveram resultados satisfatórios de crescimento, porém, durante o inverno com baixa disponibilidade hídrica e intensa radiação as espécies responderam de forma diferenciada com relação à profundidade do solo.

Almeida (2008), realizou uma pesquisa em que simulou por meio de programas computacionais (Energy Plus e Ecotec) a comparação sobre a eficiência de isolamento térmico em diversos tipos de coberturas, com e sem vegetação, compostas por telhas e lajes sobre um modelo protótipo de uma casa na cidade do Rio de Janeiro. Os dados utilizados para a análise são referentes ao ano de 2007. Os resultados relacionados à temperatura foram maiores nas coberturas de fibrocimento, nas coberturas vegetadas sobre laje de concreto a temperatura máxima interna foi menor nos dias de maior radiação solar. A telha de fibrocimento quando vegetada também retarda o aquecimento interno.

O autor acima citado, ainda ressalta que nos telhados verdes as camadas de substrato e o tipo de vegetação apresentam pequenas variações na temperatura interna. Conforme demonstrado nos gráficos a seguir:

Figura 21 – Resultados da simulação para o dia 05 de dezembro (EnergyPlus)
Fonte: ALMEIDA, 2008. p.78.

Figura 22 – Resultados da simulação para o dia 09 de janeiro (EnergyPlus)
Fonte: ALMEIDA, 2008. p.78.

Almeida (2008), apresenta um outro fator relacionado a questão da precipitação presente no gráfico do dia 9 de janeiro, quando ocorre a temperatura da superfície das

diferentes coberturas chegam próxima da temperatura externa, refletido no calor transmitido para a parte interna do protótipo.

Beyer (2006), analisou o desempenho térmico do ecotelhado (Telhado Verde) durante dezembro de 2006, foram montadas duas caixas, ambas com telhado de amianto, porém, uma delas com o ecotelhado, conforme figura 23:

Figura 23 – Experimentos para medição do desempenho do Ecotelhado
Fonte: BEYER, 2006. p.1.

Foram realizadas medidas da radiação e da temperatura externa das caixas, o autor destaca que a temperatura do ar interna da caixa com o ecotelhado foi semelhante à temperatura máxima externa que oscilou entre 34 ° C e 39° C, sendo 1° C menor que a temperatura do ar externa, já a temperatura interna da caixa com telhado sem cobertura vegetal apresentou uma variação entre 43 ° C e 47° C, ou seja, quase 10° C a mais que a temperatura interna da caixa com a ecotelha. Outro ponto a ser destacado é que durante a madrugada o ar interno da caixa com a ecotelha ficou mais quente, isso devido ao isolamento térmico.

Figura 24 – Evolução das temperaturas externa e interna das caixas
Fonte: BEYER, 2006. p.3.

Beyer (2006), em outro gráfico apresenta as variações entre a temperatura externa (linha em azul), e interna do ecotelhado (telhado verde) linha verde e, do telhado normal em vermelho.

Figura 25 – Evolução das temperaturas externa e interna das caixas
Fonte: BEYER, 2006. p. 4.

Neste gráfico, a temperatura do ecotelhado praticamente acompanhou a temperatura do ar externa, ficando em torno de 2° C menor, já o telhado normal a temperatura interna foi de 53° C e 57° C, ou seja, o telhado normal aqueceu 20°C a mais que a ecotelha.

Porém, a ecotelha mantém o calor do telhado durante a madrugada, como pode ser visualizado no gráfico, já o telhado normal perde calor. Por meio desse estudo, Beyer (2006), comprova os benefícios do telhado verde, tanto como isolante térmico, como diminui o aquecimento da telha acima e abaixo da mesma.

Esse estudo apresenta resultados interessantes sobre o uso do telhado verde, porém, analisa a temperatura interna das caixas, demonstrando a variação com e sem o telhado verde, cujos resultados comprovam a eficiência da cobertura vegetada.

Já a pesquisa realizada no Edifício Conde Matarazzo (Prefeitura de São Paulo), analisou a temperatura e a umidade relativa do ar na parte somente na externa do telhado vegetado, sendo comparado com o telhado de concreto, cujas análises gráficas estão no capítulo 7 apresentando as mesmas correlações das variáveis externas.

Apesar de não ter sido o escopo da pesquisa, na UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), foi realizado um estudo referente ao escoamento da água pluvial.

Segundo o estudo de Castro e Godenfum (2008), foram instalados quatro módulos sendo dois terraços e dois telhados com declividade de 15° (graus), sendo um terraço e um telhado com declive cobertos pelo telhado verde e os outros dois sem cobertura vegetal. Para captar a água pluvial foram instalados dois reservatórios para cada módulo, onde sensores de níveis foram ligados a um datalogger (no reservatório principal) para fazer as leituras no período de maio a agosto de 2008.

Figura 26 – Módulo experimental com telhado verde (ecotelhas) – IPH/UFRGS
Fonte: CASTRO; GOLDENFUM, 2008. p. 3.

A partir dos dados coletados pelos autores relacionados às características de cada evento pluviométrico, o tempo inicial de escoamento e volumes acumulados, as conclusões foram as seguintes:

Para os eventos estudados, os telhados e terraços com cobertura vegetal têm uma redução no escoamento superficial de até 97,5 e 100% respectivamente nas primeiras 3 horas após o início da chuva. Já 6 horas após o início da chuva, a redução no escoamento superficial diminui para uma taxa de 70 a 100% no terraço e de 26,6 a 100% no telhado, dependendo do evento de chuva (CASTRO; GOLDENFUM, 2008, p. 5).

Portanto, além da redução de temperatura externa e interna, como demonstrado no estudo anteriormente citado, o telhado verde ainda se mostra eficiente na questão do escoamento superficial, ou seja, na retenção da água para as galerias pluviais como comprovado nessa pesquisa.

As pesquisas realizadas no Brasil mostram que o telhado verde é eficiente tanto na redução do calor externo, como também é um isolante na transferência de calor para a área interna, além de reter e reduzir o escoamento superficial da água pluvial.

A seguir serão elencadas outras pesquisas realizadas no exterior, em diferentes cidades do mundo, abrangendo a baixa e média latitude, algumas pesquisas chegaram a implantar os telhados verdes para obter dados e analisar resultados, estas relatam a temperatura externa, interna, de superfície, transferência de calor e pluviosidade.

Dentro da questão relacionada à pluviosidade, o estudo realizado por Hathaway, Hunt e Jennings (2007) sobre o telhado verde no Wayne Community College (WCC), em Goldsboro, na Carolina do Norte com aproximadamente 70 m², com profundidade variadas do substrato, sendo respectivamente, 75 mm e 100 mm. Os resultados foram de que os telhados retiveram 64% da precipitação total e reduziram em mais de 75% os picos médios de fluxos.

A questão sobre o aquecimento dos centros urbanos, bem como, os seus impactos tem sido discutido em diversas partes do mundo, onde pesquisas e novas tecnologias são empregadas para se minimizar os efeitos do calor nas cidades, como por exemplo, os telhados verdes.

Porém, nas médias latitudes o aquecimento nos centros urbanos também apresenta um motivo de preocupação, uma vez que a formação das ilhas de calor urbanas impactam o meio ambiente e a saúde humana.

Para Plegde e Scholz-Barth (2005), os centros urbanos nas médias latitudes, durante o verão são mais quentes que as áreas do entorno variando entre 1°C e 4°C. A intensidade do gradiente varia de acordo com o clima, a topografia e o desenho urbano.

Os autores destacam que a cidade de Nova Iorque é 2° C ou 3° C mais quente que a periferia, já em cidades tropicais o efeito é maior, como na cidade do México com 9° C de diferença. No Japão, durante o século XX houve um aumento de 0,5° C, em Tóquio a temperatura aumentou para 2,8° C.

Pledge e Scholz-Barth (2005), ressaltam que existem dois caminhos para mitigar a ilha de calor urbana, sendo: o aumento da vegetação e o aumento da superfície de reflectância. Segundo os autores, “enquanto um telhado típico impermeabilizado pode aquecer 71° C num dia de verão, os telhados verdes e outras superfícies vegetadas raramente excedem 27° C” (PLEDGE ; SCHOLZ-BARTH, 2005, p. 17).

Portanto, com o uso do telhado verde pode reduzir o efeito do calor e, também, o uso de energia, uma vez que esse tipo de cobertura apresenta um excelente desempenho térmico, resultando numa diminuição da temperatura interna de residências e edifícios.

Outra pesquisa sobre o desempenho do telhado verde foi realizada pelo NRC (Conselho Nacional de Pesquisa), situado em Ottawa no Canadá em 2003. A pesquisa analisou a as temperaturas de flutuação de dois telhados, sendo um com cobertura vegetal extensiva e outro sem cobertura. Durante a pesquisa, realizada por Liu e Baskaran (2003), sobre o “Desempenho Térmico dos Telhados Verdes” comprovam a sua eficiência. Os resultados da pesquisa demonstram segundo os autores, que o telhado sem cobertura vegetal chegou a mais de 70° C no verão, já o Telhado Verde raramente alcançou 30° C.

Figura 27 – Telhado Verde Extensivo instalado no Campus de Ottawa, Canadá.
Telhado Referência à esquerda e o Verde a direita
Fonte: LIU; BASKARAN, 2003. p. 9.

Os autores ressaltaram na pesquisa que:

O telhado verde modificou a variação da temperatura na membrana do telhado experimental, principalmente nos meses mais quentes. A variação da temperatura média no telhado comum durante a primavera e no verão ficou em torno de 45° C, enquanto, no telhado verde a variação da temperatura reduziu para 6° C. O telhado verde também moderou o fluxo de calor. A média diária de energia no espaço condicionado devido o fluxo de calor através do telhado foi de 6 -7,5 kWh/dia e de 1,5kWh/dia, respectivamente para o telhado comum e o telhado verde, resultando numa redução de mais de 75% (LIU; BASKARAN, 2003, p. 6).

Em outra pesquisa também desenvolvida pelo Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá (NRC), trabalhou com a “Avaliação do Desempenho do Telhado Verde”, nesse foram instalados dois telhados verdes com variação do substrato leve (extensivo), um contendo 100 mm (sistema G) com substrato de grânulos de cor clara, e o outro, contendo um substrato de 75 mm (sistema S) com grânulos de cerâmica porosa de cor escura e o telhado referência sem cobertura vegetal.

De acordo com Liu e Minor (2005), durante o verão, o telhado referência absorveu a energia solar e atingiu a temperatura de 66° C por volta das 14 horas, já o telhado verde (sistema S) atingiu 38° C às 18 horas e 30 minutos e o (sistema G) 36° C às 19 horas e 30 minutos. Os autores destacam que:

A transferência de calor para a parte interna do prédio no telhado referência começou com o nascer do sol 6 horas, atingindo uma intensidade de 15W/m², permaneceu o dia todo até o sol se por as 18 horas, já os telhados verdes reduziram o fluxo de calor com um pico de 2,5 W/m², o sistema G com uma profundidade maior do substrato 100 mm e com grânulos de cor clara atrasou e reduziu a transferência de calor, já o sistema S com um substrato de 75 mm e com grânulos escuros a temperatura subiu mais rapidamente. Ou seja, o telhado verde (sistema G) apresentou melhor desempenho térmico que o telhado verde (sistema S) durante o verão” (LIU; MINOR, 2005, p. 4).

De acordo com Liu e Minor (2005), no inverno com uma cobertura de neve de 25 mm, a temperatura da membrana no telhado referência era de 0°C, já os telhados verdes congelaram, mas a temperatura interna foi mais fria no início da noite e mais quente durante o dia. A taxa de perda de calor ao longo do dia no telhado referência foi de 8-9 W/m² e nos telhados verdes de 6-8 W/m². Os autores ressaltam que:

Embora o telhado verde (sistema G) tenha um substrato mais profundo (100 mm) e o telhado verde (sistema S) 75 mm, os meios de cultura ao serem congelados não contribuíram para o isolamento extra no sistema de cobertura durante o inverno (LIU; MINOR, 2005, p. 5).

Portanto, o uso dos telhados verdes nas médias latitudes apresentam problemas em virtude da neve, pois o congelamento da vegetação não proporciona o isolamento térmico, já nas baixas latitudes como é o caso da pesquisa realizada em São Paulo, esse problema não

ocorre, porém, a vegetação tem que ser resistente ao período mais seco, o qual é característico no inverno tropical.

No Centro de Energia Solar da Universidade da Flórida Central, foi realizado um estudo sobre “A avaliação do desempenho de Energia do Telhado Verde”, segundo Sonne (2006), o projeto foi realizado num telhado com 307m², onde metade era composto por telhado comum recoberto com uma membrana clara e, a outra metade com o telhado verde composto de gramíneas e pequenas plantas.

Figura 28 – Telhado Verde, Abril, 2005 e Agosto de 2005
Fonte: SONNE, 2006. p. 59.

Os resultados das análises entre 4 de julho e 1º de setembro de 2005, verão no hemisfério norte, foram de que “A média da temperatura máxima diária na superfície do telhado convencional foi de 54° C, enquanto a média da temperatura máxima diária na superfície telhado verde foi de 33° C, ou 22°C menor do que no telhado convencional” (SONNE, J, 2006, p. 60, tradução nossa).

Segundo o autor, ocorre uma significativa mudança nos picos de temperatura, no telhado convencional por volta de 13 horas, no telhado verde por volta das 22 horas. A média da temperatura mínima no telhado convencional é de 22° C e, no telhado verde é de 29° C.

É importante destacar que a Flórida está na baixa latitude, e que o telhado verde armazena calor, ficando mais quente durante o período noturno, outro fator a ser destacado é que o telhado convencional fica exposto (a céu aberto), ou seja, perde calor rapidamente, já o telhado verde é recoberto por solo e plantas, armazenando o calor.

Em Nova Iorque, a pesquisa desenvolvida Gaffin, Khanbilvardi e Rosenzweig (2009) sobre telhados verdes, realizou a coleta de dados de albedo, radiação, temperatura e fluxo de calor captadas por meio de cinco estações meteorológicas em pontos diferentes da cidade conforme a (figura 29). Em Fieldston, Columbia e Con Ed, os telhados são extensivos, com profundidade média de 10 cm ou menos, respectivamente, as estações nas duas primeiras

localidades estão separadas por aproximadamente 10 km de distância. Já as outras estações correspondem a telhados verdes semi-intensivos, cuja profundidade média é de 15 cm ou mais.

Figura 29 – Localização das estações meteorológicas sobre os telhados verdes
 Fonte: GAFFIN; KHABILVARDI; ROSENZWEIG, 2009. p. 2651.

Neste caso, os dados interessantes de serem ressaltados são o de albedo e temperaturas, sendo a última de grande importância uma vez que a pesquisa realizada na cidade de São Paulo sobre o telhado verde trabalhou com dados de temperatura.

Segundo Gaffin, Khanbilvardi e Rosenzweig (2009), o albedo do telhado verde em julho de 2008, a (figura 30) demonstra um ciclo do albedo diurno e em forma de U, devido ao ângulo de incidência dos raios solares durante o dia, sendo minimizado ao meio-dia quando o ângulo de incidência é menor, já o tempo médio de albedo para Julho de 19,6%.

Figura 30 – Albedo do telhado verde durante Julho de 2008
 Fonte: GAFFIN; KHABILVARDI; ROSENZWEIG, 2009. p. 2653.

Com relação a temperatura (figura 31), os autores compararam um telhado de membrana preta, o telhado verde com 10 cm de profundidade e a temperatura do ar. No telhado convencional (membrana preta) com picos de calor de aproximadamente 80° C, sendo os telhados uma das principais fontes de calor urbano, durante a noite resfriam rapidamente.

Figura 31 – Comparação da superfície das membranas dos telhados convencionais e verde
 Fonte: GAFFIN; KHABILVARDI; ROSENZWEIG, 2009. p. 2656.

A membrana do telhado verde apresenta um ciclo térmico reduzido devido o arrefecimento das plantas e do meio de crescimento, minimizando o calor urbano produzido pelo telhado, aumentando a durabilidade da membrana do telhado em virtude da dilatação e retração produzida pela temperatura.

Portanto, todas as pesquisas mencionadas sobre as comparações entre o telhado convencional e o telhado verde, demonstram a eficiência deste último, tanto com relação a redução da temperatura, redução do albedo, conforto térmico interno devido a redução da transmissão de calor do telhado, além de reduzir o escoamento superficial das águas pluviais, possibilitando melhorar as condições do clima urbano.

5 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região central do município de São Paulo, também denominado de “Centro Histórico”, sendo os objetos da pesquisa em questão os dois edifícios localizados entre a Rua Líbero Badaró e o Vale do Anhangabaú (figura 32), sendo estes a sede da Prefeitura do Município de São Paulo (localizada no Viaduto do Chá, Rua Dr. Falcão Filho, esquina com a Rua Líbero Badaró), a qual ocupa o Edifício Conde Francisco Matarazzo (coordenadas geográficas 23° 32' 51.64" S e 46° 38' 15.32" O) e o Edifício Mercantil/Finasa (coordenadas geográficas 23° 32' 47.52" S e 46° 38' 11.87" O), respectivamente, compostos pelo “Telhado Verde” (cobertura vegetada) e “Telhado de Concreto” (somente a laje), ambos entre o “triângulo histórico” composto pelo Largo São Bento, Largo São Francisco e Praça da Sé (figura 33).

Figura 32 – Localização dos Edifícios Conde Francisco Matarazzo, Mercantil/Finasa e das ruas Dr. Falcão Filho, Líbero Badaró, Viaduto do Chá e o Vale do Anhangabaú
Fonte: GOOGLE EARTH, 2008.

Figura 33 – Área do Triângulo Histórico
Fonte: GOOGLE EARTH, 2008.

A escolha dessa área ocorreu devido ao estudo anteriormente produzido relacionado às Ilhas de Calor na Metrópole de São Paulo, o qual demonstra que a região, em virtude do adensamento urbano, padrão construtivo verticalizado, grande circulação de veículos, concentração de poluentes e falta de espaços vegetados, produz o aquecimento da atmosfera ocasionando o aumento do calor, instigando desse modo, a análise do microclima na cobertura dos edifícios e, como, essas respondem a radiação solar mediante o processo de absorção de calor e emissão de calor.

A partir da definição dos objetos a serem estudados, optou-se por medir duas variáveis sendo estas a temperatura e umidade do ar em ambas as coberturas dos edifícios, para que fosse realizada a comparação e os efeitos e respostas desses telhados no microclima.

Os edifícios estão localizados na borda direita do Vale do Anhangabaú estando sujeitos praticamente às mesmas condições dos ventos locais e de insolação. Porém, há uma diferença entre os edifícios, pois a Prefeitura possui quatorze andares até a cobertura, mas apenas a face leste possui outros edifícios, mesmo assim, a construção tem um recuo considerável em virtude de estar separado pelas ruas Dr. Falcão Filho e Líbero Badaró. Já o Edifício Mercantil/Finasa tem trinta e cinco andares até a cobertura/heliporto (figura 34).

Figura 34 – Visão em 3D dos Edifícios Conde Francisco Matarazzo e Mercantil/Finasa
Fonte: GOOGLE EARTH, 2008.

Um outro fator importante na caracterização dos objetos de estudo são os padrões construtivos e a época diferentes,

Segundo Tonhão (1993), o arquiteto italiano Marcello Piacentini foi contratado pelo Conde Matarazzo para fazer a Villa Matarazzo e o prédio administrativo das Indústrias Matarazzo, onde hoje se encontra a Prefeitura do Município de São Paulo. O prédio é composto por grandes janelas que constituem uma hierarquia vertical e horizontal, além de colunas decoradas que retratam a agricultura, a indústria e a ciência, que geram riqueza para a sociedade e que se encontram no grande hall central com 15 metros de pé direito, além de cinco pórticos sendo que um maior dá acesso à entrada principal. Acima dos pórticos da entrada foram esculpidas atividades econômicas exercidas pela Família Matarazzo.

Figura 35 – Edifício Conde Matarazzo
 Autoria: CATUZZO, 2013.

Ainda segundo o mesmo autor, o prédio é todo revestimento de mármore *travertino carrara* trazido da Itália. A arquitetura trazida por Piacentini apresenta características racionalistas e a modernidade do *Novecento* italiano que foi incorporada pelo regime fascista, para o qual realizou diversos projetos arquitetônicos, durante a ditadura de Mussolini.

De acordo com Tonhão (1993), o Edifício Conde Matarazzo (figura 35) inaugurado em 1939, apresenta a mesma composição em suas quatro fachadas, além da cobertura-jardim, projetado para fazer parte do Novo Vale do Anhangabaú, cuja proposta do projeto foi realizada em 1935.

Para Oliveira (2008), a arquitetura de Piacentini e os projetos realizados para a família Matarazzo influenciaram a estética urbana de São Paulo, numa época em que o Estado construía edifícios públicos marcados pela monumentalidade. Destaca ainda que a obra mais importante da escola Piacentiana é o edifício Conde Matarazzo, sendo a maior construção em *travertino romano* no mundo (figura 36 – A e B).

Figura 36 – Edifício Conde Matarazzo, fachada de travertino
 Autoria: CATUZZO, 2012.

O prédio apresenta três entradas uma pela Rua Dr. Falcão Filho, a principal pela Praça do Patriarca e, outra no Vale do Anhangabaú.

Uma característica interessante observada durante a pesquisa é que em virtude padrão construtivo os andares não são refrigerados por ar condicionado, cuja circulação de ar é proporcionada pelas grandes janelas, sendo também perceptível a mesma condição no grande *hall* principal, e também, na entrada pela Rua Dr. Falcão Filho.

Porém, no último andar encontra-se o telhado verde e/ou jardim que dá acesso a heliporto. Foi neste local que se desenvolveu a pesquisa durante um ano e onze dias de coleta de dados relacionados a temperatura e umidade no microclima desse local. As faces oeste (figura 37), leste (figura 38) e norte (figura 39 – A e B) são totalmente vegetadas havendo corredor de passagem formando um arco fechado pela vegetação de porte arbustivo, médio e grande porte, além de um pequeno lago.

Figura 37 – Telhado Verde Intensivo – Face Oeste – Edifício Conde Matarazzo
Autoria: CATUZZO, 2012.

Figura 38 – Telhado Verde Intensivo – Face Leste – Edifício Conde Matarazzo
Autoria: CATUZZO, 2012.

Figura 39 – Telhado Verde Intensivo – Face Norte – Edifício Conde Matarazzo
Autoria: CATUZZO, 2012.

Figura 40 – Face Sul – Única não vegetada
Autoria: CATUZZO, 2012.

Entre o jardim que corresponde ao telhado verde e o andar que dá acesso à cobertura, existe um vão de aproximadamente 1,5 metros. Ao se adentrar neste vão foi possível verificar que não ocorrem infiltrações provenientes da estrutura que contém a vegetação. Segundo informações do funcionário que cuida do jardim da Prefeitura, o nível de terra é de aproximadamente 50 centímetros.

Um aspecto relevante a ser relatado é que, mesmo com o heliporto o vento ocasionado pela descida dos helicópteros não influenciou na temperatura e umidade, pois a área escolhida para a instalação do abrigo meteorológico, juntamente com o datalogger estava sob uma vegetação mais densa, a qual barrava grande parte do vento produzido.

No telhado verde foram instalados abrigos meteorológicos nas duas faces de maior incidência de sol, sendo o Sensor 1 colocado na face leste (figura 41) e o Sensor 2 na face oeste (figura 42). Uma diferenciação dessas faces é que onde estava localizado o Sensor 1 a vegetação é mais esparsa, já no Sensor 2 a vegetação é mais densa e com a presença de árvores de médio e grande porte. E o Sensor 3 (figura 43) foi instalado na laje de concreto do

Edifício Mercantil/Finasa. Na figura 44, estão representados os pontos de localização dos sensores 1, 2 e 3 no topo dos edifícios estudados.

Figura 41 – Sensor 1- Face Leste – Telhado Verde
Autoria: CATUZZO, 2012.

Figura 42 – Sensor 2 – Face Oeste – Telhado Verde
Autoria: CATUZZO, 2012.

Figura 43 – Sensor 3 – Telhado Concreto – Mercantil/Finasa
Fonte: CATUZZO, 2013.

Figura 44 – Localização dos sensores 1 e 2 no telhado verde (Edifício Conde Matarazzo/Prefeitura de São Paulo) e sensor 3 no telhado de concreto (Edifício Mercantil/Finasa)
Fonte: GOOGLE EARTH, 2008.

Outra observação importante é que mesmo no 14º andar foi possível verificar a presença de insetos como abelhas e até mesmo de pássaros, que se alimentam de algumas árvores frutíferas presentes no telhado verde.

A vegetação é composta por diversas espécies, inclusive algumas raras, que dão a este local uma característica rara em pleno centro de São Paulo.

O Edifício Mercantil/Finasa (figura 45-A) segundo informações da administração deste foi inaugurado em 1974 sendo o início da obra em 1970, com características arquitetônicas modernas, construído pela Gomes de Almeida Fernandes, atual Gafisa. Tem sua estrutura externa revestida toda em vidro com caixilhos de alumínio (figura 45-B), contendo 10 elevadores no hall interno, sendo totalmente resfriado por um sistema de ar condicionado central. Caracterizando a modernização da cidade de São Paulo, bem como da economia, fazendo parte da paisagem de arranha-céus, tem 35 andares até chegar ao heliporto e 129 metros de altura.

Figura 45 – Edifício Mercantil/Finasa
 Autoria: CATUZZO, 2012.

O sensor 3 foi instalado no lado sul, próximo da face oeste voltada para o Vale do Anhangabaú do Edifício Mercantil/Finasa (figura 46-A), cuja cobertura é toda em concreto, onde a insolação ocorre por igual em toda a extensão. Este local foi pensado em virtude da influência das condições microclimáticas presentes no Vale (figura 46-B), assim como, a face oeste do Edifício Conde Matarazzo.

Figura 46 – Sensor 3 – Edifício Mercantil/Finasa
 Autoria: CATUZZO, 2012.

Figura 47 – Telhado Convencional – Edifício Mercantil/Finasa
Formação de fungos e microrganismos deixando o telhado escuro
Autoria: CATUZZO, 2012.

Um fato a ser destacado é a existência de nove torres de resfriamento dos cinco sistemas de ar condicionado que se localizam aproximadamente dois andares abaixo do nível do heliporto. A ventilação desse sistema não proporciona o aquecimento da área onde se encontrava o ponto de coleta. Dessa forma, não influenciando na captação dos dados de temperatura e umidade, os quais estão diretamente relacionados à absorção e emissão de calor do próprio concreto.

Porém, a sensação de calor e a aridez do concreto, são perceptíveis mesmo sem a medição dos dados de temperatura e umidade, pois ao sair do telhado verde da Prefeitura e ir para o telhado de concreto do Edifício Mercantil/Finasa a sensação de conforto térmico é muito diferente.

Mesmo com a diferença de altura entre os prédios foi possível verificar a diferença entre os microclimas e como influenciam o local, neste caso, as coberturas.

5.1 - Vegetação da Área de Estudo

A composição vegetal do telhado verde existente no Edifício Conde Matarazzo é extremamente variada. Algumas espécies foram catalogadas e nomeadas. A altura das plantas vão desde o porte arbustivo até árvores médio e grande porte, como por exemplo, as palmeiras, essas e as demais cuja altura chegam a aproximadamente três metros, são fixadas com cabo de aço para que não tombem devido o vento natural e o produzido pelo helicóptero.

A variedade de tamanhos da vegetação, as copas tipos de árvores e diversos padrões de folhagem (figura 48 - A, B, C, D, E e F) influenciam no microclima do telhado, pois a sensação, mesmo sem medir a temperatura é muito agradável, uma vez que as coletas de dados sempre foram realizadas no período da tarde entre 14 e 15 horas. Ao adentrar a vegetação é possível perceber que o solo é úmido, havendo grande quantidade de folhas no mesmo, o que naturalmente aduba a terra (figura 48 - G, H e I).

Figura 48 – Copas das árvores e folhagem no solo
 Autoria: CATUZZO, 2012.

As folhas são de tamanhos variados podendo ser pequenas e grandes, assim como, os galhos e os troncos das árvores e arbustos que permitem o controle microclimático do telhado. No lado oeste (figura 49) onde estava o sensor 2 é perceptível uma vegetação de características mais fechada e um porte arbóreo mais alto, influenciando a entrada de luz, a absorção da radiação solar e a emissão da mesma.

Figura 49 – Face Oeste – Lado com vegetação densa do Telhado Verde
 Autoria: CATUZZO, 2012.

Porém, no lado leste (figura 50) onde foi instalado o sensor 1, a vegetação é menos densa, com árvores mais espaçadas, porte mais baixo e folhas mais largas, apesar da presença de vegetação de grande porte, já o solo apresenta uma característica menos úmida.

Figura 50 – Face Leste – Vegetação esparsa do Telhado Verde
 Autoria: CATUZZO, 2012.

Além de ocasionar um impacto positivo no microclima, outra grande vantagem do telhado vegetado, apesar de não ter sido o escopo da pesquisa, é a captação da água da chuva que fica retida por mais tempo e não escoar imediatamente para as galerias pluviais, uma vez que essa molha o solo do telhado verde, cuja permanência da umidade no solo é perceptível após a chuva. Outro aspecto a ser destacado é o vento, o qual é reduzido em virtude da vegetação, como dito anteriormente, perceptível até mesmo na descida de helicópteros. Porém, esses dois últimos fatores ligados à pluviosidade e ao vento foram visuais, podendo ser outras variáveis para uma nova pesquisa.

As espécies catalogadas (figura 51) são: figueira-benjamin (figura A), sibipiruna (figura B), areca-bambu (figura C), washingtonia-de-saia (figura D), alfeneiro (figura E), árvore-de-guarda-chuva (figura F), seafórtia (figura G), pandano-veitchi (figura H), azaléia (figura I), goiabeira (figura J), jambeiro (figura K), cereja-do-rio-grande (figura L), cróton (figura M), palmeira-rápis (figura N), amora-preta (figura O), dracena (figura P), pitangueira (figura Q) e orquídeas (figura R e S).

A figura 51 apresenta diferentes espécies de árvores, que apresentam caules e folhas de tamanhos e formatos diversificados, estas compõe o telhado verde intensivo do Edifício Conde Matarazzo, sendo composta por: figueira-benjamin (figura A), areca-bambu (figura B), sibipiruna (figura C), washingtonia-de-saia (figura D), alfeneiro (figura E), árvore-guarda-chuva (figura F), seafórtia (figura G), azaléia (figura H).

Na figura 53, também apresenta os diferentes tipos de árvores, caules e folhas, sendo compostas por: pandano-veitchi (figura I), jambeiro (figura J), cróton (figura K), palmeira-rápis (figura L), bromélias (figuras M e N) e jerivá (figura O).

Figura 51 – Classificação das espécies realizado pelo Centro de Pesquisas de História Natural
 Autoria: CATUZZO, 2012/2013.

Figura 52 – Plantas do Telhado Verde
Autoria: CATUZZO, 2012.

Figura 53 – Plantas do Telhado Verde
Autoria: CATUZZO, 2012.

Portanto, a variedade de vegetação composta inclusive de árvores frutíferas, dá uma característica peculiar ao telhado verde.

Mesmo no telhado verde que se encontra no 14º andar há uma macro, meso e microfauna, que de acordo com Troppmair (2004), é dividida em: macrofauna, que se subdivide em animais de porte grande e pequeno, relacionado a essa classificação foi possível observar a presença de pássaros como Bem-te-vi e Sábida na área vegetada, da mesofauna representada por animais de porte médio, havia presença de formigas e abelhas e da microfauna que não é possível ver a olho nu, mas perceptível pela decomposição das folhas.

De acordo com Lima (2009), a vegetação é um dos principais controladores climáticos e que determina o microclima, a qual está ligada ao uso, ou a cobertura do solo. A autora ainda destaca que:

A caracterização de uma cobertura vegetal em sua estrutura e distribuição espacial dos elementos vegetais representa o ponto de partida para o estudo de fenômenos físicos e fisiológicos que ocorrem em seu interior. Visto que a forma, a distribuição e a arquitetura do dossel contribuem diretamente para a quantidade de radiação solar incidente no ambiente em questão (LIMA, 2009, p. 51).

Ou seja, a resposta de temperatura e umidade no interior desse tipo de cobertura vegetal, está essencialmente relacionada ao tamanho e disposição da vegetação, assim como, a entrada e saída de energia absorvida pelas plantas e o solo.

De acordo com Lima (2009), no interior da vegetação a penetração da radiação solar irá depender da estrutura e característica da vegetação, ou seja, tamanho, textura, espessura e orientação das folhas e galhos, a altura, continuidade, densidade de indivíduos e foliar.

Neste caso, a absorção, transmissão e reflexão da radiação solar podem ser variadas ao serem interceptadas pela vegetação.

Para Lima (2009), a cobertura vegetal irá influenciar na radiação global total que chega até a superfície, ou seja, no solo, influenciado principalmente pela área foliar (AF) e o índice de área foliar (IAF). A autora ressalta que a radiação solar ao chegar à superfície ou na vegetação uma parte é refletida, denominada de coeficiente de reflexão, reflectância ou albedo da superfície, já outra parte é absorvida sendo transformada em calor que influenciará na temperatura do ar.

O albedo varia de acordo com as propriedades da superfície e é altamente dependente do ângulo de incidência dos raios solares, que varia com a latitude e a época do ano. Embora, para uma determinada superfície, o albedo seja variável durante o ano, via de regra, utiliza-se um valor constante (LIMA, N. G.B., 2009, p. 57).

Outro fator relevante, além da absorção e reflectância da vegetação é a latitude. O movimento de rotação da Terra (solstícios e equinócio) faz com que ocorra a incidência de diferentes índices de raios solares numa determinada região ao longo de um ano.

Para Pereira et. al., 2002, a radiação extraterrestre, a qual ainda não sofreu alteração da atmosfera irá variar segundo a latitude e o dia do ano, influenciando no ângulo de incidência dos raios solares, ou seja, quanto maior a latitude, maior será a amplitude da radiação extraterrestre entre o verão e o inverno.

A irradiância solar global é a energia solar reduzida que chega a superfície da Terra, sendo composta pela irradiância solar direta e pela irradiância solar difusa, a primeira não sofre desvio na trajetória e é responsável pela projeção de sombra dos objetos, a segunda, decorre pelo processo de difusão ou espalhamento e não projeta sombra. Ambas variam ao longo do dia (ângulo de incidência dos raios solares, bem como, as condições de nebulosidade. Quanto mais nublado, maior a proporção de irradiância solar difusa, menor será a irradiância solar direta e consequentemente menor o valor da irradiância solar global (PEREIRA et al., 2002, p.78).

Na pesquisa a influência da variação da irradiância solar direta e difusa influencia ambos os telhados, principalmente, nos dados de temperatura e umidade, cuja resposta do telhado verde é extremamente significativa em períodos de grande insolação, quando comparado com o telhado de concreto, mas essa discussão será desenvolvida na análise dos dados, por meio de gráficos: mensais, sazonais, marcha horária, amplitude térmica e higrométrica.

Também, a vegetação do telhado verde tem como característica positiva o conforto ambiental, mesmo que em escala micro em pleno centro de São Paulo.

Monteiro (2012), ressalta que além de pesquisas que trabalham diretamente com questões paisagísticas e ecológicas da vegetação nas cidades, uma outra área que é a do conforto ambiental tem trazido importantes contribuições.

O autor acima citado classifica três tipos de vegetação, o “verde-dentro” que são as áreas privadas resultantes em jardins, pátios, quintais e terraços; o “verde-fora” relacionados aos espaços públicos realizados em praças, ruas e parques e o “verde pleno” que juntamente com os dois anteriores inserem as lajes-jardim, as quais são utilizadas nas coberturas dos edifícios, porém, todos estes espaços quando vegetados produzem um impacto positivo nas condições climáticas do local.

De acordo com Monteiro (2012), a inserção do verde resulta na melhoria da qualidade ambiental e, que a adição da vegetação terá sucesso se for introduzida em todos os espaços abertos, não somente nos privados (verdes-dentro) ou públicos (verdes-fora).

6 - ANÁLISE ESTATÍSTICA COMPARANDO OS DADOS DOS SENSORES 1 E 2 (TELHADO VERDE) E SENSOR 3 (TELHADO DE CONCRETO)

Foi utilizado o teste Tukey para verificar se existem diferenças significativas entre os resultados obtidos pelos três medidores instalados em dois tipos de telhados, um vegetado e, outro de concreto.

Para garantir o estudo realizaram-se comparações entre as médias dos três medidores para as temperaturas máximas diárias, temperaturas mínimas diárias, temperaturas médias diárias e Δ da temperatura diária.

H_0 = não existe diferença entre as médias;

H_1 = existe diferença entre as médias.

Na tabela ANOVA, compara-se o valor F (Teste Fisher, estatística utilizada na tabela ANOVA) com o valor crítico, se $F > \text{valor crítico}$ (valor tabelado), rejeitando H_0 , se $F \leq \text{valor crítico}$, não se rejeita H_0 . O Teste Fisher é utilizado para a análise da variância.

A variância é uma variável aleatória, ou seja, uma medida de sua dispersão estatística, indicando o quão longe em geral os seus valores se encontram do valor esperado. Ou seja, a variância é o desvio padrão elevado ao quadrado.

No caso do (gl) graus de liberdade, trata-se do número de determinações independentes (dimensão da amostra), menos o número de parâmetros estatísticos a serem avaliados na população.

Nos casos em que H_0 for rejeitada, utiliza-se HSD (Diferença Honestamente Significante) para descobrir qual ou quais grupos são diferentes.

TEMPERATURA

RESUMO				
GRUPOS	Contagem	Soma	Médias	Variância
S1	313	7.804,50	24,93	14,85
S2	313	7.699,60	24,60	13,98
S3	313	8.563,30	27,36	21,34

Tabela 3 – Temperatura Máxima

ANOVA	SQ	gl	MQ	F	Valor Crítico
Entre Grupos	1.401,20	2	700,60	13,70	3,03
Dentro dos Grupos	15.653,89	310	51,16		
Total	17.055,09	312			

Tabela 4 – ANOVA (valor crítico para médias das temperaturas máximas)

$$F = \frac{MQ_{Entre\ Grupos}}{MQ_{Dentro\ dos\ Grupos}} = \frac{700,60}{50,50} = 13,87$$

Como $F > \text{Valor Crítico}$, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias das temperaturas máximas.

Utiliza-se o HSD para comprovar qual grupo difere dos demais.

$$HSD = q_{\alpha} \sqrt{\frac{MQ_{DG}}{n}} = 2,77 \sqrt{\frac{51,16}{313}} = 1,12$$

Grupos	S1	S2	S3
S1	0,00	0,34	2,42
S2		0,00	2,76
S3			0,00

Tabela 5 – HSD para diferença entre os grupos

A matriz mostra o módulo das diferenças entre os grupos, portanto, $|S1-S2| = |S2-S1|$

HSD é menor que $S1 - S3$ e $S2 - S3$ e maior que $S1 - S2$, provando que S3 é diferente de S1 e S2.

RESUMO				
GRUPOS	Contagem	Soma	Médias	Variância
S1	313	5.572,20	17,80	7,13
S2	313	5.610,90	17,93	6,59
S3	313	5.377,00	17,18	7,66

Tabela 6 – Temperatura Mínima

ANOVA	SQ	gl	MQ	F	Valor Crítico
Entre Grupos	99,15	2	49,58	2,27	3,03
Dentro dos Grupos	6.669,82	310	21,80		
Total	6.768,98	312			

Tabela 7 – ANOVA (valor crítico para médias das temperaturas mínimas)

$$F = \frac{MQ_{Entre\ Grupos}}{MQ_{Dentro\ dos\ Grupos}} = \frac{49,58}{21,52} = 2,30$$

Como $F < \text{Valor Crítico}$, não se pode rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias das temperaturas mínimas.

RESUMO				
GRUPOS	Contagem	Soma	Médias	Variância
S1	313	6.456,64	20,63	8,50
S2	313	6.439,70	20,57	7,94
S3	313	6.567,17	20,98	10,13

Tabela 8 – Temperatura Média

ANOVA	SQ	gl	MQ	F	Valor Crítico
Entre Grupos	30,23	2	15,11	0,56	3,03
Dentro dos Grupos	8.289,02	310	27,09		
Total	8.319,25	312			

Tabela 9 – ANOVA (valor crítico para temperatura média)

$$F = \frac{MQ_{Entre\ Grupos}}{MQ_{Dentro\ dos\ Grupos}} = \frac{15,11}{26,74} = 0,57$$

Como $F < \text{Valor Crítico}$, não se pode rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias das temperaturas médias.

RESUMO				
GRUPOS	Contagem	Soma	Médias	Variância
S1	313	2.232,30	7,13	7,35
S2	313	2.088,70	6,67	6,31
S3	313	3.186,30	10,18	11,95

Tabela 10 - Δ da temperatura diária (diferença entre a máxima e a mínima diária)

ANOVA	SQ	gl	MQ	F	Valor Crítico
Entre Grupos	2.245,13	2	1.122,56	42,98	3,03
Dentro dos Grupos	7.991,60	310	26,12		
Total	10.236,72	312			

Tabela 11 – ANOVA (valor crítico – médias das diferenças da temperaturas máximas e mínimas)

$$F = \frac{MQ_{Entre\ Grupos}}{MQ_{Dentro\ dos\ Grupos}} = \frac{1.122,56}{25,78} = 43,55$$

Como $F > \text{Valor Crítico}$, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias das diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas.

Vamos utilizar o HSD para comprovar qual grupo difere dos demais.

$$HSD = q_{\alpha} \sqrt{\frac{MQ_{DG}}{n}} = 2,77 \sqrt{\frac{26,12}{313}} = 0,80$$

Grupos	S1	S2	S3
S1	0,00	0,46	3,05
S2		0,00	3,51
S3			0,00

Tabela 12 – HSD para comprovar diferença da temperatura entre os grupos

HSD é menor que S1 – S3 e S2 – S3 e maior que S1 – S2, provando que S3 é diferente de S1 e S2.

UMIDADE

RESUMO				
GRUPOS	Contagem	Soma	Médias	Variância
S1	313	28.548,60	91,21	24,45
S2	313	28.502,20	91,06	28,83
S3	313	28.675,40	91,61	21,17

Tabela 13 – Umidade do ar (máxima)

ANOVA	SQ	gl	MQ	F	Valor Crítico
Entre Grupos	50,71	2	25,35	0,33	3,03
Dentro dos Grupos	23.230,23	310	75,92		
Total	23.280,93	312			

Tabela 14 – ANOVA (valor crítico para umidade do ar (máximas)

Como $F < \text{Valor Crítico}$, não pode-se rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias das umidades máximas.

RESUMO				
GRUPOS	Contagem	Soma	Médias	Variância
S1	313	19.495,30	62,29	211,26
S2	313	19.322,10	61,73	197,15
S3	313	17.508,50	55,94	235,36

Tabela 15 – Umidade do ar (mínima)

ANOVA	SQ	gl	MQ	F	Valor Crítico
Entre Grupos	7.639,67	2	3.819,84	5,82	3,03
Dentro dos Grupos	200.855,15	310	656,39		
Total	208.494,82	312			

Tabela 16 – ANOVA (valor crítico para diferenças entre as umidades (máxima e mínima))

Como $F > \text{Valor Crítico}$, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias das diferenças entre as umidades máximas e mínimas.

Vamos utilizar o HSD para comprovar qual grupo difere dos demais.

$$HSD = q_{\alpha} \sqrt{\frac{MQ_{DG}}{n}} = 2,77 \sqrt{\frac{656,39}{313}} = 4,01$$

Grupos	S1	S2	S3
S1	0,00	0,55	6,35
S2		0,00	5,79
S3			0,00

Tabela 17 – HSD para provar diferença da umidade entre os grupos

HSD é menor que $S1 - S3$ e $S2 - S3$ e maior que $S1 - S2$, provando que $S3$ é diferente de $S1$ e $S2$.

Umidade **Média**:

RESUMO				
GRUPOS	Contagem	Soma	Médias	Variância
S1	313	25.091,82	80,17	69,94
S2	313	24.987,94	79,83	70,34
S3	313	24.491,36	78,25	79,49

Tabela 18 – Média das Umidades

ANOVA	SQ	gl	MQ	F	Valor Crítico
Entre Grupos	649,65	2	324,83	1,45	3,03
Dentro dos Grupos	68.569,28	310	224,08		
Total	69.218,94	312			

Tabela 19 – ANOVA (valor crítico para as médias de umidade máxima)

Como $F < \text{Valor Crítico}$, não pode-se rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias das umidades máximas.

RESUMO				
GRUPOS	Contagem	Soma	Médias	Variância
S1	313	9.053,30	28,92	155,01
S2	313	9.180,10	29,33	142,15
S3	313	11.166,90	35,68	185,44

Tabela 20 - Δ da umidade diária (diferença entre a máxima e a mínima diária)

ANOVA	SQ	gl	MQ	F	Valor Crítico
Entre Grupos	8.863,70	2	4.431,85	9,01	3,03
Dentro dos Grupos	150.571,64	310	492,06		
Total	159.435,34	312			

Tabela 21 – ANOVA (valor crítico para médias das diferenças entre umidades máxima e mínima)

Como $F > \text{Valor Crítico}$, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias das diferenças entre as umidades máximas e mínimas.

Vamos utilizar o HSD para comprovar qual grupo difere dos demais.

$$HSD = q_{\alpha} \sqrt{\frac{MQ_{DG}}{n}} = 2,77 \sqrt{\frac{492,06}{313}} = 3,47$$

Grupos	S1	S2	S3
S1	0,00	0,41	6,75
S2		0,00	6,35
S3			0,00

Tabela 22 – HSD para comprovar a diferenças entre os grupos

HSD é menor que $S1 - S3$ e $S2 - S3$ e maior que $S1 - S2$, provando que S3 é diferente de S1 e S2.

Portanto, para a análise dos dados sempre que existe diferença entre as médias, se utilizou o HSD (Diferença Honestamente Significante) para descobrir qual, ou quais médias divergem entre si. Notou-se em todos os casos que S3 diverge de S1 e S2, mas não se pode afirmar que exista diferença entre S1 e S2.

7 - ANÁLISE DOS DADOS

É importante ressaltar que a coleta de dados se iniciou no primeiro dia do outono de 2012 e foi encerrada no outono de 2013. Os gráficos de forma geral demonstram que quanto maior a incidência da radiação solar, maiores são as temperaturas e menores as porcentagens de umidade, ou seja, dias sem ou com pouca nebulosidade. No caso inverso, em dias com nebulosidade ou chuvosos, o que se observa é uma queda da temperatura e aumento da umidade.

Um fator a ser apontado é que houve uma pequena variação de temperatura e umidade entre os sensores 1 e 2 (face leste e oeste) do telhado verde, sendo esta consequência do tipo de vegetação, no lado leste com o sensor 1 a vegetação é mais esparsa, diferentemente do local do sensor 2, lado oeste onde a vegetação é mais densa.

7.1 - Análise dos Dados Compilados dos Sensores 1, 2 e 3 relacionando as máximas e mínimas de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Essa primeira parte da análise e comparação dos dados resultam dos gráficos de temperatura e umidade relativa do ar isolados para os sensores 1, 2 e 3 referentes a cada mês, por meio destes foram elaborados os gráficos onde houve a junção dos dados dos sensores 1, 2 e 3 do respectivo mês, separados por temperatura máxima; umidade mínima; temperatura mínima e umidade máxima.

Para obter uma melhor análise da variação dos telhados (verde e concreto), optou-se por destacar a maior e menor temperatura do mês, juntamente com a umidade relativa do ar no momento de ocorrência destas temperaturas. Dessa forma, sendo possível analisar a resposta da umidade relativa do no momento de maior e menor aquecimento dos telhados. Foram comparadas as duas faces do Edifício Conde Matarazzo, observando a variação entre elas e, depois a comparação da face em relação ao telhado de concreto do Edifício Mercantil/Finasa.

Nos dados que constam nos gráficos de 20 a 31 de março de 2012, observa-se que durante o mês a máxima da temperatura do ar (figura 54) do telhado de concreto foi maior que a do telhado verde, com exceção do dia 28 de Março cuja queda das temperaturas esteve associada ao aumento de nebulosidade, neste dia o telhado de concreto ficou 1° C mais frio.

O dia 26 de março de 2012 corresponde a maior temperatura do mês sobre os telhados de concreto e verde, indicando uma maior incidência de radiação solar. A resposta dos

telhados é relevante, pois o telhado de concreto apresenta maior absorção de calor chegando a 33,6° C, já o telhado verde (vegetado), as temperaturas variaram entre 28,3°C (sensor 2) e 29° C (sensor 1), ou seja, o verde ficou 4,6° C a 5,3° C mais frio que o de concreto. A umidade relativa do ar no telhado verde foi de 52,8% (sensor 1) e 53, 5% (sensor 2), sendo 0,7% a diferença entre os lados leste e oeste. A diferença de umidade (figura 55) entre os telhados chega a 8%, quando o telhado de concreto atinge 45,5% de umidade. Tanto a temperatura e umidade no telhado de concreto atingem os valores mencionados às 14 horas, já o telhado verde depois das 16 horas, ou seja, atraso na questão da absorção e armazenagem de calor, uma vez que há reflectância por parte da vegetação.

No dia 28 de março de 2012 (menor máxima – figura 54), no telhado verde foi de 21,5° C para o (sensor 1 e 2) no telhado verde e de 20,4° C no telhado de concreto, ou seja, o telhado verde ficou 1,1° C mais quente que o telhado de concreto. A umidade relativa do ar (figura 55) no telhado verde no lado oeste foi de 84,7% (sensor 2) e 86,4% no lado leste (sensor 1) com variação de 1,7% entre os lados do Edifício Conde Matarazzo, no telhado de concreto a umidade foi de 89,8%, sendo a variação entre os telhados de aproximadamente 3,4% de umidade. Destaca-se aqui o horário da temperatura e umidade que ocorreram entre 1 e 2 horas da manhã.

Com relação a temperatura mínima no mês de março de 2012 (figura 56), destacam-se duas datas. Em 24 de março de 2012 (maior mínima) as temperaturas mínimas do ar no telhado verde foram de 20,8° C (sensor 1) lado leste e 19,6° C (sensor 2) lado oeste, cuja variação foi de 1,2°C entre os lados, no telhado de concreto a mínima foi de 19° C, a variação entre os dois tipos de cobertura chegou a 1,8°C. A umidade relativa do ar (figura 57) foi de 87,8 % (sensor 1) no lado leste, 96,6% (sensor 2) lado oeste (vegetação mais densa) e 96% no telhado de concreto. A variação entre os lados do telhado verde foi de 8,8% de umidade, podendo esta ser influenciada por dois fatores: na face leste a vegetação mais esparsa e também, está voltada para o lado em que existem outros prédios. Porém, existe uma variação de 8,2% entre o telhado verde lado leste e o telhado de concreto, cuja umidade é menor no telhado verde face leste.

A menor mínima (figura 56) ocorreu também no dia 28 de março de 2012, no telhado verde a temperatura foi de 15,2° C (sensor 1) e 15,4° C (sensor 2) e no telhado de concreto era de 14,2° C, sendo a variação entre as faces foi de 0,2°C e entre os telhados chegou a 1,2° C. A umidade relativa do ar no telhado verde (figura 57) foi de 83,1% na face oeste e 84,6% na face leste, no telhado de concreto era de 87,3%, a variação entre as faces do telhado verde foi de 1,5% e entre os telhados verde e de concreto chegou a 4,2%.

Figura 54 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Máxima do Ar - Dados de 20 a 31 de março de 2012

Figura 55 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima do Ar - Dados de 20 a 31 de março de 2012.

Figura 56 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 20 a 31 de março de 2012

Figura 57 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 20 a 31 de março de 2012

De 1º a 30 de abril de 2012, os telhados tiveram praticamente o mesmo comportamento, ou seja, quando relacionado a temperatura máxima do ar, o concreto aqueceu mais e teve a menor umidade relativa do ar do que o telhado verde, já com relação a temperatura mínima, se observa o inverso, principalmente durante o período noturno quando não há incidência dos raios solares, o telhado de concreto fica mais frio e o telhado verde mantém o calor devido a vegetação, apesar de ocorrer uma pequena diferença entre estes. Porém, a umidade máxima relacionada a temperatura mínima do ar tem uma variação muito pequena, ficando o telhado de concreto com uma porcentagem um pouco maior que o telhado verde.

No mês de abril destaca-se o dia 08 de abril de 2012, onde a temperatura máxima (figura 58) foi de 32,6° C no telhado de concreto, no telhado verde de 28,6°C face leste (sensor1) e 27,5° C, ou seja, os lados do Edifício Conde Matarazzo variaram em 1,1° C e o telhado deste edifício comparado com o de concreto do Mercantil/Finasa chegou a 5,1°C. O horário de ocorrência dessas temperaturas foi entre 13 e 15 horas. A umidade mínima (figura 59) foi de 58,1% na face oeste e 50% na leste do telhado verde e de 42,4% no telhado de concreto. A variação entre as faces do telhado verde foi de 8,1% e entre os telhados chegou a 15,7%.

No dia 30 de abril de 2012 (figura 58) ocorreram as menores temperaturas dentre as máximas, e praticamente não variaram entre os telhados, a maior temperatura ocorreu na face leste (sensor 1) do Edifício Conde Matarazzo que de 18,3° C, já a face oeste foi de 18° C, sendo registrada esta mesma temperatura no telhado de concreto, cuja variação da temperatura entre as faces e o telhado de concreto foi de 0,3°C. A umidade mínima no telhado verde (figura 59) foi de 96,1% face leste (sensor 1), 96,8% face oeste (sensor 2) e de 93,3% no telhado de concreto, cuja variação entre as faces do telhado verde foi de 0,7% e entre os telhados chegou a 3,5%. O horário deste registro foi a 0 hora.

No dia 14 de abril de 2012 a maior temperatura mínima (figura 60) foi de 20,6° C na face leste e 20,5° C na face oeste do telhado verde e de 20,1° C no de concreto, ocorrendo entre 5 e 6 h e 30 minutos, cuja variação entre as faces foi de 0,1° C e entre os telhados foi de 0,5° C. A umidade para este dia (figura 61) foi de 92,4% para o telhado de concreto e, ocorrendo este mesmo valor para a face leste do telhado verde, na face oeste foi de 93,4%, cuja variação 1% foi maior no telhado verde. A temperatura mínima mais baixa (figura 60) ocorreu no dia 30 de Abril no horário entre 21 e 23 h e 50 minutos, registrando 12,1° C no telhado de concreto, enquanto no telhado verde foi de 13° C, ficando este último mais quente em 0,9° C em relação ao de concreto. A umidade na face leste (figura 61) foi de 93,6% e na

face oeste 94,6%, no telhado de concreto foi 94,5%, porém, a variação entre as faces do Edifício Conde Matarazzo foi de 1%, e entre a face oeste e o telhado de concreto foi de 0,1%, ou seja, quase inexistente, ressaltando mais uma vez que tanto o sensor 2, quanto o sensor 3 estão na face oeste dos edifícios e voltados para o Vale do Anhangabaú.

As análises e comparações de temperatura e umidade relativa do ar nos meses de maio e junho de 2012 apresentam menos dias devido a um problema de configuração do aparelho Datalogger já mencionada em material e método.

Em 1º de maio de 2012 entre 14 e 15 horas, registrou-se a menor temperatura máxima (figura 62) quando na face oeste está atingiu 16,6° C, na face leste 17,4° C e no telhado de concreto 19,1° C. A variação entre as faces do telhado verde foi de 0,8° C, e a maior variação entre os telhados verde (face oeste) e de concreto foi 2,5° C. A umidade do ar em virtude do maior (figura 63) aquecimento no concreto foi de 53,6%, na face leste do telhado verde de 63,6% e na face oeste 65,3%, a variação entre elas foi de 1,7% e a variação entre os telhados (verde e concreto) foi de 11,7%.

A maior temperatura máxima (figura 62) registrada foi no dia 9 de maio de 2012 entre 14 e 16 horas, sendo de 27,6° C no telhado de concreto, para o telhado verde na face leste foi de 23,1° C e 22,3° C para a face oeste, a variação das faces foi de 0,8° C, ao comparar a variação da temperatura entre os telhados, estas ficam em torno de 4,5° C a 5,3° C menor no telhado verde. Com relação a umidade do ar (figura 63), no telhado de concreto foi registrado 51,5%, no telhado verde a face leste registrou 60,3% e na oeste foi de 60,5%, uma variação entre as faces de 0,2%, a variação da umidade entre o telhado verde e o de concreto foi de 9%.

Para as temperaturas mínimas do ar (figura 64) a menor registrada foi em 2 de maio de 2012 entre 0 e 9 horas, o telhado de concreto registrou 11° C, no telhado verde a face leste registrou 11,9° C e 12,2° C na face oeste, a diferença entre as faces foi de 0,3° C, a variação entre os telhados chegou a 1,2° C, sendo a face oeste do telhado verde mais quente que o de concreto. Porém, a umidade relativa do ar (figura 65) apresentou uma variação significativa entre os telhados, pois o telhado de concreto registrou 81,7% e o telhado verde registrou na face oeste 94,7% e na leste 93,2%, a maior variação da umidade entre os telhados chegou a 13% e entre as faces foi de 1,5%.

A maior temperatura mínima (figura 64) registrada ocorreu em 5 de maio de 2012 entre 6 e 8 horas, no telhado verde foi registrado 16,4° C na face oeste e 16,1° C na leste, o de concreto foi de 15,7° C, sendo a variação entre os telhados de 0,7° C. A umidade relativa do ar (figura 65) no telhado verde foi de 91,8% na face leste, 90,4% na face oeste e 91,6% no telhado de concreto. A variação entre a face leste e o telhado de concreto foi de 0,2%, já com relação a face oeste foi 1,2% maior no telhado de concreto. A variação da umidade entre as faces é 1,4% menor do lado oeste para este dia.

Figura 62 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Máxima do Ar - Dados de 1º a 9 de maio de 2012

Figura 63 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima - Dados de 1º a 9 de maio de 2012

Figura 64 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 1º a 9 de maio de 2012

Figura 65 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 1º a 9 de maio de 2012

Em 14 de junho de 2012 a maior temperatura máxima (figura 66) ocorreu entre 14 e 15 h e 30 minutos, sendo registrada no telhado de concreto 26,8° C, no telhado verde foi de 23,6° C na face leste e na oeste foi registrada 22,9° C, a variação entre as faces foi de 0,7° C e a maior diferença entre os telhados foi de 3,9° C. A umidade do ar (figura 67) foi de 59,5% no telhado de concreto, no telhado verde foi de 65,1% na face oeste e 68% na face leste, sendo a variação de 2,9% entre as faces do Edifício Matarazzo, entre os telhados a maior diferença de umidade chegou a 8,5%.

A menor temperatura máxima (figura 66) ocorreu em 21 de junho de 2012 entre 14 e 15 horas, no telhado de concreto atingiu 17° C, já no telhado verde a face leste registrou 16,5° C e a oeste 16,3° C, cuja variação entre as faces foi de 0,2° C e entre os telhados chegou a 0,7° C. A umidade relativa do ar (figura 67) foi de 96% na face oeste e 94,8% na leste (telhado verde) e 90,7% no telhado de concreto, a variação entre as faces do telhado verde foi de 1,2% e a maior variação de umidade entre os telhados chegou a 5,3%.

No dia 15 de junho de 2012, a maior temperatura mínima (figura 68) registrada foi de 17,2° C na face oeste e 17,1° C na leste do telhado verde, no telhado de concreto foi de 16,5° C, o horário de registro dos dados foi de 0 as 6 horas, cuja variação entre os telhados foi de 0,6°C. A umidade do ar (figura 69) foi de 93,2% na face leste, na oeste foi de 92,5%, a variação entre faces do telhado verde foi de 0,7%, no telhado de concreto foi de 93,1%, porém, a variação da umidade entre os telhados foi de 0,6% quando comparado com o lado oeste, mesmo com essa pequena variação o telhado verde ficou mais úmido.

A menor temperatura mínima (figura 68) ocorreu em 26 de junho de 2012 no horário entre 2 horas e 4 horas e 10 minutos, o telhado de concreto registrou 12,1° C, no telhado verde na face leste a temperatura foi de 12,8° C e na oeste de 13,2° C, a variação entre as faces é de 0,4° C e a variação entre os telhados chegou a 1,1° C, porém, o telhado verde permanece mais aquecido quando a temperatura do ar é menor. A umidade relativa do ar no telhado verde na face leste (figura 69) foi de 91,2%, na oeste 90,2% e no telhado de concreto foi de 91,5%. A variação no telhado verde foi de 1% e entre os telhados 1% quando comparado com o lado oeste.

Figura 66 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor (Telhado de Concreto) - Temperatura Máxima do Ar - Dados de 14 a 30 de junho de 2012

Figura 67 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima - Dados de 14 a 30 de junho de 2012

Figura 68 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 14 a 30 de junho de 2012

Figura 69 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 14 a 30 de junho de 2012

No mês de julho de 2012 a maior temperatura máxima (figura 70) ocorreu no dia 23, quando o telhado de concreto atingiu 29,6° C e no telhado verde a face leste registrou 26,1° C e a oeste 25° C, a variação entre as faces foi de 1,1° C, já entre as coberturas dos edifícios foi de 4,6° C, no horário entre 13 e 16 horas. A umidade relativa do ar (figura 71) foi de 40,2% no telhado de concreto e no telhado verde foi de 47,3% na face leste e 47,4% na oeste, a maior variação entre as coberturas foi de 7,1%, sendo a cobertura verde do lado oeste mais úmida que o telhado de concreto.

Já a menor temperatura máxima (figura 70) ocorreu no dia 16 de julho entre 22 e 0 hora, o telhado de concreto registrou 13° C, o telhado verde 13,3° C, com a variação praticamente inexistente. Porém, a umidade relativa do ar (figura 71) foi de 89,8% no telhado verde face oeste, de 97,3% na leste e 95,2% no telhado de concreto. A variação entre as faces foi de 2,1% e entre as coberturas dos edifícios chegou a 7,5%.

A maior temperatura mínima (figura 72) ocorreu também no dia 23 de julho de 2012 entre 7 e 9 horas, quando o telhado de concreto atingiu 17,3° C, e o telhado verde na face leste 17,8° C e a oeste 17,9° C, a variação entre as coberturas foi de 0,6° C. A umidade relativa do ar (figura 73) foi de 74,2% no telhado de concreto e no telhado verde face oeste e na leste atingiu 75,8%, a variação entre as coberturas foi de 1,6%, ficando o telhado verde mais úmido.

Para o dia 19 de julho de 2012 ocorreu a menor temperatura mínima (figura 72) entre 5 e 6 horas, no telhado de concreto foi registrado 9,3° C, no telhado verde 10,7° C na face leste e 10,8° C na face oeste, a variação entre as coberturas foi de 1,5° C. A umidade relativa do ar (figura 73) foi de 87% no telhado de concreto e no telhado verde face oeste e 87,3% na leste, com uma variação de 0,3% entre as coberturas.

Figura 70 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Máxima do Ar - Dados de 1ª a 31 de julho de 2012

Figura 71 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima - Dados de 1ª a 31 de julho de 2012

Para os dados do mês de Agosto, a menor temperatura máxima (figura 74) ocorreu em 5 de agosto de 2012 entre 0 e 9 horas, o telhado de concreto e o telhado verde face leste atingiram $20,8^{\circ}\text{C}$ e, a face oeste $20,6^{\circ}\text{C}$, com uma variação muito pequena entre as coberturas. A umidade relativa do ar (figura 75) foi de 58,6% no telhado de concreto, 63,3% na face leste e na oeste de 63,4% ambas no telhado verde, a variação da umidade entre as coberturas foi de 4,8%.

No dia 29 de agosto de 2012 ocorreu a maior temperatura máxima (figura 74) entre 14 e 15 horas e 30 minutos, no telhado de concreto foi de $29,8^{\circ}\text{C}$, no telhado verde a face leste registrou $26,1^{\circ}\text{C}$ e a oeste $25,1^{\circ}\text{C}$, sendo a variação entre as faces de 1°C e, entre a maior variação entre as coberturas foi de $4,7^{\circ}\text{C}$. A umidade relativa do ar no telhado de concreto (figura 75) foi de 55,7%, de 60,1% na face oeste e 60,8% na face leste do telhado verde com variação de 0,7% entre as faces. Porém, a maior variação entre as coberturas foi de 5,1%.

No dia 4 de agosto de 2012 ocorreu a maior temperatura mínima (figura 76) entre 6 horas e 6 horas e 30 minutos, o telhado de concreto foi de $17,2^{\circ}\text{C}$, no telhado verde em ambas as faces foi de $17,8^{\circ}\text{C}$, a variação entre as coberturas foi de $0,6^{\circ}\text{C}$. A umidade do ar (figura 77) foi de 70% na face oeste, 70,1% na leste e 70,3% no telhado de concreto, uma pequena variação de 0,2%.

A menor temperatura mínima (figura 76) foi registrada no dia 7 de agosto de 2012 entre 0 e 1 hora, no telhado de concreto foi de $11,3^{\circ}\text{C}$, no telhado verde na face leste foi de $12,3^{\circ}\text{C}$ e na oeste de $12,6^{\circ}\text{C}$, a variação entre os telhados foi de $1,3^{\circ}\text{C}$. A umidade relativa do ar no telhado verde (figura 77) foi de 84,3% na face oeste e na leste 85,6% no telhado de concreto 87,9, a maior variação foi de 3,6%, sendo o telhado de concreto mais úmido, já a variação da umidade entre as faces foi de 1,3%.

Figura 74 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Máxima - Dados de 1º a 31 de agosto de 2012

Figura 75 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima - Dados de 1º a 31 de agosto de 2012

Figura 76 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 1º a 31 de agosto de 2012

Figura 77 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 1º a 31 de agosto de 2012

No mês de setembro, no dia 19 ocorreu a maior temperatura máxima (figura 78) ocorreu entre 13 e 14 h e 10 minutos, o telhado de concreto atingiu 33° C, já no telhado verde a face oeste registrou 31,8° C e 32,4° C na face leste, com uma variação de 0,6° C entre elas, a variação entre as coberturas foi de 1,2° C. A umidade relativa do ar (figura 79) foi de 31,4% no telhado de concreto, 31,8% na face leste e 34,2% na oeste do telhado, as quais variaram em 2,4%. A variação da umidade do ar entre as coberturas foi de 2,8%.

A menor temperatura máxima (figura 78) foi em 27 de setembro de 2012, no horário das 14 e 10 minutos, o telhado de concreto e a face oeste do telhado verde registraram 15° C, a face leste registrou 14,3° C, a variação entre as faces foi de 0,7° C, sendo a mesma entre os telhados, nebulosidade em virtude da passagem de uma frente fria no dia anterior. A umidade relativa do ar (figura 79) foi de 64,1% no telhado de concreto, no telhado verde foi de 65,6% na face oeste e 68% na face leste, a variação entre as faces foi de 2,4%. A variação entre os telhados foi de 3,9%.

No dia 18 de setembro de 2012 ocorreu a maior temperatura mínima (figura 80) entre 5 e 7 horas, no telhado de concreto atingiu 22,3° C, no telhado verde a face leste registrou 22,6° C e a oeste 22,9° C. A variação maior entre os telhados foi de 0,6° C. Já a umidade do ar (figura 81) foi de 68,1% no telhado de concreto, 64,8% na face leste e a oeste com 64,9%, sendo a variação entre os telhados de 3,3%, sendo a umidade maior no telhado de concreto.

A menor temperatura mínima (figura 80) foi no dia 26 de setembro de 2012 que corresponde a entrada de uma frente fria, cujas temperaturas foram: no telhado de concreto de 8,7° C, no telhado verde na face leste de 9,4° C e na oeste de 10,2° C, a variação entre as faces foi de 0,8° C, já a variação entre os telhados foi de 1,5° C, ficando o telhado verde mais aquecido. A umidade relativa do ar (figura 81) foi de 90,7% no telhado de concreto, já no telhado verde foi de 76,8% na face leste e 85,3% na oeste, a variação entre elas foi de 8,5%. A maior variação entre os telhados foi de 13,9% quando comparado com a face leste e de 5,4% com a face oeste.

Figura 78 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Máxima do Ar - Dados de 1º a 30 de setembro de 2012

Figura 79 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima - Dados de 1º a 30 de setembro de 2012

Figura 80 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 1º a 30 de setembro de 2012

Figura 81 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Unidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 1º a 30 de setembro de 2012

Em outubro de 2012, no dia 14 ocorreu a menor temperatura do ar máxima (figura 82) registrada no período entre 11 às 13 h e 10 minutos, devido a nebulosidade. No telhado de concreto a temperatura foi de 17,2° C, já na face leste do telhado verde atingiu 17,1° C e na oeste 17,8° C, a variação entre as faces foi de 0,7° C. A variação da face leste quando comparada com o telhado de concreto foi de 0,1° C mais baixa, porém, a face oeste foi 0,6° C mais quente que o concreto, ou seja, o telhado verde nas baixas temperaturas se mantém aquecido. A umidade relativa do ar no telhado de concreto (figura 83) foi de 77,7%, no telhado verde foi de 79,8% na face leste e 78,1% na face oeste, a variação entre as faces foi de 1,7% e entre a cobertura dos telhados a maior variação chegou a 2,1%, porém o telhado verde se manteve mais úmido.

A maior temperatura máxima do ar (figura 82) foi registrada no dia 28 de outubro de 2012, no período das 14 horas, quando o telhado de concreto atingiu 37,7° C e o telhado verde na face leste e oeste foi de 34,3° C, sendo a variação entre as coberturas dos telhados de 3,4° C. A umidade relativa do ar no telhado de concreto (figura 83) foi de 32,6%, na face oeste do telhado verde atingiu 40,4% e na leste 41,4%, variando em 1% entre as faces e entre as coberturas dos telhados a maior variação chegou a 8,8%.

No dia 1° de outubro de 2012, a menor temperatura mínima (figura 84) registrada foi de 14° C no telhado de concreto, na face leste foi de 14,5° C e na oeste de 15° C no telhado verde, a variação entre os telhados foi de 1° C. A umidade relativa do ar no telhado verde (figura 85) foi de 79,7% na face oeste, de 81,8% na leste e 83% no telhado de concreto. A maior variação da umidade entre os telhados chegou a 3,3%, ficando o telhado de concreto mais úmido e entre as faces do telhado verde foi de 1,2%.

Em 30 de outubro de 2012, a maior temperatura mínima (figura 84) ocorreu entre 5 e 6 horas, no telhado de concreto atingiu 21,9° C, na face leste 22,4° C e na oeste 22,6° C, sendo a variação entre os telhados dos edifícios de 0,7° C. A umidade relativa do ar (figura 85) o telhado de concreto 89%, já no telhado verde a face leste foi 88% e na oeste 87,2%, a variação dos telhados chegou a 1,8%, sendo a umidade do ar no telhado verde um pouco menor, devido ao seu aquecimento apresentar uma temperatura um pouco mais elevado que o telhado de concreto.

Figura 84 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 1º a 31 de outubro de 2012

Figura 85 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 1º a 31 de outubro de 2012

Para novembro de 2012, no dia 23 de novembro a maior temperatura máxima (figura 86) ocorreu as 16 e 16 horas e 10 minutos, o telhado de concreto atingiu 34,8° C, no telhado verde foi de 31,5° C na face leste e 31,1° C na oeste, a maior variação entre os telhados foi de 3,7° C e entre as faces foi de 0,4° C. A umidade no telhado verde (figura 87) foi de 26% na face leste, 24,7% na oeste e 25,8% no telhado de concreto, a variação chegou a 1,1% entre os telhados e entre as faces foi de 1,3%.

A menor temperatura máxima (figura 86) ocorreu em 26 de novembro de 2012 entre 12 e 13 horas, no telhado de concreto foi registrada 20,5° C, na face oeste 19,9° C e na leste 19,7° C do telhado verde, a variação entre as faces foi de 0,2° C e nos telhados foi de 0,8° C. A umidade relativa do ar no telhado de concreto (figura 87) foi de 80,2%, no telhado verde de 81,5% na face oeste e 83% na leste, a maior variação entre os telhados foi de 2,8%, ficando o telhado verde mais úmido, já entre as faces deste último a variação foi de 1,3%.

No dia 14 de novembro de 2012 a menor temperatura mínima (figura 86) ocorreu entre 0 e 2 horas, atingiu 13,8° C no telhado de concreto, 14,6° C na face leste e 15,2° C na oeste, a maior variação entre as coberturas dos telhados foi de 1,4° C, nas faces esta foi de 0,6° C. A umidade relativa do ar no telhado de concreto (figura 87) foi de 95%, no telhado verde foi de 94,5% na face leste e 93% na oeste, a maior variação entre as coberturas dos telhados foi de 2%, já nas faces do telhado verde foi de 1,5%

A maior temperatura mínima (figura 88) foi registrada em 24 de novembro de 2012 entre 23 e 0 hora, no telhado de concreto foi de 20,1° C, e no telhado verde 20,4° C para ambas as faces, a variação foi de 0,3° C entre os telhados. A umidade relativa do ar (figura 89) foi de 88,8% para a face leste e 90,7% na oeste do telhado verde e de 88,9% no telhado de concreto, ocorrendo uma variação de 1,9% entre as faces do telhado verde e 1,8% entre os telhados, sendo a face leste do telhado verde mais úmida.

Figura 86 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Máxima do Ar - Dados de 1º a 30 de novembro de 2012

Figura 87 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima - Dados de 1º a 30 de novembro de 2012

Para dezembro de 2012 destacam-se duas datas com maiores temperaturas máximas (figura 90), a primeira ocorreu no dia 21 entre 13 e 14 horas, no telhado de concreto registrando 34,9° C, no telhado verde 30° C na face oeste e 30,6° C na leste, a variação entre as faces foi de 0,6° C e, entre as coberturas dos telhados foi de 4,9° C, sendo telhado verde menos quente. A umidade relativa do ar (figura 91) foi de 47,4% no telhado de concreto, e no telhado verde foi de 55,6% na face leste e 57,3% na oeste, a variação da umidade entre as faces foi de 1,7% e a maior variação entre as coberturas dos telhados foi de 9,9%, ficando o telhado verde mais úmido.

No dia 24 de dezembro de 2012 a temperatura máxima (figura 90) ocorreu entre 14 e 16 horas, no telhado de concreto foi de 34,7° C, já no telhado verde a face leste registrou 30,8° C e na oeste 30,1° C, a variação das faces foi de 0,7° C e entre as coberturas dos telhados a maior chegou a 4,6° C. A umidade relativa do ar (figura 91) foi de 50,1% no telhado de concreto, e de 57,7% na face oeste e 57,8% na leste. A maior variação da umidade do ar entre as coberturas dos telhados chegou a 7,7%

A menor temperatura máxima (figura 90) foi registrada no dia 15 de dezembro de 2012, ocorrendo entre 11 e 15 horas e 30 minutos, no telhado de concreto foi de 22,7° C, no telhado verde na face oeste registrou 22° C e 22,2° C na face leste. A variação entre as coberturas dos telhados foi de 0,7° C. A umidade relativa do ar no telhado de concreto (figura 91) foi de 87,7%, no telhado verde na face oeste foi de 91,5% e 91,4% na leste, a maior variação entre os telhados foi de 3,8%, sendo o telhado verde mais úmido.

No dia 9 de dezembro de 2012 a menor temperatura mínima (figura 92) registrada ocorreu entre 19 e 20 horas, no telhado de concreto foi de 18,6° C, no telhado verde a face leste registrou 19,9° C e a oeste 20,3° C. A maior variação entre as coberturas dos telhados chegou a 1,7° C, sendo o telhado verde mais quente. A umidade relativa do ar (figura 93) foi de 85,4% no telhado de concreto, 80,9% na face leste e de 77,6% na face oeste, a variação entre as faces é de 3,3%, já a maior variação entre as coberturas dos telhados chegou a 7,8%, sendo o telhado de concreto mais úmido devido a temperatura que no telhado verde era um pouco mais elevada.

Já a maior temperatura mínima (figura 92) foi registrada no dia 26 de dezembro de 2012 entre 5 e 7 horas, no telhado de concreto foi de 24,1° C, na face leste foi de 24,6° C e na oeste de 24,4° C, a variação entre os telhados foi de 0,5° C e nas faces do telhado verde foi de

0,2° C. A umidade do ar (figura 93) no telhado de concreto e na face leste do telhado verde foi de 78% e na face oeste foi de 78,1%, com uma variação praticamente inexistente.

Figura 92 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 1º a 31 de dezembro de 2012

Figura 93 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 1º a 31 de dezembro de 2012

Em janeiro de 2013, no dia 8 ocorreu a maior temperatura máxima (figura 94) entre 14 horas e 50 minutos e 15 horas e 30 minutos, no telhado de concreto a temperatura atingiu 35° C, enquanto que no telhado verde na face leste foi de 30,6° C e na oeste 29,8° C, entre as faces a variação foi de 0,8° C, porém, a maior variação entre as coberturas dos telhados chegou a 5,2° C. A umidade relativa do ar (figura 95) no telhado de concreto foi de 52%, enquanto no telhado verde foi de 57,2% na face leste e 60,5% na oeste, a variação entre as faces foi de 3,3% e entre as coberturas dos telhados a maior variação chegou a 8,5%.

Para o mês de janeiro, a menor temperatura máxima (figura 94) ocorreu em 12 de janeiro de 2013, no horário entre 11 e 12 horas, no telhado de concreto a temperatura registrada foi de 19,8° C, na face leste foi de 18,6° C e na oeste 18,8° C, a variação entre as coberturas dos telhados foi de apenas 1° C e nas faces do telhado verde foi de 0,2° C. A umidade relativa do ar (figura 95) no telhado de concreto foi de 79,4%, na face leste 84,1% e 84,2% na oeste do telhado verde, a variação entre as coberturas dos telhados chegou a 4,8%, ficando o telhado verde mais úmido.

No dia 1° de janeiro de 2013 foi registrada a maior temperatura mínima (figura 96) que ocorreu entre 1 hora e 40 minutos e 2 horas, no telhado de concreto foi de 21,9° C, na face leste do telhado verde foi de 22,4° C, na oeste foi de 22,3° C, a maior variação entre os telhados foi de 0,5° C. A umidade relativa do ar (figura 97) no telhado de concreto foi de 80,8%, no telhado verde na face leste foi de 80,3% e na oeste 80,6%, a maior variação entre eles foi de 0,5%.

A menor temperatura mínima (figura 96) ocorreu no dia 12 de janeiro de 2013, no horário entre 3 horas e 50 minutos e 8 horas e 10 minutos, no telhado de concreto foi de 16° C, no telhado verde na face leste foi de 16,6° C e na oeste 17° C. A maior variação entre as coberturas dos telhados foi de 1° C. A umidade relativa do ar (figura 97) no telhado de concreto foi de 85,3%, na face leste do telhado verde foi de 89,4% e na oeste 82,3%, entre as faces a variação foi de 7,1% e entre as coberturas dos telhados chegou a 4,1%, sendo o telhado verde mais úmido em uma das faces.

Figura 96 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 1º a 31 de janeiro de 2013

Figura 97 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 1º a 31 de janeiro de 2013

Em 18 de fevereiro de 2013 a maior temperatura máxima (figura 98) foi registrada entre 16 horas e 10 minutos e 16 horas e 30 minutos. No telhado de concreto foi de 35,7° C, na face leste do telhado verde foi de 31,5° C e na oeste de 31° C, a variação entre as coberturas dos telhados foi de 4,7° C e entre as faces foi de 0,4° C. A umidade relativa do ar (figura 99) foi de 43,1% no telhado de concreto, de 50,7% na face oeste e 51,4% na face leste do telhado verde, sendo que a maior variação entre as coberturas dos telhados chegou a 8,3%, porém, entre as faces houve uma pequena variação de 0,7%.

A menor temperatura máxima (figura 98) ocorreu em 7 de fevereiro de 2013, no período entre 16 e 20 horas e 30 minutos. No telhado de concreto a temperatura foi de 21,4° C, no telhado verde na face leste foi de 20,8° C e na oeste de 20,2° C, a maior variação entre as coberturas dos telhados foi de 1,2° C, já entre as faces do telhado verde foi de 0,6° C, ficando o telhado verde mais frio. A umidade relativa do ar (figura 99) no telhado de concreto foi de 86,7%, no telhado verde a face leste de 84,3% e na oeste de 87,8%, a variação entre as faces foi de 3,3%, já a maior variação entre os telhados chegou a 1,1%, sendo a face oeste do telhado verde mais úmida.

Em 5 de fevereiro de 2013 ocorreu a menor temperatura mínima (figura 100), entre 2 horas e 50 minutos e 3 horas e 20 minutos, no telhado de concreto foi registrado 16,9° C, no telhado verde na face leste 17,8° C e na oeste 18° C, a maior variação entre os telhados foi de 1,1° C, ficando o telhado verde mais aquecido. A umidade relativa do ar (figura 101) no telhado de concreto foi de 93,9%, no telhado verde na face leste 92,9% e na oeste 92,7%, sendo a variação da umidade do ar entre os telhados de 1,2%, sendo esta maior no telhado de concreto.

A maior temperatura mínima (figura 100) registrada foi em 21 de fevereiro de 2013, quando o telhado de concreto registrou 21° C, o telhado verde na face leste registrou 21,8° C e na oeste 21,7° C, a variação entre os telhados foi de 0,8° C, ficando o telhado de concreto mais frio. A umidade relativa do ar (figura 101) no telhado de concreto foi 81%, já no telhado verde na face leste foi de 80,2% e 80,4% na oeste, sendo a variação entre os telhados de 0,8%, sendo o telhado de concreto mais úmido.

Figura 98 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Máxima do Ar - Dados de 1º a 28 de fevereiro de 2013

Figura 99 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (mínima) associada a Temperatura Máxima - Dados de 1º a 28 de fevereiro de 2013

Figura 100 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 1ª a 28 de fevereiro de 2013

Figura 101 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 1ª a 28 de fevereiro de 2013

Os dados relativos a março de 2013 destacaram-se duas datas que apresentaram as maiores temperaturas máximas (figura 102). O primeiro dia, 8 de março de 2013 que ocorre no período entre 12 h e 50 minutos e 14 horas, no telhado de concreto foi de 32,6° C, já no telhado verde a face leste registrou 29,1° C e a oeste 28,7° C, cuja variação foi de 0,4° C, a maior variação entre os telhados chegou a 3,9° C. A umidade relativa do ar (figura 103) foi de 54,1% no telhado de concreto, 63,6% na face oeste e 64,5% na face leste do telhado verde, sendo a maior variação entre os telhados chegou a 10,4%, ficando o telhado verde mais úmido, porém a variação entre as faces foi de 0,6%.

No dia 9 de março de 2013 entre 15 e 15 horas e 30 minutos (figura 102), o telhado de concreto registrou 32,6° C, no telhado verde a face leste 29,8° C e a oeste 29,5° C, a maior variação entre os telhados chegou a 3,1° C. A umidade relativa do ar (figura 103) no telhado de concreto foi de 51,6%, já no telhado verde na face leste foi de 62,3% e na oeste 67,4%, a variação entre as faces foi de 5,1% e a maior variação entre as coberturas dos telhados chegou a 15,8%, neste caso o telhado verde apresenta maior umidade.

Com relação a maior temperatura mínima está foi registrada em 5 de março de 2013 (figura 104), no período entre 20 e 20 horas e 50 minutos, no telhado de concreto foi de 21,2° C, no telhado verde na face leste foi de 21,9° C e na oeste de 22,1° C, a variação entre os telhados foi de 0,9° C, ou seja, uma pequena variação, porém, o telhado verde mantém o calor. A umidade relativa do ar (figura 105) foi de 85% no telhado de concreto, 85,1% no telhado verde face leste e 83,2% na oeste, sendo a variação entre os telhados de 1,8% quando comparada com a face oeste do telhado verde, já entre as faces do telhado verde a variação da umidade foi de 1,9%.

No dia 18 de março de 2013 foi registrada a menor temperatura mínima (figura 104), no horário de 23 horas e 30 minutos e 23 horas e 40 minutos. No telhado de concreto a mínima foi de 14,7° C, no telhado verde na face leste foi de 15,3° C e a oeste de 15,4° C, a maior variação entre os telhados foi de 0,7° C, ficando o telhado verde mais aquecido. A umidade relativa do ar (figura 105) no telhado de concreto registrou 92,7%, já o telhado verde na face leste foi de 94,1% e a oeste foi de 93,9%, sendo a maior variação entre as coberturas dos telhados de 1,4%, ou seja, o telhado verde apresentou maior umidade.

Figura 104 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Temperatura Mínima do Ar - Dados de 1º a 31 de março de 2013

Figura 105 - Sensores 1 e 2 (Telhado Verde) e Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Umidade Relativa do Ar (máxima) associada a Temperatura Mínima - Dados de 1º a 31 de março de 2013

7.2 - Análise da marcha horária dos sensores 1, 2 e 3, comparando com os dados do INMET

Para a elaboração destes gráficos foram realizadas as médias de temperatura e umidade mês a mês para o período de 20 de março de 2012 a 31 de março de 2013. Porém, as médias reduzem a visualização das grandes variações entre o telhado verde e o de concreto, mesmo assim, foi possível verificar a resposta dos telhados por meio do comportamento de cada linha dos sensores 1, 2 e 3 nos gráficos. Associado às médias dos telhados se comparou as médias de temperatura e umidade dos dados do INMET. A análise e comparação se basearam principalmente, nos horários em que se atingiu a temperatura máxima, bem como, a umidade relativa do ar associada a esta temperatura. Neste caso, foi extremamente importante para a pesquisa focalizar este período do dia, quando ocorreram as diferenças de temperatura e umidade entre os telhados verde (vegetado) e o de concreto devido à absorção da radiação solar.

A marcha horária para março de 2012 (figura 106) mostrou que o telhado de concreto apresentou um aquecimento mais rápido que o telhado verde, a partir das 9 horas já apresentou uma diferença significativa de $2,5^{\circ}\text{C}$ quando comparado a face oeste do telhado verde e, $1,7^{\circ}\text{C}$ quando comparado com o dado do INMET. O pico da máxima no telhado de concreto ocorreu às 13 horas, sendo a média de $26,2^{\circ}\text{C}$, neste horário a maior diferença entre os telhados verde e de concreto é de $2,3^{\circ}\text{C}$ e, quando comparado com a média do INMET é de $0,8^{\circ}\text{C}$.

A média da temperatura máxima no telhado verde ocorreu às 15 horas, ou seja, há um atraso no aquecimento do telhado verde de 2 horas, na face oeste foi de $25,1^{\circ}\text{C}$ e no telhado de concreto, na oeste foi de $24,8^{\circ}\text{C}$ e a média máxima do INMET foi de $25,7^{\circ}\text{C}$, a variação entre os telhados foi de $0,3^{\circ}\text{C}$ e entre o telhado verde e o dado do INMET é de $0,9^{\circ}\text{C}$.

Figura 106 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – março de 2012

A umidade relativa do ar (figura 107) às 9 horas no telhado de concreto e a média do INMET é igual, registrando 76,4%, no telhado verde face leste foi de 84,6% e, na oeste de 85,1%, apresentando uma diferença entre os telhados e o dado do INMET de 8,7%. No horário das 13 horas a média no telhado de concreto foi de 63,5%, enquanto no telhado verde face leste era de 71,3% e, na oeste de 70,5%, a maior variação entre as médias de umidade dos telhados foi de 7,8%.

A menor média da umidade no dado do INMET que ocorreu no horário das 13 horas registrando 56,3%, a diferença da média entre o INMET e o telhado verde que foi de 15%. Já às 15 horas ocorreu à média crítica de umidade no telhado verde foi de 66,3% na face leste, 65,7% na face oeste, 65,4% no telhado de concreto e de 53,5% dado do INMET. A maior variação entre as médias dos telhados foi de 3,6%, e entre o dado do INMET foi de 12,8%.

Figura 107 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – março de 2012

Em abril de 2012 (figura 108) a média da temperatura entre os telhados começou a ser significativa a partir das 11 horas, quando o telhado verde na face leste atingiu 21,9° C, na oeste 21,4° C e no telhado de concreto foi de 23,7° C, sendo a maior variação da média entre os telhados de 2,3° C. E a comparação da face oeste do telhado verde com o dado do INMET foi de 1,7° C.

As maiores médias no telhado verde ocorreram às 14 horas, onde a face leste atingiu 23,7° C, a oeste 23,5° C, sendo também a maior máxima no telhado de concreto 25,3° C, a maior variação média entre eles foi de 1,8° C e entre o dado do INMET foi de 1,6° C, sendo a média deste 25,1° C.

Figura 108 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – abril de 2012

A umidade relativa do ar média (figura 109) às 11 horas foi de 72,1% no telhado de concreto, no telhado verde face leste foi de 79,5%, na oeste de 80,8% e 66,2% no INMET. A maior variação média entre os telhados foi de 8,7% e para o INMET foi de 14,6%.

No horário das 14 horas no telhado verde a face leste teve como média 71,2%, a oeste 70,7%, o telhado de concreto 64,6% e o dado do INMET foi de 55,6%. A maior variação entre o telhado verde e de concreto foi de 6,6% e com o INMET foi de 15,6%. O telhado verde mesmo no horário crítico em que a maior temperatura reduz a umidade, este se mantém mais úmido.

Figura 109 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – abril de 2012

Para o mês de maio de 2012 (figura 110) a média da temperatura apresenta uma diferenciação entre os telhados a partir das 10 horas, quando o telhado de concreto registrou 18,2° C, a face leste do telhado verde 16,6° C e, a oeste 16,3° C, já o dado do INMET foi de 17,3° C, a maior variação da média entre os telhados foi de 1,9° C e, de 1° C quando comparado a face oeste com o dado do INMET, ou seja, o telhado verde apresenta um atraso no aquecimento.

No horário das 15 horas o telhado verde atingiu a média máxima da temperatura, na face leste 20,6° C, na oeste 19,9° C, no telhado de concreto foi de 21,4° C e o dado do INMET foi de 21,3° C. A maior variação entre os telhados foi de 1,5° C e com o INMET foi de 1,4° C. Porém, a maior média da máxima no telhado de concreto ocorreu às 14 horas, sendo de 22° C.

Figura 110 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – maio de 2012

Para a média de umidade relativa do ar no mês de maio (figura 111), às 10 horas o telhado verde registrou na face leste 85,4%, na oeste 87,3%, no telhado de concreto 78,5%, o dado do INMET foi de 75,4%. A maior variação entre os telhados foi de 8,8% e com relação ao INMET foi de 11,9%.

No horário das 15 horas, sendo este crítico para o telhado verde, a umidade do ar registrada na face leste foi de 67,9%, na oeste 69,7%, no telhado de concreto 63% e o dado do INMET foi de 54,1%, a variação entre os telhados foi de 6,7% e, quando comparado o telhado verde com o dado do INMET chega a 13,8%.

Figura 111 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – maio de 2012

Em junho de 2012 (figura 112) as médias das temperaturas começam a se diferenciarem a partir da 10 horas, quando o telhado de concreto registra 18,2° C, no telhado verde face leste é de 16,8° C e, na oeste de 16,9° C, já o dado do INMET a média é de 18° C. A maior variação média entre os telhados é de 1,4° C, com relação ao dado do INMET é de 1,2° C. O telhado de concreto atinge a média máxima de 21,5° C às 13 horas.

Porém, o telhado verde atingiu a média máxima às 15 horas, na face leste foi de 20,2° C, na oeste 19,8° C, no telhado de concreto foi de 21,1° C e o INMET atingiu a média máxima de 21,4° C. A maior variação da média da temperatura entre os telhados foi de 1,3° C e, com o dado do INMET foi de 1,6° C.

Figura 112 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – junho de 2012

A umidade relativa do ar média (figura 113) às 10 horas era de 86,7%, na face leste, 86,2% na oeste, 80,6% no telhado de concreto e de 74% pelo INMET. A maior variação entre os telhados foi de 6,1%, já comparado com o dado do INMET foi de 12,7%.

No horário das 15 horas a umidade do ar era de 73,8% na face leste do telhado verde, na oeste 74,5%, no telhado de concreto foi de 68,5% e o INMET registrou 58,2%. Entre os telhados a maior variação média foi de 6% e o dado do INMET comparado com o a maior média de umidade do telhado verde foi de 16,3%.

Figura 113 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – junho de 2012

A média da temperatura em julho de 2012 (figura 114) as 10 horas, o telhado verde registrou a média de 16,7° C na face leste, na oeste 16,3° C e no telhado de concreto 18,5° C, a média do INMET é de 17,9° C. Neste horário começou a ocorrer uma média de variação significativa entre telhados que é de 2,2° C e entre o dado do INMET o telhado verde é 1,6° C mais frio.

O pico da média no telhado de concreto ocorre às 14 horas sendo de 21,7° C. Já a maior média máxima do telhado verde ocorreu às 15 horas, na face leste atingiu 20,7° C, na oeste 20° C, no telhado de concreto 21,3° C e o pico da média do INMET foi de 21,6° C. A maior média de variação entre os telhados é de 1,3° C e o telhado verde quando comparado com a média do INMET é de 1,6° C.

Figura 114 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – julho de 2012

A umidade relativa do ar média (figura 115) as 10 horas foi de 76,4% na face leste, 77,5% na oeste, 69,6% no telhado de concreto e 65,5% é a média do INMET. A maior média de variação entre os telhados é de 7,9% e, entre o telhado verde e o INMET foi de 12%.

No horário das 15 horas, o telhado verde na face leste tem como média 62,1%, na face oeste foi de 63%, no telhado de concreto foi de 58,5% e o dado do INMET 49,7%. Entre os telhados a maior variação foi de 4,5%, já a variação entre o telhado verde e o dado do INMET foi de 13,3%.

Figura 115 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – julho de 2012

Em agosto de 2012 (figura 116), a partir das 11 horas teve início uma significativa diferença das médias das temperaturas. No telhado verde na face leste a média foi de 18,9° C, na oeste 18,7° C, no telhado de concreto foi de 20,8° C e pelo INMET foi de 21° C. A maior variação da média entre os telhados foi de 2,1° C, já a variação entre a face oeste e a média do INMET foi de 2,3° C.

A maior média da temperatura do ar no telhado de concreto ocorreu durante as 14 horas, sendo esta de 23,7° C, para o telhado verde esta ocorreu às 15 horas.

No horário das 15 horas se concentram as maiores médias da temperatura no telhado verde, na face leste foi de 22,2° C, na oeste 21,6° C, no telhado de concreto foi de 23,4° C e a média do INMET foi de 24,1° C. A maior variação entre os telhados foi de 1,8° C e a maior média entre o telhado verde e o INMET foi de 2,6° C.

Figura 116 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – agosto de 2012

A umidade relativa do ar média (figura 117) às 11 horas foi de 70,6% na face leste, 71% na oeste, no telhado de concreto foi de 63,3% e a média do INMET foi de 52,6%. A maior variação entre os telhados foi de 7,7%, já a variação do telhado verde face oeste e o dado do INMET foi de 18,4%.

No horário das 15 horas a umidade do ar média no telhado verde na face leste foi de 59,7%, na oeste 59,1%, no telhado de concreto foi de 53,1% e a média do INMET foi de 38%. A maior variação média entre os telhados foi de 6,6%, já a variação entre a média do INMET e o telhado verde foi de 21,7%.

Figura 117 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – agosto de 2012

Em setembro de 2012 (figura 118) no período das 10 horas a média da temperatura no telhado verde na face leste foi de 20,3° C, na oeste 19,9° C, no telhado de concreto foi de 22,1° C e a média do INMET foi de 21,5° C. A maior variação entre os telhados foi de 2,2° C, já a variação entre o dado do INMET e a face oeste do telhado verde é de 1,6° C.

A maior média da temperatura às 14 horas no telhado verde foi de 24,4° C na face leste, na oeste de 24,1° C, no telhado de concreto 25,8° C e o INMET foi de 25,4° C. A maior variação entre os telhados foi de 1,7° C e, entre o INMET e o telhado verde face oeste foi de 1,3° C.

Figura 118 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – setembro de 2012

A umidade relativa do ar média no telhado verde às 10 horas (figura 119) foi de 67,9% na face leste, 68,7% na oeste, no telhado de concreto 62,1% e a média do INMET foi de 53,7%, a maior variação entre os telhados foi de 6,6% e, entre o INMET e a face oeste do telhado verde foi de 15%.

No horário das 14 horas a média da umidade no telhado verde na face leste foi de 53,2%, na oeste de 53%, no telhado de concreto foi de 49,4% e a média do INMET foi de 39,6%, sendo esta a menor média da umidade. A maior variação entre os telhados foi de 3,8%, já entre o dado do INMET e a face leste do telhado verde foi de 13,6%.

Figura 119 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – setembro de 2012

Em outubro de 2012 (figura 120), a média da temperatura começou a ser significativa às 9 horas, no telhado verde face leste foi de 22,8° C, na oeste 22,5° C, no telhado de concreto 25° C e a média do INMET foi de 22,6°C. A variação entre os telhados chegou a 2,5° C e, quando comparado com a média do INMET foi de 0,1° C.

A maior média das temperaturas no telhado verde e no telhado de concreto foi às 14 horas, na face leste foi de 27,5°C, na oeste do telhado verde 27,3° C, no telhado de concreto 29,2° C e a média do INMET 27.5°C, a maior variação entre os telhados foi de 1,9° C, entre o telhado verde e o dado do INMET foi de 0,2° C quando comparado com a face oeste, já a leste apresenta a mesma temperatura que o INMET.

Figura 120 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – outubro de 2012

A média da umidade relativa do ar durante as 9 horas (figura 121) no telhado verde face leste foi de 77,2%, na oeste 77,6%, no telhado de concreto foi de 71,3% e a média do INMET foi de 64,1%. A maior variação da umidade entre os telhados foi de 6,3%, entre o INMET e o telhado verde foi de 13,4%. A menor média da umidade do ar ocorreu às 14 horas no telhado verde registrando na face leste 59,9%, na oeste de 58,9%, no telhado de concreto de 55,3% e a média do INMET foi de 44,5%. A variação entre os telhados foi de 4,6% e entre a média do INMET e o telhado verde foi de 15,4%.

Figura 121 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – outubro de 2012

Em novembro de 2012 (figura 122) a maior média da temperatura foi às 14 horas, no telhado verde na face leste foi de 23,3° C, na oeste 23,3° C, no telhado de concreto 24,7° C e a média do INMET foi de 24,5° C, cabe destacar que a maior média da temperatura do INMET ocorreu as 13 horas e foi de 24,9° C, porém, a principal comparação está centrada nos telhados dos edifícios. A maior variação entre os telhados foi de 1,4° C, a média entre o INMET e o telhado verde foi de 1,2° C.

Figura 122 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – novembro de 2012

Para o horário das 14 horas, a média da umidade relativa do ar (figura 123) no telhado verde foi de 75,5% na face leste, na oeste de 74,8% no telhado de concreto 71% e a média do INMET foi de 57,3%, porém, é possível observar que estes dois últimos apresentam uma média de umidade menor às 13 horas (figura 123). Porém, para o horário analisado a maior variação entre os telhados foi de 3,8%, já entre a média do INMET e o telhado verde foi de 17,5%.

Figura 123 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – novembro de 2012

Em dezembro de 2012 (figura 124) a média da temperatura começou a ser significativa entre os telhados a partir das 10 horas, no telhado verde na face leste foi de 23,6° C, na oeste de 23,3° C, no telhado de concreto foi de 26,4° C, sendo a mesma média do INMET. A maior variação média entre os telhados foi de 3,1° C, sendo esta a mesma variação entre o dado do INMET e o telhado verde.

A maior média das temperaturas do telhado verde ocorreu às 15 horas, na face leste foi de 28,4° C, na oeste 28, 1° C, no telhado de concreto 30,6° C e a média do INMET foi de 27,1° C. Destaca-se que a maior média da temperatura do telhado de concreto foi de 30,8° C às 13 horas, assim como, a do INMET que foi de 27,8° C. Para a análise e comparação se utilizou o horário das 15 horas, cuja maior variação entre os telhados foi de 2,5° C e, entre a média do INMET e o telhado verde foi de 1° C, porém, essa variação foi maior no telhado verde.

Figura 124 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – dezembro de 2012

A umidade relativa do ar média às 10 horas (figura 125) no telhado verde foi de 77,8% na face leste, 77,8% na face oeste, 68,1% no telhado de concreto e de 61,8% a média no INMET, a variação entre os telhados foi de 9,7%, já entre a média do INMET e o telhado verde foi de 16%.

Porém, no horário das 15 horas a média da umidade do ar no telhado verde foi de 62,3% na face leste, na oeste 61,2%, no telhado de concreto 54,2% e a média do INMET foi de 60,7%. A maior variação da umidade entre os telhados foi de 8,1%, já entre o dado do INMET e o telhado verde foi de 1,6%.

Figura 125 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – dezembro de 2012

Em janeiro de 2013 (figura 126), a média da temperatura no período das 11 horas passou a ser significativa entre os telhados, no caso do telhado verde na face leste foi de 24,2° C, na oeste de 23,9° C, no telhado de concreto 26,1° C e a média do INMET de 24° C. A maior variação média entre os telhados foi de 2,2° C e entre a o INMET e o telhado verde é de

0,1° C, sendo praticamente inexistente. As maiores médias das temperaturas ocorreram às 14 horas, sendo no telhado verde de 26,6° C na face leste, na oeste 26,3° C, no telhado de concreto 28,4° C e a média do INMET de 24,1° C. A maior variação entre os telhados foi de 2,1° C e entre o dado do INMET e o telhado verde foi de 2,2° C, ficando o telhado verde mais quente.

Figura 126 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – janeiro de 2013

A umidade relativa do ar média (figura 127) para as 11 horas no telhado verde foi de 78,5% na face leste e oeste, no telhado de concreto 71,3% e a média do INMET foi de 65,8%. A variação entre os telhados foi de 7,2%, já entre o INMET e o telhado verde foi de 12,7%.

No período das 14 horas, no telhado verde a menor média da umidade do ar foi de 68,4% na face leste, na oeste 67,9%, no telhado de concreto de 62,3% e a média do INMET foi de 61%. A maior variação da umidade do ar entre os telhados foi de 6,1% e, entre o telhado verde e a média do INMET foi de 7,4%.

Figura 127 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – janeiro de 2013

No mês de fevereiro de 2013 no gráfico da marcha horária (figura 128), a média da temperatura começou a ser significativa a partir das 10 horas, no telhado verde face leste foi de 22,4° C, na oeste de 22° C, no telhado de concreto de 24,3° C e a média do INMET foi de 25,2° C. A variação entre os telhados é praticamente inexistente, sendo de 0,4° C mais frio no lado oeste, já entre a média do INMET e o telhado verde foi de 3,2° C.

Porém, a maior média da temperatura ocorreu às 15 horas, no telhado verde na face leste foi de 26,4° C, na oeste 26,2° C, no telhado de concreto 28,3° C e a média do INMET foi de 26,8° C.

A maior variação média entre os telhados foi de 2,1° C, já entre o dado médio do INMET e o telhado verde foi de 0,6° C. É necessário ressaltar que às 14 horas o telhado de concreto teve a temperatura de 29,1° C e a média do INMET foi de 27,3° C, mas para a análise o importante é verificar e comparar as máximas do telhado verde para confirmar se realmente as temperaturas são menores na cobertura vegetada, mesmo numa região altamente adensada.

Figura 128 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – fevereiro de 2013

Para a umidade relativa do ar (figura 129) no horário das 10 horas, o telhado de concreto na face leste apresentou a média de 82,3%, na oeste foi de 83,4%, no telhado de concreto foi de 76,2% e a média do INMET foi de 62,7%, sendo a variação entre os telhados de 1,1%, e entre o dado do INMET e o telhado verde é de 20,7%.

A média da umidade do ar para as 15 horas no telhado verde foi de 68,5% na face leste, na oeste foi de 68,3%, no telhado de concreto foi de 61,8% e a média do INMET foi de 56,5%. A variação da umidade do ar entre os telhados foi de 6,7%, já entre a média do INMET e o telhado verde a variação chegou a 12%. Cabe ressaltar que às 14 horas o telhado de concreto teve a menor umidade do ar, sendo esta de 59,% e a média do INMET foi de 54,2%.

Figura 129 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – fevereiro de 2013

Para o mês de março de 2013 (figura 130) a partir das 10 horas, a média da temperatura começou a ser significativa, pois no telhado verde a média na face leste é de 23,3° C, na oeste foi de 22,8° C, no telhado de concreto foi de 25,2° C e a média do INMET foi de 23,2° C. A maior variação entre os telhados foi de 2,4° C, já entre a média do INMET e o telhado verde foi de 0,4° C praticamente inexistente.

Para o período das 16 horas, a maior média da temperatura no telhado verde face leste foi de 27,7° C, na oeste foi de 27,4° C, no telhado de concreto foi de 29,9° C e a média do INMET foi de 24,4° C, a variação entre os telhados foi de 2,5° C, e entre a média do INMET e do telhado verde foi de 3° C, ficando o telhado verde mais quente que o ponto do Mirante de Santana.

Figura 130 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Temperatura – março de 2013

Para a umidade relativa do ar a média (figura 131) no período das 10 horas foi de 76,3% para a face leste e oeste do telhado verde, para o telhado de concreto foi de 70,6% e a

média do INMET foi de 69,6%. A variação entre os telhados foi de 5,7% e entre a média do INMET e o telhado verde foi de 6,7%, sendo o telhado verde mais úmido.

Para as 16 horas, a média da umidade do ar foi de 60% na face leste do telhado de concreto, 59,5% na face oeste, 52,5% no telhado de concreto e 66% a média do INMET. A maior variação da média entre os telhados foi de 7,5%, já a maior variação entre o dado do INMET e o telhado verde e foi de 6%, sendo a umidade do ar maior no Mirante de Santana.

Figura 131 - Marcha Horária – Sensores 1 e 2 Telhado Verde, Sensor 3 Telhado de Concreto e INMET – Média da Umidade Relativa – março de 2013

É possível observar que em praticamente todos os gráficos, as linhas dos dados das médias de temperaturas do INMET e do telhado de concreto nos horários de maior radiação solar ficam quase sempre sobrepostas, indicando que os valores são próximos e mais elevados que as temperaturas do telhado verde. Porém, a umidade relativa do ar referente aos dados do INMET é sempre menor para os horários de maior radiação solar, ficando abaixo das linhas de umidade do ar de ambos os telhados.

7.3 - Análise e Comparação dos Dados de Amplitude Térmica verificada Sazonalmente no período de 20 de março de 2012 a 31 de março de 2013

Os dados dos sensores 1, 2 e 3, foram compartimentados segundo as estações do ano, o primeiro conjunto de dados foi agrupado em cada estação segundo os dados do Astronomical Applications Department – USNO (2013), que dividiu por dia, hora e minuto. Segundo este Instituto no dia 20 de março teve início o outono de 2012 às 2 horas e 14 minutos, no dia 20 de junho teve início o inverno de 2012 às 20 horas e 9 minutos, no dia 22 Setembro a primavera teve início às 11 horas e 49 minutos, no dia 21 de dezembro o verão de

2012 iniciou às 8 horas e 11 minutos (soma-se uma hora a mais em decorrência do horário de verão) e o no dia 20 de março de 2013 às 8 horas e 2 minutos teve início o outono. A coleta de dados foi finalizada durante este mês exatamente no dia 31 de março, ou seja, 11 dias a mais de coleta de dados, o que ultrapassou um ano.

Para a análise dos dados de amplitude térmica, os gráficos dos sensores foram divididos em outono de 20 de março a 20 de junho de 2012, quando se iniciou a coleta de dados sobre o telhado verde e o de telhado de concreto; inverno de 20 de junho a 22 de setembro de 2012; primavera de 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012; verão de 21 de dezembro 2012 a 20 de março de 2013 e o outono de 2013 a coleta ocorreu entre 20 e 31 de março, quando esta se encerrou nos telhados dos edifícios.

Para comparação entre os telhados foram utilizadas como referência a maior e a menor amplitude do telhado verde (sensores 1 e 2) e do telhado de concreto (sensor 3) para no período de cada estação do ano. Posteriormente, foram comparados os totais diários das amplitudes para cada período entre as faces do telhado verde e, também, entre o telhado verde e o total da amplitude do telhado de concreto.

No período do outono de 20 de março a 20 de junho de 2012 (figuras 132, 133 e 134), a maior amplitude térmica para o telhado verde face leste (sensor 1) foi de 12,3° C, na face oeste foi de 11,4° C, ambas no dia 5 de abril, porém, a maior amplitude no telhado de concreto ocorreu no dia 26 de março sendo de 13,5° C. Para este período de análise a menor amplitude térmica no telhado verde face leste ocorreu no dia 22 de Abril sendo de 2,3° C, neste mesmo dia na oeste foi de 2,4° C, já no telhado de concreto no dia 21 de Abril constata-se a menor amplitude que foi de 2,3° C.

É importante ressaltar que a maior variação do total da amplitude térmica diária entre as faces leste e oeste do Edifício Conde Matarazzo chega a 1,8° C, já entre a face oeste do telhado verde e o telhado de concreto do Edifício Mercantil/Finasa chega a ser de 5,3° C de amplitude.

Figura 132 - Amplitude Térmica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Leste - Outono - 20 de março a 20 de junho de 2012

Figura 133 - Amplitude Térmica - Sensor 2 (Telhado Verde) - Face Oeste - Outono 20 de março a 20 de junho de 2012

Figura 134 - Amplitude Térmica - Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Outono - 20 de março a 20 de junho de 2012

No período do inverno de 20 de junho a 22 de setembro de 2012 (figuras 135, 136 e 137), a maior amplitude térmica no telhado verde face leste ocorreu no dia 1º de setembro sendo de 13,5° C, na face oeste esta ocorreu no dia 16 de setembro e foi de 11,9° C, no telhado de concreto em 5 de setembro houve a maior amplitude sendo de 16,9° C. No período do inverno a menor amplitude no telhado verde face leste aconteceu no dia 16 de Julho e foi de 1,4° C, neste mesmo a menor amplitude também ocorreu na face oeste e no telhado de concreto, sendo respectivamente de 1,3° C e 1,7° C.

A maior variação do total da amplitude térmica diária entre as faces do telhado verde se obteve o mesmo valor de 1,8° C que ocorreu no período do outono e, entre o telhado de concreto e a face oeste quase sempre com menor amplitude entre as faces do telhado verde foi de 5,9° C.

No período da primavera entre 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012 (figuras 138, 139 e 140), a maior amplitude térmica no telhado verde face leste ocorreu no dia 1º de outubro sendo esta de 15,2° C, na face oeste aconteceu no dia 31 de outubro sendo de 14,5° C, no telhado de concreto a maior amplitude também ocorreu no dia 1º de outubro e foi de 19,5° C. Durante o inverno a menor amplitude térmica no telhado verde face leste ocorreu no dia 21 de dezembro e foi de 1,2° C, ocorrendo neste mesmo dia para a face oeste e o telhado de concreto, respectivamente 1,5° C e 2,1° C.

A maior variação do total da amplitude térmica diária entre as faces do telhado verde foi de 1,5° C no período da primavera e, entre a face oeste do telhado verde e o telhado de concreto a maior variação foi de 5,9° C a mesma que ocorreu no período do inverno.

Figura 138 - Amplitude Térmica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Leste - Primavera - 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012

Figura 139 - Amplitude Térmica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Oeste - Primavera - 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012

Figura 140 - Amplitude Térmica - Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Primavera - 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012

Para o período do verão que ocorreu de 21 de dezembro de 2012 a 20 de março de 2013 (figuras 141, 142 e 143), a maior amplitude térmica para a face leste do telhado verde aconteceu no dia 18 de fevereiro de 2013 e foi de $11,8^{\circ}\text{C}$, para este mesmo dia ocorreram também na face oeste do telhado verde e no telhado de concreto, sendo respectivamente de $11,5^{\circ}\text{C}$ e $17,5^{\circ}\text{C}$. Para o período analisado as menores amplitudes térmicas ocorreram todas no dia 20 de março de 2013 e foram respectivamente de $0,7^{\circ}\text{C}$ para ambas as faces do telhado verde e de $0,8^{\circ}\text{C}$ para o telhado de concreto.

A maior variação do total da amplitude térmica diária entre as faces do telhado verde foi de $1,1^{\circ}\text{C}$, entre a face oeste do telhado verde e o telhado de concreto a variação foi de $6,7^{\circ}\text{C}$.

Figura 141 - Amplitude Térmica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Leste - Verão - 21 de dezembro de 2012 a 20 de março de 2013

Figura 142 - Amplitude Térmica - Sensor 2 - (Telhado Verde) - Face Oeste - Verão - 21 de dezembro de 2012 a 20 de março de 2013

Figura 143 - Amplitude Térmica - Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Verão - 21 de dezembro de 2012 a 20 de março de 2013

Para o período do outono de 2013, os dados foram coletados de 20 a 31 de março de 2013 (figuras 144, 145 e 146), completando 1 ano e 11 dias de coleta de dados. No período a maior amplitude térmica no telhado verde tanto para a face leste, quanto para a oeste ocorreu no dia 30 de março, sendo respectivamente de 7,1° C e 6,7° C, no telhado de concreto a maior amplitude aconteceu no dia 31 de março sendo de 12,7° C. A menor amplitude foi registrada no dia 21 de março de 2013 para ambos os telhados, na face leste do telhado verde foi de 4,2° C, na oeste 4,3° C e no telhado de concreto foi de 6,3° C.

A maior variação do total da amplitude térmica diária entre as faces dos telhados foi de 1° C, entre a face oeste e o telhado de concreto a maior variação da amplitude térmica foi de 6,6° C.

Figura 144 - Amplitude Térmica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Leste - Outono - 20 a 31 de março de 2013

Figura 145 - Amplitude Térmica - Sensor 2 (Telhado Verde) - Face Oeste - Outono - 20 a 31 março de 2013

Figura 146 - Amplitude Térmica - Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Outono - 20 a 31 de março de 2013

Portanto, a face oeste do telhado verde apresenta quase sempre uma menor amplitude térmica, sendo a sua maior variação quando comparada com a face leste entre 1° e 1,8° C. Na comparação com o telhado de concreto a maior amplitude fica entre 5° e 7° C.

Analisando e comparando os gráficos as menores amplitudes térmicas para o período da pesquisa ocorreu durante a estação do outono referente aos anos de 2012 e 2013 seguida da primavera, porém, as maiores amplitudes térmicas ocorreram no verão e durante o inverno, ambas para no período de 2012.

7.4 - Análise e Comparação dos Dados de Amplitude Higrométrica verificada Sazonalmente no período de 20 de março de 2012 a 31 de março de 2013

Os dados de amplitude higrométrica dos sensores 1 e 2 do telhado verde e do sensor 3 do telhado de concreto, foram divididos de acordo com a sazonalidade, a elaboração dos gráficos seguiu o período e os horários das estações do ano.

Para análise e comparação da amplitude higrométrica foram considerados os dados das maiores e menores amplitudes das faces do telhado verde e para o telhado de concreto e, posteriormente, foram comparados os totais das amplitudes de ambos os telhados.

Durante o outono, cujo período foi de 20 de março a 20 de junho de 2012 (figuras 147, 148 e 149), a maior amplitude higrométrica para a face leste (sensor 1) foi de 51,2% e ocorreu no dia 21 de março, para este mesmo dia na face oeste (sensor 2) foi de 50,4%, neste mesmo dia o telhado de concreto foi de 58,1%. A variação de amplitude higrométrica entre as faces do telhado verde foi de 0,8 % e entre face oeste do telhado verde que teve a menor amplitude e o telhado de concreto foi de 7,7 %.

As menores amplitudes no telhado verde ocorreram no dia 30 de Abril, sendo respectivamente 4,9% na face leste, 5,4% na face oeste, no telhado de concreto foi de 5,4%. Neste caso, a variação entre as faces do telhado verde foi de 0,5% ficando a face leste minimamente mais úmida e, entre a face leste de menor amplitude e o telhado de concreto foi de 0,5%.

A maior variação dos totais diários das amplitudes higrométricas entre a face leste e oeste do telhado verde foi de 4,5% e, entre o telhado verde e de concreto chegou a 17,1%.

Figura 147 - Amplitude Higrométrica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Leste - Outono - 20 a 31 de março de 2012

Figura 148 - Amplitude Higrométrica - Sensor 2 (Telhado Verde) - Face Oeste - Outono - 20 de março a 20 de junho de 2012

Figura 149 - Amplitude Higrométrica - Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Outono - 20 de março a 20 de junho de 2012

No inverno que se iniciou em 20 de junho até 22 de setembro de 2012 (figuras 150, 151 e 152), as maiores amplitudes ocorreram todas no dia 1º de setembro, no telhado verde a amplitude foi de 63% na face leste, na oeste foi de 62,2% e para o telhado de concreto foi de 69,5%. A variação da amplitude higrométrica entre as faces foi de 0,8% e, entre o telhado verde face oeste e o telhado de concreto foi de 7,3%.

As menores amplitudes ocorreram no dia 20 de Junho, na face leste do telhado verde foi de 2,6%, na face oeste 2,4% e no telhado de concreto 0,9%. Entre as faces do telhado verde a variação foi de 0,2%, porém o telhado de concreto foi o que obteve menor variação, ou seja, decorrente da alta umidade do ar e pequena variação da temperatura.

Durante o inverno a maior variação diária total da amplitude higrométrica entre as faces do telhado verde foi de 7,1%, sendo a face oeste mais úmida. Já entre o telhado verde e o de concreto foi de 15,6%.

Figura 150 - Amplitude Higrômétrica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Leste - Inverno - 20 de junho a 22 de setembro de 2012

Figura 151 - Amplitude Higrômétrica - Sensor 2 (Telhado Verde) - Face Oeste - Inverno - 20 de junho a 22 de setembro de 2012

Figura 152 - Amplitude Higrômétrica - Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Inverno - 20 de junho a 22 de setembro de 2012

Na primavera de 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012 (figuras 153, 154 e 155), no dia 23 de novembro houve o registro das maiores amplitudes que na face leste do telhado verde foi de 69,7%, na oeste de 68,2% e no telhado de concreto foi de 76,4%. A variação entre as faces do telhado verde foi de 1,5%, já entre a face oeste e o telhado de concreto foi de 8,2%.

No dia 21 de dezembro ocorreram as menores amplitudes higrométricas, no telhado verde face leste foi de 7,1%, na oeste 5,9% e no telhado de concreto foi de 8,3%. A variação entre as faces foi de 1,2% e entre a face oeste e o telhado de concreto foi de 2,4%.

Para o período da primavera, a maior variação total da amplitude higrométrica diária entre as faces do telhado verde foi de 5,2%, já entre o telhado verde e de concreto foi de 17,7%.

Figura 153 - Amplitude Higrométrica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Leste - Primavera - 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012

Figura 154 - Amplitude Higrométrica - Sensor 2 (Telhado Verde) - Face Oeste - Primavera - 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012

Figura 155 - Amplitude Higrométrica - Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Primavera - 22 de setembro a 21 de dezembro de 2012

Durante o verão que foi de 21 de dezembro de 2012 a 20 de março de 2013 (figuras 156, 157 e 158), no dia 18 de março de 2013 ocorreram as maiores amplitudes, 48,8% na face leste do telhado verde, 48,2% na face oeste e 56,4% no telhado de concreto. A variação entre as faces do telhado verde foi de 0,6% e, quando comparada a face oeste com o telhado de concreto a variação foi de 8,2%.

A menor amplitude ocorreu no dia 20 de março de 2013 tanto para a face leste do telhado verde que foi de 2,8%, quanto para a face oeste que foi de 2,2%, no telhado de concreto a menor amplitude ocorreu no dia 3 de janeiro de 2013 e foi de 3,1%. A variação entre as faces foi de 0,6% e, entre a menor amplitude da face oeste com o telhado de concreto foi de 0,9%.

No verão a maior variação entre os totais das amplitudes diárias entre as faces do telhado verde chegou a 3,7%, ficando a face leste mais úmida, já entre o telhado verde e o de concreto foi de 16,4%.

Figura 156 - Amplitude Higrométrica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Leste - Verão - 21 de dezembro de 2012 a 20 de março de 2013

Figura 157 - Amplitude Higrométrica - Sensor 2 - (Telhado Verde) - Face Oeste - Verão - 21 de dezembro de 2012 a 20 de março de 2013

Figura 158 - Amplitude Higrométrica - Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Verão - 21 de dezembro de 2012 a 20 de março de 2013

A coleta de dados em 2013 avançou mais 11 dias, além de um ano, adentrando o início do outono de 2013, do dia 20 a 31 de março de 2013 (figuras 159, 160 e 161). Para este período as maiores amplitudes foram registradas no dia 28, na face leste do telhado verde foi de 31,2%, na oeste 29,9% e no telhado de concreto de 43,3%. A variação entre as faces foi de 1,3% e comparando a face oeste com o telhado de concreto foi de 13,4%.

A menor amplitude foi registrada no dia 27 para ambas a face do telhado verde foi de 12,4% para a leste e na oeste de 12,7% com uma variação de 0,3%, neste caso a face oeste teve uma pequena diferença de amplitude, ficando menos úmida. Para o telhado de concreto a menor amplitude ocorreu no dia 26, sendo esta de 18,6%, quando comparada com o menor valor da amplitude do telhado verde chega a ser de 6,2%.

Entre as faces do telhado verde a maior variação entre os totais das amplitudes higrométricas para o período de 11 dias foi de 3,1% ficando a face oeste mais úmida e, entre o telhado verde e de concreto foi de 19,5%.

Em todos os casos observa-se que o telhado de concreto apresenta uma relevante diferença de umidade do ar, principalmente nos horários em que ocorre a maior absorção da radiação solar.

Figura 159 - Amplitude Higrométrica - Sensor 1 (Telhado Verde) - Face Leste - Outono - 20 a 31 de março de 2013

Figura 160 -Amplitude Higrométrica - Sensor 2 (Telhado Verde) - Face Oeste - Outono - 20 a 31 de março 2013

Figura 161 - Amplitude Higrométrica - Sensor 3 (Telhado de Concreto) - Outono - 20 a 31 de março 2013

8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto dos centros urbanos das grandes cidades como é o caso de São Paulo, discutir sobre a possibilidade de minimizar o desconforto das condições climáticas mesmo que pontuais, são de extrema necessidade.

Dentro deste contexto, a pesquisa sobre o telhado verde em pleno centro de São Paulo, teve como objetivo analisar e comparar dois diferentes tipos de telhados, buscando demonstrar qual seria a real diferença de temperatura e umidade relativa do ar entre o telhado vegetado, que no caso do Edifício Conde Matarazzo é classificado como intensivo, pois apresenta característica de jardim e o outro telhado do Edifício Mercantil/Finasa, sendo este totalmente de concreto.

De modo geral, analisando e comparando os gráficos dos dados gerados pelo telhado verde e de concreto, se observou que nos dias mais quentes o telhado verde apresenta um menor aquecimento, decorrente da vegetação que absorve e reflete parte da radiação solar que chega a superfície terrestre por meio de ondas curtas. A vegetação neste caso propicia um atraso no aquecimento da temperatura do ar, mantendo a umidade maior, diferentemente do telhado de concreto que aquece rapidamente e horas antes que o telhado verde.

Quando ocorre o aumento da nebulosidade ou chuva decorrente de frentes frias, principalmente durante o dia as temperaturas praticamente não variam, porém, a umidade no telhado de concreto é um pouco maior e as temperaturas mais baixas. Porém, quando o sistema atmosférico atuante provoca pouco vento e céu sem nuvens, ocasiona uma grande diferenciação de temperatura e umidade do ar entre o telhado de concreto, o qual apresenta maior aquecimento e umidade reduzida e, o telhado verde que mantém as temperaturas menos elevadas e a maior umidade do ar.

Durante as mínimas as temperaturas variam pouco entre os telhados, principalmente no período noturno, porém, o telhado verde apresenta uma temperatura um pouco maior e umidade menor, quando comparado com o telhado de concreto.

Entre as faces do telhado verde existe uma variação de temperatura e umidade, que não são discrepantes entre si. A causa pode ser decorrente de dois motivos, o primeiro é que a face oeste apresenta uma vegetação mais densa e está voltado para o Vale do Anhangabaú, podendo estar sob uma maior influência dos ventos e umidade que advém do vale. O segundo é que a face leste apresenta uma vegetação mais esparsa e está voltada para a rua, onde se encontram vários edifícios.

Os dados das temperaturas dos sensores 1 e 2 (telhado verde) e do sensor 3 analisados mensalmente, possibilitaram verificar que durante as maiores máximas da temperatura a variação entre as faces do telhado verde foram de 0,4° C até 1,1° C, para as menores máximas as variações foram de 0,2° C até 0,8° C.

Para a umidade relativa do ar entre as faces, as variações da umidade mínima relacionada a maior temperatura máxima foram de 0,2% a 3,3%, para as menores temperaturas máximas as variações foram de 0,1% até 3,3%.

Quando comparadas a cobertura dos telhados verde e de concreto, as variações para as maiores temperaturas máximas foram de 0,6° C até 5,3° C, para as menores temperaturas máximas foram de 0,2° C até 3,1° C.

A umidade relativa do ar mínima entre os telhados relacionadas às maiores temperaturas máximas foram de 1,1% até 15,7%, ficando o telhado verde mais úmido. Para a umidade mínima relacionada às menores temperaturas máximas, as variações da umidade foram de 1,1% até 15,8%.

Para as maiores temperaturas mínimas, as variações entre as faces do telhado verde foram de 0,1° C até 1,2° C, já para as menores mínimas foram de 0,1° C até 0,8° C.

A umidade relativa do ar máxima relacionadas às maiores temperaturas mínimas, entre as faces do telhado verde variaram de 0,1% até 8,8%, sendo a face oeste a maior parte quase sempre mais úmida. Esta mesma umidade para as menores temperaturas mínimas as variações foram de 0,1% até 1,5%.

Para a comparação das maiores temperaturas mínimas entre os telhados houve uma variação de 0,3° C até 1,8° C, já para as menores temperaturas mínimas as variações foram de 0,7° C até 1,7° C.

A umidade relativa do ar máxima para as maiores temperaturas mínimas entre os telhados tiveram uma variação de 0,1% até 8,2%, porém, quando comparadas as menores mínimas as variações foram de 01% até 13,9%.

Durante as temperaturas mínimas que ocorrem geralmente nas madrugadas, o telhado de concreto apresentou as temperaturas mais baixas, consequentemente uma maior umidade.

Nos gráficos da marcha horária em que foram comparados os dados dos sensores 1, 2 e 3, juntamente com os dados do INMET, se observou que o telhado de concreto apresenta uma diferença inicialmente significativa da média de temperatura e umidade, principalmente a partir das 10 horas para os meses de Maio, Junho, Julho, Setembro e Dezembro de 2012, Fevereiro e Março de 2013, cuja variação chegou até 3,1° C e 9,7% para a umidade relativa do

ar. Para este mesmo horário a variação da entre o telhado verde e média dos dados do INMET foi de 0,4° C até 3,2° C e a umidade relativa do ar ficou entre 6,7% a 20,7%.

Para os meses de março e outubro de 2012, a variação da temperatura começa a ser significativa a partir das 9 horas, entre os telhados foi de 2,5° C e a umidade relativa do ar foi respectivamente de 8,7% e 6,3%. Entre os dados do telhado verde e INMET a variação foi respectivamente 1,7° C e 0,1° C e a umidade de 8,75 e 13,4%.

Nos meses de abril de 2012 e janeiro de 2013, a variação significativa da temperatura se inicia às 11 horas, cuja diferença entre os telhados é respectivamente de 2,3° C e 2,2° C, já a umidade relativa do ar foi de 8,7% e 6,1%. Quando comparados os dados do telhado verde e do INMET a temperatura variou de 1,7° C e 0,1° C, para a umidade foi de 15,6% e 7,4%.

A máxima da temperatura e umidade ocorreu entre 13 e 15 horas, o telhado de concreto geralmente apresentou as maiores médias de temperatura entre 13 e 14 horas, diferentemente do telhado verde que ocorreu entre 14 e 15 horas. Para a umidade do ar mínima o comportamento para ambos os telhados foi o mesmo.

Tendo como parâmetro o telhado verde se observou que no horário das 14 horas para os meses de abril, setembro, outubro e novembro de 2012 e, janeiro de 2013, a variação de temperatura entre os telhados (verde e concreto) foi de 1,4° C até 2,1° C, entre o telhado verde e a média dos dados do INMET foi de 1,2° C até 2,2° C. Para a umidade relativa do ar neste horário a variação entre os telhados foi de 3,8% até 6,6% e, quando comparado o telhado verde com o dado do INMET, a umidade foi de 7,4% até 17,5%.

O pico calor ocorreu às 15 horas na maior parte dos meses de maio, junho, julho, agosto e dezembro de 2012, Fevereiro de 2013. A variação da temperatura entre os telhados foi de 1,3° C até 2,5° C, entre o telhado verde e o INMET a variação foi de 1,4° C até 2,6° C. Para a umidade relativa do ar neste período a variação entre os telhados foi de 4,5% até 8,1%, entre o telhado verde e o dado do INMET foi de 1,6% até 21,7%.

Nos meses de março de 2012 e 2013, o pico de calor ocorreu respectivamente no horário das 13 e 16 horas. Para o primeiro mês a variação entre os telhados foi de 2,3° C e comparando o telhado verde com o INMET foi de 0,8° C. No segundo, a variação entre os telhados foi de 2,5° C e a comparação entre o telhado verde e o INMET foi de 3° C.

A umidade relativa do ar para março de 2012 entre os telhados teve variação de 7,8% e entre o telhado verde e o INMET foi de 15%. Para março de 2013, a variação foi de 7,5% entre os telhados e de 6% quando comparado o telhado verde com o dado do INMET.

Para o mês de março de 2012 as 9 horas começou a ocorrer um significativo aumento da temperatura, entre os telhados foi de 2,5° C, entre o telhado verde e o dado do INMET foi

de 1,7° C, para a umidade relativa do ar entre os telhados a variação foi de 8,7%, ocorreu este mesmo valor para a comparação com o dado do INMET.

As maiores amplitudes térmicas sazonais entre as faces do telhado verde, ocorreram no outono e inverno de 2012, sendo de 1,8° C.

Porém, entre os telhados que foi o enfoque da pesquisa, quando comparadas os totais das maiores amplitudes térmicas ocorreram no verão 2012 e no outono 2013, as diferenças do total são respectivamente de 6,7° C e 6,6° C.

Nas amplitudes higrométricas, quando comparados os totais, as maiores diferenças de variações entre os telhados (verde e de concreto) que ocorreram no outono e primavera de 2012, são respectivamente, 17,1% e 17,7%. E entre as faces do telhado verde quando comparados os totais, as maiores diferenças de amplitudes que ocorreram no inverno e primavera de 2012 são respectivamente de 7,1% e 5,2%.

No caso da cidade de São Paulo, o telhado verde demonstrou ser extremamente eficiente para reduzir os impactos no microclima, pois a maior variação de temperatura entre os telhados dos edifícios pesquisados foi de 5,3° C. Quanto a umidade relativa do ar a maior variação entre os telhados foi de 15,7%.

Portanto, o telhado verde além de absorver e emitir parte da radiação solar, também contribui para o aumento da quantidade de umidade em decorrência da evaporação, evapotranspiração e redução do aquecimento, ou seja, influencia tanto no balanço de radiação, quanto no de energia. Este tipo de estrutura é essencial para a área central, onde os eventos como a formação da ilha de calor, as enchentes, os ventos, entre outros, são potencializados pelas ações antrópicas.

Neste caso, o telhado verde pode ser uma solução, mesmo que pontual para reduzir os impactos no microclima e deveria fazer parte das políticas públicas do município como forma de ampliar as áreas verdes no centro da cidade de São Paulo.

REFERÊNCIAS

ACSREALD, H. Discursos da Sustentabilidade Urbana. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, ANPUR, nº 1, p. 79-90, 1999.

ALISSON, E. Lei do Telhado Branco pode agravar aquecimento em São Paulo. **Revista Exame**, São Paulo, Mai. 2011. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/ciencia/noticias/lei-do-telhado-branco-pode-agravar-aquecimento-em-sao-paulo>>. Acesso em: 25 jun. 2013.

ALMEIDA, M. A. M. **Coberturas Naturadas e Qualidade Ambiental**: Uma Contribuição em Clima Tropical Úmido. 2008. 143 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ARANTES, O. B. F. Cultura e Transformação Urbana. In: **Cidade e Cultura**: esfera pública e transformação urbana. São Paulo: Ed. Estação Liberdade, 2002, p. 59-70.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:1980 versão corrigida 2000**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2000. 5 p.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986. p. 331 p.

BARCELONA. Comissió de Les Normes Tecnològiques de Jardineria i Paisatgisme. **NTJ 11E Cobertes Ecològiques Extensives**. Barcelona: Col.Legi Oficial D'Enginyers Tècnics i Perits Agrícoles de Catalunya. 1999, 34 p.

BARCELONA. Comissió de Les Normes Tecnològiques de Jardineria i Paisatgisme. **NTJ 11I Cobertes Enjardinades Intensives**. Barcelona: Col.Legi Oficial D'Enginyers Tècnics i Perits Agrícoles de Catalunya. 2000, 37 p.

BEATRICE, C. C. **Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BEYER, P. O. **Medição do Desempenho Térmico de Ecotelhas**. Rio Grande do Sul: UFRGS-RS, 2006. p. 1-4. Relatório técnico.

BfN (Bundesamt für Naturschutz). **Natureparke in Deutschland**. Disponível em: <http://www.bfn.de/0308_np+M54a708de802.html>. Acesso em: 20 jun. 2013.

BIDOU-ZACHARIASEN, C. *et al* (Coord.) **De volta à cidade:** dos processos de gentrificação as políticas de “revitalização” dos centros urbanos. São Paulo: Annablume, 2006.

BRASIL. Projeto de Lei nº 1703, 29 de junho de 2011. Dispõe sobre a instalação do denominado “Telhado Verde” e dá outras providências. **Lex:** br:camara.deputados:projeto.lei;pl:2011-06-29;1703, Brasília, DF, 2011.

CABRAL, E. **Tendências e Variabilidade do Fenômeno Pluvial na Região Metropolitana de São Paulo e Possíveis Vinculações com o Processo de Urbanização**. 2002. 183 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A. **Uso de Telhados Verdes no Controle Quali-Quantitativo Do Escoamento Superficial Urbano**. Disponível em:<http://www.ecotelhado.com.br/_layouts/OSSSearchResults.aspx?cs=Neste%20Site&u=http%3A%2F%2Fwww%2Eecotelhado%2Ecom%2Ebr&k=duplicates:%2214010%22%20>. Acesso em: 10 mai. 2013.

CHICAGO Climate Action Plan. **Strategy 1. Energy Efficient Buildings**. Chicago. p. 21-22. Disponível em: <<http://www.chicagoclimataction.org/filebin/pdf/finalreport/EnergyEfficientBuildings.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2011.

CHICAGO DEPARTMENT OF ENVIRONMENT. **A Guide to Rooftop Gardening**. Chicago. p. 4-17. Disponível em: <http://www.artic.edu/webspaces/greeninitiatives/greenroofs/images/GuidetoRooftopGardenin_g_v2.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2011.

CHICAGO Green Roof Program. Disponível em: < <http://inhabitat.com/chicago-green-roof-program/> >. Acesso em: 15 mai. 2010.

City of Chicago Department of Enviroment and City of Chicago Department of Planning and Development. In: EART PLEDGE. **GREEN ROOFS** Ecological Desing and Constrution, Library of Congress. Atglen, 2005. p. 124-126.

CLAVAL, P. **A Construção do Brasil:** Uma grande Potência em Emergência. Tradução de Duarte Pacheco Souza. Lisboa: Instituto Piaget, 2004. 450 p.

CLAVER, N. A Ciutat vella de Barcelona: renovação ou gentrificação. In: BIDOU-ZACHARIASEN, C. *et al* (Coord.) **De volta à cidade**: dos processos de gentrificação as políticas de “revitalização” dos centros urbanos. São Paulo: Annablume, 2006. p. 145-166.

CONTI, J. B. São Paulo, a Metrópole do Trópico Úmido. In: CARLOS, A. F.; OLIVEIRA, A. U. (Orgs.). **Geografias de São Paulo**: Representação e crise da metrópole. São Paulo: Contexto, 2004, v. 1, p. 157-170.

EISENMAN, T. Raising the Bar on Green Roof Design. **Landscape Architecture**, Washington D. C., p. 22-29, 2006.

FERRAZ, I. L.; LEITE, B.C.C. Amendoim no telhado: O comportamento da grama-amendoim (*Arachis repens*) na cobertura verde extensiva. In: VI ENCONTRO E IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, Vitória/ES, 2011, p. 1-8.

FREITAS, M. K.; LOMBARDO, M. A. Índices urbanísticos e qualidade ambiental em áreas centrais de metrópoles: o caso de São Paulo. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, nº12, ano 06, p. 69-81, 2007.

FRITH, M.; GEDGE, D. London The Wild Roof Renaissance. In: EART PLEDGE. **GREEN ROOFS** Ecological Desing and Constrution, Library of Congress. Atglen, 2005. p. 117-120.

FRÚGOLI JÚNIOR, H. **Centralidade em São Paulo**: trajetórias, conflitos e negociações na metrópole. São Paulo: Cortez; Edusp, 2000. p. 254.

FURLAN, S. A. Paisagens Sustentáveis: São Paulo e sua Cobertura Vegetal. In: CARLOS, A. F.; OLIVEIRA, A. U. (Orgs.). **Geografias de São Paulo**: A metrópole do século XXI. São Paulo: Contexto, 2004, v.2, p. 255-283.

GAFFIN, S. R.; KHANBILVARDI, R.; ROSENZWEIG, C. Development of a Green Roof Environmental Monitoring and Meteorological Network in New York City. **Sensors Open Access Journal**, Switzerland, v. 9, p. 2647-2660, 2009.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução de Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.

GAUZIN-MÜLLER, D. **Sustainable Architecture and Urbanism**: Concepts, Technologies, Examples. Basel-Berlin-Boston: Birkhäuser, 2002, p. 53-54.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia**: O clima da camada de ar junto ao solo. Tradução de Ivone Gouveia e Francisco Caldeira Cabral. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, original de 1961.

GREEN ROOF Project. **Almanac Journal of record, opinion and news**, Univesity of Pennsylvania, Philadelphia, v. 55, n. 6, 2008. Disponível em: <<http://www.upenn.edu/almanac/volumes/v55/n06/sustainability.html#radian>>. Acesso em: 14 jun. 2013.

GREEN Roofs For Healthy Cities. **Green Roof Industry Grows 28.5 Per Cent in 2010!**. Disponível em: < <http://www.greenroofs.org/resources/2011GreenRoofSurveyResults.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2011.

HARVEY, D. Parte II – A transformação político-econômica do capitalismo do final do século XX. In: **A Condição Pós-Moderna**: Uma Pesquisa sobre as Origens da Mudança Cultural. São Paulo: Ed. Loyola, 2010. p. 115-184.

HATHAWAY, A. M.; HUNT, W. F.; JENNINGS, G. D. A Field Study of Green Roof Hydrologic and Water Quality Performance. **Transactions of ASABE**, Carolina do Norte, v. 51(1), p. 37-44, 2007.

HOBSBAWN, E. J. **A era das revoluções**: Europa 1789-1848. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

HOUGH, M. **Cities and natural process: a basis for sustainability**. 2ª ed. Nova Iorque: Routledge, 2004. P. 189-218.

IGRA International Green Roofs Association. **Green Roof Types**. Disponível em: <http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php>. Acesso em: 14 Jun. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Distribuição percentual da população nos Censos Demográficos, segundo as Grandes Regiões, as Unidades da Federação e a situação do domicílio -1960/2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=9&uf=00>>. Acesso em: jul. 2013.

JACOBI, P. Impactos socioambientais urbanos – do risco à busca da sustentabilidade. In: MENDONÇA, F. (org.). **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: Ed. UFPR, 2004. p.169-184.

JACOBS, J. **Morte e Vida de Grandes Cidades**. 2ª ed. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2009. p. 451-475.

JONSTON, J.; NEWTON, J. **Build Green**: A guide to using plants on roofs, walls and pavements. London: Mayor of London, 2004. p. 1-121. Disponível em: <http://legacy.london.gov.uk/mayor/strategies/biodiversity/docs/Building_Green_main_text.pdf>. Acesso em: 16/06/2013

KOHLER, M.; KEELEY, M. Berlin Green Roof Technology and Policy Development. In: EART PLEDGE. **GREEN ROOFS** Ecological Desing and Constrution, Library of Congress. Atglen, 2005. p. 108-112.

LIMA, N. G. B. **Análise Microclimática dos Manguezais da Barra do Ribeira-Iguape/SP**. 2009. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

LIU, K.; MINOR, J. Perfomance evaluation of na extensive green roof. National Research Council Canadá (NRC), **Greening Rooftops for Sustainable Communités**, Washington, D. C., p. 1-11, mai. de 2005.

LIU, K; BASKARAN, B. Thermal performance of green roofs through field evaluation. National Research Council Canada (NRC), **Proceeding for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade Show**, Chicago, IL., mai. pp. 1-10, 2003.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: O exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985. 244 p.

LYNCH, K. **A Imagem da Cidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

MARCONI, M.A.; LÁKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MENDONÇA, F. (org.). S.A.U. – Sistema Socioambiental Urbano: Uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. In: **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: Ed. UFPR, 2004. p.185-207.

MIKAMI, T. Tokyo Cooling Rooftop Gardens. In: EART PLEDGE. **GREEN ROOFS** Ecological Desing and Constrution, Library of Congress. Atglen, 2005. p. 113-116.

MONBEIG, P. O Crescimento da Cidade de São Paulo. In: SZMRECSÁNYI, T. **História Econômica da Cidade de São Paulo**. São Paulo: Ed. Globo, 2004. p. 14-115.

MONTEIRO, C. A. de F. Teoria e Clima Urbano. In: MENDONÇA, F. (org.). **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: Ed. UFPR, 2011. p. 9-67.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. 1975. 219 f. Tese de Livre-docência – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

MONTEIRO, E. Z. **Verdes-dentro e Verdes-fora**: visões de futuro para uma comunidade de autoconstrutores. 1ª ed. São Paulo: Editora Annablume, 2012, p. 13-203,

MOTTA, D. M. Propostas de Legislação Federal sobre Política Urbana e o Desafio da Gestão das Cidades. In: **Estatuto da Cidade**. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima – CEPAM, 2001, p. 15-45.

MUMFORD, L. Paraíso Paleolítico: Coketown. In: **A cidade na história suas origens, transformações e perspectivas**. 3ª Ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991, p. 483-520.

OLIVEIRA, M. S. G. **Arquitetura em São Paulo na Era Vargas**. O Art Déco e a Arquitetura Fascista nos Edifícios Públicos (1930-1945). 2008. 139 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PECK, S. W.; CALLAGHAN, C.; KUHN, M. E.; BASS, B. **Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada**: Status report on Benefits, Barriers and Opportunities for Green Roof and Vertical Garden Technology Diffusion. Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada. 1999, 5-78 p.

PECK, S.; KUHN, M.E. **Design Guidelines for Green Roofs**. Canada: Mortgage and Housing Corporation and the Ontario Association of Architects, 2003. 22 p.

PEREIRA, A. R. et al. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. p. 478.

PLEDGE, E.; SCHOLZ-BARTH, K. From Grey to Green. Enviromental Benefits of Green Roofs. In: EART PLEDGE. **GREEN ROOFS** Ecological Desing and Constrution, Library of Congress. Atglen, 2005. p. 16-21.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Atlas Ambiental do Município de São Paulo**. Disponível em <<http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/?id=1>>. Acesso em: 29 dez. 2008.

PRIGGE, W. Metropolização. **Cidade e Cultura: esfera pública e transformação urbana**. São Paulo: Ed. Estação Liberdade, 2002. p. 51-58.

RODRIGUES, R. **Seu teto pode ser verde**: Com exemplo do país vizinho, podemos melhorar as nossas cidades. Disponível em: <<http://br.noticias.yahoo.com/seu-teto-pode-ser-verde-194900215.html>>. Acesso em: 3 mai. 2013.

ROSS, J. L. S. São Paulo: A Cidade e as Águas. In: CARLOS, A. F.; OLIVEIRA, A. U. (Orgs.). **Geografias de São Paulo: A metrópole do século XXI**. São Paulo: Contexto, 2004, v. 2, p. 183-219.

SANTA CATARINA (Estado). Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007. Dispõe sobre a implantação de sistemas de maturação através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.

SANTOS, M. Os Dois Circuitos da Economia dos Países Subdesenvolvidos. In: **O Espaço Dividido: Os Dois Circuitos da Economia Urbana dos Países Subdesenvolvidos**. São Paulo: Edusp, 2001. p. 15-82.

_____. **Técnica, Espaço, Tempo**. Globalização e meio técnico-científico informacional. 2. Ed. São Paulo: Hucitec, 1996. p. 189.

SÃO PAULO (Município). Projeto de Lei nº 01-0615, de 22 de setembro de 2009. Acresce item 9.2.5 à Seção 9.2 do Capítulo 9 do Anexo I, integrante à Lei nº 11.228, de 25 de Junho de 1992, e dá outras providências. **REF**: a Campanha que incentiva que todos os Telhados e Tetos das Grandes Cidades sejam Pintados de Branco para diminuir os Efeitos do Aquecimento Global, São Paulo, 2009

SCARLATO, F. C. Busca do Centro - O Reencontro com a Cidade. In: CARLOS, A. F. A.; OLIVEIRA, A. U. (Orgs.). **Geografias de São Paulo: Representação e crise da Metrópole**. São Paulo: Ed. Contexto, 2004, v. 2, p. 247-270.

SEMPLA. Secretaria Municipal de Planejamento Urbano; SMA. Secretaria. **Atlas Ambiental do Município de São Paulo. Fase I: Diagnóstico e bases para a definição de Políticas Públicas para as Áreas Verdes no Município de São Paulo**. São Paulo: Fapesp, 2002.

SILVA FILHO, D. F. **Aplicação de Videografia Aérea Multiespectral na Avaliação de Floresta Urbana**. 2004. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

SMDU, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Expansão Urbana e Degradação Ambiental**. Disponível em: <http://smdu.prefeitura.sp.gov.br/dinamica_urbana/mapas/capitulo_V.pdf>. Acesso em: 3 out. 2011.

SONNE, J. Evaluating Green Roof Energy Performance. **ASHRAE Journal**, Florida, Florida, v. 48, p. 59-61, 2006.

SOUZA, M. L. de. **ABC do Desenvolvimento Urbano**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 190.

SPITZCOVSKY, D. **Telhado verde pode se tornar obrigatório em Curitiba**. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticias/telhado-verde-obrigatorio-edificacoes-curitiba-combate-ilhas-calor-737817.shtml?utm_source=redesabril_psustentavel&utm_medium=facebook&utm_campaign=redesabril_psustentavel>. Acesso em: 04 abr. 2013.

THOMPSON, B. **The Green Roof at the Minnesota Landscape Arboretum**, 2010. Disponível em: <http://www.arboretum.umn.edu/green_roof.aspx>. Acesso em: 17 jun. 2013.

TONHÃO, M. **Marcello Piacentini: Arquitetura no Brasil**. 1993. 238 f. Dissertação (Mestrado em História da Arte e da cultura) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

TROPPEMAIR, H. Biogeografia e Meio Ambiente. **A Biosfera e os Seres Vivos**. Rio Claro: Divisa, 2004. p. 17-35.

ULTRAMARI, C. Da Viabilidade de um Desenvolvimento Urbano Sustentável. **Boletim Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 33, 1998.