



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Influência da Vegetação nas Condições Microclimáticas em Ambientes Urbanos - Estudo de Caso Ilha do Fundão

Erica Caverzam Barbosa

Projeto de Graduação apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental da Escola
Politécnica, Universidade Federal do Rio
de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de
Engenheiro Ambiental.

Orientador: Heloisa Teixeira Firmo

Co-orientador: Célia Maria Paiva

Rio de Janeiro

Março 2016

**Influência da Vegetação nas Condições Microclimáticas em Ambientes Urbanos -
Estudo de Caso Ilha do Fundão**

Erica Caverzam Barbosa

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinado por:

Prof^a Heloísa Teixeira Firmo, D. Sc.

Prof^a Célia Maria Paiva, D. Sc.

Prof^o Jorge Henrique Alves Prodanoff, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2016

Barbosa, Erica Caverzam

Influência da Vegetação nas Condições Microclimáticas em Ambientes Urbanos - Estudo de Caso Ilha do Fundão / Erica Caverzam Barbosa – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2016.

X, 125 p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Heloisa Teixeira Firmo

Co-Orientador: Célia Maria Paiva

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica /
Curso de Engenharia Ambiental, 2016

Referências Bibliográficas: 109-125

1. Microclima; 2. Ilhas de Calor; 3. Infra-Estrutura Verde; 4. Sensoriamento Remoto. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Influência da Vegetação nas Condições Microclimáticas em Ambientes Urbanos - Estudo de Caso Ilha do Fundão.

*"Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena / Acreditar no sonho
que se tem / Ou que os seus planos nunca vão dar certo / Ou que você
nunca vai ser alguém."*

Legião Urbana - Mais uma Vez

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família. Embora com pouquíssimos recursos, meus pais fizeram o máximo para que eu pudesse prosseguir com meus estudos e chegar onde eu cheguei hoje. Espero poder retribuir a eles tudo o que me deram com essa e outras conquistas.

À Maria Clara Sodré e Beatriz Ligiero que reconheceram meu potencial quando ainda estava na creche e me selecionaram para a oportunidade que iria mudar minha vida. Se tornaram verdadeiras mães e me ensinaram como nunca desistir dos meus sonhos. Junto a elas, gostaria de agradecer também à Paula Pessoa, Mônica Rivera e Cecília Miranda, por todo carinho, atenção e dedicação.

Ao ISMART, que possibilitou meu desenvolvimento acadêmico durante todos esses anos, sendo parte fundamental da minha conquista.

À todos os professores do Colégio Pedro II da Unidade Centro, que formam além de excelentes estudantes, cidadãos excepcionais.

À todos os professores do DHRIMA que, além de serem excelentes profissionais, sempre me trataram com muito carinho e atenção. Em especial, gostaria de agradecer aos professores Paulo Renato, Monica Pertel, Jorge Henrique Prodanoff e à professora Heloisa Firmo, por toda a dedicação e apoio ao longo da minha trajetória.

À professora Célia, pela dedicação e suporte para a realização deste trabalho. E também pela simpatia e alegria com que sempre me recebeu.

À professora Elizabeth Souza e ao aluno Vandrê Viégas pela ajuda com o mapeamento do uso do solo no sensoriamento remoto.

A todos os meus amigos que me apoiaram nas horas boas e ruins, sempre dando apoio para que eu conseguisse alcançar meus objetivos.

Obrigada a todos!

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

**Influência da Vegetação nas Condições Microclimáticas em Ambientes Urbanos -
Estudo de Caso Ilha do Fundão**

Erica Caverzam Barbosa

Março de 2016

Orientador: Heloisa Teixeira Firmo

Co-orientador: Célia Maria Paiva

Curso: Engenharia Ambiental

O presente trabalho se propôs a investigar a influência da vegetação no microclima urbano. Para tal, foram realizadas três diferentes abordagens práticas. A primeira delas consistiu em medições de campo feitas ao longo de seis dias em locais com e sem a presença de vegetação arbórea. Os dados coletados foram referentes à temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e temperatura de superfície. Após analisados, esses dados foram utilizados em uma equação de índice de calor, para determinar a influência dos espaços verdes na percepção térmica de um indivíduo em ambientes externos. Por fim, foram gerados mapas através de imagens dos satélites Rapideye e LANDSAT 8, que permitiram a avaliação da espacialização dos contrastes térmicos entre áreas protegidas (arborizadas) e expostas (gramadas) à radiação solar incidente.

Os resultados obtidos através das medições indicaram uma influência da vegetação em quase todos os parâmetros analisados. A temperatura do ar mostrou-se inferior nas áreas arborizadas, na média, em todos os dias analisados, com uma diferença média de 2,7°C, chegando a alcançar 4,9°C de redução ao meio dia de um dia quente e ensolarado. A radiação, por sua vez, apresentou-se de seis a até onze vezes maior no local sem árvores. Isso influencia diretamente na temperatura de superfície, que registrou uma diferença média de até 21,7°C a menos para as áreas verdes, atingindo um pico de 31,3°C. Através da equação do índice de calor aplicada, pôde-se

notar que a área sem vegetação apresentou não somente riscos de alerta à saúde mais elevados, como também por períodos mais prolongados, em comparação aos locais arborizados. Os mapas gerados a partir de imagens de satélite evidenciaram a correlação espacial da distribuição das temperaturas de superfície com a presença de espaços verdes. Áreas urbanas e sem vegetação apresentaram uma média de 18,3°C, enquanto que, nos locais vegetados, essa média foi de 15,3°. Além da diferença média de 3,0°C, observou-se uma diferença máxima de até 7,0°C a mais nos espaços urbanos, contemplando uma possível relação entre o efeito das ilhas de calor e a ausência da vegetação na composição urbana.

Palavras-chave: Microclima, Ilha de calor, Infra-Estrutura Verde, Sensoriamento Remoto.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

**Influence of Vegetation on Microclimatic Conditions in Urban Environments -
Case Study Ilha do Fundão**

Erica Caverzam Barbosa

Advisor: Heloisa Teixeira Firmo

Co-advisor: Célia Maria Paiva

Course: Environmental Engineering

This study aimed to investigate the influence of vegetation in urban microclimate conditions. To do so, three different practical approaches were used. The first one consisted of field work measurements taken throughout six days over sites with and without the presence of tree cover. The data collected were related to air temperature, relative humidity, solar radiation and surface temperature. After analysis, the data were used in a heat index equation in order to determinate the influence of green spaces in human thermal perception in outdoor environments. Finally, two maps were generated using images from Rapideye and LANDSAT 8 satellites that allowed the evaluation of the spatial distribution of thermal contrasts between protected areas (tree cover) and exposed areas (grassy) to incident solar radiation.

The results obtained indicated a certain influence of vegetation in almost all the parameters analyzed. On average, air temperature values were lower in vegetated areas in all the days studied, with an average difference of $2,7^{\circ}\text{C}$, reaching $4,9^{\circ}\text{C}$ of reduction at noon on a hot sunny day. Radiation values were six up to eleven times higher in the exposed area. This influences the surface temperature directly, which registered an average difference of $21,7^{\circ}\text{C}$ for green areas, reaching a peak temperature difference of $31,3^{\circ}\text{C}$. The application of the heat index equation showed that the area without vegetation presented not only more dangerous health risks, but also for longer periods compared to vegetated areas. The maps generated by satellites images pointed out the spatial correlation of surface temperatures distribution with the presence of green spaces. Urban and non-vegetated areas presented an average of $18,3^{\circ}\text{C}$, while vegetated

sites exhibited an average of 15,3°C. In addition to the mean difference of 3,0°C, there was a maximum difference of up to 7,0°C higher surface temperatures in urban sites. This indicates a possible relationship between the effect of heat islands and the absence of vegetation in urban composition.

Keywords: Microclimate, Heat Islands, Green Infrastructure, Remote Sensing.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
1.1. Apresentação do Tema e Justificativa.....	1
1.2. Objetivo	3
1.3. Estrutura do Trabalho	4
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. A urbanização e suas alterações ecossistêmicas e microclimáticas.....	5
2.2. O processo de urbanização na Ilha do Fundão.....	10
2.3. O benefício das áreas verdes em ambientes urbanos.....	15
2.3.1. Aspectos climáticos	16
2.3.1.1. Contexto Geral.....	16
2.3.1.2. Como a vegetação afeta o clima.....	18
2.3.1.2.1. Em função da radiação solar	18
2.3.1.2.2. Em função da evapotranspiração	21
2.3.1.2.3. Em função do vento	23
2.3.1.2.4. A influência do horário nos benefícios climáticos da vegetação.....	24
2.3.1.2.5. Fisiologia vegetal e sua influência nos efeitos climáticos	25
2.3.1.3. Referências na literatura especializada acerca dos efeitos da vegetação no clima urbano	30
2.3.1.4. Distribuição da vegetação e otimização dos benefícios climáticos.....	35
2.3.2. Aspectos hidrológicos	41
2.3.3. Aspectos ecológicos	45
2.3.4. Aspectos sociais e psicológicos.....	48
2.4. Conforto térmico e índices térmicos.....	51
2.4.1. Sensação térmica e conforto térmico.....	51
2.4.1.1. Termorregulação e o balanço de calor no corpo humano.....	55
2.4.1.2. Variáveis climáticas e sua influência na sensação térmica.....	56
2.4.2. Índices térmicos.....	57
2.4.2.1. Breve introdução aos principais índices térmicos encontrados na literatura especializada	59
2.4.2.1.1. Voto Médio Estimado (VME)	59
2.4.2.1.2. Temperatura de Globo e de Bulbo Úmido (WBGT)	59
2.4.2.1.3. Índice de Calor (IC)	60
2.4.2.1.3. Humidex.....	62

2.4.2.1.4.	Temperatura Efetiva (TE).....	62
2.4.2.1.5.	Temperatura Efetiva Corrigida	62
2.4.2.1.6.	Wind Chill Index (WCI)	63
2.4.2.1.7.	Índice de Conforto Equatorial (EC).....	63
2.4.2.1.8.	Índice de Sensação Térmica (TS)	63
2.4.2.1.9.	MENEX (Man-ENVironment heat EXchange model).....	64
2.4.2.1.10.	Índice de Temperatura Subjetiva (STI).....	64
2.5.	O sensoriamento remoto e suas aplicações aos estudos climáticos urbanos ...	64
2.5.1.	Satélites LANDSAT	67
2.5.2.	Obtenção de dados por sensoriamento remoto	68
3.	Materiais e Métodos	71
3.1.	Área de estudo	71
3.2.	Levantamento de dados primários	71
3.2.1.	Período e frequência da coleta de dados.....	72
3.2.2.	Determinação dos pontos de coleta de dados	73
3.2.3.	Equipamentos utilizados para a coleta de dados	74
3.3.	Cálculo do Índice de Calor	76
3.4.	Levantamento de dados secundários.....	77
3.4.1.	Mapeamento do uso do solo na Cidade Universitária	77
3.4.2.	Mapeamento termal da Cidade Universitária	78
4.	Resultados e Discussão	80
4.1.	Análise dos dados coletados em campo.....	80
4.1.1.	Temperatura do ar.....	80
4.1.2.	Umidade do ar	85
4.1.3.	Radiação solar.....	88
4.1.4.	Temperatura de superfície	92
4.2.	Resultados da avaliação da percepção térmica	96
4.3.	Resultados da avaliação por sensoriamento remoto	101
5.	Conclusão e Recomendações	105
6.	Referências Bibliográficas	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Processo de circulação dos fluxos de calor em ambientes urbanos, na perspectiva de diferentes escalas	7
Figura 2.2: Esquema de um perfil típico de ilha de calor urbana, e a correlação temperatura e densidade de ocupação da superfície.....	8
Figura 2.3: Localização da Ilha da Cidade Universitária na cidade do Rio de Janeiro..	10
Figura 2.4: Localização da Cidade Universitária e entorno imediato.	11
Figura 2.5: Conjunto de Ilhas pertencentes à Ilha do Fundão	12
Figura 2.6: Plano Diretor - Ocupação prevista originalmente para a Cidade Universitária	13
Figura 2.7: Hospital Universitário (acima), áreas de entorno e Centro de Tecnologia. .	14
Figura 2.8: Efeito do sombreamento na temperatura de superfície embaixo do dossel da árvore.....	21
Figura 2.9: Esquema apresentando o papel da vegetação no ciclo hidrológico	22
Figura 2.10: Projeção do diâmetro da copa e exemplo de LAI.....	26
Figura 2.11: Seção transversal de uma folha ilustrando as trocas de vapor de água e CO ₂ através do estômato, e calor da folha para o exterior.....	28
Figura 2.12: Variação da taxa de transpiração das folhas para diferentes valores de temperatura do ar e velocidade do vento	29
Figura 2.13: Variação da temperatura da folha para valores diferentes de temperatura do ar, a diferentes velocidades do vento.....	29
Figura 2.14: Gráfico da temperatura e umidade em tempo frio (à esquerda); gráfico da temperatura e umidade em tempo quente (à direita).	31
Figura 2.15: Simulação da temperatura do ar (gráfico à esquerda) e temperatura de superfície (gráfico à direita) para uma rua sem árvores, com árvores de alta densidade de dossel e com árvores de baixa densidade de dossel.....	33
Figura 2.16: Temperatura de bulbo seco calculada através de modelos para Sacramento (gráfico à esquerda) e Phoenix (gráfico à direita), com aumento de 10% e 25% na densidade do dossel das árvores urbanas.....	34
Figura 2.17: Guia de posicionamento estratégico de árvores urbanas para ampliar o conforto térmico humano nas cidades	36
Figura 2.18: Esquema de posicionamento de árvores urbanas em ruas estreitas.	37

Figura 2.19: Esquema de um parque adequado para a dispersão de calor durante a noite	39
Figura 2.20: Gráfico apresentando a correlação entre o tamanho da árvore e o volume de solo requerido para sua estrutura	40
Figura 2.21: Esquema apresentando os principais efeitos da vegetação no ciclo hidrológico.....	42
Figura 2.22: Relação entre pavimento impermeável e escoamento de água de chuva... 44	
Figura 2.23: Variação dos níveis de poluição em um jardim de médio porte, uma rua urbana e um jardim de pequeno porte, respectivamente	48
Figura 2.24: Relação entre sensação térmica e o nível de conforto.	53
Figura 2.25: Transdutores WBGT	60
Figura 2.26: Esquema ilustrando as camadas dossel e limite urbana.....	66
Figura 3.1: Abrigo meteorológico na agrofloresta, que abriga o sensor de temperatura e umidade do ar.	72
Figura 3.2: Abrigo meteorológico na florestinha e na grama da Estação Meteorológica da UFRJ, respectivamente, que abriga o sensor de temperatura e umidade do ar.....	72
Figura 3.3: Coleta de dados na agrofloresta.	73
Figura 3.4: Evolução da vegetação local desde a implantação do projeto MUDA.....	74
Figura 3.5: Sensor de medida de temperatura e umidade do ar e sua exposição na agrofloresta.	75
Figura 3.6: Sensor de medida de radiação solar e sua exposição na florestinha.	76
Figura 3.7: Sensor de medida de temperatura da superfície e sua exposição na agrofloresta.	76
Figura 4.1: Gráficos de temperatura do ar para cada dia de amostragem.	82
Figura 4.2: Gráficos de valores médios mínimos e máximos de temperatura do ar para cada dia de amostragem.....	83
Figura 4.3: Gráficos de umidade relativa do ar para cada dia de amostragem.....	86
Figura 4.4: Gráficos de valores médios mínimos e máximos de umidade relativa do ar para cada dia de amostragem.....	87
Figura 4.5: Gráficos de radiação solar para cada dia de amostragem.	90
Figura 4.6: Gráficos de valores médios mínimos e máximos de radiação solar para cada dia de amostragem.	91
Figura 4.7: Gráficos de temperatura de superfície para cada dia de amostragem.	94

Figura 4.8: Gráficos de valores médios mínimos e máximos de temperatura da superfície para cada dia de amostragem.	95
Figura 4.9: Área de estudo referenciada.	101
Figura 4.10: Resultados obtidos através das técnicas de sensoriamento remoto. Da esquerda para a direita: imagem de satélite da área da Ilha do Fundão; mapa do uso do solo da área de estudo; e mapa termal da área de estudo	103
Figura 4.11: Gráfico dos valores máximo, mínimo e médio registrados nas áreas com e sem vegetação registrados através do mapeamento termal.	104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1: Balanço de energia para uma típica folha mesófito	19
Tabela 2-2: Tabela relacionando propriedades geométricas do cânion urbano com a priorização da implementação de árvores de rua.....	38
Tabela 2-3: Classificação do índice de acordo com os níveis de alerta..	61
Tabela 2-4: Característica dos sensores e bandas do LANDSAT 8	68
Tabela 2-5: Divisão do espectro solar em bandas e seus respectivos comprimentos de onda	69
Tabela 3-1: Períodos da coleta de dados.	73
Tabela 3-2: Classificação do índice de acordo com os níveis de alerta.	77
Tabela 4-1: Diferenças mínimas e máximas entre a temperatura do ar ocorrida em superfície grama e vegetada nos dias de amostragem.	84
Tabela 4-2: Amplitude térmica das áreas estudadas durante o período de análise.....	84
Tabela 4-3: Diferenças mínimas e máximas entre a umidade do ar ocorrida em superfície grama e vegetada nos dias de amostragem.	88
Tabela 4-4: Diferenças mínimas e máximas entre a radiação solar ocorrida em superfície grama e vegetada nos dias de amostragem.	92
Tabela 4-5: Diferenças mínimas e máximas entre a temperatura da superfície ocorrida em superfície grama e vegetada nos dias de amostragem.	96
Tabela 4-6: Resultados para o Índice de Calor sem considerar a influência da radiação solar.	98
Tabela 4-7: Nível de alerta em porcentagem do total de horas de amostragem.....	99
Tabela 4-8: Resultados para o Índice de Calor considerando a influência da radiação solar.	100
Tabela 4-9: Nível de alerta em porcentagem do total de horas de amostragem.....	101
Tabela 4-10: Temperatura de superfície nas áreas com e sem vegetação obtidas através do mapeamento térmico.....	104

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do Tema e Justificativa

A atual distribuição populacional revela que mais da metade da população mundial está localizada em centros urbanos ao redor do globo. Com o advento da Revolução Industrial, em meados do século XVIII, deu-se início ao efetivo e dominante processo de urbanização, presente até os dias atuais e sendo a tendência para os cenários futuros. Segundo a edição de 2014 do relatório "Perspectivas da Urbanização Mundial" (World Urbanization Prospects), produzida pela Divisão das Nações Unidas para a População do Departamento dos Assuntos Econômicos e Sociais (DESA, 2014), cerca de 54% da população atual vive em áreas urbanas. As projeções estimam que esse percentual será de 66% em 2050.

O processo de urbanização, por sua vez, acarreta em mudanças dramáticas na composição natural da paisagem, alterando profundamente características e funções naturais do ecossistema local e regional. A impermeabilização do solo aliada à configuração geométrica da cidade - composta por construções de grande porte com espaçamento inadequado e formação de corredores com baixa capacidade de circulação de ar - resultam em alterações das características climáticas locais, contribuindo para formação das chamadas ilhas de calor (ASSIS, 2005), cuja principal característica é a elevação da temperatura do ar, se comparado com as áreas rurais de entorno (AKBARI et al., 1992).

Aliado a esse processo, tem-se ainda a questão das mudanças climáticas, amplamente discutida na atualidade. Estima-se que ondas de calor, assim como outros eventos, tais como chuvas intensas, vendavais e grandes secas, podem vir a ter sua intensidade e frequência aumentadas (IPCC, 2014). Desse modo, pode-se prever uma maior vulnerabilidade dos ambientes urbanos, pondo em risco a saúde e bem estar de grande parte da população do planeta. Como resultado da convergência desses processos, as cidades devem passar por mudanças estratégicas de adaptação para mitigar os efeitos da intensificação desses eventos e garantir qualidade de vida para seus habitantes, permitindo um desenvolvimento sustentável.

Dentro desse contexto, surge a importância da abordagem do conceito de microclima e sua influência no conforto térmico humano. Devido ao fato da estrutura urbana apresentar-se de forma tão heterogênea, os processos de turbulência do ar são intensificados, o que leva a uma grande variabilidade espacial e temporal dos fatores meteorológicos, criando uma espécie de mosaico de microclimas em uma área limitada (TOUDERT, 2005). Em ambientes externos, principalmente em climas tropicais úmidos como o Brasil, uma pessoa é exposta a altas doses térmicas, devido à exposição solar (radiação direta, difusa e refletida), e radiação emitida pelas superfícies de entorno, levando a uma condição de estresse térmico e esforço fisiológico (ALUCCI e MONTEIRO, 2004).

Diante desse cenário, é notável a relevância do estudo da concepção e gestão das cidades, bem como o desenvolvimento de técnicas que possam ampliar a funcionalidade da infra-estrutura básica urbana no que tange a segurança e bem estar da população. A incorporação do conceito de infra-estrutura verde no design urbano é uma das alternativas mais viáveis, diante do fato que a grande maioria das cidades já foram construídas, e modificações mais intensas de cunho estrutural é algo impraticável na maioria dos casos.

Estudos demonstram que a vegetação, como parte do design urbano, exerce um papel fundamental na atenuação dos efeitos do fenômeno da ilha de calor (VARGAS et al. 2008), resultando diretamente na melhoria do conforto térmico humano em ambientes abertos. Suas principais contribuições no microclima estão relacionadas aos benefícios do sombreamento direto e moderação do calor solar através da evapotranspiração, convertendo radiação solar incidente em calor latente que não contribui para o aquecimento (MCPHERSON, 1994a). Esses e outros benefícios proporcionados pela presença da vegetação em áreas urbanas serão abordados com mais detalhes, assim como a análise dos seus efeitos sobre o microclima.

Considerando os aspectos mencionados, o presente trabalho almeja agregar informações a um tema de grande relevância na atualidade, tendo como base estudos realizados em uma cidade de considerável vulnerabilidade climática como o Rio de Janeiro. Seu crescimento urbano desordenado, aliado a sua alta densidade populacional, contribuíram para o surgimento de áreas onde a presença do fenômeno da ilha de calor é extremamente acentuado. Isso tem reflexo direto na sensação de bem estar dos habitantes, que passam a sofrer cada vez mais com a ausência de um planejamento urbanístico que proporcione uma atenuação das altas temperaturas e redução do estresse

térmico. Desse modo, a inclusão da vegetação na composição paisagística da cidade é uma alternativa de grande valor ambiental e social, devido aos benefícios térmicos proporcionados pelas áreas verdes.

O estudo compreenderá, além de uma revisão bibliográfica, três abordagens práticas acerca da influência da vegetação no microclima urbano. A primeira delas consistirá em medições dos parâmetros temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e temperatura de superfície, feitas simultaneamente em áreas com e sem a presença de cobertura vegetal arbórea e arbustiva. A partir da análise desses dados, será feito um estudo da percepção térmica de um indivíduo exposto a essas condições climáticas, de modo a determinar a influência da vegetação na condição de conforto térmico em ambientes urbanos. Para tal, será utilizado um índice térmico, determinado a partir da revisão bibliográfica dos índices existentes na literatura. Por fim, será feita uma comparação espacial das áreas com e sem vegetação, para investigar um possível contraste térmico em função da presença de áreas verdes em ambientes urbanos. Essa etapa contará com a utilização de imagens dos satélites Rapideye e Landsat 8, para a geração de um mapa de uso do solo e termal, respectivamente, que serão utilizados para a espacialização desse contraste térmico, com base nas temperaturas de superfície encontradas.

Além de ser um tema que aborda não somente uma questão extremamente influente no cotidiano da sociedade como um todo, trata-se de uma área que pode ter aplicações práticas efetivas ligadas a Engenharia Ambiental e Urbanismo. Com os resultados obtidos no estudo, pretende-se disseminar a importância de pesquisas voltadas para o planejamento e concepção da ampliação de áreas verdes na cidade do Rio de Janeiro.

1.2. Objetivo

Este estudo tem como objetivo avaliar a influência de áreas vegetadas no microclima da Ilha do Fundão, localizada na cidade do Rio de Janeiro. Para tanto, as seguintes metas foram consideradas:

- i) Avaliação do microclima em áreas protegidas (arborizadas) e expostas (gramadas) à radiação solar incidente, no que se refere ao comportamento das variáveis: temperatura do ar; umidade relativa; radiação solar; e temperatura da superfície.
- ii) Avaliação do conforto térmico em áreas protegidas (arborizadas) e expostas (gramadas) à radiação solar incidente.
- iii) Espacialização dos contrastes térmicos entre áreas protegidas (arborizadas) e expostas (gramadas) à radiação solar incidente por meio do sensoriamento remoto.

1.3.Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi organizado em 6 capítulos:

- **CAPÍTULO 1:** Referente à apresentação do tema da pesquisa, justificativa do mesmo e objetivos do estudo.
- **CAPÍTULO 2:** Referente à revisão bibliográfica, o capítulo versa sobre os conceitos teóricos básicos acerca do tema em questão.
- **CAPÍTULO 3:** Descreve todas as etapas metodológicas do estudo.
- **CAPÍTULO 4:** Apresenta os resultados e análise dos mesmos.
- **CAPÍTULO 5:** Resume as considerações finais acerca do estudo feito.
- **CAPÍTULO 6:** Indica a bibliografia referenciada e consultada durante a pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.A urbanização e suas alterações ecossistêmicas e microclimáticas

O processo de urbanização resulta em grandes benefícios sociais e econômicos para a sociedade de uma maneira geral, mas também acarreta em dramáticas alterações das funções ecossistêmicas locais e mudanças nas condições microclimáticas, através da intensa modificação da paisagem. O processo de supressão de áreas verdes, aliado a impermeabilização do solo - por aplicação de concreto, asfalto e outros materiais - além das construções de grande porte, resultam em profundas modificações locais. As principais consequências podem ser identificadas como (BENEDICT e MCMAHON, 2002):

- Redução de áreas naturais

A ocupação das terras para a criação e expansão de cidades, resulta diretamente na redução de espaços naturais. Sem seus habitats, os animais são obrigados a fugir para áreas mais distantes, ou então acabam se infiltrando em ambientes urbanos, em busca de alimentos. Devido a supressão do habitat natural, caça predatória e alteração da cadeia alimentar, tem-se o declínio do número de espécies locais e a redução do número de indivíduos das espécies remanescentes.

- Fragmentação do espaço natural

Através do processo de ocupação e conversão do uso da terra, tem-se não somente a transformação completa da natureza local, como também a fragmentação das áreas naturais remanescentes em espaços menores e isolados, interrompendo de forma parcial ou completa os fluxos ecológicos, alterando o funcionamento natural do sistema. Como consequência direta pode-se observar a redução em número de indivíduos e espécies da fauna e flora.

- Perda de serviços naturais

O processo de urbanização e suas variadas modificações do uso do solo acarretam na perda de serviços e funções ecológicas essenciais para o estabelecimento da capacidade de resiliência ambiental. Dentre esses serviços, podemos destacar o controle de cheias, gerenciamento de águas de chuva, filtração de poluentes e controle do equilíbrio

climático. A perda parcial dessas funções naturais aumenta a vulnerabilidade da área, reduzindo a capacidade de resposta à mudanças climáticas, e ampliando os riscos de enchentes e outros desastres naturais.

Outro grande efeito do processo de urbanização é a alteração do ciclo hidrológico local. Devido ao processo de 'canalização' dos rios urbanos, os corpos hídricos tem suas características geomorfológicas completamente alteradas. A quase total impermeabilização das grandes cidades resulta ainda na redução da infiltração da água de chuva no solo, limitando a alimentação de rios e córregos. Além de ser prejudicial para o abastecimento dos corpos hídricos, a impermeabilização aumenta o escoamento superficial no sistema de drenagem urbano, sobrecarregando suas funções, ampliando potencialmente o risco de enchentes nessas áreas (O'DRISCOLL et al., 2010).

Centros urbanos normalmente apresentam cobertura vegetal entre 5% a 20% da superfície total, em contraste com 75% dos ambientes rurais (MCPHERSON, 1994a). A impermeabilização de grandes áreas com a supressão de áreas verdes para a construção de moradias irregulares reduz ainda significativamente a resistência do solo, principalmente em áreas de encostas e morros, expondo o terreno a eventos climáticos e aumentando as chances de ocorrência de deslizamentos de terra.

A maioria das grandes metrópoles subestimam os serviços ambientais prestados pela presença da vegetação. Comumente é observada a retirada de árvores e redução de espaços verdes, como jardins e parques, para a ampliação de terrenos destinados a estacionamentos e áreas de garagem. É ainda usual que seja feita a poda de árvores muito próximas a ruas e edifícios, por serem consideradas ameaças a segurança pública (GILL et al., 2007).

Aliado a isso, tem-se um intenso processo de adensamento e verticalização, através da construção de edifícios de grande porte, formando rugosidades na superfície urbana que modificam a capacidade de circulação de ar, dispersão de calor e poluentes (DORIGON e CARDOSO, 2015). Como consequência da substituição de espaços naturais por superfícies e materiais artificiais, além de atividades de transporte e produção industrial, tem-se uma alteração das propriedades térmicas da superfície, modificando a atmosfera local e criando um clima urbano, normalmente caracterizado por temperaturas mais elevadas e menor qualidade do ar (GRIMMOND et al., 1994) (Figura 2.1).

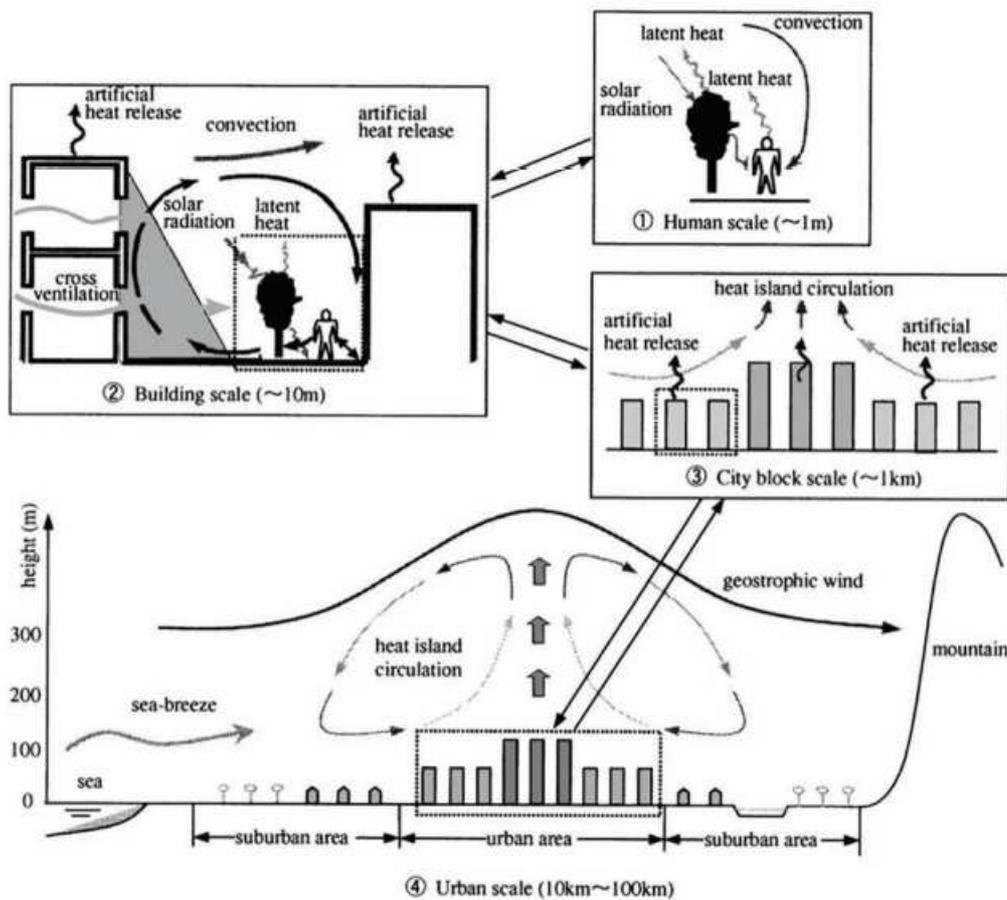


Figura 2.1: Processo de circulação dos fluxos de calor em ambientes urbanos, na perspectiva de diferentes escalas. Fonte: CRC WSC, 2014.

Cidades com densidades populacionais mais elevadas exibem sinais mais extremos de urbanização, e com isso maiores modificações térmicas. O aumento da população leva a um aumento das emissões de poluentes e construção de edificações cada vez maiores, o que reduz o espaço disponível para liberação do calor absorvido pelos materiais para a atmosfera (OKE, 1976). Esses materiais, por sua vez, são em sua grande maioria de coloração escura, aumentando a capacidade de absorção de calor pela superfície urbana. Adicionalmente, tem-se a substituição de áreas naturais por solo coberto por concreto e asfalto, reduzindo-se os benefícios climáticos do sombreamento e evapotranspiração das árvores (AKBARI et al., 1992). Isso conduz a um aumento na temperatura do ar, uma vez que boa parte do calor dissipado por esses materiais se transforma em calor sensível, pela reduzida presença de vegetação (MCPHERSON, 1994a). A combinação desses e de outros fatores resulta na geração do fenômeno conhecido como *ilha de calor* (OKE, 1979).

Nas áreas onde ocorre o efeito das ilhas de calor, são observadas temperaturas do ar mais elevadas, criando condições microclimáticas desconfortáveis para os seres humanos (AKBARI et al., 1992). Em tardes de verão claras, a temperatura do ar em um ambiente urbano típico, chega a ser até 2,5°C mais elevada do que nas áreas rurais de entorno (AKBARI et al., 2001). Essa diferença pode chegar até 8°F (4,5°C) (AKBARI et al., 1992), como pode ser visto na Figura 2.2. Com o advento das mudanças climáticas, esse fenômeno pode vir a ser intensificado, uma vez que as previsões estimam que ondas de calor, assim como outros eventos, podem vir a ter sua frequência, intensidade e duração aumentadas (IPCC, 2014). Isso acarretará no aumento de estresse pelo desconforto térmico para habitantes de grandes centros urbanos, colocando em risco os grupos de pessoas mais vulneráveis. Análises nas médias históricas da temperatura dos últimos 100 anos de diversas cidades de grande porte dos EUA revelam que, desde 1940, a temperatura em áreas urbanas aumentou entre 0,5-3,0°C (AKBARI et al., 2001). A aceleração do processo de urbanização mundial pode vir a expandir a influência das ilhas de calor urbanas, uma vez que megalópoles começam a modificar o clima regional e o fluxo de ar (MCPHERSON, 1994a).

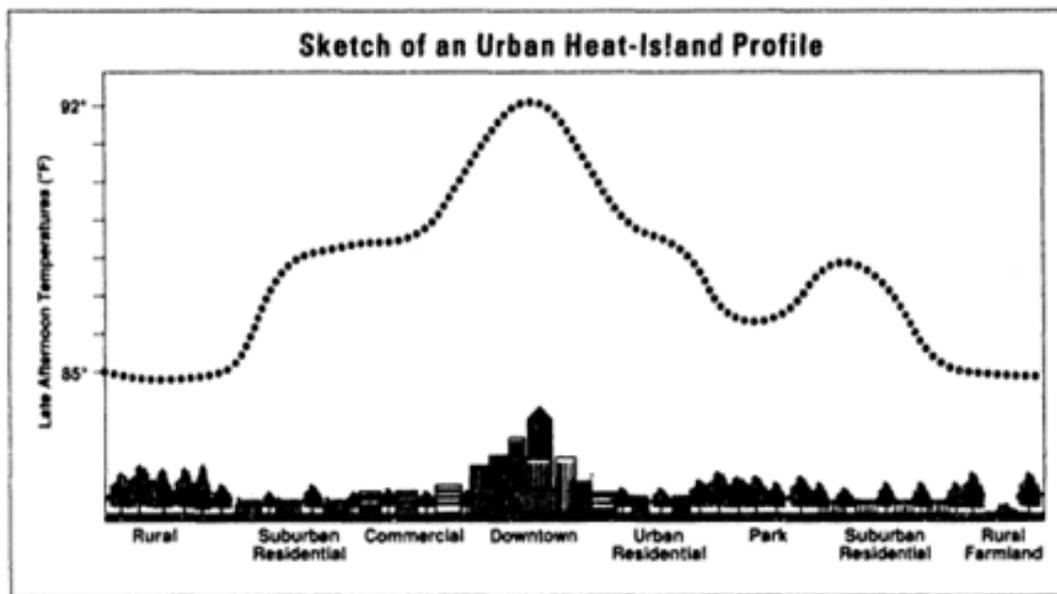


Figura 2.2: Esquema de um perfil típico de ilha de calor urbana, e a correlação temperatura e densidade de ocupação da superfície. Fonte: AKBARI, 1992.

Oke (1976) sugere que existam duas escalas fundamentais para a distinção do processo das ilhas de calor: a microescala e a mesoescala. A primeira camada é o chamado dossel urbano, e consiste no ar contido entre os elementos rugosos urbanos (principalmente edifícios). Trata-se de um conceito de microescala, cujo clima é

dominado pela natureza de entorno imediato, principalmente referente aos materiais e geometria local. Seu limite é difícil de ser estabelecido, devido à irregularidade da superfície urbana. Devido a essa heterogeneidade estrutural, processos de turbulência do ar são intensificados, o que leva a uma grande variabilidade espacial e temporal de fatores meteorológicos (TOUDERT, 2005). A segunda camada, por sua vez, situa-se acima da primeira, e pode ser chamada de camada limite urbana. É um conceito local ou de mesoescala, referindo-se à porção da camada limite planetária, cujas características são afetadas pela presença de uma área urbana no seu limite inferior (OKE, 1976).

Os efeitos do fenômeno da ilha de calor são mais pronunciados nos cânions urbanos, devido a presença dos prédios e sua interferência nas trocas de calor com a atmosfera. Durante o dia, as edificações fornecem muita sombra, reduzindo a absorção de radiação de ondas curtas. No entanto, à noite, a dissipação dessa radiação se torna mais difícil devido à irregularidade da geometria urbana, fazendo com que as cidades apresentem temperaturas mais elevadas durante a noite, se comparadas com áreas rurais do entorno. Além disso, a composição e estrutura dos materiais urbanos, bem como seu arranjo na superfície das cidades, são os responsáveis pelo alto fluxo de calor armazenado: cerca de 27% da energia disponível para áreas urbana, em contraste a apenas 15% da energia disponível em áreas rurais. Isso também contribui para uma redução na taxa de resfriamento noturno em ambientes urbanos (MCPHERSON, 1994a).

Percebe-se, portanto, que embora sejam muito importantes para o desenvolvimento econômico e social, as cidades também contribuem com profundas alterações das funções ecossistêmicas e parâmetros microclimáticos, reduzindo o conforto ambiental e, por conseguinte, a qualidade de vida dos cidadãos. Tais modificações dependem da composição da superfície urbana através da distribuição dos seus elementos, bem como das características térmicas dos materiais que a compõem que, por sua vez, interferem na sua capacidade de absorção e emissão de radiação solar. Além disso, devem ser considerados fatores como forma e tipologia das edificações, uso do solo, densidade populacional, entre outros componentes inerentes ao processo de urbanização (LABAKI et al., 2011).

2.2.O processo de urbanização na Ilha do Fundão

O processo de urbanização da Ilha do Fundão é relativamente recente se comparado com o restante da cidade do Rio de Janeiro. Através da criação em 1920 da Universidade do Rio de Janeiro, surgiu a necessidade de construir um campus único que pudesse concentrar todas as atividades da instituição (CAU, 2001), até então situadas de forma dispersa em diversos bairros da cidade (UFRJ, 1972a). Desse modo, em 1935 iniciaram-se os estudos para a determinação da área mais adequada para o estabelecimento do complexo universitário (JÚNIOR e BRANDÃO, 2015).

O local para a construção da Cidade Universitária, por sua vez, deveria contemplar aspectos técnicos (área, forma, relevo, clima, acessibilidade), assim como fatores econômicos e de cunho político-social (UFRJ, 1972a). Descartada a possibilidade do bairro da Urca, o projeto voltou-se para a região da Quinta da Boa Vista, por ser uma área extensa na região central da cidade. No entanto, na época, a Ilha do Governador passava por significativas alterações urbanas, como a implantação da infra-estrutura aeroportuária. Adicionalmente, a Avenida Brasil inaugurada em 1946, representava um importante pólo de desenvolvimento (UFRJ, 2011). Além disso, o projeto deveria estar localizado em uma área próxima do centro de gravidade da população estudantil (UFRJ, 1972b) (Figura 2.3).

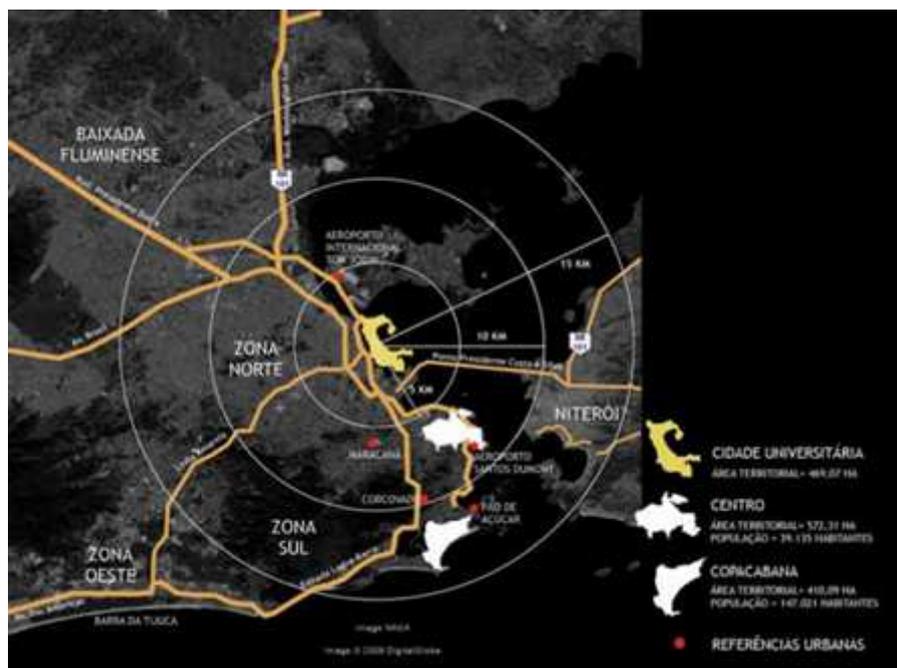


Figura 2.3: Localização da Ilha da Cidade Universitária na cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Plano Diretor UFRJ 2020 (2011)

Levando em consideração esses aspectos, em 1948 foi definido que o local da implantação da Cidade Universitária seria uma ilha artificial na Baía de Guanabara, situada no Estuário de Manguinhos, Enseada de Inhaúma, formada pelos rios Jacaré, Farias e Timbó (JÚNIOR e BRANDÃO, 2015).



Figura 2.4: Localização da Cidade Universitária e entorno imediato. Autoria própria (2015).

Essa ilha seria resultado da junção de outras oito ilhas: Fundão, Baiacu, Cabras, Pindaí do Ferreira, Pindaí do França, Catalão, Bom Jesus e Sapucaia (MENEZES et al., 2005), conforme ilustrado na Figura 2.5. Entre 1949 e 1953, deu-se o processo de aterramento hidráulico e conseguinte interligação das ilhas, constituindo a Ilha da Cidade Universitária (UFRJ, 1966). Esse procedimento permitiu uma ampliação da área de 3,2 milhões de metros quadrados para cerca de 5,9 milhões de metros quadrados (MENEZES et al., 2005). Dessa área total, foram feitas correções, baseadas em estudos batimétricos, a fim de evitar aterros marítimos muito profundos. Com isso, a área resultante ficou em torno de 5,6 milhões de metros quadrados (ETUB, 1957).



Figura 2.5: Conjunto de Ilhas pertencentes à Ilha do Fundão. Fonte: SANTOS et al., 2000.

O projeto original seguia o padrão urbanístico racionalista, apresentando edificações esparsas e isoladas, determinando a organização do campus por setores (CAU, 2001) (Figura 2.6). O espaço deveria ser como um parque contínuo, interceptado por ruas, interconectando os prédios então isolados (PINTO e BUFFA, 2006). Seriam projetados 54 edifícios independentes, totalizando uma área de construção de 1 milhão de metros cúbicos (UFRJ, 1972b). Essa área, no entanto, passou a ser de aproximadamente 750.000 m², com o advento da Revolução de 1964 e a transferência dos encargos de planejamento, execução e fiscalização das obras da implantação da Cidade Universitária para a Universidade. Com isso, houve uma reformulação completa no Plano Diretor do projeto, que passou a dar ênfase às áreas da ciência, tecnologia, saúde e formação de professores, seguindo os conformes do Programa Estratégico de Desenvolvimento do Governo (UFRJ, 1972b).

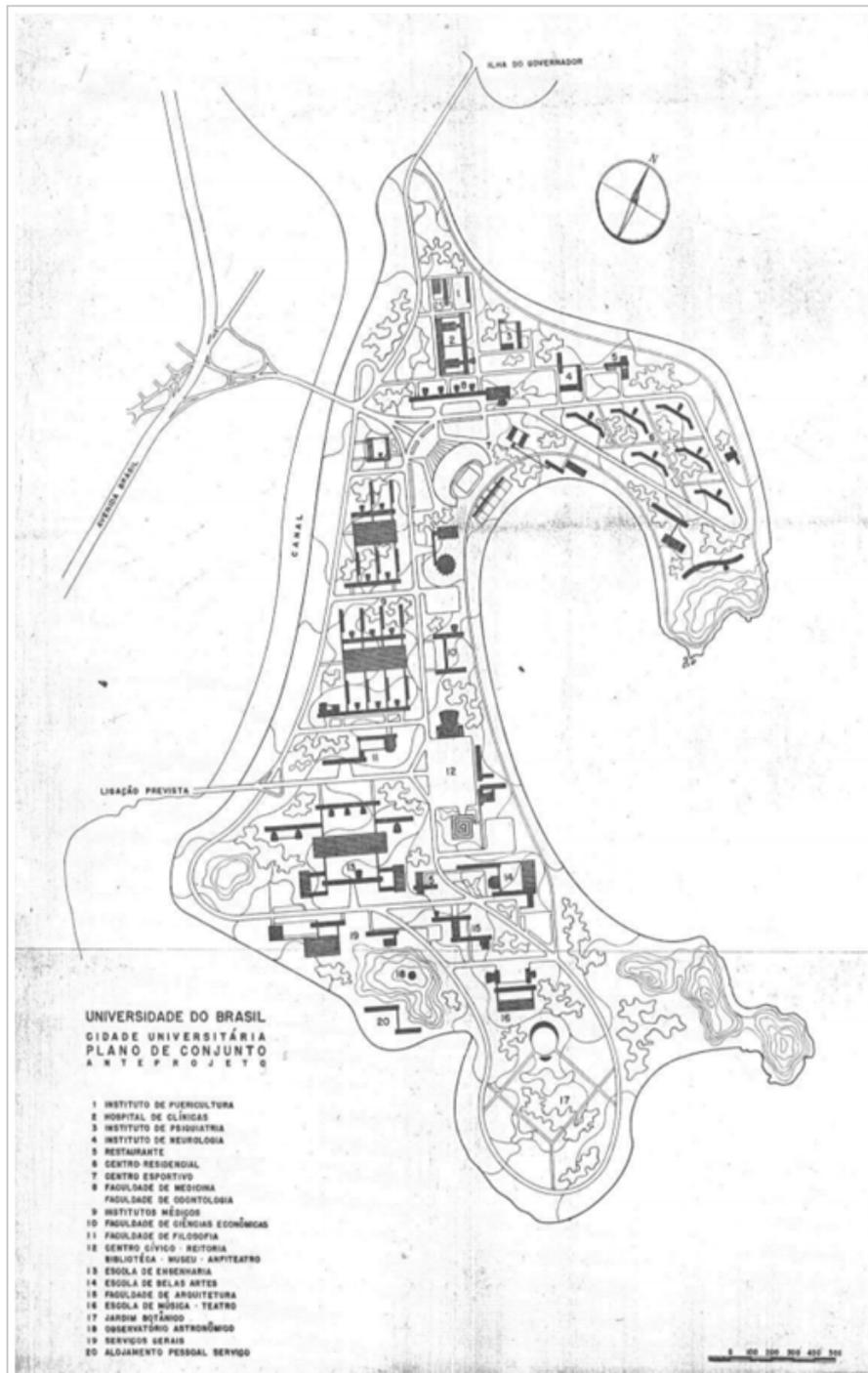


Figura 2.6: Plano Diretor - Ocupação prevista originalmente para a Cidade Universitária. Fonte: OLIVEIRA, 2005.

Até 1971, a Cidade Universitária havia concluído totalmente apenas o Instituto de Pediatria e Puericultura, o prédio da Faculdade de Arquitetura e parcialmente a Escola de Engenharia e algumas instalações do Centro de Tecnologia (LUZ e BARROSO, 1972). Em 1972, em torno de 65% do campus na Ilha do Fundão (UFRJ, 1972b).

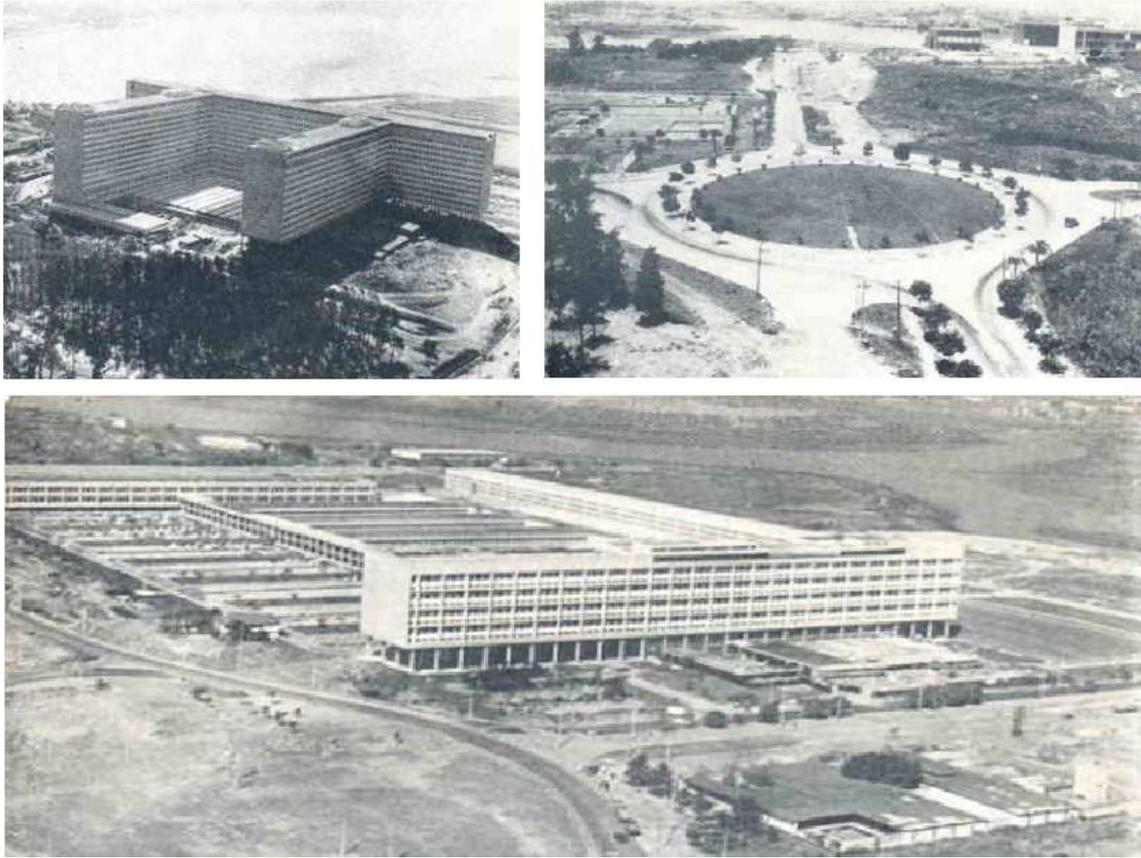


Figura 2.7: Hospital Universitário (acima), áreas de entorno e Centro de Tecnologia. Fonte: UFRJ, 1972a.

A presença da vegetação, por sua vez, acompanhou o processo de urbanização e fez-se de forma esparsa, apresentando uma densidade reduzida. Além do próprio conceito empregado na urbanização do local, boa parte da vegetação que havia na região foi ganha ao mar e aos mangues. Adicionalmente, quase a totalidade da área das próprias ilhas foi aterrada com camadas de, em média, 1,80m de sedimentos, impossibilitando a permanência de plantas e árvores (ETUB, 1957).

Com o processo de urbanização, muito do projeto original foi alterado. Dentre as mudanças, deixou-se de construir estruturas planejadas, conduzindo a formação de grandes vazios. Conforme se deu o desenvolvimento da região, esses espaços foram então ocupados por outros órgãos federais, como o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) da ELETROBRAS, o Centro de Tecnologia Mineral, o Instituto de Energia Nuclear (CETEM) e o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES) (JÚNIOR e BRANDÃO, 2015). A Ilha do Fundão compreende, atualmente, uma estrutura com cerca de 60 unidades acadêmicas e instituições conveniadas, com uma malha urbana e complexos arquitetônicos correspondendo a aproximadamente 30% da área atual da Ilha (MENEZES et al., 2005).

2.3.O benefício das áreas verdes em ambientes urbanos

Áreas cobertas por vegetação natural foram consideradas, durante muito tempo, espaços não desenvolvidos. Isso porque, a estrutura do sistema de uso da terra baseava-se na idéia de que a terra era algo a ser consumido e transformado pela comunidade que fosse usufruir de sua posse. Com isso, espaços verdes foram planejados e destinados apenas como mera função recreativa, normalmente sob a forma de parques, não sendo integrados em conjunto às demais funções do uso do espaço urbano (BENEDICT e MCMAHON, 2002).

Esse cenário, entretanto, vem apresentando mudanças. Cada vez mais é discutida a importância das áreas verdes dentro das cidades. A presença da vegetação em áreas urbanas resulta em diversos benefícios para a comunidade e o ecossistema local, auxiliando no processo de regularização de suas funções naturais. Dentre esses benefícios, é possível destacar aspectos hidrológicos, estéticos, climáticos, sociais, econômicos e ecológicos (DWYER et al., 1992). Embora cada setor tenha sua relevância individualmente, todos acabam se interligando, de modo que a implantação e ampliação de espaços verdes nas cidades se torna uma alternativa viável para solucionar ou complementar diversas questões sociais, ambientais e econômicas dentro do contexto do planejamento urbano.

Alguns dos fatores que levam a uma abordagem sistemática da introdução de áreas verdes como uma ação que promova o desenvolvimento sustentável nas cidades são (BENEDICT e MCMAHON, 2002):

- Preocupação com a saúde pública, e a necessidade de tornar áreas externas urbanas mais atraentes para a prática de lazer e esportes;
- Reconhecimento da necessidade de reintegração da paisagem urbana, devido ao processo de intensa fragmentação pelo seu desenvolvimento e expansão;
- Necessidade de restabelecimento de algumas funções ambientais, parcialmente ou completamente suprimidas com o processo de urbanização;
- Revitalização urbana, com a recuperação de áreas marginalizadas pela falta de investimento do poder público e privado;
- Valorização de áreas próximas a espaços verdes urbanos, tais como parques, promovendo um crescimento no valor de mercado para as propriedades desses locais.

No entanto, uma das principais vantagens da vegetação é o seu efeito positivo sobre os parâmetros microclimáticos, foco do presente trabalho. Esses e outros benefícios proporcionados estão intimamente relacionados com a proporção da área verde a ser implantada e a área construída. Também ocorre dependência com outros fatores tais como a localização e características da vegetação, como forma, tamanho, idade, volume, densidade de folhagem, entre outros (TOUDERT, 2005). Essas e outras questões serão abordadas mais detalhadamente nos tópicos a seguir.

2.3.1. Aspectos climáticos

2.3.1.1. Contexto Geral

Diante do contexto atual do aquecimento global, os benefícios climáticos proporcionados pela vegetação em áreas urbanas é, talvez, o aspecto mais relevante a ser considerado. Isso porque, trata-se de uma alternativa viável para se obter resultados consideráveis no que diz respeito a melhorias das condições microclimáticas, proporcionando resultados diretos e efetivos no conforto térmico da população (NOWAK e DWYER, 2007).

A implantação e manutenção de árvores urbanas auxilia na atenuação do clima local, tendo efeitos diretos e indiretos em diversos fatores meteorológicos, tais como temperatura do ar, radiação e umidade relativa (TOUDERT, 2005). As principais funções das plantas responsáveis por esse processo são: redução e bloqueio de ventos, umidificação do ar através da evapotranspiração, e modificação no armazenamento e troca de calor nas superfícies urbanas através do efeito do sombreamento das superfícies (NOWAK et al., 1994).

A presença de elementos arbóreos em proximidade com prédios e áreas residenciais reduz diretamente o ganho de calor pela luz solar nas janelas, paredes e telhados, devido ao sombreamento causado por suas estruturas. Esse efeito é ainda responsável pela diminuição da emissão de radiação de ondas longas pelas superfícies de prédios e pavimentação, uma vez que a sombra da vegetação proporciona uma redução na temperatura de superfície desses materiais. A evapotranspiração, por sua vez, contribui para o aumento da umidade do ar, proporcionando uma atenuação na sensação térmica e redução do ganho de calor por processos de condução e convecção

(DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003). Além de colaborar para uma melhora nas condições climáticas em ambientes externos, a integração desses benefícios pode gerar uma redução no consumo de energia para o resfriamento interno de prédios, proporcionando economia de recursos (MCPHERSON, 1994a).

A vegetação contribui para a mitigação do efeito da ilha de calor não resfriando o ar, mas esquentando-o menos, principalmente através do sombreamento, ao reduzir a quantidade de calor armazenada pelos materiais e superfícies, proporcionando menor conversão de calor sensível (DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003; KURN et al., 1994). Esse contraste pode ser de até 3°C, segundo MCPHERSON e SIMPSON (2003). Similarmente, VARGAS et al. (2008) aponta que árvores podem reduzir a temperatura do ar mais de 5°F (cerca de 2,8°C), em comparação a áreas fora do espaço verde.

TOUDERT (2005) afirma que, para regiões de clima quente, o uso mais adequado da vegetação é por meio da função de sombreamento, uma vez que grande parte do aquecimento é devido ao armazenamento de calor por superfícies expostas ao sol. Isso está relacionado com o fato de que os benefícios da evapotranspiração estão diretamente conectados com o processo de irrigação regular das áreas verdes. Seja pela alta impermeabilidade do solo urbano, como a falta de manutenção de parques, jardins e árvores de rua, o efeito da evapotranspiração acaba apresentando-se menos significativo, devido ao baixo teor de água no solo das grandes cidades. Para se maximizar os benefícios dos espaços verdes é, portanto, necessário aumentar a disponibilidade hídrica dos solos, ampliando os efeitos microclimáticos provocados pela evapotranspiração, e com isso a melhoria do conforto térmico humano (CRC WSC, 2014).

Embora a presença de árvores tenha grande potencial para melhorar o microclima e mitigar o estresse térmico em regiões de clima úmido e quente (SPANGENBERG, 2008), muitos estudos sugerem que a taxa de redução da temperatura, bem como a influência em outros parâmetros meteorológicos, depende do tamanho e localização das áreas verdes (ALI, 2013). Segundo VARGAS et al. (2008), a maior parte dos benefícios são ampliados conforme o tamanho da árvore, havendo uma associação ao seu grau de desenvolvimento.

Contudo, deve-se lembrar que o microclima reflete a integração de parâmetros diversos, tais como os tipos de materiais presentes na superfície de entorno, direção e turbulência dos ventos, além de sofrer a influência direta da estrutura das cidades, sendo um conceito de alta complexidade, devido às múltiplas superfícies e interações em ambientes urbanos (TOUDERT, 2005). Os tópicos a seguir apresentam a influência das

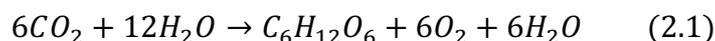
áreas verdes sobre os parâmetros de maior relevância na caracterização microclimática, através de uma análise individualizada.

2.3.1.2. Como a vegetação afeta o clima

2.3.1.2.1. Em função da radiação solar

Radiação é uma forma de energia resultante de oscilações dos campos eletromagnéticos. Sua transmissão é feita através de fótons, pacotes de energia que possuem propriedades similares tanto a partículas como ondas. As oscilações dos campos eletromagnéticos podem ser consideradas como ondas e caracterizadas através do seu comprimento de onda λ (distância entre cristas de ondas sucessivas). Radiações com comprimento de onda entre $0,15\mu\text{m}$ e $3,0\mu\text{m}$ são consideradas de ondas curtas ou radiações solares, enquanto que, na faixa de $3,0\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$ são radiações de ondas longas (OKE, 1987).

A radiação solar exerce papel fundamental nos processos vitais da vegetação. As plantas absorvem energia do Sol e, através do processo de oxidação da água e redução do CO_2 , liberam oxigênio, produzindo compostos orgânicos. Esse processo, representado na equação 2.1, é conhecido como fotossíntese, e a energia estocada nas moléculas orgânicas é essencial para processos celulares da planta, além de ser uma das principais fontes de energia para grande parte das formas de vida na nossa biosfera (HOPKINS e HÜNER, 2008).



A radiação solar, ao penetrar na atmosfera, encontra nuvens e outros componentes atmosféricos, tais quais vapor d'água, cristais de sal, partículas de poeira e gases diversos. Esses constituintes apresentam características individuais que conferem propriedades radiativas diferentes, podendo refletir, absorver e transmitir a radiação solar incidente. A quantidade e natureza da absorção dependem, portanto, dos espectros de absorção dos gases, nuvens e outros aerossóis (OKE, 1987).

Devido ao alto grau de pigmentação, as folhas absorvem grandes quantidades de radiação solar direta (HOPKINS e HÜNER, 2008). A vegetação é responsável pela absorção de 90% da radiação visível e 60% da radiação infravermelha (LABAKI et al.,

2011). Da radiação absorvida, uma pequena parte, cerca de 2% segundo KLEIN e RÓZOVÁ (2014), é utilizada para processo de fotossíntese. Boa parte dessa energia é absorvida pelas plantas e convertida em calor latente pela evaporação da água pela folha exterior, através da cutícula da folha, ou transpiração dos estômatos. Uma parcela do calor líquido de ondas curtas absorvida, é ainda dissipado sob a forma de radiação de ondas longas (OKE, 1987). O restante, entre 5-15% (KLEIN e RÓZOVÁ, 2014), é refletido de volta para a atmosfera, atenuando a absorção de radiação de ondas curtas em áreas bem arborizadas (LABAKI et al., 2011). No geral, as folhas irradiam mais energia infra-vermelha do que ganham, resultando em um saldo negativo de troca de energia (HOPKINS e HÜNER, 2008), como pode ser visto na Tabela 2-1. As funções de interceptação e captação da energia solar incidente das plantas são, portanto, fundamentais para determinar a influência da vegetação na condição microclimática (BARBOSA, 2005).

Tabela 2-1: Balanço de energia para uma típica folha mesófito. Fonte: HOPKINS e HÜNER, 2008.

Balanço de energia para uma típica folha mesófito	
Ganho de Energia	Wm ⁻²
a. Radiação solar absorvida	605
b. Troca líquida de infra-vermelho	-235
c. Balanço líquido da radiação (a+b)	370
Perda de Energia	
d. Perda por transpiração	-176
e. Perda por convecção	-194
Saldo	-370

O benefício da atenuação da radiação solar incidente em ambientes externos, através do sombreamento proporcionado pelas árvores, tem papel fundamental na redução das temperaturas (LABAKI et al., 2011). Segundo SHASHUA-BAR e HOFFMAN (2000), o efeito de resfriamento é determinado pela quantidade de sombreamento proporcionado pela copa das árvores. De acordo com OBI (2014), paredes sombreadas podem ser de 5°C a 20°C mais frias do que a temperatura de superfície de pico em paredes não sombreadas. O sombreamento da vegetação, além de impedir a incidência solar direta sobre edifícios e pedestres, reduz o brilho intenso e bloqueia a luz difusa refletida pela atmosfera nas superfícies de entorno, alterando a troca de calor entre os edifícios e as áreas adjacentes (AKBARI, 2002). Isso é importante, pois a radiação também atinge o corpo humano na forma de radiação de

ondas longas, provenientes da emissão de materiais aquecidos como paredes e solos (CRC WSC, 2014). Como resultado tem-se uma redução na absorção de radiação pelos materiais urbanos, diminuindo a sua temperatura de superfície e conseqüente emissão radiativa, o que provoca um menor fluxo de calor sensível, aquecendo menos o ar.

SPANGENBERG (2008) afirma que a redução da temperatura radiante média proporcionada pela sombra de árvores tem mais influência no conforto térmico humano do que a redução na velocidade do vento. Isso ocorre porque o estresse térmico é principalmente atribuído à exposição solar que, por sua vez, depende não somente da exposição do indivíduo, como também das superfícies de entorno. Durante o dia, uma pessoa parada pode absorver mais de 70% da energia sob a forma de radiação de ondas longas, contra 30% de radiação de ondas curtas. Esses valores foram abordados por TOUDERT (2005) que, através do seu estudo realizado em Beni-Isguen (Argélia) e Freiburg (Alemanha), constatou que o sombreamento do pedestre e das áreas adjacentes deve ser uma das primeiras estratégias para atenuar o estresse térmico em condições quentes de verão.

O carregamento radiativo no corpo humano embaixo ou perto de copas de árvores é, portanto, muito reduzido. Embora a determinação da extensão do sombreamento pleno de uma copa dependa da espécie, árvores com a forma e densidade apropriadas podem bloquear até 95% da radiação incidente. Esse valor é relativamente alto até mesmo no caso de árvores sem folhas, no qual a interceptação é de até 50% da energia solar (AKBARI et al., 1992). No entanto, esse efeito é altamente localizado, como pode ser observado na Figura 2.8. Na imagem, pode-se notar que áreas impermeáveis ao redor da vegetação apresentam temperaturas de superfícies muito mais elevadas. A própria copa da árvore encontra-se muito quente, devido à exposição em relação à radiação solar incidente e absorção de calor pelas folhas. Contudo, é visível que a região diretamente embaixo da vegetação apresenta-se mais amena. Isso sugere que, para se obter um efeito mais significativo, as árvores precisam ser distribuídas pela paisagem urbana, não somente concentradas em parques e jardins, ou de forma isolada em algumas ruas (CRC WSC, 2014).

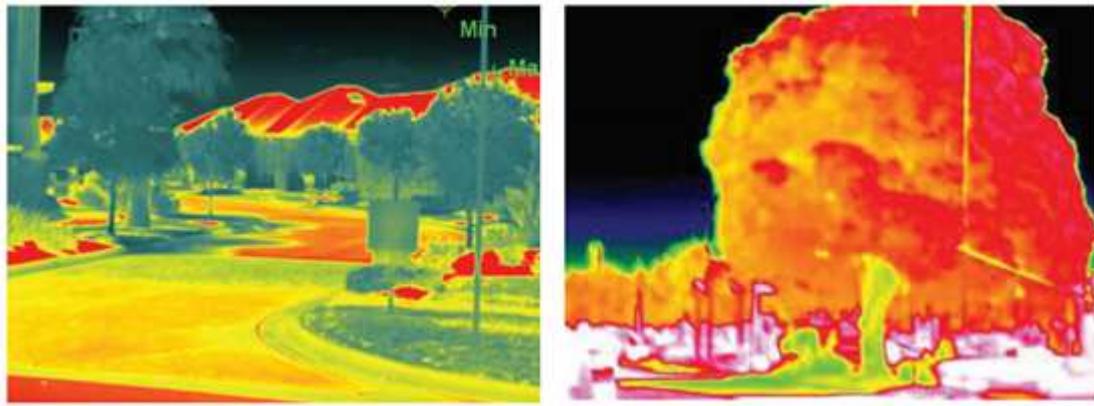


Figura 2.8: Efeito do sombreamento na temperatura de superfície embaixo do dossel da árvore. As cores mais quentes representam temperaturas mais altas, enquanto tons de verde e azul, temperaturas mais baixas. Fonte: CRC WSC, 2014.

2.3.1.2.2. Em função da evapotranspiração

O processo de evapotranspiração, aliado ao fornecimento de sombra, constitui um dos principais fatores responsáveis pelo efeito atenuante da vegetação sobre o microclima urbano. Durante o dia, os estômatos das plantas se abrem para absorver e expelir CO₂, e acabam eliminando através do processo de transpiração, a água gerada pela fotossíntese. A perda de água promove a movimentação de umidade e nutrientes através da planta, além de ser uma ótima forma de dissipar energia pela folha, através do calor latente (OKE, 1987). Uma única árvore grande pode transpirar 450 litros de água por dia. Isso representa um consumo de 1000 MJ de energia para impulsionar o processo de evaporação (BOLUND e HUNHAMMAR, 1999). Como se sabe, a temperatura do ar em ambientes urbanos pode ser amenizada através da redução da quantidade de energia solar convertida em calor sensível (KURN et al., 1994). Desse modo, a conversão da radiação incidente em calor latente pelas plantas, e não em calor sensível, confere uma excelente função para a melhoria do microclima urbano, não pelo processo de resfriamento do ar, mas sim, por aquecê-lo menos (GILL, 2006).

A umidade do ar é resultado da contribuição natural (precipitação, evaporação natural) e antropogênica, sendo a queima de combustíveis fósseis uma das atividades que mais aumentam os índices de umidade no ar urbano (KURN et al., 1994). A vegetação tem a capacidade de interceptar e reter a água das chuvas, posteriormente relançando esse volume para a atmosfera sob a forma de vapor d'água, como pode ser visto na Figura 2.9. Esse processo ocorre simultaneamente à transpiração da planta, de modo que não é possível distinguir a fonte do vapor d'água liberado. Por essa razão, é

usado o termo evapotranspiração para identificar a transferência de vapor d'água da vegetação para a atmosfera, independente da fonte do vapor (HOPKINS e HÜNER, 2008).

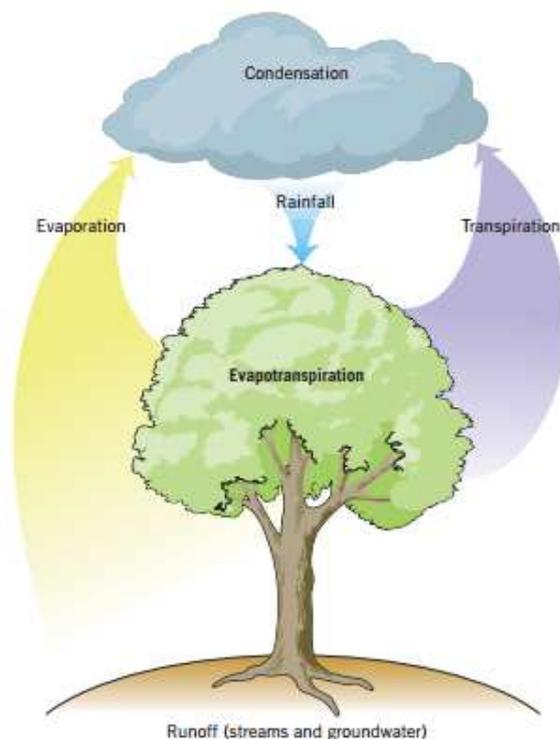


Figura 2.9: Esquema apresentando o papel da vegetação no ciclo hidrológico. Fonte: HOPKINS e HÜNER, 2008.

Embora seja de grande importância para a melhoria do microclima, o processo de evapotranspiração só é eficiente quando o solo está bem irrigado (CRC WSC, 2014). Infelizmente a manutenção de áreas verdes urbanas é ineficiente e, pelo alto grau de impermeabilização do solo, os níveis de água disponíveis para as plantas são quase sempre muito baixos. Além disso, com as mudanças climáticas, é muito provável ocorrer um aumento na frequência e intensidade de ondas de calor, levando a períodos de seca prolongados (GILL et al., 2007).

GILL et al. (2007) sugere que uma possível solução para esse problema seria introduzir árvores mais resistentes à períodos de seca, sendo capazes de fornecer os benefícios da evapotranspiração mesmo sob condições de baixa disponibilidade hídrica. Uma outra forma de manter esse efeito, seria através de um adequado planejamento da irrigação desses espaços verdes, que poderia ser feito inclusive com água de reuso (águas cinzas) ou água coletada de chuvas. As alternativas estudadas devem levar em

consideração outros setores da sociedade, de modo a evitar conflitos com a questão da oferta de água.

É importante ressaltar que, embora na maior parte das circunstâncias, o impacto do sombreamento seja dominante (MCPHERSON, 1994a), a junção das duas funções é fundamental para a melhoria do microclima e conforto térmico. Isso porque, em locais de clima muito quente e seco, por exemplo, ocorre pouca atividade de transpiração das folhas das plantas, devido aos baixos níveis hídricos do solo disponíveis para a vegetação. O resultado é a baixa conversão de energia radiante absorvida em calor latente, e alta dissipação por calor sensível, aquecendo o ar. O oposto também é válido. Superfícies cobertas com vegetação, como um campo de grama, bem irrigadas, reduzem a temperatura de superfície, melhorando a temperatura do ar. No entanto, devido a ausência de sombra, essas áreas, ainda que bem irrigadas, podem resultar em altos níveis de estresse térmico (CRC WSC, 2014).

2.3.1.2.3. Em função do vento

Além dos benefícios proporcionados pelo sombreamento e evapotranspiração, a vegetação pode também auxiliar no bloqueio de ventos desagradáveis, bem como exercer um papel fundamental na canalização da ventilação em ambientes urbanos (BARBOSA, 2005).

Em NOWAK et al. (1994) é indicado que a morfologia residencial - combinação de prédios e árvores - reduziu a velocidade do vento em uma média de 46% a 85%. Esse efeito também é relatado no trabalho de KURN et al. (1994). De acordo com o estudo, a velocidade do vento é bastante reduzida em áreas com grande presença de árvores, gerando um confinamento do ar na camada dossel da vegetação. A consequência desse processo na temperatura do ar depende da superfície sob a qual está presente essa camada, tendo o efeito de esquentar o ar se a superfície for quente, e o contrário se for fria. Em contraposição, em locais com menor densidade de árvores, embora ocorra maior penetração de energia solar, a troca de ar pode ser suficiente para manter um ar fresco no nível dos pedestres e prédios (HEISLER et al., 1994). Isso é importante, pois com velocidades muito baixas do vento, o calor não é misturado e distribuído para longe (CRC WSC, 2014). Além disso, o ar fresco produzido nas copas das árvores é dissipado

por meio da circulação do ar que se movimenta através da árvore (MCPHERSON, 1994a), promovendo a circulação de uma brisa fresca aos pedestres.

O fluxo de ar através dos cânions urbanos é limitado pela sua orientação e composição, o que inclui o arranjo da vegetação local, que exerce parte da função canalizadora dos ventos. A importância de manter uma ventilação adequada, principalmente nas grandes cidades, está na necessidade de dispersão de calor e poluentes atmosféricos. O fluxo de ar, portanto, não afeta a temperatura de superfície em si, mas tem influência na temperatura do ar (KLEIN e RÓZOVÁ, 2014). Desse modo, a baixa velocidade do vento é um fator normalmente associado ao aumento do estresse térmico em grandes cidades. OBI (2014) sugere que a redução da radiação solar direta até quase um valor mínimo, associado a um aumento da velocidade do vento a um nível ótimo, pode ser usado como estratégia para atenuar a intensidade do calor em áreas urbanas, ampliando o conforto térmico.

2.3.1.2.4. A influência do horário nos benefícios climáticos da vegetação

Todos os efeitos até então apresentados possuem grau de eficiência diferenciado conforme o horário analisado. Durante o dia, ou seja, enquanto houver a incidência de raios solares, as árvores exercem grande influência na temperatura de superfície dos materiais, bem como na temperatura do ar, através do fornecimento de sombras aos prédios e calçadas (DOICK e HUTCHINGS, 2013). Também reduz a incidência de radiação solar direta e difusa sobre os pedestres, ampliando o conforto térmico. Ao anoitecer, por outro lado, áreas com alta densidade de árvores possuem taxas de resfriamento mais lentas. Isso porque, de noite, as árvores bloqueiam o fluxo de dispersão do calor dos prédios e calçadas para a atmosfera (AKBARI, 2002). Por isso, é fundamental que a distribuição da vegetação seja planejada em sintonia com a proporção de prédios e largura de ruas nos cânions urbanos, de modo que possa haver o processo de resfriamento das superfícies aquecidas durante o dia, e ventilação durante a noite, promovendo o resfriamento noturno (CRC WSC, 2014).

KLEIN e RÓZOVÁ (2014) notaram que a influência climática da vegetação foi mais relevante nas medições diurnas, em especial ao meio dia, devido às temperaturas mais altas. Nesse período, o impacto da vegetação foi mais significativo devido ao

efeito apresentado pelo sombreamento e evapotranspiração. Assim como o fornecimento de sombra somente apresenta efeito na presença de radiação solar, a transpiração das plantas também está diretamente ligada com o grau de energia absorvido durante o dia. Na faixa da tarde, quando as temperaturas estão mais elevadas, pode ocorrer um estresse térmico nas plantas, tanto por excessiva radiação incidente, como por reduzida oferta hídrica no solo. Caso ocorra esse estresse, as plantas podem prevenir transpiração excessiva, fechando os seus estômatos durante o período do meio até o fim da tarde (MCPHERSON, 1994a). O resultado é a redução dos efeitos da evapotranspiração, representando menos energia convertida em calor latente e menor influência das plantas no teor de umidade do ar. No geral, SPANGENBERG (2008) conclui que as árvores fornecem melhorias no microclima e conforto térmico principalmente ao meio dia e no começo da tarde, através da atenuação da radiação solar incidente em pedestres e superfície de entorno.

2.3.1.2.5. Fisiologia vegetal e sua influência nos efeitos climáticos

A estrutura da planta exerce papel fundamental em todos os efeitos climáticos mencionados até agora. Sua importância está relacionada não somente com suas características de forma, tais quais amplitude da copa e arquitetura arbórea, como também com propriedades referentes a cada elemento componente da árvore, como a densidade, tamanho e espessura das folhas, densidade do mesófilo¹, características do caule ou elementos de reprodução. Esses atributos, bem como fenômenos de sazonalidade e fenologia² devem ser levados em consideração para a determinação do papel termorregulador da vegetação (LABAKI et al., 2011).

Dentre as características físicas das plantas, dois parâmetros apresentam-se muito importantes no que diz respeito à influência da vegetação no microclima: o índice de área foliar (LAI) e a densidade de área foliar (LAD) (SPANGENBERG, 2008).

¹*Mesófilo: tecido mais ativo em termos de fotossíntese em plantas superiores. As células desse tecido possuem as chamadas clorofilas, pigmentos especializados para a captação da luz (KLUGE et al., 2015).*

²*Fenologia: ramo da Ecologia que estuda a ocorrência de eventos biológicos recorrentes, as causas de suas ocorrências no que diz respeito às forças seletivas bióticas e abióticas, bem como a inter-relação entre as fases caracterizadas por esses eventos, dentro de uma ou várias espécies (LIETH, 1974).*

O primeiro é um número adimensional que auxilia a medição da taxa de crescimento da planta, sendo de grande importância para a determinação de processos ecológicos e fisiológicos, tais como a fotossíntese e evapotranspiração. O seu cálculo é feito através da divisão da superfície total das folhas da copa em metro quadrado pela área de superfície da projeção da copa no solo em metro quadrado (TROWBRIDGE e BASSUK, 2004) (Figura 2.10). Isso significa que, para um LAI de 4, para cada metro quadrado do solo abaixo do dossel da árvore, estão 4m² de folhas. NOWAK (1994a) constatou que a produtividade primária líquida, ou crescimento individual da planta, é maior a um LAI de aproximadamente 4. Valores típicos de LAI para florestas tropicais são entre 10 e 11, de 9 a 11 para árvores coníferas e 5 a 8 para florestas de árvores decíduas (BARBOUR et al.³ 1980 apud NOWAK, 1994a). Esse parâmetro também permite a previsão de taxas de troca de energia entre a árvore e a atmosfera, bem como a estimativa da curva de crescimento futuro e mudanças na estrutura da copa, devido à poluição do ar e mudanças climáticas, além de servir como forma de comparação entre as contribuições relativas de diferentes espécies de árvores em uma área de base igual (DUARTE, 2015). O índice de área foliar varia de acordo com o tamanho, idade e espécie da planta, além das características da área onde ela está localizada (NOWAK, 1994a).

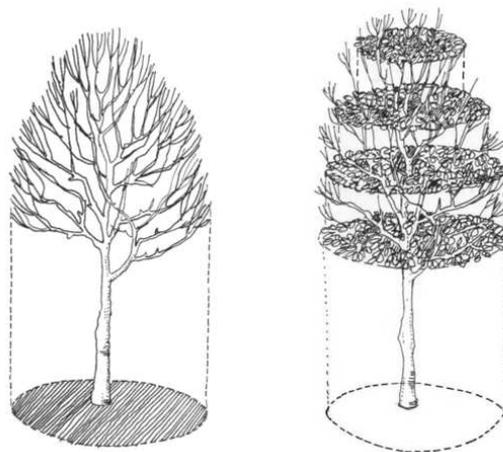


Figura 2.10: Projeção do diâmetro da copa e exemplo de LAI. Fonte: TROWBRIDGE e BASSUK, 2004

O segundo parâmetro, a densidade de área foliar (LAD), pode fornecer informações sobre os processos fisiológicos da planta, e é fundamental para descrever as características das copas das árvores, além de mostrar o seu impacto no balanço de

³BARBOUR, M. G, BURK, J. H., PITTS, W. D., 1980, **Terrestrial Plant Ecology**. Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings Publishing Co 604 p.

radiação e trocas de energia com a atmosfera (DUARTE, 2015). Seu cálculo é feito através da relação entre a área unilateral de folha pela quantidade total de folhas em uma unidade de volume de copa (HOSOI e OMASA, 2009). O índice é determinado pela distribuição vertical das folhas em camadas horizontais e auxilia no conhecimento de como determinada árvore influencia na atenuação da radiação solar (DUARTE, 2015).

De acordo com SPANGENBERG (2008), quanto mais denso o dossel da árvore, maiores serão os valores de LAI e LAD, e maior a influência da vegetação no microclima, reduzindo as temperaturas do ar e de superfície, e ampliando o conforto térmico em climas quentes e úmidos.

Além da análise dos aspectos físicos, é necessário o estudo da fenologia dos vegetais. Para tal, é preciso antes conhecer um pouco mais da sua estrutura a nível celular, bem como o funcionamento dos processos inerentes aos mecanismos básicos de sobrevivência.

No caso das plantas, a estrutura mais importante para análise, são os estômatos. Isso porque são através desse conjunto de células localizadas na epiderme vegetal (principalmente nas folhas), que ocorrem a maior parte das trocas de gases com a atmosfera. Mais de 90% do CO₂ e vapor de água trocado entre a planta e o ambiente ocorrem através dos estômatos (HOPKINS e HÜNER, 2008). De acordo com RUTTER⁴ (1975), citado em OKE (1987), a densidade dos estômatos varia entre 50 a 500 por mm², apresentando uma área combinada entre 0,3% a 1% da área total da folha. Como mencionado anteriormente, a sua função de comunicação e troca da planta com o meio externo consiste na sua principal importância climática, agindo como válvulas regulatórias na transferência de vapor de água e CO₂ entre o vegetal e a atmosfera. As principais células constituintes dos estômatos são as chamadas células guardas, responsáveis pela dilatação e conseguinte abertura dos estômatos para a passagem dos gases, como pode ser observado na Figura 2.11. A abertura dos estômatos está condicionada à intensidade de iluminação suficiente e teor de água eliminado pelas células guardas. Com isso, caso qualquer um dos fatores anteriores conduza a um estresse hídrico nas plantas - seja pelo baixo teor de umidade do solo ou excessiva transpiração - haverá o fechamento dos estômatos, e conseguinte bloqueio da troca de

⁴ RUTTER, A.J., 1975, The hydrological cycle in vegetation. In MONTEITH, J.L. (ed.), **Vegetation and the Atmosphere**, Vol. 1, Principles. Academic Press, London, 111-54.

gases. O grau de abertura depende de vários fatores, como a intensidade da luz solar, temperatura ambiente, umidade e concentração de CO₂(OKE, 1987).

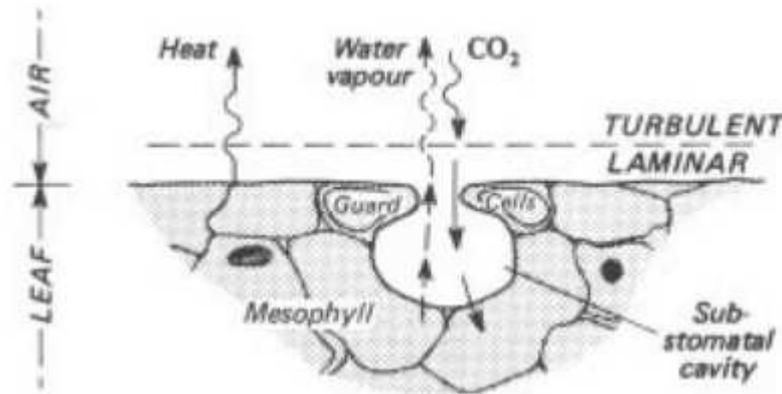


Figura 2.11: Seção transversal de uma folha ilustrando as trocas de vapor de água e CO₂ através do estômato, e calor da folha para o exterior. Fonte: OKE, 1987.

Por meio desse mecanismo é que ocorre uma das principais funções climáticas das plantas: a evapotranspiração. A perda de energia por calor latente é devido ao processo de evaporação da água pela folha exterior, através da cutícula da folha, ou transpiração através do estômato. Durante o dia, parte da energia solar incidente absorvida pela folha (radiação de ondas curtas), que não é dissipada sob a forma de calor latente, é eliminada como radiação de ondas longas, associado a uma parcela perdida por convecção de calor sensível (OKE, 1987).

Essa propriedade é diretamente influenciada por aspectos climáticos, tais como velocidade do vento, intensidade da iluminação solar e disponibilidade de água. A Figura 2.12, retirada do estudo de DIMOUDI e NIKOLOPOULOU (2003), apresenta a taxa de transpiração das folhas em correlação à velocidade do vento e temperatura do ar. Como pode ser visto, a taxa de transpiração é máxima e a resistência do estômato é mínima quando a temperatura do ar se encontra a 25°C. De acordo com os autores, a resistência dos estômatos se torna maior conforme a temperatura da folha desvia para menos ou para mais em relação aos 25°C. KLEIN e RÓZOVÁ (2014) também afirmam que, em dias muito quentes, a tendência é o fechamento dos estômatos pelas plantas, reduzindo a perda de água por transpiração. Com cargas muito elevadas de calor, folhas largas podem atingir temperaturas até 20°C mais quentes do que o ar, levando à contração das células guardas, para conservar a água folhas (OKE, 1987). Como a temperatura das folhas na copa das árvores é regulada pela transpiração e radiação, após

suspensa a transpiração, conduz-se ao aquecimento das folhas, aumentando o estresse térmico das plantas (CRC WSC, 2013; OKE, 1987).

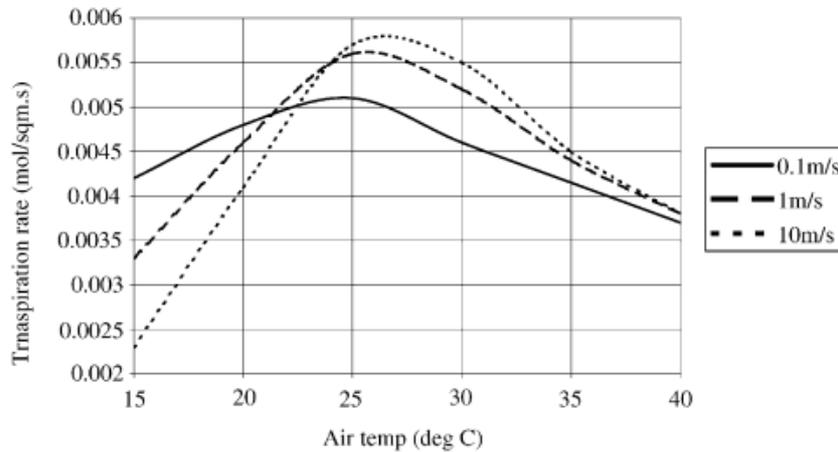


Figura 2.12: Variação da taxa de transpiração das folhas para diferentes valores de temperatura do ar e velocidade do vento. Fonte: DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003

Com relação à velocidade do vento, DIMOUDI e NIKOLOPOULOU (2003) observaram que a transpiração é mais elevada para altas velocidades do vento a temperaturas acima de 25°C. Para temperaturas abaixo desse valor, o processo é mais eficiente com velocidades do vento menores. Através da Figura 2.13 também pode-se observar que a velocidade do vento influencia diretamente na temperatura da folha: quanto maior a velocidade, menor a temperatura da folha, dada uma mesma temperatura do ar.

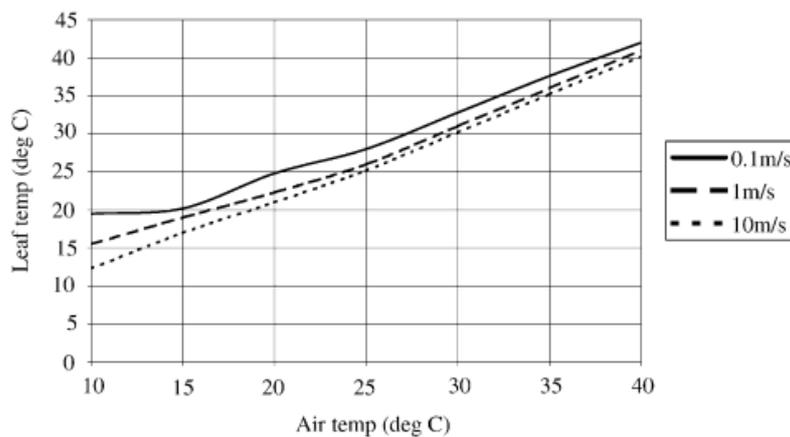


Figura 2.13: Variação da temperatura da folha para valores diferentes de temperatura do ar, a diferentes velocidades do vento. Fonte: DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003

2.3.1.3. Referências na literatura especializada acerca dos efeitos da vegetação no clima urbano

A influência da presença da vegetação no clima urbano é cada vez mais comprovada através dos estudos feitos em diferentes cidades ao redor do mundo. Como visto anteriormente esse efeito é principalmente relacionado aos benefícios do sombreamento e evapotranspiração das árvores urbanas, jardins e parques.

A grande parte dos estudos utilizados como base para o presente trabalho realizaram suas pesquisas através de medições diretas em campo, comparando diferentes pontos amostrais, em regiões com alta e média densidade de árvores, com espaços ausentes de qualquer tipo de vegetação. Em alguns casos, analisou-se também a influência de diferentes tipos de materiais na cobertura das áreas estudadas, como asfalto, concreto, grama, entre outros.

Em todos os casos foram apresentadas diferenças entre as temperaturas do ar em locais com e sem a presença de árvores, alguns com resultados mais acentuados do que outros. No estudo realizado por KURN et al. (1994) relatou-se uma redução entre 1°C e 2°C nas temperaturas do ar medidas na área dentro de um grande parque arborizado (área de 5 km²) no condado de Los Angeles, em comparação com a rua sem vegetação localizada atrás do parque. Dentro do parque, por sua vez, as temperaturas mais altas foram registradas fora do círculo de árvores que estava ao redor dos outros pontos de amostra. Os autores sugerem que isso seja resultado da circulação de ar quente proveniente das superfícies aquecidas e expostas da quadra adjacente.

De modo semelhante, CA et al. (1998) relatou uma diferença de mais de 2°C na temperatura do ar medida a 1,2 metros do solo dentro de um parque em relação a áreas urbanas adjacentes. Para SUSCA et al. (2011), o monitoramento da ilha de calor em quatro áreas de New York apresentou uma diferença média de 2°C na temperatura entre as áreas mais e menos vegetadas. OBI (2014) também constatou diferenças na temperatura do ar medidas em pontos localizados fora e diretamente embaixo do dossel de árvores na cidade de Enugu, na Nigéria. Os resultados, no entanto, foram ainda mais elevados, atingindo diferenças na temperatura média mensal de até 10,8°C para o mês de junho.

Considerando não somente a temperatura, como também a umidade relativa, a pesquisa feita por ALI (2013) realizada durante períodos de tempo frio e quente no jardim de Luxemburgo, em Paris, apresenta uma boa contribuição para o tema. Sua avaliação contou não somente com a análise da temperatura do ar, como também, levou em consideração os valores de umidade relativa, estabelecendo correlações, importantes para um melhor entendimento da interação entre os parâmetros.

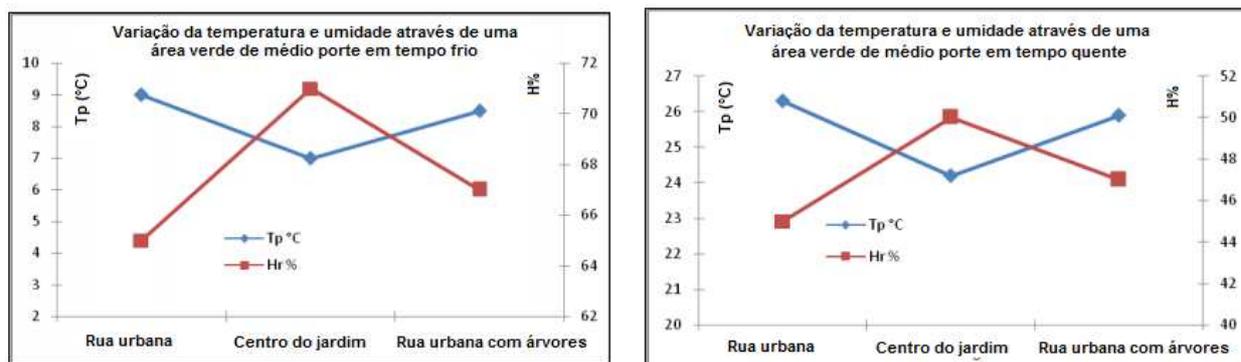


Figura 2.14: Gráfico da temperatura e umidade em tempo frio (à esquerda); gráfico da temperatura e umidade em tempo quente (à direita). Fonte: Adaptado de ALI, 2013.

Como pode ser visto na Figura 2.14, a correlação entre temperatura do ar e umidade relativa são muito semelhantes tanto para tempo quente, quanto para tempo frio. O que se observa é uma tendência de redução na temperatura do ar, em pouco mais de 2°C entre pontos localizados em uma rua urbana, para amostras feitas no centro do jardim. Ao mesmo tempo, observa-se uma tendência oposta no que diz respeito aos valores de umidade relativa. Isso porque, enquanto a temperatura aparenta diminuir da área urbana para o jardim, e aumentar - em menor proporção - do jardim para uma rua com árvores, a umidade aumenta para o primeiro trecho, reduzindo-se também em menor proporção para o segundo.

Medições feitas por JAUREGUI (1990-1991) no Chapultepec Park (500 ha) na Cidade do Mexico, mostram que a presença de um parque influencia na redução das temperaturas da área urbana de entorno. Os valores de temperatura da estação localizada no espaço verde foram entre 2 e 3°C mais baixas do que aquelas medidas nas áreas urbanas adjacentes, e o efeito pode ser observado em uma distância de até 2 km do site de estudo, valor próximo à largura do parque. Resultado semelhante foi encontrado no estudo feito por CA et al. (1998) na cidade de Tama New Town, a oeste da área metropolitana de Tokyo, no Japão. Foi observado que a influência da presença de um

parque com cerca de 0,6 km² se estendeu para além dos limites do mesmo, reduzindo em até 1,5°C a temperatura de um centro comercial a uma distância de 1 km do local. Para SHASHUA-BAR e HOFFMAN (2000) o efeito de resfriamento - cerca de 2,8 K na média - pode ser percebido em até 100 metros dos limites do site de estudo. Entretanto, nesse caso, as áreas verdes avaliadas tinham proporções menores, com uma largura variando entre 20 a 60 metros.

Os efeitos da vegetação no microclima urbano, contudo, podem variar não somente com o tamanho e localização das árvores, como também conforme o horário do dia. MACIEL et al. (2011) constataram através de medições feitas na cidade de Cuiabá (MT), que ocorre uma tendência de redução da temperatura do ar em áreas verdes ou próximas à vegetação. No entanto, essa diferença mostrou-se mais aparente no período noturno. BARBOSA (2005), por sua vez, registrou significativas diferenças na temperatura do ar, na ordem de 3,3°C, ocorrendo pela manhã, na sua pesquisa feita em Maceió (AL). Resultados semelhantes foram encontrados no período da tarde, em torno das 15:00h. Contudo, no período noturno, todas as amostras apresentaram pouca diferença nos valores de temperatura do ar. De modo similar, POTCHTER et al. (2006) encontraram o efeito máximo de resfriamento durante o período diurno para o seu estudo realizado na cidade de Tel Aviv, em Israel. Os valores obtidos mostram que um parque amplo contendo árvores altas com copas mais densas reduziram a temperatura do ar em até 3,5°C, enquanto que para árvores de porte médio, esse valor foi de 2,5°C.

KLEIN e RÓZOVÁ (2014) notaram, diferenças menos relevantes quanto a temperatura do ar em medições dentro e fora de áreas com cobertura vegetal, na cidade de Nitra, Eslováquia. Durante o dia, a diferença média mais pronunciada foi de 0,68°C, enquanto que à noite, o valor foi de 0,59°C. Nesse caso, as variações foram muito semelhantes, ilustrando, junto com as pesquisas anteriores mencionadas, resultados muito variados acerca do horário mais efetivo para a observação dos efeitos da vegetação no microclima.

No que diz respeito ao efeito das áreas verdes na umidade do ar urbano, a maior parte das pesquisas apresentaram valores superiores de umidade do ar para locais com a presença de árvores. Para KLEIN e RÓZOVÁ (2014), a maior diferença foi de 6% entre pontos de medições localizados próximos ao parque da cidade e amostras feitas na área industrial. Isso é resultado da umidade liberada através do processo de transpiração das plantas, aliado ao bloqueio de ventos causado pela vegetação, promovendo a retenção dessa umidade no local.

Além das medições diretas em campo, alguns estudos fizeram o uso de modelos para simular diferentes níveis de crescimento da vegetação (tamanho, densidade, entre outros) e distribuição, além de variações sazonais. Isso permitiu a comparação de diversos cenários, ampliando a compreensão de como áreas verdes podem influenciar o clima nas cidades.

No trabalho de SPANGENBERG (2008) foi realizado o monitoramento dos parâmetros microclimáticos dentro de um parque, uma quadra e um cânion urbano em um dia de verão na cidade de São Paulo. A pesquisa também contou com a simulação da adição de árvores de sombreamento na área do cânion, através do modelo Envi-met. As medidas diretas apontaram que, no parque, o efeito de resfriamento foi em média 2°C mais baixo do que na quadra aberta, chegando a picos de mais de 6°C. Com relação ao cânion, a temperatura do parque se mostrou 2,5°C mais baixa ao meio dia.

A simulação, por sua vez, comparou o efeito da adição de árvores de densidade de dossel variada no caso de um cânion urbano e uma rua sem árvores. O resultado da simulação para a temperatura do ar pode ser visto na Figura 2.15. Quanto à densidade, no caso dos cânions, árvores menos densas contribuíram com uma redução, na média, de 0,5°C, se comparado com cânion sem árvore alguma. Árvores mais densas, por outro lado, reduziram a temperatura do ar, na média, 1,1°C.

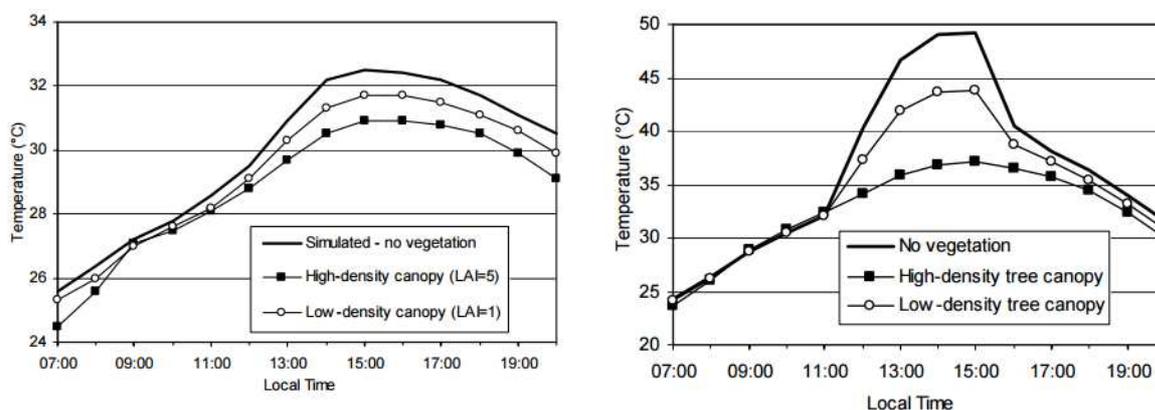


Figura 2.15: Simulação da temperatura do ar (gráfico à esquerda) e temperatura de superfície (gráfico à direita) para uma rua sem árvores, com árvores de alta densidade de dossel e com árvores de baixa densidade de dossel. Fonte: SPANGENBERG, 2008.

Claramente percebe-se que os efeitos mais acentuados ocorreram durante as horas em que a rua recebe mais radiação solar - entre 12:00h e 15:00h - e o impacto das árvores na temperatura de superfície foi bastante significativo. Durante esse período de pico de incidência solar, árvores de dossel menos denso reduziram a temperatura de

superfície das ruas em mais de 5°C, enquanto que, para árvores mais densas, essa redução foi mais de 12°C. Ao longo dessa faixa horária (12:00h às 15:00h), foi também observado uma grande atenuação nos valores de temperatura média radiante: cerca de 11°C para árvores de dossel menos denso, e mais de 24°C para árvores de dossel mais denso. Grandes diferenças de temperatura de superfície também foram encontradas no trabalho de CA et al. (1998). Medidas dentro do parque mostraram-se 19° mais baixas do que nas superfícies asfálticas e 15°C menores do que em áreas cobertas por concreto.

Os resultados da simulação de SPANGENBERG (2008) para a umidade relativa indicaram que pouca umidade foi adicionada ao ar urbano com a inclusão de árvores no cânion, menos de 5%. Desse valor, a maior contribuição foi feita pelas árvores de dossel mais denso. A umidade absoluta mostrou-se semelhante em todos os casos, variando entre 12 a 14g/m³ durante o dia.

As simulações feitas por HUANG et al. (1987) também evidenciaram os impactos positivos da vegetação na temperatura do ar, como pode ser visto nos gráficos abaixo. O modelo sugere que um aumento de 25% na cobertura de árvores em Sacramento (Califórnia) e Phoenix (Arizona), reduziria a temperatura do ar às 14:00 da tarde em 6°F e 10°F, respectivamente.

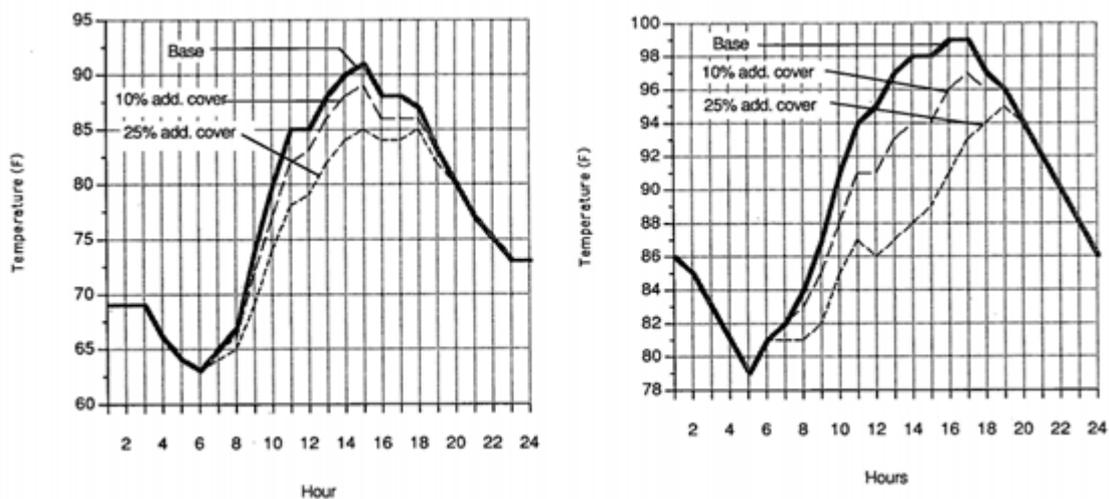


Figura 2.16: Temperatura de bulbo seco calculada através de modelos para Sacramento (gráfico à esquerda) e Phoenix (gráfico à direita), com aumento de 10% e 25% na densidade do dossel das árvores urbanas. Fonte: HUANG et al., 1987.

GILL et al. (2007) também utilizaram modelos para análise da influência de espaços verdes em ambientes urbanos na Grande Manchester, Inglaterra. Um interessante resultado foi o efeito da redução de áreas verdes urbanas nos parâmetros microclimáticos. De acordo com a pesquisa, a retirada de 10% da vegetação em grandes

centros urbanos induziria a uma elevação entre 7°C e 8,2°C na temperatura de superfície para o ano de 2080, se comparadas com patamares entre 1961-1990. Com manutenção dessas áreas, por outro lado, o aumento da temperatura seria entre 3,3°C e 3,9°C para o mesmo modelo.

Como pode ser observado nos resultados relatados, é comprovado que a vegetação exerce de fato uma influência positiva nos parâmetros microclimáticos, atenuando o estresse térmico em centros urbanos. No entanto, a avaliação e quantificação individual acurada dos efeitos provocados pelos benefícios das áreas verdes é algo ainda muito difícil de ser avaliado. Isso porque, trata-se de um processo muito complexo, envolvendo diversas variáveis climáticas, e múltiplas superfícies heterogêneas, como é o caso das grandes cidades. Embora existam muitos modelos para estimar e comparar diferentes cenários no contexto da introdução de árvores urbanas e sua influência climática, é necessário o desenvolvimento e aprimoramento dos mesmos, além de maiores informações referentes ao monitoramento por medições diretas em campo.

2.3.1.4. Distribuição da vegetação e otimização dos benefícios climáticos

Como foi relatado no item 2.3.1.2, os benefícios da vegetação normalmente estão associados com as características físicas da planta, sendo maiores conforme maiores suas proporções. DIMOUDI e NIKOLOPOULOU (2003) sugerem que, a cada adição de 100m² de vegetação, ocorra uma redução de aproximadamente 1K (1°C) na temperatura média local. Esse mesmo resultado foi observado para a introdução de uma fila de árvores em uma estrutura urbana como, por exemplo, em uma rua.

Os efeitos climáticos em ambientes urbanos também estão relacionados com a razão entre a área verde e a área construída (SAITO et al.⁵ 1990 apud TOUDERT, 2005). Para cada aumento de 10% nessa razão, espera-se uma redução de 0,8K na temperatura ambiente (DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003).

A distribuição das árvores nas cidades deve priorizar a maximização dos seus benefícios, tais quais a redução da incidência solar em prédios e pedestres, atenuação da

⁵SAITO, I., ISHIHARA, O., KATAYAMA, T., 1990, Study of the Effect of Green Areas on the Thermal Environment in Urban Area. **Energy and Buildings** 15-16:443-446.

temperatura do ar e melhoria na dispersão de poluentes atmosféricos (MCPHERSON, 1994a).

Desse modo, ao longo das ruas, áreas comerciais e estacionamentos, o plantio das árvores deve ser planejado de modo a maximizar o sombreamento em locais onde elas possam receber quantidades máximas de radiação solar (CRC WSC, 2014), reduzindo o calor que é armazenado ou refletido pelas superfícies com pavimentação (VARGAS et al., 2008). Devido ao fato dos prédios também fornecerem sombra, árvores urbanas devem estar localizadas principalmente em ruas amplas, com edifícios cuja altura é pequena (CRC WSC, 2014). Nesse caso, a vegetação é uma boa estratégia se aplicada em qualquer orientação, uma vez que áreas mais abertas apresentam desconforto por maior incidência solar quase em toda sua extensão durante o dia (TOUDERT, 2005).

Embora seja de relevante funcionalidade para a interceptação de radiação durante o dia, árvores de grande porte podem bloquear de forma parcial ou total a emissão do calor armazenado pelas superfícies, reduzindo a taxa de resfriamento noturno. Isso ocorre, pois copas de grande amplitude funcionam como uma forma de bloqueio do fluxo de vento, aprisionando a energia de ondas longas emitidas pelas superfícies adjacentes embaixo do seu dossel, mantendo as ruas quentes durante a noite (CRC WSC, 2014). Por isso, é aconselhável que árvores mais densas sejam plantadas em ruas amplas, enquanto árvores menores sejam componentes de ruas mais estreitas, conforme pode ser visto na Figura 2.17.

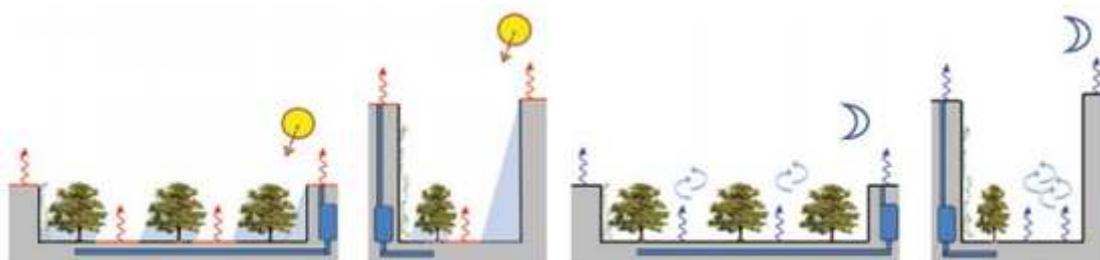


Figura 2.17: Guia de posicionamento estratégico de árvores urbanas para ampliar o conforto térmico humano nas cidades. Fonte: CRC WSC, 2014

Isso também pode ser observado na Figura 2.18, onde MCPHERSON (1994a) demonstra como árvores podem ser integradas a um cânion urbano estreito. Como pode-se ver, as árvores introduzidas devem ser altas e com dossel de baixa densidade. Isso conduz a uma redução da insolação nas paredes dos prédios e sombreamento para as

calçadas. Nesse caso, a ventilação do cânion não é totalmente bloqueada, o que permite a perda de calor das superfícies e a dispersão de poluentes.

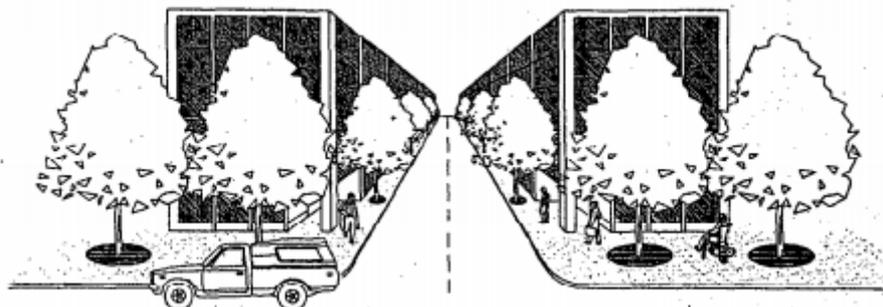


Figura 2.18: Esquema de posicionamento de árvores urbanas em ruas estreitas. Fonte: MCPHERSON, 1994a.

Para o caso de ruas menos amplas, a orientação das árvores exerce grande importância para a maximização dos efeitos de sombreamento (TOUDERT, 2005). Diante disso, vários autores consideram a disposição das árvores urbanas com orientação de leste para oeste mais influente do que de norte para sul, no que diz respeito o impacto na economia de energia pelo sombreamento nos prédios (VARGAS et al., 2008; TOUDERT, 2005; MCPHERSON e SIMPSON, 2003). Essa conclusão é fundamentada na trajetória do Sol ao longo do dia: pela manhã, a incidência é maior no lado leste das construções, pois é o lado que o Sol nasce; ao meio dia, a radiação é máxima no topo dos edifícios; e a tarde, o brilho é mais intenso no lado oeste. Como se sabe, a maior parte do consumo energético para resfriamento é feito na parte da tarde, quando as temperaturas estão mais altas e ocorre a maior iluminação solar. Desse modo, o lado oeste torna-se prioridade para a disposição adequada de árvores urbanas. Dependendo das características do prédio, a exposição de janelas a uma intensa radiação pela manhã, pode levar a um aquecimento considerável, o que torna o lado leste, a segunda orientação mais importante (VARGAS et al., 2008).

O relatório "The impacts of WSUD solutions on human thermal comfort Green Cities and Micro-climate - B3.1 -2-2014" publicado em 2014 pelo Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities da Austrália, sugere que o planejamento de árvores de rua pode ser feito através da razão entre a altura e largura da rua. Associado a essa medida, leva-se em consideração a orientação da rua. O resultado dessa matriz pode ser observado na Tabela 2-2, que define o grau de prioridade de cada caso, levando em consideração os aspectos mencionados.

Tabela 2-2: Tabela relacionando propriedades geométricas do cânion urbano com a priorização da implementação de árvores de rua. Fonte: Adaptado de CRC WSC, 2014.

Largura do cânion	Grau de prioridade das árvores urbanas									Orientação do cânion
Muito Ampla 40 metros	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	Leste-Oeste
Ampla 30 metros	0,13	0,27	0,40	0,53	0,67	0,80	0,93	1,07	1,20	Leste-Oeste
Médio 20 metros	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	Leste-Oeste
Estreito 10 metros	0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	Leste-Oeste
Metros	4	8	12	16	20	24	28	32	36	Metros
Altura do cânion	Low			Medium			Tall			

Alta prioridade

Baixa prioridade

Prioridade moderada

Não é uma prioridade

$$N = \frac{\text{Altura do cânion}}{\text{Largura do cânion}}$$

A eficiente redução do carregamento radiativo no corpo humano embaixo ou próximo de copas de árvores, entretanto, é um efeito extremamente localizado. A distribuição da vegetação não pode ser feita de modo concentrado em áreas isoladas somente, como parque e jardins, mas sim, ser distribuída de forma ampla pelas áreas da cidade. Visto isso, é fundamental o planejamento das árvores urbanas, bem como o tamanho necessário para compor as áreas verdes (CRC WSC, 2014).

Dentro desse contexto, DUARTE e SERRA (2003) sugere que as áreas verdes urbanas devem estar distribuídas em vários parques pequenos, espalhados pela cidade, de modo que um maior número de pessoas possam usufruir os benefícios proporcionados. Tal divisão deve contemplar cada bairro com um parque urbano, que pode inclusive atuar como elementos de ligação entre os bairros.

Além de ser uma excelente fonte de ar fresco na cidade, parques urbanos bem planejados podem fornecer diversos serviços ecológicos vitais, como filtração e armazenamento de água da chuva e melhoria da qualidade do ar nas cidades (BENEDICT e MCMAHON, 2002). Seus efeitos de atenuação do calor não se restringem ao parque, reduzindo também a temperatura do ar nos espaços adjacentes. DIMOUDI e NIKOLOPOULOU (2003), ao simularem a substituição de um prédio central por um parque, concluíram que haveria uma redução de 2K a 6K na temperatura do ar dependendo da localização da área em relação ao parque. Os autores também observaram que a ampliação do seu espaço interno impactaria diretamente na temperatura: duplicando a área original do parque, poderia se atingir uma redução de 1K, enquanto que a sua triplicação resultaria em uma atenuação entre 1,5K e 3K.

No entanto, é importante lembrar que a distribuição dessas áreas verdes deve ser feito de tal modo que permita o resfriamento noturno através da perda de calor para atmosfera, bem como a advecção de ar fresco nos bairros quentes de entorno (MCPHERSON, 1994a). Um exemplo dessa estrutura pode ser visto na Figura 2.19. É fundamental ainda que haja manutenção desses espaços, principalmente no que diz respeito à irrigação do solo, permitindo a contribuição do processo de evapotranspiração na atenuação do calor.

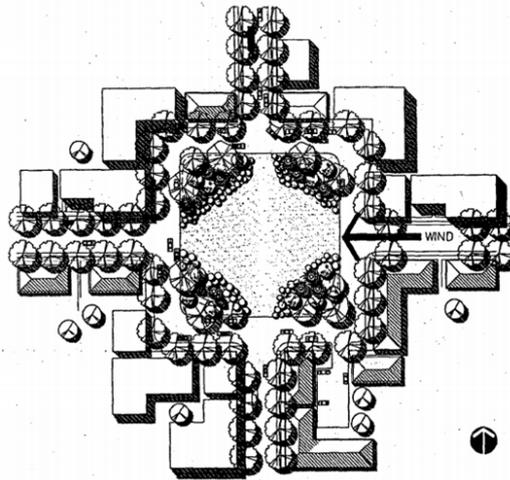


Figura 2.19: Esquema de um parque adequado para a dispersão de calor durante a noite. Fonte: MCPHERSON, 1994a.

DUARTE e SERRA (2003) também afirmam a importância da vegetação nos lotes de entorno dos edifícios, para a melhora do conforto térmico local e redução no consumo de energia. MCPHERSON (1994b) observou que árvores localizadas em áreas residenciais, em ruas ou jardins, mostrou ser o método mais eficiente para reduzir o consumo energético através do sombreamento.

No entanto, é importante ressaltar que as árvores devem ser plantadas de modo a evitar o bloqueio de iluminação de rua, assim como a visualização de placas de comércio e trânsito (VARGAS et al., 2008). Além disso, árvores localizadas muito próximas de edificações podem também causar danos na fundação através das raízes, ou danificar as janelas com os ramos. Visto isso, VARGAS et al. (2008) sugerem que as árvores com copa madura devem ser mantidas pelo menos a 10ft (cerca de 3 metros) de distância do prédio, para evitar tais conflitos.

Adicionalmente, tem-se a necessidade de avaliação do volume do solo requerido para o plantio: o mesmo deve fornecer quantidades suficientes de água e nutrientes para o crescimento saudável da planta. MCPHERSON et al. (1999) sugerem que haja uma

demanda de 0,5m³ de solo para raízes por m² de projeção de copa. Para a determinação dos espaços, deve ser estabelecido um índice máximo para cada lote, de modo que a responsabilidade de plantio e manutenção seja dividida por todos (DUARTE e SERRA, 2003). A Figura 2.20 apresenta uma possível correlação entre a razão da amplitude da copa pelo diâmetro da árvore e o volume de solo necessário para o estabelecimento da vegetação (VARGAS et al., 2008).

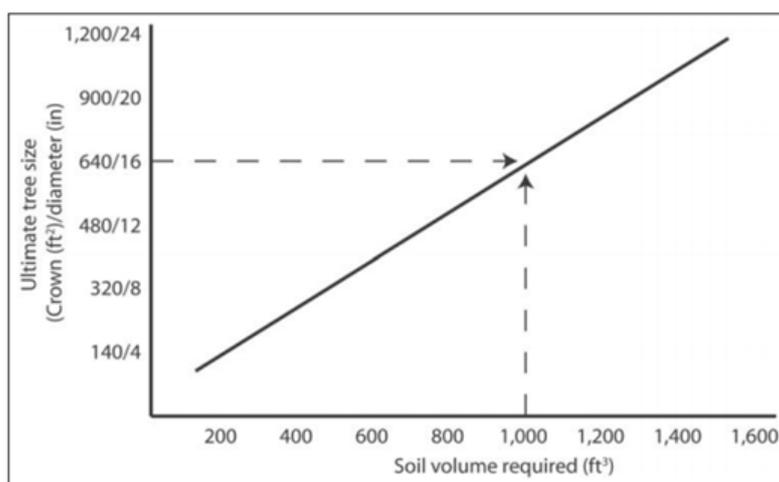


Figura 2.20: Gráfico apresentando a correlação entre o tamanho da árvore e o volume de solo requerido para sua estrutura. Fonte: VARGAS et al., 2008.

Conforme maior o grau de desenvolvimento urbano, uma grande parcela da terra é ocupada por usos que impedem o estabelecimento de árvores, além do elevado índice de impermeabilização do solo, reduzindo consideravelmente os espaços disponíveis para o estabelecimento de árvores (NOWAK, 1994a). Por isso, um programa de arborização urbana deve considerar vários fatores em seu planejamento: área livre total disponível dentro dos limites da cidade, divisão da área em parcelas menores, distribuição das parcelas em áreas centrais e periféricas, tamanho de cada parcela e sua localização em relação às áreas residenciais (GIVONI, 1998⁶ apud DUARTE e SERRA, 2003).

O planejamento e gestão dos espaços verdes urbanos devem, portanto, ser feito de forma coordenada e integrada com a infra-estrutura básica da cidade, como ruas, ciclovias, água, eletricidade e outros sistemas de suporte para o meio urbano, de modo a proporcionar funções e benefícios ecológicos, sociais e econômicos. Esse processo deve contar não somente com a participação do poder público, como também da comunidade

⁶GIVONI, B., 1998, *Climate Considerations in Building and Urban Desing*. New York: John Wiley.

local, além de incluir a participação de profissionais de diversas áreas. Assim como outros setores de infra-estrutura básica, áreas verdes urbanas devem ser consideradas um investimento público de certa prioridade, e não o resultado de aplicação de verbas remanescentes após a instalação de outros serviços (BENEDICT e MCMAHON, 2002).

2.3.2. Aspectos hidrológicos

A característica mais marcante do processo de urbanização é a impermeabilização de grandes áreas, com a substituição de superfícies naturais por materiais artificiais. Como consequência observa-se alterações climáticas locais e modificações profundas no ciclo hidrológico da região. Isso ocorre pelo fato de que, a impermeabilidade do solo das grandes cidades não permite a infiltração da água de chuva, gerando elevados fluxos de escoamento superficial (O'DISROLL et al., 2010). Isso implica na redução do tempo intermediário entre o início da tempestade e ocorrência de pico do *runoff*.

Esse grande volume de água, por sua vez, é drenado até rios e córregos urbanos por meio do sistema de drenagem de águas pluviais. Isso não somente reduz significativamente a recarga de água subterrânea que alimenta os corpos hídricos da cidade, como também pode provocar grandes alagamentos com a sobrecarga de escoamento superficial que chega nos rios canalizados das grandes metrópoles.

Além de sobrecarregar os corpos hídricos, o *runoff* urbano carrega uma grande variedade e quantidade de poluentes, como óleo, graxa, bactérias, metais pesados e resíduos sólidos urbanos, para córregos, rios e lagos. Com isso, não somente altera-se a qualidade da água, como também põe em risco a comunidade aquática e danifica a vegetação nativa dos corpos hídricos (EPA, 2003).

As áreas verdes, nesse contexto, atuam de forma complementar aos sistemas de drenagem de águas pluviais, atenuando os efeitos negativos gerados pela impermeabilização do solo no ciclo hidrológico, como pode ser observado na Figura 2.21. O primeiro benefício associado é a interceptação e armazenamento da água de chuva pelas árvores, através da superfície das folhas e dos ramos (VARGAS et al., 2008). A água de chuva interceptada é temporariamente armazenada nas folhas e na superfície de casca, eventualmente pingando no solo como chuva não interceptada, ou evaporando para a atmosfera (XIAO e MCPHERSON, 2002). Com isso, reduz-se em

parte o volume de água da chuva que atinge o solo, minimizando o escoamento superficial e atrasando o tempo de pico de *runoff* (VARGAS et al., 2008). Esse processo exerce um papel muito importante no ecossistema urbano, afetando todo o sistema hidrológico, bem como a redistribuição espacial e temporal da umidade (XIAO e MCPHERSON, 2002).

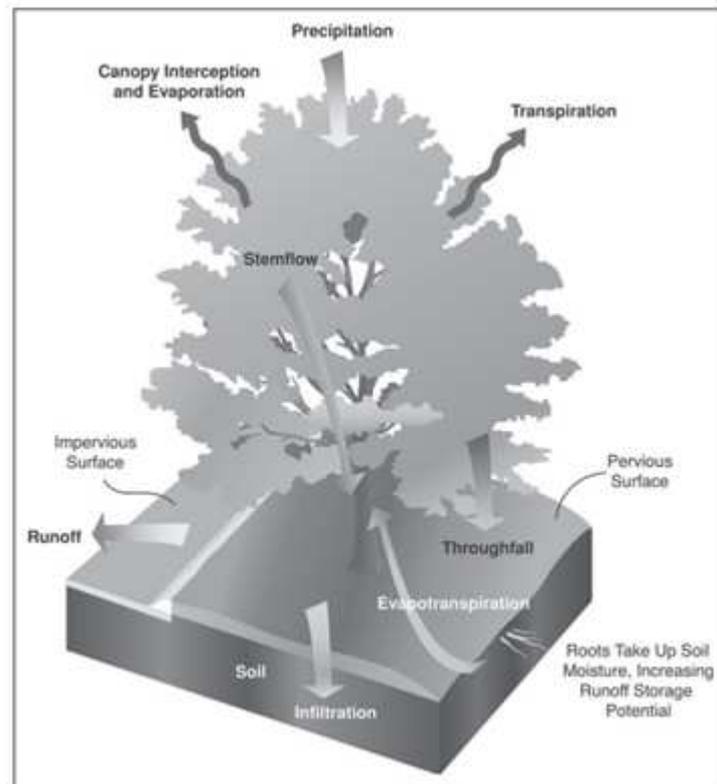


Figura 2.21: Esquema apresentando os principais efeitos da vegetação no ciclo hidrológico. Fonte: VARGAS et al., 2008.

O volume de água interceptado, por sua vez, é uma função das características físicas da árvore, bem como padrões climáticos e pluviométricos locais. No que diz respeito à forma, árvores maiores interceptam mais água, uma vez que a sua grande área de superfície permite maiores taxas de evaporação. Além do tamanho, árvores com estrutura foliar mais densa reduzem a proporção de lacunas, favorecendo maior retenção da chuva (VARGAS et al., 2008). Outro fator importante a ser considerado é a presença de folhas durante a época de chuvas: árvores decíduas, com queda de folhas em períodos chuvosos, são menos eficientes na redução do *runoff* urbano do que árvores com folhas permanentes (XIAO et al., 1998).

Segundo a pesquisa de SOARES et al. (2011), as árvores interceptaram aproximadamente 186.773m^3 de água de chuva anualmente, o que corresponde a uma interceptação anual de $4,5\text{m}^3$ por árvore. Para VARGAS et al. (2008) cada árvore pode armazenar entre 50 a 100 gal de água durante eventos de grande tempestade, aproximadamente de 190 a 380 litros. No caso de XIAO e MCPHERSON (2002), árvores de ruas e parques de Santa Monica, California, interceptaram cerca de 1,6% da precipitação total anual, apresentando grandes variações conforme a estação analisada. SANDERS (1986) reportou ainda que a redução do *runoff* e retardamento do fluxo por efeitos de interceptação, impactam as taxas de pico potenciais em média em 4mm/h.ha.

De acordo com estudos feitos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), como consequência da impermeabilização do solo urbano, um quarteirão típico de uma cidade gera um volume de escoamento superficial cerca de 5 vezes maior do que uma área de floresta do mesmo tamanho (EPA, 2003). SANDERS (1986) estima, que para a cidade de Dayton, por exemplo, a remoção de todas as árvores resultaria em um aumento do *runoff* urbano de 26% para 28%, uma diferença em termos absolutos de mais de 100 milhões de litros de águas pluviais.

Além da interceptação e armazenamento direto da água de chuva, a presença de áreas verdes urbanas aumenta a capacidade de infiltração do solo. Isso ocorre porque as raízes das árvores reduzem a compactação do solo, aumentando a sua porosidade e com isso a sua taxa de infiltração. Adicionalmente, a transpiração de água pela superfície das folhas reduz o nível de umidade do solo, aumentando a sua capacidade de armazenar água de chuva (VARGAS et al., 2008). Como consequência, tem-se uma melhora significativa na recarga da água do subsolo, conduzindo a alimentação de córregos e rios (SANDERS, 1986).

A Figura 2.22 apresenta a relação entre os fluxos superficiais e subterrâneos de água em superfícies naturais cobertas por vegetação, em contraste por superfícies urbanas impermeáveis. Como pode ser visto, a redução na taxa de infiltração pode resultar em um aumento de até 45% na quantidade de escoamento superficial. Conforme esse volume elevado viaja pelos drenos subterrâneos, o *runoff* ganha velocidade e, com isso, maior poder de erosão. Ao ser liberado nos rios e córregos locais, ocorre algo semelhante a uma enxurrada, podendo danificar a vegetação ciliar das margens, bem como o habitat aquático (EPA, 2003).

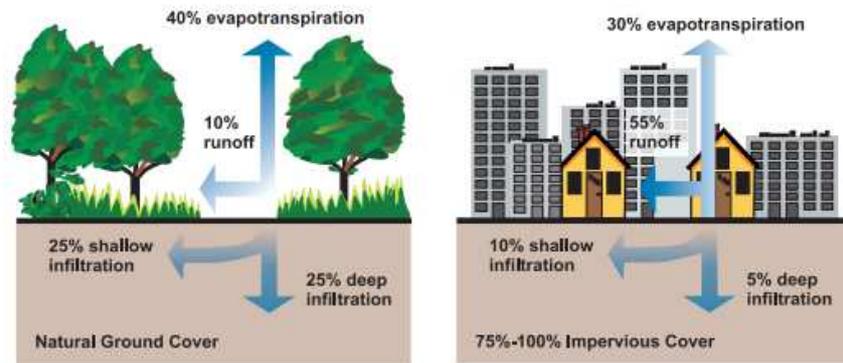


Figura 2.22: Relação entre pavimento impermeável e escoamento de água de chuva. Fonte: EPA, 2003.

Além do efeito de redução do escoamento superficial, árvores quando plantadas em conjunto com solos projetados em torno de áreas pavimentadas, podem atuar como mini reservatórios de água de chuva - interceptando, filtrando e retendo mais *runoff* do que árvores sozinhas (XIAO e MCPHERSON, 2002). O termo adotado para esse processo é o 'stormwater harvesting', que em sua tradução significa colheita de águas pluviais. Esse volume de água, por sua vez, pode ser utilizado para processos de irrigação da própria vegetação urbana, ou tratado e utilizado para outras funções (CRC WSC, 2014).

A implantação de árvores de rua pode ainda representar uma componente de abordagem mais ampla da bacia hidrográfica para melhorar a qualidade de água da região (DAS, 2006). A redução no fluxo de escoamento superficial contribui para menores quantidades e variedades de poluentes carregados pelas águas pluviais até rios e córregos da região (SANDERS, 1986). Esse efeito pode ser mais observado em eventos de chuvas mais moderadas, na qual a interceptação da floresta urbana é mais relevante (XIAO et al., 1998). Como consequência, reduz-se os gastos com o tratamento de poluentes nas águas, oferecendo maior proteção à comunidade aquática e à vegetação nativa, além de proporcionar áreas de lazer mais seguras e agradáveis (EPA, 2003).

Ainda no contexto de proteção da qualidade das águas, o aumento da vegetação, principalmente nas margens dos rios e em áreas suscetíveis a processos erosivos, reduz a remoção e transporte de sedimentos. Isso ocorre pela interceptação da água da chuva, atenuando o impacto direto das gotas de água em solo exposto, evitando a erosão de finos do solo (DAS, 2006). Esse processo é fundamental na redução dos níveis de turbidez de córregos e entupimento da canalização de esgotos e drenagem de águas pluviais, além de oferecer menor risco de sedimentação de reservatórios de água (SANDERS, 1986).

2.3.3. Aspectos ecológicos

Segundo BROWN et al. (2007), serviços ambientais são um resultado de funções ecossistêmicas que tanto ajudam na manutenção quanto melhoram a vida humana. Nesse contexto, a presença de vegetação urbana é fundamental, uma vez que sua contribuição através de diversas funções ecossistêmicas conduz ao fornecimento de serviços ambientais essenciais para a qualidade de vida nas cidades (ESCOBEDO et al., 2011).

Além dos benefícios mencionados anteriormente, como a atenuação climática, e complementação de funções hidrológicas urbanas, a vegetação é responsável ainda pela melhoria da qualidade do ar nas cidades. Esse benefício possui grande importância no que diz respeito à saúde humana, uma vez que diferentes poluentes do ar resultam em efeitos adversos à saúde como irritação dos pulmões, gargantas e olhos, tosse, dor de cabeça, doenças respiratórias e cardíacas, e até mesmo câncer (ZUPANCIC, 2015). Poluentes atmosféricos também podem danificar tanto áreas naturais, quanto superfícies artificiais, além de estarem associados a fenômenos como a chuva ácida, caracterizada pelo alto poder destrutivo. Além disso, a poluição atmosférica reduz a visibilidade do ar, prejudicando o alcance visual em áreas de grande concentração de poluentes (NOWAK, 1994b).

Nos grandes centros urbanos, os principais constituintes da poluição atmosférica são (NOWAK, 1994b; ZUPANCIC, 2015):

- Monóxido de carbono (CO), proveniente da queima de combustíveis dos automóveis;
- Óxidos de nitrogênio (NOx), principalmente pelo uso de automóveis e fontes de combustão estacionárias;
- Ozônio (O₃), formado pelas reações químicas envolvendo os principais precursores de NOx, e compostos orgânicos voláteis;
- Dióxido de enxofre (SO₂), produzido por fontes de combustão estacionárias;
- Material particulado pequeno (PM₁₀), resultado de processos industriais, combustão de produtos, e reações químicas envolvendo poluentes gasosos.

A distribuição desses poluentes, por sua vez, depende da morfologia urbana, disposição da arquitetura, assim como a proximidade com áreas verdes (ALI, 2013).

Avenidas largas com maior fluxo de tráfego de veículos, por exemplo, tendem a apresentar menor concentração de poluentes do que uma rua mais estreita, com menor fluxo de veículos, por exemplo (ALI, 2009).

O papel da vegetação na redução da poluição atmosférica urbana, é resultado do efeito direto na filtragem dos poluentes do ar, e indireto através da melhoria nas condições de ventilação na cidade, ampliando a dispersão de poluentes (DUARTE e SERRA, 2003).

A função purificadora do ar das plantas ocorre principalmente através da sua estrutura foliar, por meio de mecanismos como a interceptação de poeiras e materiais residuais em suspensão no ar, absorção de gases poluentes (ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre) e liberação de oxigênio através da fotossíntese (VARGAS et al., 2008).

No primeiro caso, a fixação de pequenas partículas em suspensão ocorre de modo mecânico ou por efeitos eletrostáticos. Na forma mecânica, as partículas ficam depositadas na superfície da folha. As menores se fixam por meio dos limbos, enquanto as maiores depositam-se devido ao seu peso. Por efeito eletrostático, as partículas menores são aderidas à moléculas de água, podendo ser captadas pela superfície da planta (BARBOSA, 2005). Desse material interceptado, parte pode ser absorvido pela árvore, ou introduzido novamente à atmosfera, pela suspensão através do efeito do vento nos ramos e galhos (VARGAS et al., 2008).

A absorção de gases poluentes ocorre principalmente durante o processo de consumo de CO₂ pelas plantas para a realização da fotossíntese durante o dia. Ao abrir os estômatos para permitir a entrada do CO₂, outros gases incluindo poluentes são capturados para dentro da folha. Uma vez no interior da folha, esses gases são difundidos para espaços intercelulares, podendo ser absorvidos por filmes de água ou superfícies internas da folha. O tipo e quantidade de poluente é resultado de diversos fatores inerentes à planta (tamanho e forma da folha), ao próprio poluente (solubilidade do gás na água) e do ambiente (fatores ambientais responsáveis pelo grau de abertura dos estômatos, como déficit hídrico da planta, intensidade de luz, velocidade do vento, entre outros) (NOWAK, 1994b). Também pode ocorrer a adsorção de gases às superfícies das plantas e absorção através dos poros da casca do vegetal (VARGAS et al., 2008).

NOWAK (1994b) relatou que, para o seu estudo realizado em 1991 na Cidade de Chicago, a cobertura vegetal total de 11% da cidade, foi responsável pela remoção de

15 toneladas de monóxido de carbono (CO), 84 toneladas de dióxido de enxofre (SO₂), 89 toneladas de dióxido de nitrogênio (NO₂), 191 toneladas de ozônio (O₃), e 212 toneladas de material particulado inferior a 10 microns (PM₁₀).

Áreas verdes também geram uma brisa de vento, que pode apresentar uma velocidade de até 2m/s direcionada para as áreas urbanizadas. Isso ocorre principalmente devido ao fato do fluxo ocorrer de locais mais amenos para espaços mais quentes. Essa brisa oferece resistência ao movimento da poluição atmosférica, permitindo que as áreas verdes se mantenham com menor concentração de poluentes, enquanto maiores concentrações são observadas nos limites dos ambientes artificiais ou construídos (ALI, 2013).

Além de atuar de forma direta sobre os poluentes presentes na atmosfera urbana, a vegetação pode ainda reduzir a emissão dos mesmos, se localizadas em locais de estacionamento. Carros estacionados em áreas abertas, em climas quentes, podem ser fontes de poluição atmosférica urbana. Isso ocorre porque, sob alta temperatura, os tanques de combustível e mangueiras do automóvel emitem hidrocarbonetos por evaporação, contribuindo para a formação de ozônio no nível do solo (MCPHERSON et al., 1999). Desse modo, a presença de vegetação em estacionamentos reduziria temperatura dos carros através do sombreamento, atenuando a emissão desses componentes, e atuando como um efeito indireto na melhoria da qualidade do ar urbano (VARGAS et al., 2008).

Segundo ALI (2013), esses benefícios são proporcionais ao tamanho da área verde implantada, bem como da altura, densidade e permeabilidade das árvores utilizadas nesses espaços. O autor sugere que áreas verdes menores são muito mais vulneráveis à entrada de poluentes atmosféricos. Isso ocorre porque, com poucos indivíduos arbóreos, a intensidade da brisa nesses espaços é menor, reduzindo a resistência ao fluxo de poluição (ALI, 2009). Além disso, NOWAK (1994b) observa que árvores grandes e saudáveis removem cerca de 60 a 70 vezes mais poluição do que árvores pequenas.

Esse efeito pode ser observado na Figura 2.23, que apresenta um dos gráficos da variação nos níveis de poluição em diferentes configurações espaciais. A primeira representa o centro de uma área verde de médio porte, a segunda uma rua urbana e a terceira uma praça com um pequeno jardim. O estudo, feito por (ALI, 2013) mostra que a redução dos poluentes monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO₂)

apresentou uma correlação com a proporção do espaço verde, sendo mais significativa nas áreas maiores, como pode ser visto no gráfico.

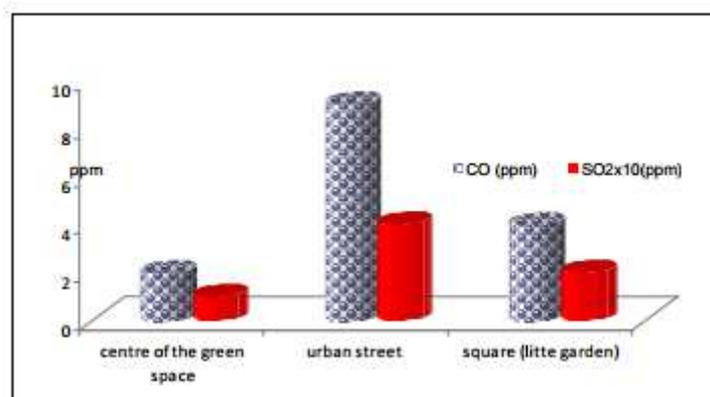


Figura 2.23: Variação dos níveis de poluição em um jardim de médio porte, uma rua urbana e um jardim de pequeno porte, respectivamente. Fonte: ALI, 2013.

Embora, as árvores sejam de grande valia para a atenuação da poluição atmosférica em centros urbanos, elas não devem ser vistas como a solução, mas sim como um complemento. É importante lembrar que o mais importante é a redução efetiva nas emissões através do controle, e a presença de áreas verdes urbanas é apenas uma forma de reduzir os riscos de danos causados pela poluição.

2.3.4. Aspectos sociais e psicológicos

Além das funções climáticas e serviços ecológicos, a vegetação também tem um papel relacionado com a saúde, estética e recreação em ambientes urbanos (KLEIN e RÓZOVÁ, 2014). Desse modo, adicionalmente às melhorias nos parâmetros físicos mencionados anteriormente, árvores e parques urbanos valorizam os espaços públicos externos, desempenhando uma função essencial na qualidade de vida da população no que diz respeito os aspectos relacionados à vida humana (SHAMS et al., 2009).

Os benefícios estão principalmente associados à questão da componente estética local. A introdução de vegetação em ambientes urbanos suaviza as paisagens das cidades, amenizando a influência dos componentes urbanos no cotidiano das pessoas. Isso tem efeito direto no aumento da satisfação de vida dos indivíduos, ampliando a conexão entre os cidadãos e o meio ambiente (DWYER et al., 1992). Como resultado,

observa-se que a 'natureza cotidiana' é uma importante contribuição para a saúde e bem-estar da população urbana (DWYER et al., 1991).

A presença de árvores em parques e jardins de entorno, ou até mesmo em forma de fileiras ao longo de ruas, é um fator determinante para a salubridade mental, uma vez que possui ligação direta com a sensação de bem-estar, além de proporcionar lazer e diversão (SHAMS et al., 2009). Áreas verdes são uma excelente forma de recreação e relaxamento dentro e próximo de grandes cidades (VARGAS et al., 2008), proporcionando ambientes mais prazerosos para uma grande variedade de atividades ao ar livre (DWYER et al., 1992). A implantação de espaços naturais na malha urbana favorece a intensificação do uso e funções dessas áreas, uma vez que áreas arborizadas são preferência para a realização de atividades externas (SHAMS et al., 2009). VARGAS et al. (2008) observaram nos seus estudos que espaços externos com árvores foram muito mais usados do que locais não arborizados. Isso é resultado principalmente da influência da vegetação nas condições climáticas locais - atenuando o efeito da ilha de calor - e dos benefícios ambientais, tais como a questão da paisagem e melhoria na qualidade do ar local.

Como consequência tem-se efeitos positivos não somente no que diz respeito a ampliação das opções de lazer nas cidades, como também uma contribuição significativa para a solução de alguns problemas de saúde de grande importância na atualidade, como obesidade e doenças cardíacas. Isso porque, a implantação e manutenção de áreas verdes como parques e ruas arborizadas, fornecem ambientes que incentivam a prática de exercícios físicos ao ar livre, promovendo uma mudança no estilo de vida das pessoas e favorecendo a redução dos riscos de doenças provocadas por sedentarismo (NOWAK e DWYER, 2007).

A presença de espaços naturais também é responsável pela redução do estresse causado pelas condições urbanas. Indivíduos estressados ao serem expostos à paisagens naturais respondem positivamente com menores níveis de estresse (PARSONS et al., 1998⁷ apud VARGAS et al. 2008). KUO e SULLIVAN (2001) constataram que os relatos de agressão e violência foram superiores para residentes de prédios em áreas sem vegetação, se comparados com moradores de edifícios cercados por espaços verdes. Isso ocorre porque a agressão pode, muitas vezes, estar acompanhada de fadiga mental.

⁷PARSONS, R., TASSINARY, L.G., ULRICH, R.S., HEBL, M.R., Grossman-Alexander, M. 1998. The view from the road: implications for stress recovery and immunization. *Journal of Environmental Psychology*. 18(2): 113–140.

Nesse caso, ambientes naturais podem ter uma função restauradora, renovando a atenção das pessoas e reduzindo o estado de fadiga mental, mesmo que somente pelo contato por uma janela em uma residência ou ambiente de trabalho (KAPLAN, 1993).

A presença da vegetação também conduz a estados fisiológicos mais relaxados em seres humanos do que paisagens artificiais (DWYER et al. 1992). Essa redução no estresse e maior sensação de relaxamento parece ter efeito positivo no sistema imune humano (VARGAS et al., 2008). No estudo feito por ULRICH (1984), uma comparação foi feita entre pacientes hospitalizados em quartos sem visão externa (visão da parede) e com visão externa de uma paisagem natural. Os resultados mostraram que aqueles com acesso a uma janela voltada para uma árvore, tiveram menor tempo de internação pós-operatória, tomaram menos doses moderadas e fortes de analgésicos, foram menos negativos quanto ao trabalho dos enfermeiros, e tiveram ligeiramente menos complicações pós-cirúrgicas.

Os benefícios atribuídos às árvores e florestas urbanas se estendem dos indivíduos para a sociedade. A implantação de áreas verdes urbanas reflete uma maior interação entre os residentes locais, promovendo um senso de comunidade mais forte, o que conduz a melhorias nas condições da vizinhança, além de promover um senso de responsabilidade ambiental e ética (DWYER et al., 1992). A noção de territorialidade e identidade social também é reportada no trabalho de HULL⁸ (1992) citado em VARGAS et al. (2008) que menciona que depois de desastres naturais, pessoas relatam a sensação de perda se a floresta da comunidade foi danificada.

Além da questão social, áreas verdes urbanas podem fornecer importantes contribuições para a vitalidade de uma cidade ou bairro, principalmente pelo viés econômico (NOWAK e DWYER, 2007). O valor de venda de uma propriedade reflete também os benefícios em anexo aos atributos da propriedade, como a presença de árvores ao longo da rua, parques vizinhos e caminhos verdes. Desse modo, a disposição a pagar pelo imóvel engloba a expectativa do comprador com relação aos benefícios fornecidos pelos recursos naturais disponíveis, o que inclui oportunidade de lazer e redução de gastos com resfriamento interno da residência. Com o aumento do valor da propriedade, aumenta-se a cobrança de taxas relacionadas ao imóvel, produzindo ganhos econômicos diretos às comunidades locais (DWYER et al., 1992). THOMPSON et al. (1999) observaram que a presença da vegetação foi significativa no valor da

⁸ Hull, R.B. 1992. How the public values urban forests. *Journal of Arboriculture*. 18(2): 98–101.

propriedade, apesar da influência dominante esperada dos aspectos construtivos. A presença de áreas verdes urbanas próximas do imóvel foi responsável por uma contribuição entre 5% e 20% ao valor da propriedade. Para VARGAS et al. (2008), esse valor foi entre 3% a 7%.

Embora os custos e benefícios da influência das áreas verdes sejam muito variáveis e difíceis de serem mensurados, eles refletem importantes contribuições da vegetação na qualidade de vida da população urbana (NOWAK e DWYER, 2007). Como pode-se perceber, a vegetação pode impactar o ambiente urbano de forma social e econômica, tornando as cidades lugares melhores para se viver, trabalhar e aproveitar o tempo livre (DWYER et al., 1992).

2.4. Conforto térmico e índices térmicos

2.4.1. Sensação térmica e conforto térmico

A sensação térmica consiste no modo como o corpo humano percebe a temperatura ambiente. No entanto, essa percepção não pode ser resultado exclusivo da temperatura do ar de forma isolada, uma vez que o corpo humano não possui sensores individuais para cada parâmetro climático e, por isso, sente o ambiente térmico como um conjunto (TOUDERT, 2005). A sensação térmica sofre, portanto, influência direta de diversos fatores ambientais, como temperatura do ar, radiação, vento, umidade relativa, temperatura radiante, entre outros (CALLEJAS e NOGUEIRA, 2013). Desse modo, um indivíduo parado no sol a uma temperatura de 30°C, em um ambiente úmido e sem vento, pode 'sentir' como se estivesse 40°C. Embora diferente das condições reais, essa é a temperatura que o corpo verdadeiramente está sentindo (CRC WSC, 2014).

A sensação térmica do ser humano é fundamentada no balanço térmico do corpo. Esse balanço, por sua vez, é influenciado não somente pelas condições térmicas do ambiente de entorno, como pelas atividades físicas e isolamento por uso de vestimentas apresentadas pelo indivíduo (STAIGER et al., 2012). Desse modo, no exemplo anterior, se a mesma pessoa estiver correndo e vestindo roupas pesadas, a sensação térmica será bem maior do que os 40°C descritos. Características fisiológicas, tais como idade, gênero e peso podem também exercer algum impacto na percepção das condições térmicas (CRC WSC, 2014).

O conforto térmico, por sua vez, consiste em uma abordagem um pouco mais complexa, levando em consideração não somente a questão do balanço térmico do corpo humano, como aspectos de cunho subjetivo e psicológico (BAGER e DE DEAR, 2001). Segundo ASHRAE⁹ (1966), citado em (EPSTEIN e MORAN, 2006), o conforto térmico pode ser definido como a 'condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico'. Em termos de balanço térmico, a sensação de conforto térmico ocorre quando o organismo humano perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade (FROTA e SCHIFFER, 2001). Esse estado é definido por (FANGER, 1970) quando os fluxos de entrada e saída de calor do corpo estão em equilíbrio, consequência de regulações termo-psicológicas do organismo (temperatura da pele, taxas de suor, temperatura de núcleo, entre outros). Nesse contexto, NIKOLOPOULOU et al. (2001) defende que o conforto térmico resulta do equilíbrio da produção e perda de calor para o ambiente, através da manutenção da temperatura do núcleo¹⁰ do corpo constante de 37°C.

Para RUAS (1999), essa condição é necessária, mas não suficiente para que haja o conforto térmico. O bem-estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico. Conforme maior o trabalho desse sistema, maior a sensação de desconforto. Desse modo, fatores que interferem no sistema termorregulador, como taxa de metabolismo, isolamento térmico, umidade relativa, temperatura radiante média, temperatura e velocidade relativa do ar, afetam diretamente o grau de conforto térmico.

De acordo com HÖPPE (2002) existem três abordagens diferentes para o termo conforto térmico:

- Psicológica - trata-se de uma abordagem subjetiva, que está relacionada com uma condição individual de estado de consciência que expressa satisfação com o ambiente térmico;
- Termo-psicológica - compreende uma abordagem fisiológica, ligada ao processo de estímulo dos receptores térmicos encontrados na pele e no hipotálamo. Nesse caso, conforto seria o mínimo estímulo possível desses receptores;

⁹ ASHRAE (1966) Thermal comfort conditions, **ASRAE standard** 55.66, New York.

¹⁰ *Temperatura de núcleo: a temperatura mantida no interior do cérebro, coração e órgãos abdominais (RUAS,1999).*

- Balanço térmico - segundo essa abordagem o conforto térmico é atingido quando os fluxos de entrada e saída de calor no corpo estão balanceados, a temperatura da pele e a taxa de suor estão em uma faixa de conforto, que varia de acordo com o metabolismo individual.

O conforto térmico é, portanto, uma sensação de bem-estar resultante de uma combinação entre fatores ambientais que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente, atividades desenvolvidas e vestimentas utilizadas por um indivíduo (NÓBREGA e LEMOS, 2011). Por se tratar de um parâmetro subjetivo, sua avaliação varia de pessoa para pessoa. Além de questões de preferências individuais, observa-se ainda o fator de adaptação climática. NAGARA et al. (1996) mostraram que a sensibilidade térmica das pessoas variava conforme seu histórico de exposição. Por exemplo, uma temperatura de 10°C pode considerada boa para quem vive em países de médias latitudes, mas desconfortável para aqueles acostumados com o calor dos trópicos. Com isso, o estabelecimento de condições ambientais para o conforto térmico normalmente propiciam o bem-estar para o maior número possível de pessoas, não necessariamente a todas (LI e CHAN, 2000).

Segundo GIVONI et al. (2003), o conforto térmico é definido pela ausência de qualquer desconforto, e isso está intimamente relacionado a sensação térmica. Desse modo, os autores propõem em seu estudo uma correlação entre esses dois conceitos, apresentado pelo gráfico na Figura 2.24.

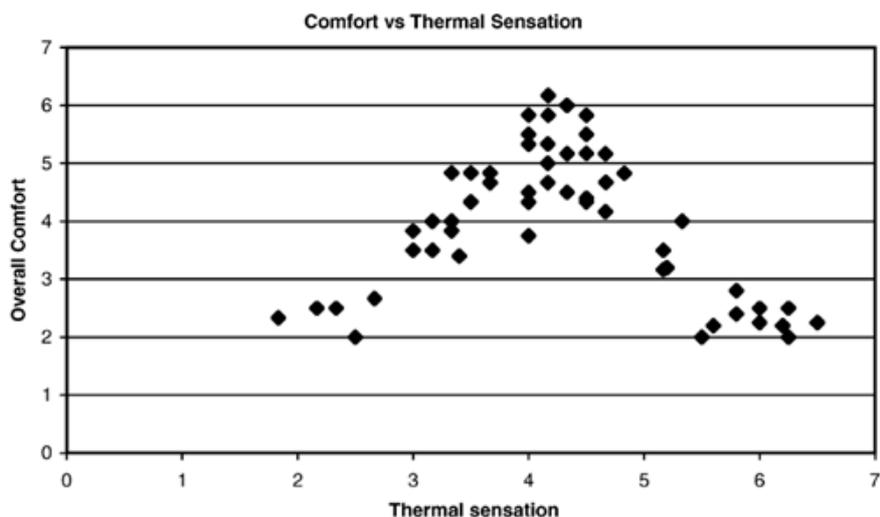


Figura 2.24: Relação entre sensação térmica e o nível de conforto. Fonte: GIVONI et al., 2003.

Os primeiros estudos voltados para uma melhor compreensão do conforto térmico humano datam do início do século anterior. O objetivo inicial era avaliar como as condições de temperatura e umidade relativa do ar afetavam o rendimento durante a jornada de trabalho (NÓBREGA e LEMOS, 2011) e, a partir disso, configurar ambientes internos de modo a proporcionar um clima confortável para pessoas viverem e trabalharem (BROWN e GILLESPIE, 1986). Desde então, muitas pesquisas tentaram definir e mensurar o conforto e estresse térmico, resultando em diversos índices (BLAZEJCZYK, et al., 2012) que tentam englobar todas, ou quase todas, as variáveis passíveis de influenciar o conforto térmico humano.

Devido à preocupação inicial, a grande maioria das pesquisas feitas até hoje sobre o conforto térmico humano foram realizadas em condições de ambientes internos (GIVONI et al., 2003). Pesquisas conduzidas em ambientes externos, por sua vez, tendem a apresentar uma ênfase maior nas condições responsáveis pelo estresse térmico, do que propriamente conforto (BROWN e GILLESPIE, 1986). Diferente de espaços internos, as pessoas quando expostas a áreas externas experimentam grande variabilidade de parâmetros climáticos - variação de radiação solar e mudanças na velocidade do vento, por exemplo - o que pode modificar significativamente a sua percepção térmica (GIVONI et al., 2003).

Para esses casos, grande parte dos estudos focam em modelos basicamente fisiológicos (dependentes das condições ambientais), nível de atividade e vestimentas das pessoas. Ocorre que, em ambientes externos, a questão da adaptação climática é algo de grande relevância para a análise completa do conforto térmico. Essa abordagem consiste não somente em atitudes individuais para adaptação microclimática como também em processos psicológicos, tais quais as memórias climáticas recentes e expectativas térmicas (NIKOLOPOULOU, 2004).

No presente trabalho, devido a grande variabilidade e complexidade dos parâmetros fisiológicos e psicológicos envolvidos, daremos foco apenas a sensação térmica e a percepção da temperatura do ar ambiente, diante dos fatores climáticos considerados.

2.4.1.1. Termorregulação e o balanço de calor no corpo humano

O ser humano, na condição de animal homeotérmico, precisa manter uma temperatura de núcleo do corpo ótima, apesar das mudanças das condições climáticas externas. Essa temperatura deve ser mantida em torno de 37°C, com uma variação de limite restrita a mais ou menos 1°C (EPSTEIN e MORAN, 2006). Para tal, é necessário uma troca constante de calor entre o corpo e o ambiente - processo realizado através do sistema termorregulador, que comanda as perdas e ganhos de calor do corpo por meio de alguns mecanismos de controle (FROTA e SCHIFFER, 2001).

Embora a temperatura do núcleo tenha de ser mantida constante, ou próxima do equilíbrio, a temperatura da superfície do corpo pode variar consideravelmente (STAIGER et al., 2012). É o que ocorre no caso dos membros, músculos e principalmente na pele, que no caso, é a grande responsável pelas modificações na troca de calor por convecção e radiação entre o corpo e o ambiente (RUAS, 1999).

O principal órgão termorregulador do organismo humano é a pele, cuja temperatura de superfície - ou temperatura periférica - é regulada proporcionalmente ao fluxo sanguíneo que a percorre. Em caso de desconforto térmico, o primeiro mecanismo fisiológico ativado é a regulação do fluxo sanguíneo da camada periférica do corpo, a camada subcutânea. Esse mecanismo controla a capacidade de resistência térmica dessa camada, por meio dos processos de vasodilatação (aumento do fluxo sanguíneo) ou vasoconstrição (redução do fluxo sanguíneo). Além disso, é através da pele que ocorre o processo de transpiração ativa, por meio do funcionamento das glândulas sudoríparas (FROTA e SCHIFFER, 2001).

O organismo humano ganha calor através do processo de metabolização dos alimentos, e esse calor é transferido ao meio ambiente por convecção e radiação (GIVONI, 1998). Quando as perdas de calor por convecção e radiação, somadas às perdas por perspiração insensível, são inferiores às perdas necessárias à termorregulação e, portanto, insuficientes para balancear a taxa metabólica, suor é produzido pela pele e a sua evaporação fornece o resfriamento adicional requerido. Essa sensação de resfriamento pela evaporação do suor representa a perda de energia por calor latente, que é equivalente ao calor que seria liberado através da condensação da mesma quantidade de vapor de água que se mantém no ar (FROTA e SCHIFFER, 2001).

O corpo humano emprega, portanto, processos fisiológicos - como sudorese, tremores, regulação de fluxo sanguíneo - de modo a manter o equilíbrio entre o calor produzido pelo metabolismo e o calor perdido pelo corpo (CHARLES, 2003). Diante de condições térmicas extremas e desfavoráveis, essa regulação é essencial para o funcionamento adequado do corpo, exigindo um trabalho excessivo do aparelho termorregulador, o que pode levar a uma fadiga termo-higrotérmica, para alcançar e manter a sensação térmica neutra (FROTA e SCHIFFER, 2001).

2.4.1.2. Variáveis climáticas e sua influência na sensação térmica

Ambientes externos apresentam uma grande variedade e complexidade de fatores ambientais que afetam diretamente na percepção térmica do ser humano. As variáveis microclimáticas, responsáveis pela interação higrotérmica entre o indivíduo e o ambiente, mais referenciadas na literatura científica são: temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar e radiação térmica (MONTEIRO, 2008).

Como mencionado anteriormente, a temperatura percebida por uma pessoa não depende somente da temperatura do ar real que ela está vivenciando naquele momento. Um indivíduo exposto a ambientes externos abertos recebe uma alta carga de radiação solar, responsável pela maior fonte de ganho de calor radiante (GIVONI, 1998). Esse calor transferido diretamente à pele aumenta a temperatura do corpo, ativando o mecanismo de dilatação vascular como forma de manter o balanço térmico do corpo.

A elevação da temperatura também induz a ativação do mecanismo de transpiração através das glândulas sudoríparas. A dissipação do suor da superfície da pele é fundamental para a redução do calor do corpo. A quantidade máxima de suor capaz de ser evaporada depende, no entanto, da umidade relativa e da velocidade do ar (FROTA e SCHIFFER, 2001). Locais quentes com altos índices de umidade relativa dificultam a evaporação do suor da pele, criando uma camada de isolamento de água (STEADMAN, 1979). Isso impede a dissipação do calor, levando ao aumento da temperatura percebida pelo indivíduo, além de proporcionar maior desconforto térmico.

Processos convectivos constituem uma das principais formas de transferência de calor de um objeto para o ar de entorno. A transferência de calor por convecção é, por sua vez, ampliada com o aumento da velocidade do ar. Com isso, uma pessoa se

refresca de forma bem mais rápida em ambientes com circulação de vento do que em condições calmas, a uma dada temperatura do ar (OFCM, 2003).

O efeito da velocidade do ar na temperatura percebida depende da temperatura do ambiente e umidade, assim como o tipo de vestimenta utilizada. A temperaturas abaixo de 33°C, o aumento na velocidade do ar reduz a sensação de calor devido ao aumento da perda de calor convectivo do corpo, e conseguinte redução da temperatura da pele. Entre 33°C e 37°C, a velocidade do ar não apresenta efeitos significantes na sensação térmica, apesar de ter efeito considerável no desconforto provocado pela umidade excessiva na pele. Isso, no entanto, depende da umidade relativa e do tipo de vestimenta que o indivíduo está utilizando. A temperaturas acima de 37°C, o aumento na velocidade do ar conduz ao aumento na sensação térmica, embora reduza a umidade da pele por processos evaporativos (GIVONI, 1998).

Percebe-se, portanto, que a compreensão acurada das interações das condicionantes ambientais na percepção térmica dos seres humanos é um processo que envolve muita complexidade, visto a grande variabilidade temporal e espacial dos parâmetros climáticos e os aspectos fisiológicos diferenciados do organismo.

2.4.2. Índices térmicos

Diante da crescente importância do estudo do conforto térmico humano, tanto em ambientes externos quanto internos, muitos estudos se dispuseram a criar índices térmicos que pudessem, de alguma forma, fornecer a melhor aproximação da quantificação desse parâmetro. Desse modo, os vários índices criados podem ser categorizados em três grupos (EPSTEIN e MORAN, 2006; BLAZEJCZYK, et al., 2012):

- Índices racionais

Tratam-se de índices mais recentes, desenvolvidos através de técnicas computacionais. Baseiam-se em cálculos envolvendo a equação de balanço de energia do corpo humano. Índices térmicos racionais utilizam equações de transferência de calor para prever a resposta do organismo humano ao ambiente térmico (PARSONS, 2014). A teoria de transferência de calor é aplicada para descrever as trocas de fluxo sensível e

latente, junto com algumas expressões empíricas descrevendo os efeitos de controles fisiológicos regulatórios conhecidos (TOUDERT, 2005).

- Índices empíricos

Índices empíricos ignoram a função da fisiologia humana, atividade, vestimentas, e outras características pessoais, como altura, peso, idade e sexo. Esses índices são geralmente limitados a estimativas do efeito combinado de temperatura do ar, umidade e velocidade do ar em pessoas em atividades sedentárias (TOUDERT, 2005), expostas a uma gama de condições térmicas de interesse. As respostas obtidas através dos indivíduos estudados compõem um banco de dados ou modelo empírico, que pode ser usado para prever respostas térmicas (PARSONS, 2014).

- Índices diretos

Compreendem índices mais simples, baseados em medidas diretas de variáveis ambientais, feitas através de instrumentos simples que respondem a componentes ambientais similares àquelas respondidas por seres humanos. Dentre eles, podemos citar o termômetro de globo negro, que responde às componentes da temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade. A temperatura fornecida pelo instrumento fornece, portanto, um índice térmico simples. Através da experiência de uso, o mesmo pode fornecer um método de avaliação de ambientes quentes (PARSONS, 2014).

Como pode-se observar, os dois primeiros grupos compreendem índices sofisticados, que abordam variáveis ambientais e psicológicas. São, portanto, índices difíceis de serem calculados e inviáveis de serem aplicados diariamente. O último grupo, entretanto, engloba índices mais simplificados, baseados na medida direta de variáveis ambientais básicas, o que permite uma maior viabilidade de aplicação (EPSTEIN e MORAN, 2006).

FROTA e SCHIFFER (2001) propõem ainda uma classificação dada por:

- Índices biofísicos - baseados nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente;
- Índices fisiológicos - baseados nas reações fisiológicas do organismo diante de condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar;
- Índices subjetivos - baseados nas sensações subjetivas de conforto, a partir da variação dos parâmetros climáticos.

2.4.2.1. Breve introdução aos principais índices térmicos encontrados na literatura especializada

2.4.2.1.1. Voto Médio Estimado (VME)

O modelo VME é uma equação desenvolvida por FANGER (1970) para prever o conforto térmico em ambientes internos. O modelo combina quatro variáveis físicas - temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e umidade relativa - e duas variáveis pessoais: isolamento por vestimentas e nível de atividade do indivíduo. O resultado é um índice, baseado nas teorias de termorregulação e balanço de calor, que indica a sensação térmica média sentida por um grupo de pessoas. Sua escala de conforto é baseada na escala de sensação térmica ASHRAE, cujos limites extremos de -3 e +3 representam pontos de estresse térmico por frio e calor, respectivamente (CHARLES, 2003).

2.4.2.1.2. Temperatura de Globo e de Bulbo Úmido (WBGT)

O modelo WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) foi desenvolvido pela marinha dos Estados Unidos, como parte do estudo acerca dos possíveis danos provocados pelo calor durante o treinamento militar (EPSTEIN e MORAN, 2006). Sua aplicação se expandiu por pesquisadores do mundo todo, por se tratar de um índice de estresse por calor facilmente medido. Adotado pela ISO 7243 (1989), que avalia o estresse térmico do trabalhador no ambiente de trabalho, o índice é frequentemente usado em orientações de Saúde e Segurança Ocupacional para trabalhos em ambientes quentes. Além disso, tem sido recomendado o uso em esportes que exigem esforços contínuos, como maratonas (BUREAU OF METEOROLOGY AU, 2010).

O modelo consiste em um índice empírico, sem correlações fisiológicas (EPSTEIN e MORAN, 2006), que representa o estresse por calor no qual um indivíduo é exposto (ISO 7243, 1989). Para o seu cálculo são considerados os seguintes parâmetros: temperatura do ar (temperatura de bulbo seco), temperatura de bulbo úmido natural (ambiente ventilado naturalmente) e a temperatura de globo. Essa última consiste na temperatura lida no interior de um globo metálico preto de paredes finas com 150mm de diâmetro, $\varepsilon=0,95$, colocado no centro do ambiente analisado

(MONTEIRO, 2008). Os dispositivos utilizados para as medições são semelhantes aos da Figura 2.25.

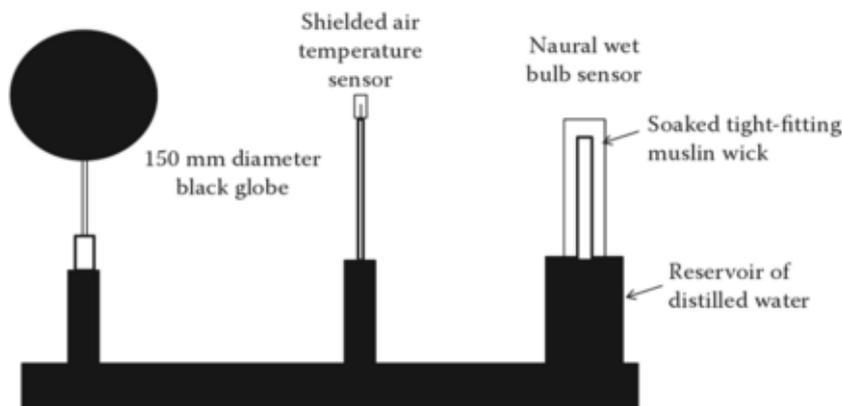


Figura 2.25: Transdutores WBGT. Fonte: PARSONS, 2014.

Embora amplamente utilizada para quantificação do estresse por calor em seres humanos, o modelo WBGT apresenta algumas limitações. A principal delas consiste na inviabilização parcial de sua aplicação em ambientes diversos, devido a inconveniência de medir a temperatura de globo (EPSTEIN e MORAN, 2006). O instrumento utilizado apresenta uma boa aproximação para a temperatura radiante média em condições internas, onde o calor irradiado pelo entorno é uniforme. Entretanto, em ambientes externos, o meio radiante não é homogêneo, principalmente pela presença de feixes de radiação solar, tornando o termômetro de globo menos adequado nesse contexto. Além disso, devido a sua forma esférica, a resposta do termômetro se mostra mais aproximada com a resposta térmica de um indivíduo sentado, uma vez que ele absorve a radiação igualmente de todas as direções. No caso de uma pessoa em pé, isso não é observado, pois nesse caso os fluxos laterais de radiação são dominantes. O instrumento também requer um tempo relativamente longo para atingir o equilíbrio, em torno de 15 a 20 minutos, o que pode ser uma inconveniência dependendo das condições do ambiente a ser avaliado (TOUDERT, 2005).

2.4.2.1.3. Índice de Calor (IC)

O índice de calor (IC) - ou temperatura aparente - é um índice que mede a percepção humana ao calor através do ajuste da temperatura ambiente com a umidade relativa (LI e CHAN, 2000). A equação do modelo é resultado de uma análise de

múltipla regressão dos dados de STEADMAN (1979). A expressão para o cálculo do IC é dada pela equação 2 (ROTHFUSZ, 1990). A Tabela 2-3 apresenta a classificação dos valores conforme os níveis de alerta e os possíveis efeitos para o corpo se houver exposição prolongada e/ou atividade física no calor (NOAA, 2015).

$$HI = -42,379 + 2,04901523T + 10,14333127R - 0,22475541TR - 6,83783 \times 10^{-3}T^2 - 5,481717 \times 10^{-2}R^2 + 1,22874 \times 10^{-3}T^2R + 8,5282 \times 10^{-4}TR^2 - 1,99 \times 10^{-6}T^2R^2 \quad (2.2)$$

onde:

HI= índice de calor (°F)

T= temperatura de bulbo seco ou temperatura do ar real (°F)

R= umidade relativa (%)

Tabela 2-3: Classificação do índice de acordo com os níveis de alerta. Fonte: Adaptado de NOAA, 2015.

Índice de Calor (°C)	Nível de alerta	Efeitos no corpo - Síndrome de calor (sintomas)
<27	Não há alerta	Não há problemas
27-32	Cautela	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e/ou atividade física
32-41	Cautela Extrema	Possibilidade de câimbras, insolação, ou esgotamento em casos de exposição prolongada e/ou atividade física
41-54	Perigo	Provável ocorrência de câimbras ou esgotamento, e possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposição prolongada e/ou atividade física
≥54	Perigo Extremo	Insolação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente

O modelo é válido em situações com temperaturas do ar acima de 20°C, em condições ausentes de radiação solar direta e apresentando vento fraco (BLAZEJCZYK, et al., 2012; NÓBREGA e LEMOS, 2011). Na ocorrência da exposição por radiação solar direta, o valor do índice de calor pode ser aumentado em até 15°F (cerca de 8,3°C) (NOAA, 2015).

A combinação de temperatura do ar e umidade relativa é de grande importância para o balanço térmico do corpo humano e, por conseguinte, para o conforto térmico. Isso porque um dos primeiros mecanismos do organismo quando o corpo fica muito quente é a produção de suor através da transpiração da pele. Quando a umidade relativa do ar está muito alta, a taxa de evaporação do suor produzido é reduzida. Desse modo, o calor é removido do corpo a uma taxa mais baixa, provocando maior retenção de calor do que em condições de ar seco (STEADMAN, 1979). O resultado é uma sensação de aumento da temperatura, e com isso, maior desconforto térmico. Ocorre, portanto, uma

relação direta entre esses parâmetros: quanto maior (menor) a temperatura do ar e umidade relativa, mais (menos) elevado o índice de calor (HI) (NOAA, 2015).

2.4.2.1.3. Humidex

O Humidex é um índice proposto por MASTERTON e RICHARDSON¹¹ (1979, apud MONTEIRO, 2008), cuja finalidade é descrever a percepção térmica de um indivíduo, através da combinação dos efeitos da temperatura do ar e umidade. Muito usado por meteorologistas Canadenses, o índice fornece um valor representativo da temperatura percebida que, embora seja adimensional, refere-se à temperatura percebida em graus Celsius. Desse modo, se a temperatura do ar for de 30°C e o Humidex calculado for de 35°C, a temperatura percebida será próxima de 35°C (RANA et al., 2013).

2.4.2.1.4. Temperatura Efetiva (TE)

O índice de Temperatura Efetiva foi inicialmente proposto por YAGLOW e HOUGHTEN (1923, apud FROTA e SCHIFFER, 2001), estabelecendo uma correlação entre a sensação de conforto com a temperatura, umidade e velocidade do ar, de modo a determinar os efeitos desses parâmetros no conforto térmico (FROTA e SCHIFFER, 2001; BLAZEJCZYK, et al., 2012). Em sua forma original, o modelo consistia em uma combinação da temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido e a velocidade do vento (MONTEIRO, 2008).

2.4.2.1.5. Temperatura Efetiva Corrigida

VERNON e WARNER (1932) propõem uma correção no índice de Temperatura Efetiva. O novo modelo abordaria, ao invés da temperatura seca do ar (temperatura de bulbo seco), a temperatura de globo, levando em consideração os efeitos da radiação. A alteração foi feita, pois a temperatura de radiação, sendo inferior ou superior à temperatura seca do ar, influencia na sensação de conforto (FROTA e SCHIFFER, 2001). Além disso, o índice considera uma umidade de 50% como referência (MONTEIRO, 2008).

¹¹MASTERTON, J. M., RICHARDSON, F. A., 1979, **Humidex: a Method of Quantifying Human Discomfort due to Excessive Heat and Humidity**. Environment Canada, CLI 1-79. Ontario, Downsview: atmospheric Environment Service.

2.4.2.1.6. Wind Chill Index (WCI)

Desenvolvido em 1941, pelo Major Paul Siple das Forças Armadas Americanas e o geógrafo Charles Passel (OFCM, 2003), o índice Wind Chill Temperature (WCI) é um conceito que avalia a perda de calor por efeitos do vento em ambientes frios em áreas expostas do corpo humano (BLAZEJCZYK, et al., 2012; OFCM, 2003). O seu cálculo é feito em função das variáveis temperatura e velocidade do ar (PARSONS, 2014), sendo um índice adequado para condições de inverno (TOUDERT, 2005).

Embora muito utilizado no mundo todo, o índice tem sido alvo de críticas, principalmente por não se mostrar um indicador adequado da resposta térmica humana, podendo estar levando as pessoas a acreditarem que elas estavam sob temperaturas mais severas do que apresentavam as condições reais (OFCM, 2003). Além disso, o modelo é significativo apenas para temperaturas inferiores a 0°C, o que induziu modificações na equação original, fornecendo o surgimento de um novo WCI (PARSONS, 2014).

2.4.2.1.7. Índice de Conforto Equatorial (EC)

O Índice de Conforto Equatorial foi desenvolvido por WEBB (1960), a partir de um estudo de conforto térmico em habitantes de Cingapura. Apresentando uma escala climática desenvolvida especialmente para condições de clima tropical, o modelo foi desenvolvido correlacionando-se os dados de temperatura, pressão e velocidade do ar, com a temperatura do ar saturado e parado, a qual produziria a mesma sensação global de conforto. O índice é aplicável para condições em que a temperatura de bulbo úmido (t_{wb}) seja maior que 25°C e a temperatura do ar é igual a temperatura radiante média (SANTAMOURIS e ASIMAKOPOULOS, 1996).

2.4.2.1.8. Índice de Sensação Térmica (TS)

O Índice de Sensação Térmica consiste em uma fórmula de regressão multifatorial que expressa a sensação térmica (TS) em função de cinco variáveis climáticas: temperatura do ar na sombra (°C), radiação solar no plano horizontal (W/m²), velocidade do vento (m/s), umidade relativa (%), e temperatura de superfície média do entorno (°C) (GIVONI et al., 2003).

2.4.2.1.9. MENEX (Man-ENvironment heat EXchange model)

O modelo MENEX propõe a troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente. Para tal, faz uso do balanço térmico do corpo humano, levando em consideração a produção de calor metabólico e as trocas com o meio (BLAZEJCZYK, 2006b; BLAZEJCZYK, 1992). Os dados de entrada para a resolução do sistema incluem tanto variáveis meteorológicas - temperatura do ar, velocidade do vento, pressão de vapor do ar, umidade relativa, entre outros - como variáveis fisiológicas, tais quais temperatura média da pele, produção metabólica de calor e isolamento por vestimentas (BLAZEJCZYK, 2006b). Os resultados devem ser avaliados por meio de três critérios, considerados em conjunto: esforço fisiológico do organismo, carga térmica e estímulo devido à intensidade de radiação solar (MONTEIRO, 2008).

2.4.2.1.10. Índice de Temperatura Subjetiva (STI)

O índice de Temperatura Subjetiva (STI), como diz o nome, representa a sensação subjetiva do ambiente térmico pelo indivíduo, antes de ser ativado o processo de adaptação do corpo às variantes climáticas. A STI depende tanto parâmetros climáticos (temperatura, radiação solar, vento, umidade), como variáveis referentes à troca de calor entre o homem e o ambiente (BLAZEJCZYK, 2006b).

2.5.O sensoriamento remoto e suas aplicações aos estudos climáticos urbanos

O aumento acelerado e intenso da população urbana tem alterado drasticamente as características da superfície e da atmosfera terrestre (FABRIZI et al., 2010), fazendo com que haja um interesse cada vez maior da comunidade científica em analisar e interpretar essas variações, de modo a auxiliar no planejamento de ações que possam contribuir com a mitigação dessas mudanças. Nesse contexto, o uso de dados obtidos através do sensoriamento remoto tem sido cada vez mais empregado, principalmente na avaliação das variações da temperatura dentro das cidades e sua correlação com as

características da superfície das mesmas, além de estimativas dos fluxos de calor ocorrendo nesses ambientes (SANTOS, 2011).

O desenvolvimento urbano implica diretamente em alterações físicas da paisagem, sendo a mais evidente, a remoção da vegetação natural e substituição por superfícies artificiais, como metal, asfalto e concreto. Além da alta capacidade de absorção de energia desses materiais, tem-se a perda dos benefícios da evapotranspiração das plantas, aumentando a quantidade de calor sensível disponível na atmosfera urbana. Como consequência ocorre uma alteração no balanço energético do sistema superfície-atmosfera, possibilitando a formação de um chamado "clima urbano" (BARBOSA e VECCHIA, 2009). Em comparação com áreas rurais, esse clima apresenta um contraste na radiação de superfície e temperatura do ar, tornando as cidades mais quentes que as áreas rurais de entorno. A diferença de temperatura entre esses dois ambientes é conhecida como o efeito da ilha de calor urbana (WENG, 2003).

As características temporais e espaciais da ilha de calor urbana variam de acordo com a composição da superfície das cidades, o grau e tipo de funções aplicadas as mesmas. Sua magnitude também é influenciada por condições meteorológicas e geográficas locais (FABRIZI et al., 2010). Segundo (OKE, 1979) podem ser definidos dois tipos de ilha de calor urbana: a camada dossel urbana e a camada limite urbana. A primeira consiste na camada de ar mais próxima da superfície das cidades, e se estende verticalmente até aproximadamente a altura média dos prédios. Seu contorno geral está relacionado com a forma da região urbana e seu padrão interno é fortemente controlado por características de micro-escala. Diretamente acima, encontra-se a camada limite urbana, que pode se estender a 1 km ou mais durante o dia, encolhendo-se para algumas centenas de metros ou menos à noite (FABRIZI et al., 2010). Sua intensidade diminui em magnitude com altura, e está sujeita à influência da superfície urbana, sendo uma extensão da primeira camada (OKE e EMERY, 1989) (Figura 2.26).

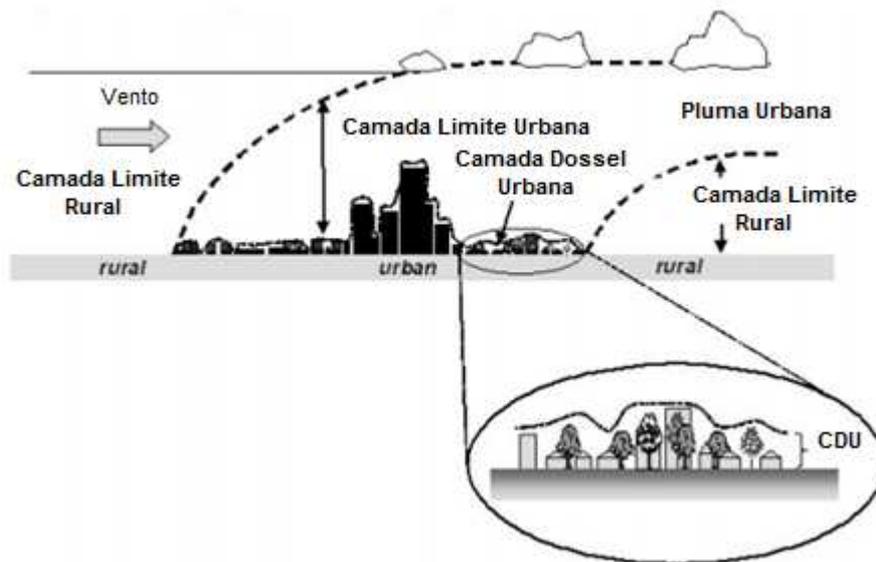


Figura 2.26: Esquema ilustrando as camadas dossel e limite urbana. Fonte: Adaptado de FABRIZI et al., 2010

Inicialmente as modificações térmicas na camada limite urbana eram estudadas com a ajuda de torres altas, helicópteros e aeronaves (OKE, 1979). Entretanto, nas últimas décadas, os estudos acerca do clima urbano tem tido grande participação do uso de sensoriamento remoto, principalmente no que diz respeito à análise de anomalias térmicas como as ilhas de calor (BARBOSA e VECCHIA, 2009).

As vantagens da utilização dessa ferramenta são muitas. Dados obtidos *in situ* - em particular aqueles provenientes de estações meteorológicas permanentes - oferecem alta resolução temporal e cobertura de longo prazo, mas apresentam pouca resolução e detalhes espaciais. Medições e observações feitas por veículos e outros meios, superam essa limitação até um certo grau, mas não fornecem uma visão sincronizada sobre a cidade (WANG, 2011). Visto isso, o destaque do sensoriamento remoto nos estudos do clima urbano pode ser atribuído ao fato de ser uma ferramenta que possui alta resolução espacial, podendo oferecer visões de diferentes escalas (COSTA et al., 2009), de modo a fornecer informações contínuas e simultâneas de toda a cidade. Além disso, ambientes urbanos apresentam características estruturais de grande complexidade, devido à diversidade de tamanho, forma, altura, composição, e arranjo espacial dos componentes do dossel urbano. Devido a isso, torna-se muito difícil quantificar o balanço de energia na superfície por medidas *in situ*. Isso porque, acaba sendo um desafio selecionar locais que sejam representativos de uma região ampla adjacente para a coleta de dados, além de requerer muito tempo para a obtenção de todas as medidas (WENG, 2009). Nesse contexto, o sensoriamento remoto apresenta a vantagem de permitir a utilização de

dados espectrais localizados na região do infravermelho termal dentro da janela atmosférica. Sensores que operam nessa região, após passarem por correção dos efeitos atmosféricos, podem fornecer medidas espacialmente representativas da temperatura da superfície sobre grandes áreas das cidades (COSTA et al., 2009), sendo um parâmetro fundamental para estimar os fluxos de energia da superfície terrestre.

Uma terceira vantagem consiste na incorporação de dados de satélite em modelos numéricos utilizados para o estudo temporal e espacial das ilhas de calor urbanas. Sem o uso desses dados, os modelos apresentam a desvantagem de ser necessário assumir valores para as propriedades da superfície, como albedo e parâmetros térmicos e de umidade do solo. Através do sensoriamento remoto e a incorporação desses dados medidos pelos satélites, eliminam-se as estimativas baseadas na categorização da cobertura e uso da terra, tornando a avaliação dos modelos mais consistentes (HAFNER e KIDDER, 1999).

Os primeiros estudos acerca das características térmicas das superfícies urbanas empregavam dados dos satélites polares da série NOAA, que tinham uma resolução espacial de 1,1 km, sendo adequados apenas para o mapeamento da temperatura urbana em escala regional. Posteriormente essa função foi atribuída aos satélites da série LANDSAT, por apresentar uma resolução espacial melhor, de 120 metros (COSTA et al., 2009).

2.5.1. Satélites LANDSAT

Os satélites Landsat são resultado de um projeto de parceria entre o U. S. Geological Survey (USGS) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA) (USGS, 2015). Devido às suas características, apresenta grande relevância nos estudos acerca da dinâmica da vegetação, sendo um dos programas de sensoriamento remoto mais bem sucedidos do mundo (WANG, 2011).

O primeiro dispositivo da série a ser posto em órbita data de 1972. Desde então, mais 7 satélites Landsat foram lançados ao espaço, sendo o último deles em fevereiro de 2013. Os três primeiros satélites Landsat contavam a bordo com os sensores RBV (Return Beam Vidicon) e Multispectral Scanners (MSSs), cujos dados obtidos apresentavam uma resolução de 79 metros em quatro bandas espectrais, variando do verde visível ao infra-vermelho próximo. A partir do Landsat 4, foi removido o RBV e

incorporado o sensor Thematic Mapper (TM), aumentando a resolução espacial e adicionando novas bandas espectrais (USGS, 2015). O satélite Landsat 8, último a ser lançado até então, foi configurado com os sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor), apresentando maior precisão geodésica e grandes avanços se comparados com o seu predecessor (USGS, 2015). As bandas e resolução de cada sensor do Landsat 8 podem ser vistas na Tabela 2-4.

Tabela 2-4: Característica dos sensores e bandas do LANDSAT 8. Fonte: Fiorio et al., 2013.

Sensor	Bandas	Faixa Espectral (μm)	Resolução
Operational Land Imager (OLI)	1. azul	0,43-0,45	30 metros
	2. verde	0,45-0,51	
	3. vermelho	0,53-0,59	
	4. infravermelho próximo	0,64-0,67	
	5. infravermelho próximo	0,85-0,88	
	6. SWIR 1	1,57-1,65	
	7. SWIR 2	2,11-2,29	
	8. Pancromática (PAN)	0,50-0,68	15 metros
	9. Cirrus	1,36-1,38	30 metros
Thermal Infrared Sensor (TIRS)	10. TIRS 1	10,6-11,19	100 metros
	11. TIRS 2	11,5-12,51	

Os satélites Landsat 7 e 8 orbitam a Terra a uma altitude de 705 km, fazendo 14 órbitas completas a cada dia, e atravessando cada ponto da superfície do planeta uma vez a cada 16 dias. Desse modo, cada satélite apresenta um ciclo de 16 dias para uma cobertura completa da Terra. Os satélites Landsat 4 e 5 seguem a mesma órbita dos Landsat 7 e 8, enquanto que Landsat 1, 2 e 3 orbitam a uma altitude de 920 km, cobrindo completamente a Terra a cada 18 dias (USGS, 2015).

2.5.2. Obtenção de dados por sensoriamento remoto

Para entender como funciona a obtenção de dados através do sensoriamento remoto, é necessário entender primeiro o conceito base de espectro eletromagnético e sua divisão em bandas. O espectro eletromagnético é o conjunto das radiações eletromagnéticas ordenadas de acordo com as suas frequências, seus comprimentos ou seus números de onda (PAIVA, 2001). Sua divisão é feita através das chamadas regiões ou bandas, cujos nomes referem-se à forma que as radiações podem ser produzidas ou detectadas. A distribuição espectral da radiação solar para diferentes bandas pode ser

observada na Tabela 2-5. Para os seres humanos, o sistema visual é sensível a uma pequena região do espectro eletromagnético, situada entre 400nm e 770nm. Dentre essa faixa, dependendo do comprimento de luz, existem diferentes sensações de cor. Como exemplo, a banda entre 400nm e 500nm transmitem as sensações de azul, enquanto que a banda entre 500nm e 600nm transmitem as sensações de verde (IQBAL, 1983).

Tabela 2-5: Divisão do espectro solar em bandas e seus respectivos comprimentos de onda. Fonte: Adaptado de IQBAL, 1983.

Faixa Espectral	$\lambda(\mu\text{m})$
Ultravioleta	<0,39
Visível	0,39-0,77
Infravermelho	0,77-3,9
Violeta	0,390-0,455
Azul	0,455-0,492
Verde	0,492-0,577
Amarelo	0,577-0,597
Laranja	0,597-0,622
Vermelho	0,622-0,770

Os satélites de observação terrestre são plataformas com sensores capazes de produzir imagens da superfície da Terra em várias bandas simultâneas. As imagens obtidas através dos sensores remotos são o produto da radiação com a atmosfera e a superfície (INPE)¹². Os sensores são dispositivos capazes de captar a energia eletromagnética refletida ou emitida por uma superfície, registrando-a na forma de dados digitais, os chamados números digitais (ND). No entanto, as diferentes escalas de ND impossibilitam a comparação entre bandas, de modo a ser necessário converter as escalas para parâmetros físicos, como radiância e reflectância, permitindo a caracterização espectral do objeto, bem como a realização de cálculos incluindo dados de imagens de diferentes bandas espectrais ou sensores diversos. Para tal, usa-se parâmetros e fórmulas para cada banda fornecidos pelo fabricante do sensor (SOARES et al., 2015).

Cada sensor a bordo dos satélites apresenta bandas distintas, passíveis de operar em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Desse modo, conhecendo-se o

¹² *Apostila Digital (INPE). Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acesso em janeiro de 2016*

comportamento espectral do objeto de estudo, é possível escolher as bandas mais adequadas para sua análise (INPE, s.d)¹³.

Como exemplo, podemos citar a identificação de áreas cobertas com vegetação. As folhas absorvem muita radiação solar do espectro visível por meio dos pigmentos da folha, principalmente do espectro vermelho, para a fotossíntese. Por outro lado, a banda do infra-vermelha próximo é altamente refletida pelas plantas. O contraste na refletância entre as bandas do visível e infravermelho próximo pelas folhas, é base física para vários índices numéricos, permitindo acessar informações sobre a vegetação de uma região através do sensoriamento remoto (WANG, 2011).

Desse modo, ao analisarmos uma imagem de satélite captada através de um sensor na banda visível vermelha, por exemplo, teremos as áreas cobertas por vegetação apresentando-se mais escuras, uma vez que a absorção dessa banda pelas plantas é relativamente alta devido ao processo da fotossíntese. Se a imagem, no entanto, estiver na faixa do infra-vermelho, as partes correspondentes à vegetação estarão com uma tonalidade mais clara, resultado da grande refletância dessa faixa pela estrutura celular das folhas (INPE, s.d).

Dentro das bandas existentes, a região do infra-vermelho termal - energia emitida pelo sistema Terra-atmosfera - tem se destacado no estudo do clima urbano, principalmente no que se refere à análise dos padrões de temperatura da superfície terrestre e sua relação com as características da superfície. Com isso, é possível relacionar as temperaturas de superfície com os fluxos de energia, de modo a caracterizar as propriedades da paisagem, permitindo a identificação e avaliação das ilhas de calor urbanas (WENG, 2009).

¹³ *Apostila Digital (INPE). Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acesso em janeiro de 2016*

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município do Estado do Rio de Janeiro, na Ilha do Fundão, zona norte da Cidade do Rio de Janeiro, totalizando aproximadamente 501,26ha. Em termos de coordenadas geográficas, a área situa-se entre os meridianos de 43°12'25" e 43°14'45" de longitude oeste de Greenwich e os paralelos de 22°49'55" e 22°53'10" de longitude sul (SANTOS et al., 2000).

Quanto ao clima, a região de interesse apresenta um clima quente e úmido, com temperatura média anual de 23,7°C e umidade relativa do ar média de 78%. Os ventos mais frequentes na região são os de leste-nordeste, oriundos do sistema de circulação anticiclone do Atlântico Sul. Esses ventos, cuja velocidade média é de aproximadamente 3m/s, são responsáveis pelas temperaturas e umidade elevadas na região BARRETO¹⁴ (2004 apud MENDONÇA e RIBEIRO, 2014).

3.2. Levantamento de dados primários

Sendo o objetivo do trabalho a investigação da influência da vegetação urbana nos parâmetros microclimáticos, o levantamento de dados primários consistiu em uma das mais importantes etapas do trabalho. Foram feitas medições referentes aos parâmetros climáticos: temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar (Wm^{-2}) e temperatura de superfície (°C). As medidas foram tomadas simultaneamente em locais caracterizados pela presença da vegetação (arbórea e arbustiva) e de cobertura por gramíneas (Figuras 3.1 e 3.2).

¹⁴BARRETO, C.F. *Análise palinológica de amostras de sedimentos superficiais e de um testemunho de sondagem da Baía de Guanabara, estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências - Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.



Figura 3.1: Abrigo meteorológico na agrofloresta, que abriga o sensor de temperatura e umidade do ar.



Figura 3.2: Abrigo meteorológico na florestinha e na grama da Estação Meteorológica da UFRJ, respectivamente, que abriga o sensor de temperatura e umidade do ar.

3.2.1. Período e frequência da coleta de dados

O intervalo selecionado para a coleta de dados variou entre 10 e 15 minutos, dependendo do dia em questão (Tabela 3-1). No geral, os dados foram obtidos entre a manhã e início da tarde, período em que ocorre radiação solar incidente máxima, e temperaturas mais elevadas. As amostras englobam dias plenamente ensolarados, e um dia chuvoso, de modo que os resultados apresentaram certa representatividade. No total, foram coletadas informações referentes a 6 dias, sendo um deles em maio, três em

setembro e dois em outubro de 2015. A Figura 3.3 refere-se a ao registro fotográfico de um dia de coleta de dados na agrofloresta.

Tabela 3-1: Períodos da coleta de dados.

Ordem	Coleta	Período	Intervalo
1ª Medição	08/05/2015	10:30h-16:00h	15 min
2ª Medição	01/09/2015	10:00h-13:30h	15 min
3ª Medição	22/09/2015	10:30h-15:00h	10 min
4ª Medição	24/09/2015	11:04-15:04	10 min
5ª Medição	14/10/2015	10:00h-15:00h	15 min
6ª Medição	16/10/2015	10:00h-15:00h	15 min



Figura 3.3: Coleta de dados na agrofloresta.

3.2.2. Determinação dos pontos de coleta de dados

A coleta de dados foi feita através do contraste entre áreas com a presença de vegetação arbórea e outra apenas gramada. As áreas verdes alternaram-se entre a agrofloresta do Projeto MUDA e a denominada neste estudo de 'florestinha' na Estação Meteorológica do Departamento de Meteorologia da UFRJ. O solo dessas três áreas era originalmente composto por aterro e cobertura de gramínea, sendo que a gramínea foi substituída na agrofloresta e na florestinha pela vegetação atual.

A agrofloresta é um projeto que teve início em 2009, quando a Decania do CT e a Prefeitura Universitária cederam uma área de 1820m², o Laboratório Vivo de Agroecologia e Permacultura (LaVAPer), localizado no estacionamento do Centro de Tecnologia (CT/UFRJ), para a realização de intervenções práticas. Tais práticas

constituem essencialmente no manejo de sistemas agroflorestais sucessionais, cujo objetivo é a recuperação ambiental e produção de alimentos através da agroecologia, e processos como compostagem e bioconstrução (OLIVEIRA et al., 2013). Desse modo, esse local caracteriza-se por uma área arborizada relativamente jovem, de baixa a média densidade de dossel, com espécies arbóreas diversificadas e culturas alimentícias. A Figura 3.4 mostra a evolução da vegetação local desde a implantação do projeto.



Figura 3.4: Evolução da vegetação local desde a implantação do projeto MUDA. Fonte: Relatório de Apresentação do Grupo MUDA , 2014.

A florestinha é uma área pequena constituída por um conjunto de vegetação com finalidade paisagística que contem indivíduos arbóreos, entre outros. Localiza-se em um espaço pertencente à área da Estação Meteorológica do Departamento de Meteorologia da UFRJ.

A área de vegetação gramínea localiza-se também na Estação Meteorológica da UFRJ, e constitui um local de cobertura do solo por gramíneas, sem nenhuma proteção por vegetação arbórea e arbustiva. Trata-se, portanto, de uma área exposta à radiação solar para efeito de comparação com as áreas verdes mencionadas anteriormente.

3.2.3. Equipamentos utilizados para a coleta de dados

Os instrumentos utilizados para as medições foram:

- Temperatura e Umidade do Ar - Foi utilizado um barotermohigrômetro digital com visor da marca Oregon, modelo BTHR918N, com exatidão de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ para temperatura do ar e $\pm 1\%$ para umidade relativa.

- Radiação Solar - Foi empregado um piranômetro da marca Kipp & Zonen, modelo CM3, com exatidão de 1%.
- Temperatura de Superfície - Foi utilizado um termômetro digital de haste com visor da marca Hikari, modelo HK-T363, com exatidão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Dois termohigrômetros foram expostos dentro de abrigos meteorológicos (conforme ilustrado na Figura 3.5). Um deles posicionado diretamente no centro de uma área coberta por vegetação arbórea e arbustiva (agrofloresta ou florestinha) e o outro sobre a superfície de grama a uma altura de 1,5 metros do solo.

Foram instalados também dois piranômetros expostos em plataformas conjugadas aos abrigos meteorológicos (Figura 3.6), um na área coberta por vegetação arbórea e arbustiva (agrofloresta ou florestinha) e o outro sobre a superfície de grama.

Em três dias (08/05; 14/10; 16/10) foram realizadas medições referentes a temperatura de superfície. Os dados foram coletados no mesmo intervalo de tempo das demais medições, através do posicionamento do termômetro de haste em contato direto com a superfície (Figura 3.7). Todos os instrumentos utilizados foram devidamente aferidos antes de serem utilizados.



Figura 3.5: Sensor de medida de temperatura e umidade do ar e sua exposição na agrofloresta.



Figura 3.6: Sensor de medida de radiação solar e sua exposição na florestinha.



Figura 3.7: Sensor de medida de temperatura da superfície e sua exposição na agrofloresta.

3.3.Cálculo do Índice de Calor

Utilizando os dados coletados em campo, foi feito um estudo acerca da sensação térmica de um indivíduo diante das condições meteorológicas analisadas. Através da revisão da literatura especializada feita no capítulo 2, escolheu-se o índice mais adequado diante das informações disponíveis. Foi utilizado o índice de calor, resultado de uma análise de múltipla regressão dos dados de STEADMAN (1979) dada pela Equação 3.1. Ao considerar a influência da radiação solar, o resultado do índice deve ser acrescido em 15°F (cerca de 8,3°C). O estudo contemplou ambos os casos: o primeiro, sem considerar radiação; e o segundo, considerando a radiação para ambas as localidades.

$$\begin{aligned}
HI = & -42,379 + 2,04901523T + 10,14333127R - 0,22475541TR - 6,83783 \\
& \times 10^{-3}T^2 - 5,481717 \times 10^{-2}R^2 + 1,22874 \times 10^{-3}T^2R + 8,5282 \\
& \times 10^{-4}TR^2 - 1,99 \times 10^{-6}T^2R^2
\end{aligned} \tag{3.1}$$

onde:

HI = índice de calor (°F);

T = temperatura de bulbo seco ou temperatura do ar real (°F);

R = umidade relativa (%).

Os resultados obtidos foram então coloridos de forma diferenciada conforme o nível de alerta representado pelo valor encontrado através da aplicação da equação 3.1. O nível de alerta e os possíveis efeitos no corpo humano podem ser observados na Tabela 3-2.

Tabela 3-2: Classificação do índice de acordo com os níveis de alerta. Fonte: Adaptado de NOAA, 2015.

Índice de Calor (°C)	Nível de alerta	Efeitos no corpo - Síndrome de calor (sintomas)
<27	Não há alerta	Não há problemas
27-32	Cautela	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e/ou atividade física
32-41	Cautela Extrema	Possibilidade de câimbras, insolação, ou esgotamento em casos de exposição prolongada e/ou atividade física
41-54	Perigo	Provável ocorrência de câimbras ou esgotamento, e possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposição prolongada e/ou atividade física
≥54	Perigo Extremo	Insolação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente

3.4. Levantamento de dados secundários

Para maior abrangência e consistência do estudo, foram utilizadas imagens dos satélites Rapideye e LANDSAT 8 para a obtenção de um mapeamento do uso do solo na Ilha do Fundão e da identificação das ilhas de calor na região, respectivamente.

3.4.1. Mapeamento do uso do solo na Cidade Universitária

A metodologia empregada consistiu primariamente na obtenção de imagens do sensor Rapideye por meio do sistema Geocatalogo do MMA, datadas de 27 de janeiro de 2015, com cobertura específica da área a ser estudada.

Em seguida, foi necessário efetuar o processo de correção atmosférica através do software PCI Geomatics. Ao entrar na atmosfera, a radiação eletromagnética pode ser absorvida ou espalhada, dependendo dos seus comprimentos de onda. A presença de aerossóis, poeiras e moléculas de gases diversos promove esse espalhamento, fazendo com que parte da energia incidente retorne novamente ao espaço. Como consequência, ocorre uma contaminação da energia refletida ou emitida pela superfície, detectada pelos sensores dos satélites, alterando as respostas espectrais correspondentes. Produz-se uma modificação do brilho da cena, diminuindo o contraste entre os objetos alvos do estudo. Desse modo, a etapa de correção atmosférica é essencial para obter imagens mais nítidas e consistentes (SOARES et al., 2015).

Após o pré-processamento da imagem, foi feita uma segmentação da imagem corrigida através do software eCognition Developer. Em seqüência, fez-se a classificação dos segmentos, utilizando o modelo GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis), indicando as características de cada objeto. As classes foram: Água, Pastagem Não Verde (gramíneas secas), Solo Exposto, Urbano (construções, edificações, instalações de empresas e faixas de transporte) e Vegetação. Por fim, as informações foram exportadas para o programa ArcGis 10.1, onde foi gerado o mapa.

3.4.2. Mapeamento termal da Cidade Universitária

O primeiro passo para a composição do mapa termal consistiu na obtenção de imagens do satélite Landsat 8, por meio da plataforma do United States Geological Survey (www.earthexplorer.usgs.gov), datadas de 28 de novembro de 2015.

Após exportadas as imagens de todas as bandas, selecionou-se as imagens correspondentes a banda 10, que foram então importadas para um programa de processamento de imagens, onde foram processadas. Primeiramente, calculou-se a radiância L_λ , através da Equação 3.2.

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (3.2)$$

Onde:

L_λ = radiância espectral ($\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}$);

M_L = fator de escala multiplicativo da radiância da banda considerada;

A_L = fator de escala aditivo da radiância da banda considerada;

Q_{cal} = valor digital nível 1 de cada pixel da imagem registrado pelo radiômetro.

Nota-se que os parâmetros M_L e A_L são fixos, obtidos através do arquivo .txt gerado ao se exportar os dados referentes à imagem. Feito isso, os valores de radiância foram convertidos em temperatura de brilho, que é a temperatura efetiva vista pelo satélite, assumindo-se emissividade constante. Trata-se da temperatura registrada no topo da atmosfera, sem os efeitos da correção atmosférica. Embora resulte em valores inferiores àqueles encontrados de fato na superfície, o contraste entre as áreas estudadas é basicamente o mesmo caso fosse feito o procedimento de correção. Como a proposta do trabalho é verificar justamente essa diferença entre áreas vegetadas e não vegetadas, optou-se por não realizar a correção. A Equação 3.3 utilizada para o cálculo da temperatura de brilho está representada a seguir.

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3.3)$$

Onde:

T= temperatura de brilho no topo da atmosfera, em Kelvin;

L_λ = radiância espectral ($\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}$);

K1= constante de conversão térmica da banda considerada;

K2= constante de conversão térmica da banda considerada.

Assim como os parâmetros M_L e A_L , as constantes K1 e K2 foram obtidas através do mesmo arquivo .txt gerado ao exportar os dados referentes à imagem.

As temperaturas encontradas foram então convertidas para graus Celsius, e o mapa termal ajustado com uma escala de cores favorável a visualização do contraste entre as temperaturas de superfície registradas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise dos dados coletados em campo

A primeira etapa da análise dos resultados constitui a apresentação dos dados coletados em campo, por dia de amostragem. Os gráficos a seguir apresentam os resultados obtidos por meio do monitoramento dos valores de temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar e temperatura de superfície nas unidades amostrais selecionadas.

4.1.1. Temperatura do ar

Nas Figuras 4.1 e 4.2 tem-se o comportamento da temperatura do ar simultaneamente em superfície gramada e vegetada (florestinha e agrofloresta) nos dias do experimento. Vale ressaltar que os valores médios, mínimos e máximos mencionados a seguir, referem-se ao período de amostragem e não aos valores de 24 horas dos dias considerados neste estudo.

Através do gráfico 1.7 da Figura 4.2, pode-se ver que a temperatura do ar manteve-se, na média, inferior nas áreas verdes para todos os dias avaliados. Seus valores, em média, variaram entre 21,0-38,2°C e 21,2-40,0°C na superfície vegetada e na grama, respectivamente. A diferença entre a temperatura do ar entre ambas superfícies variou, em média, entre 0,1-2,7°C. Em relação à temperatura mínima, observou-se um comportamento similar, sendo inferior nas áreas verdes para todos os dias avaliados (gráfico 1.8; Figura 4.2). A única exceção foi no dia 08/05 quando a temperatura mínima registrada na agrofloresta foi superior à registrada na área sem vegetação. Essa grandeza teve uma variação entre 20,6-35,3°C e 20,2-38,5°C em superfície vegetada e de grama, respectivamente. A diferença entre a temperatura mínima do ar em superfície de grama e vegetada variou entre 0,1-3,2°C. A temperatura máxima do ar teve comportamento semelhante à temperatura mínima, com valores inferiores nas áreas verdes para todos os dias estudados (gráfico 1.9; Figura 4.2). Esses valores variaram entre 21,3- 41,3°C e 22,6-42°C em superfície vegetada e de grama, respectivamente. A diferença entre a temperatura máxima do ar entre ambas localidades variou entre 0,7 -2,9°C.

Em média, para todos os dias de amostragem, a temperatura do ar teve valores mínimos iguais a 28,9°C e 30,1°C em superfície vegetada e de grama, respectivamente, com uma diferença de 1,2°C. Os valores máximos registrados foram de 32,8°C para as áreas arborizadas, e 34,6°C na área gramada, respectivamente, com uma diferença de 1,8°C. Em média a temperatura do ar variou entre 31,0°C e 32,6°C em superfície vegetada e de grama, respectivamente, com uma diferença de 1,6°C. Os resultados evidenciam que a presença de vegetação arbórea ameniza a temperatura do ar.

Fazendo uma análise individual dos gráficos podemos notar, no entanto, que houve um padrão comportamento diferenciado de acordo com o dia e horário de coleta de dados. No dia 8 de maio, pode-se ver através do gráfico 1.1 da Figura 4.1 que a temperatura do ar foi majoritariamente inferior na área arborizada, embora os valores tenham sido superiores dentro da agrofloresta até o início da tarde, por volta do meio dia. A partir desse momento, a temperatura registrada na grama se tornou superior àquela encontrada na área com vegetação, atingindo um pico máximo às 13:15h, quando a diferença entre as duas localidades foi de 1,3°C (diferença máxima). Do meio dia em diante, com exceção do horário de 13:15h, a temperatura do ar registrada na grama foi superior, em média, em 0,4°C à temperatura na área da agrofloresta.

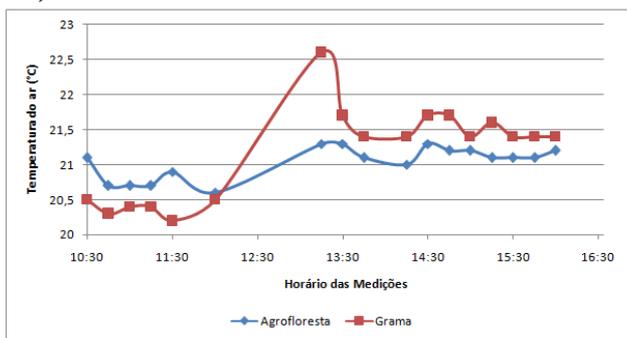
De modo similar, os dias 14 e 16 de outubro apresentaram uma inversão no comportamento da temperatura do ar (gráficos 1.5 e 1.6; Figura 4.1). Entretanto, diferente do dia 8 de maio, essa inversão ocorreu no período da tarde. No dia 14, embora a temperatura do ar tenha se mantido superior, em média, em 1,1°C na área sem vegetação durante toda a manhã e início da tarde, pode-se observar uma certa oscilação a partir de 13:30h. Para esse caso, a máxima diferença de temperatura foi de 1,6°C às 11:00h, 12:00h e 12:15h. A mínima, por sua vez, foi de 0,1°C às 15:00h. Semelhante ao dia 14, no dia 16 de outubro os valores da temperatura do ar se mantiveram mais elevados para a área sem vegetação, até as 14:00h, com uma diferença média de cerca de 2,3°C. A partir desse horário, observa-se um comportamento diferenciado, com oscilações nos valores da temperatura do ar para as duas áreas estudadas. O valor mínimo da diferença na temperatura do ar encontrado foi de 0°C às 14:45h, e o máximo de 3,8°C às 10:00h (gráfico 1.6; Figura 4.1).

Dos resultados obtidos, em três dos seis dias estudados, a temperatura do ar registrada na área sem cobertura vegetal foi superior durante todo o período de coleta de dados (gráficos 1.2, 1.3, 1.4; Figura 4.1). Para esses casos, a diferença encontrada foi, na média, de 2,7°C, 1,6°C e 2,7°C para os dias 1, 22 e 24 de setembro, respectivamente

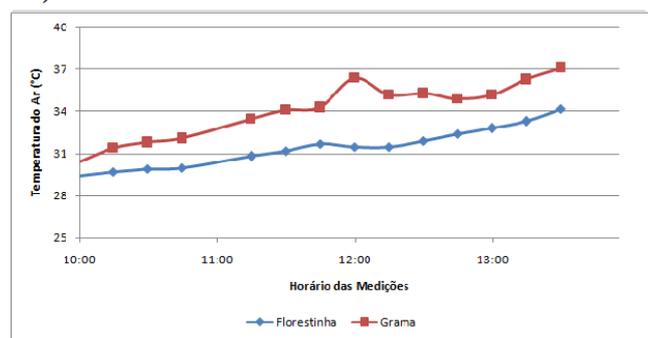
(gráfico 1.7; Figura 4.2). Nos demais dias, embora tenha havido uma alternância de valores superiores de temperatura do ar entre a superfície vegetada e a de grama, em média, a presença da vegetação arbórea amenizou a temperatura do ar, como já foi mencionado no parágrafo anterior.

Vale ressaltar que o dia 08/05/2015 foi nublado e chuvoso o tempo todo; o dia 14/10/2015 foi de Sol com céu parcialmente nublado a partir das 12:30 horas; o dia 16/10/2015 teve apenas dois horários com registro de nebulosidade por volta das 13:30 e 14:30 horas; os demais dias foram de pleno Sol. Os resultados indicam que em dias de Sol a vegetação amenizou a temperatura do ar em até 4,9 °C às 12:00h do dia 01/09, dia de pleno Sol (gráfico 1.2; Figura 4.1 e Tabela 4-1).

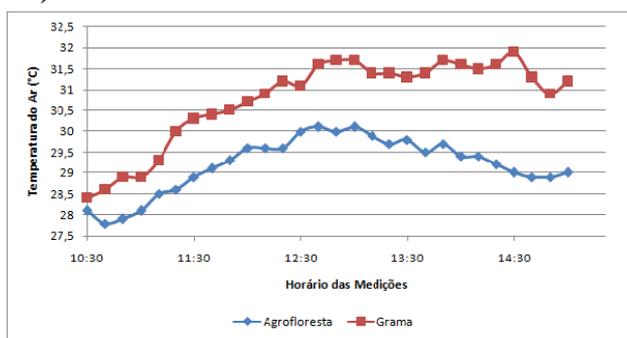
1.1) Dados referentes ao dia 08/05/15.



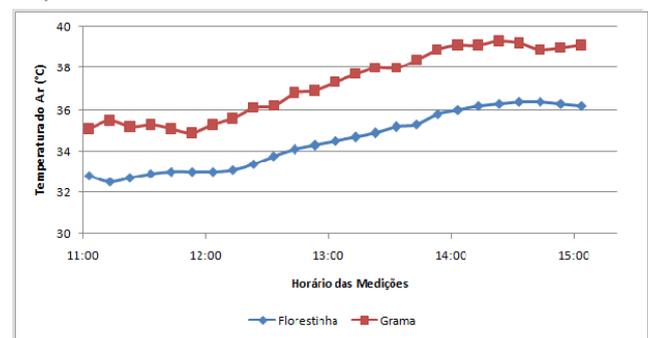
1.2) Dados referentes ao dia 01/09/15.



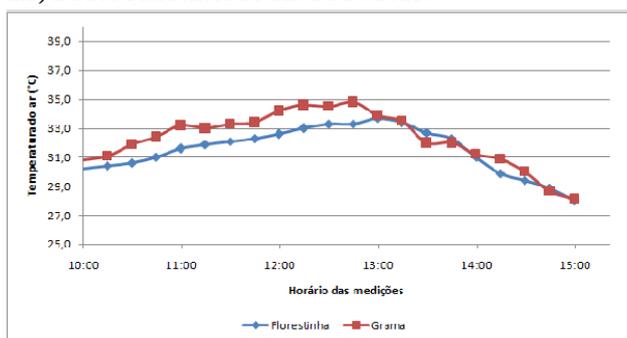
1.3) Dados referentes ao dia 22/09/2015.



1.4) Dados referentes ao dia 24/09/2015.



1.5) Dados referentes ao dia 14/10/2015.



1.6) Dados referentes ao dia 16/10/2015.

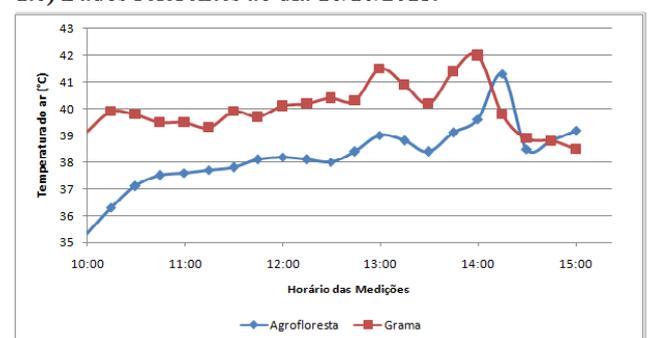
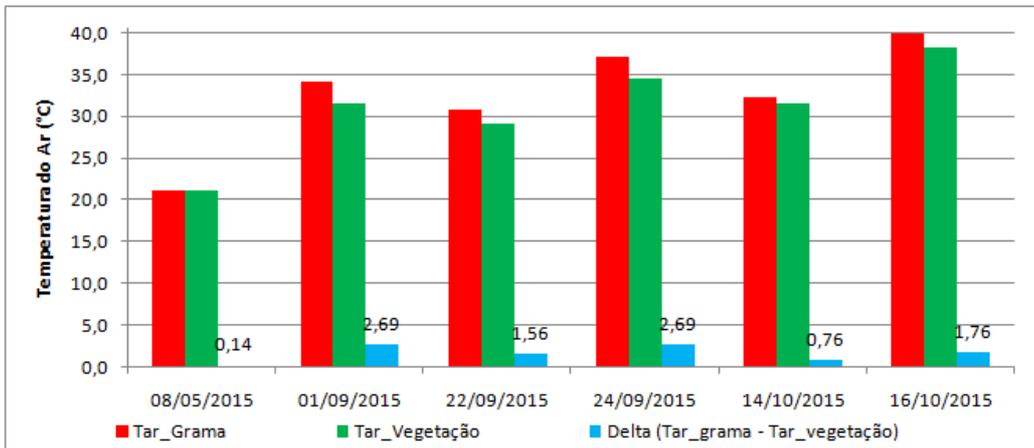
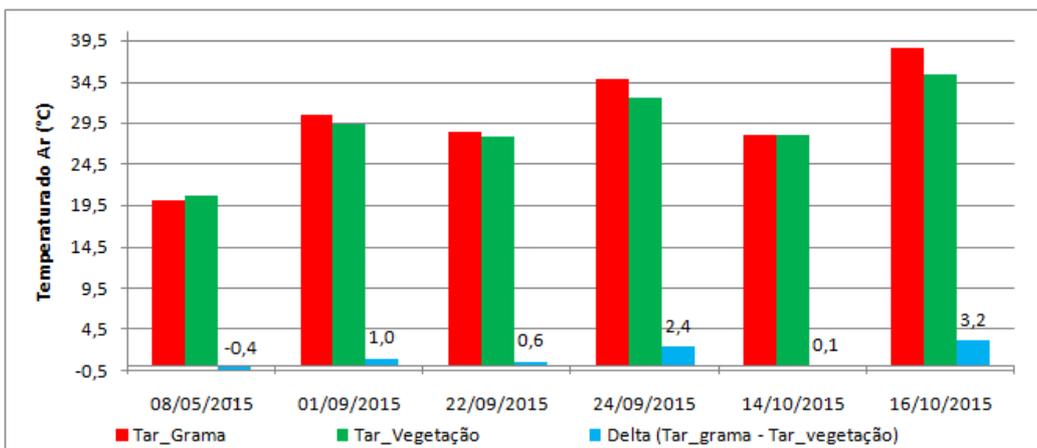


Figura 4.1: Gráficos de temperatura do ar para cada dia de amostragem.

1.7) Gráfico dos valores médios.



1.8) Gráfico dos valores mínimos.



1.9) Gráfico dos valores máximos.

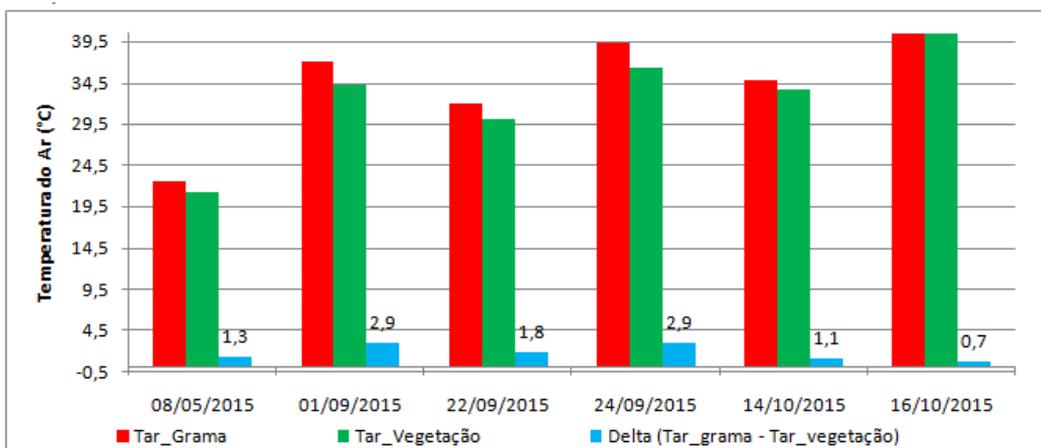


Figura 4.2: Gráficos de valores médios mínimos e máximos de temperatura do ar para cada dia de amostragem.

Tabela 4-1: Diferenças mínimas e máximas entre a temperatura do ar ocorrida em superfície grama e vegetada nos dias de amostragem.

Diferença mínima (°C)	Diferença máxima (°C)	Dia
-0,1 12:00h	1,3 13:15h	08/05/2015
1 10:00h	4,9 12:00h	01/09/2015
0,3 10:30h	2,9 14:30h	22/09/2015
1,9 11:54h	3,1 13:24h; 13:44h; 13:54h; 14:04h	24/09/2015
0,1 13:15h; 15:00h	1,6 11:00h; 12:00h; 12:15h	14/10/2015
0 14:45h	3,8 10:00h	16/10/2015

É também interessante notar que, em 5 dos 6 dias analisados, a amplitude térmica nas áreas vegetadas foi inferior àquela registrada na área gramada exposta, chegando a ser quase 4 vezes menor, como no caso do dia 08/05/2015 (Tabela 4-2).

Tabela 4-2: Amplitude térmica das áreas estudadas durante o período de análise.

	Amplitude Térmica (°C)	Data
Agrofloresta	0,7	08/05/2015
Gramma	2,4	
Florestinha	4,8	01/09/2015
Gramma	6,7	
Agrofloresta	2,3	22/09/2015
Gramma	3,5	
Florestinha	3,9	24/09/2015
Gramma	4,4	
Florestinha	5,7	14/10/2015
Gramma	6,7	
Agrofloresta	6	16/10/2015
Gramma	3,5	

4.1.2. Umidade do ar

Nas Figuras 4.3 e 4.4 tem-se o comportamento da umidade do ar simultaneamente em superfície gramada e vegetada (florestinha e agrofloresta) nos dias do experimento.

Diferente da temperatura do ar, a umidade relativa, em média, apresentou um comportamento mais variado. Como pode-se ver, no gráfico 2.7 da Figura 4.4, apenas nos dois primeiros dias, a vegetação pareceu ter alguma influência no aumento da umidade relativa do ar. Nos demais dias a umidade foi superior na área sem cobertura vegetal. O mesmo pode ser observado para o gráfico dos valores máximos. No que diz respeito aos valores mínimos, o comportamento foi ainda mais variado, apresentando resultados diversos ao longo dos dias.

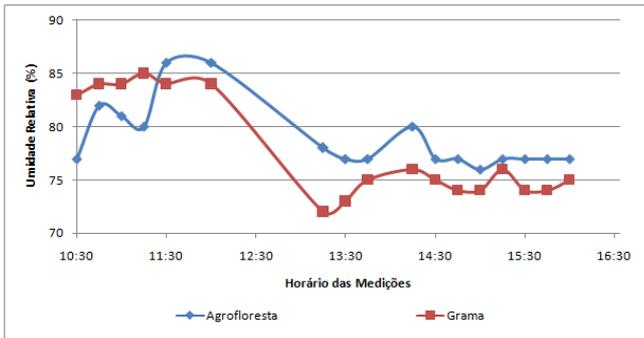
Fazendo uma análise individual, pode-se notar que a umidade relativa só se manteve superior para a área com vegetação durante todo período de coleta no dia 1 de setembro. Nesse dia, o local arborizado apresentou, em média, 7,2% a mais na umidade relativa do que para os valores encontrados na área de grama exposta. A diferença entre os valores atingiu mínimo de 4% às 10:00h, e um máximo de 10% às 12:15h (gráfico 2,2; Figura 4.3).

No dia 8 de maio a umidade também foi superior na área verde durante quase todo o período estudado. Nesse período, a diferença média observada foi de aproximadamente 3%, atingindo um mínimo de 1% às 15:15h e um máximo de 6% às 13:15h.

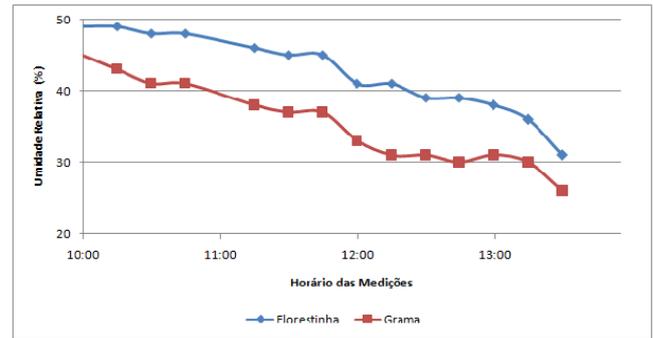
Nos demais dias, os valores registrados na área gramada foram superiores àqueles encontrados nos locais arborizados, durante todo o período de coleta de dados, exceto no dia 24 de setembro em que a umidade do ar foi superior na área vegetada até às 12:00h (Figura 4.3).

Os resultados indicam que houve uma diferença de até 11% na umidade do ar entre as superfícies com grama e arborizada. Na maioria dos dias, a umidade do ar foi menor na superfície arborizada, indicando que essa área funcionou como um bloqueio parcial para a umidade do ar predominante na região. Nesse caso, o efeito pode ser positivo no conforto térmico, tendo em vista que em dias de temperaturas elevadas, quanto maior a umidade do ar maior é a sensação térmica.

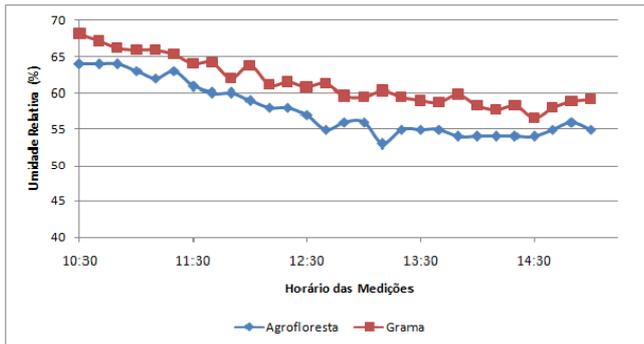
2.1) Dados referentes ao dia 08/05/15.



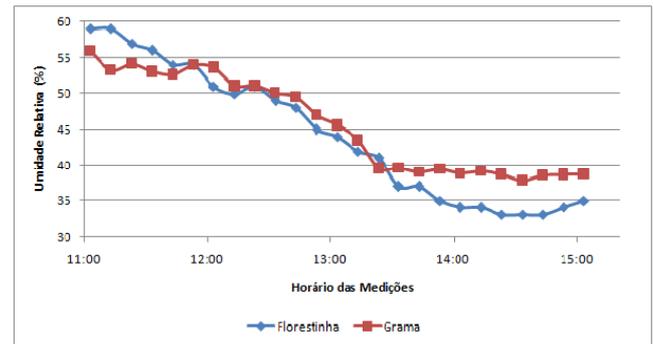
2.2) Dados referentes ao dia 01/09/2015.



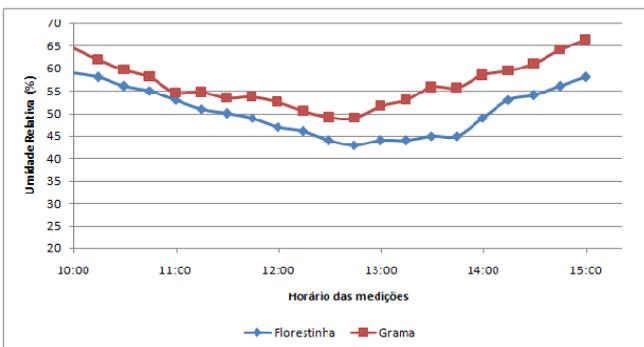
2.3) Dados referentes ao dia 22/09/2015.



2.4) Dados referentes ao dia 24/09/2015.



2.5) Dados referentes ao dia 14/10/2015.



2.6) Dados referentes ao dia 16/10/2015.

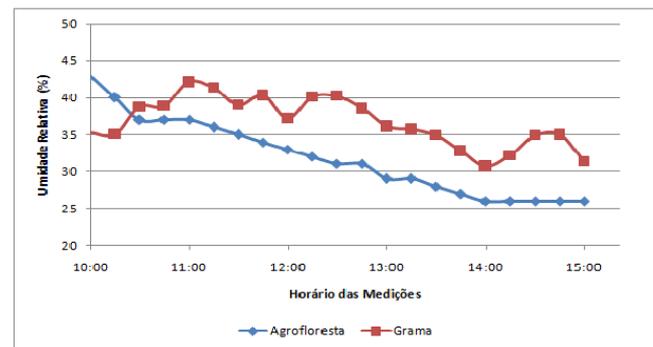
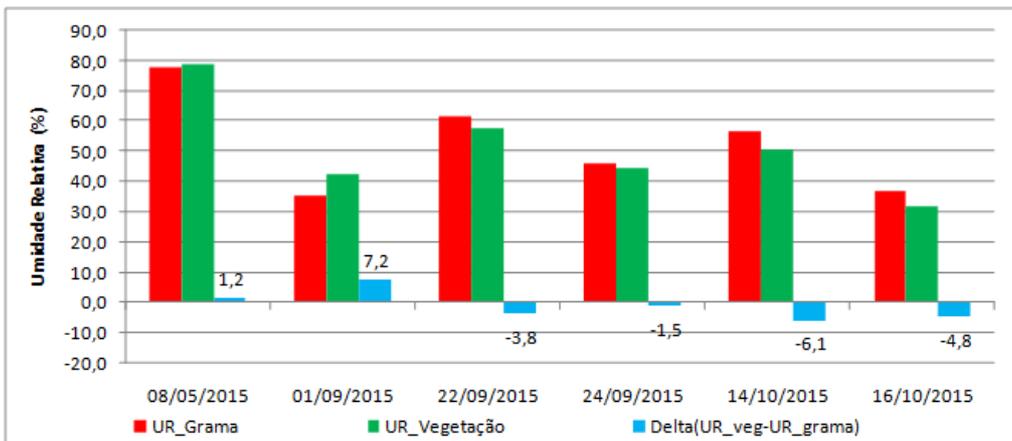
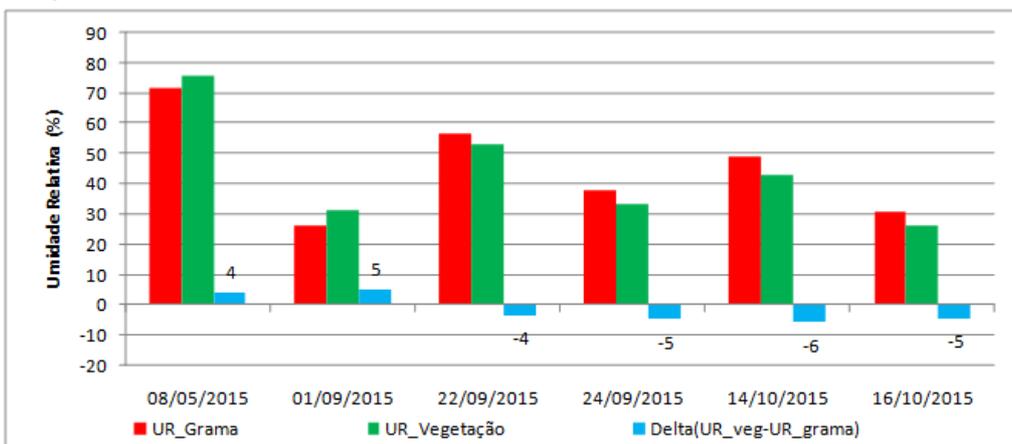


Figura 4.3: Gráficos de umidade relativa do ar para cada dia de amostragem.

2.7) Gráfico dos valores médios.



2.8) Gráfico dos valores mínimos.



2.9) Gráfico dos valores máximos.

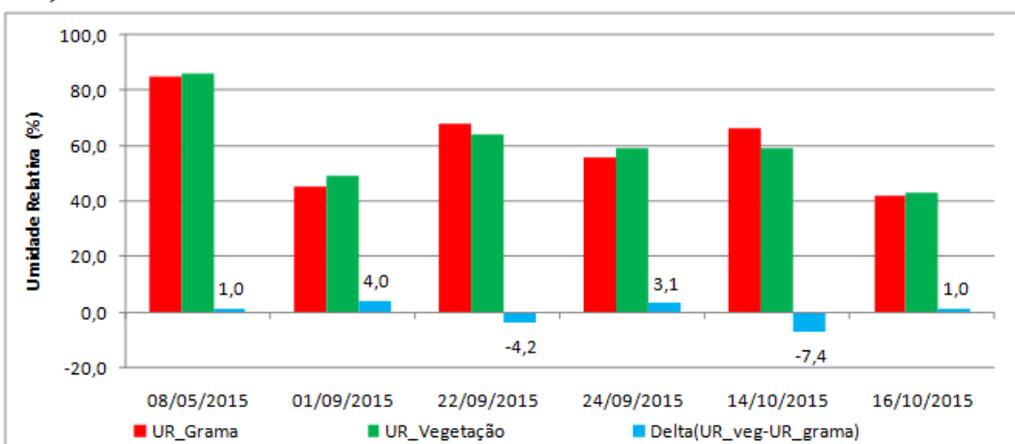


Figura 4.4: Gráficos de valores médios mínimos e máximos de umidade relativa do ar para cada dia de amostragem.

Tabela 4-3: Diferenças mínimas e máximas entre a umidade do ar ocorrida em superfície grama e vegetada nos dias de amostragem.

Diferença mínima (%)	Diferença máxima (%)	Dia
1	6	08/05/2015
15:15h	13:15h	
4	10	01/09/2015
10:00h	12:15h	
-2	-7	22/09/2015
10:50h; 11:20h; 11:50h	13:10h	
0	6; -6	24/09/2015
11:54h; 12:24h	11:14h; 14:44h	
-2	-11	14/10/2015
11:00h	13:30h; 13:45h	
-2	-9	16/10/2015
10:30h; 10:45h	12:30h; 14:30h; 14:45h	

4.1.3. Radiação solar

As figuras 4.5 e 4.6 apresentam o comportamento da radiação solar de modo simultâneo na superfície gramada e vegetada (florestinha e agrofloresta) nos dias do experimento.

Através do gráfico 3.6 da Figura 4.6, nota-se que a radiação solar manteve-se predominantemente inferior nas áreas verdes para todos os dias avaliados. Os valores obtidos variaram, em média, entre 122,0 - 756,1 W/m² e 10,8 - 125,9 W/m² para os locais com superfície gramada e vegetada (florestinha e agrofloresta), respectivamente. A diferença entre a radiação solar em superfície de grama e vegetada variou, em média, entre 111,20 - 658,36 W/m². De forma similar se deu o comportamento dos valores mínimos registrados: em todos os casos, as áreas verdes tiveram menor incidência de radiação solar, conforme visto no gráfico 3.7 da Figura 4.6. As mínimas encontradas na presença de vegetação foram entre 0,0 - 57,4 W/m², enquanto que para a área gramada, esses valores ficaram entre 41,0 - 672,1 W/m². As diferenças, por sua vez, variaram entre 41,0 - 631,15 W/m². Quanto aos valores máximos de radiação, o mesmo comportamento foi observado. Sendo majoritariamente superior na área gramada, os valores variaram entre 200,8 - 893,4 W/m², muito superiores àqueles encontrados nos locais verdes, cuja magnitude oscilou entre 24,6-352,5 W/m². Conforme o esperado, as diferenças encontradas foram também de grande significância, variando entre 176,20 - 770,40 W/m² (gráfico 3.8; Figura 4.6).

Considerando todos os dias de amostragem, a média dos mínimos valores encontrados para a radiação solar foi de 35,5 W/m² para as áreas arborizadas, e 313,5

W/m² na área sem vegetação. As médias dos máximos valores, por sua vez, foram de 181,7 W/m² para as áreas verdes, em contraste com 743,2 W/m² para o local gramado. Em média, para os dias de análise, a radiação solar variou entre 76,8 W/m² e 614,5 W/m² em superfície vegetada e gramada, respectivamente, apresentando uma diferença significativa de 537,7 W/m². Os resultados evidenciam a capacidade de redução da incidência de radiação solar através da presença de árvores no ambiente.

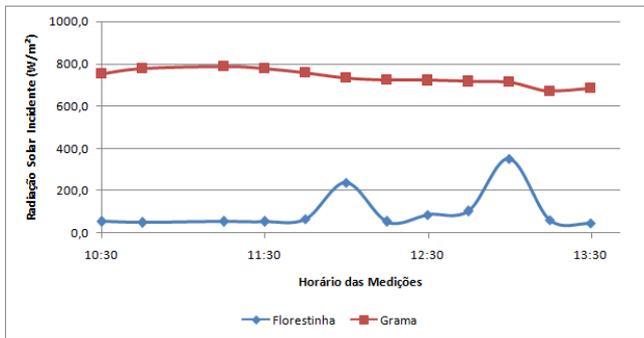
Assim como a temperatura do ar, a radiação solar foi predominantemente superior nas áreas expostas do que naquelas arborizadas, durante todos os períodos de coleta de dados (Figuras 4.5 e 4.6). Na Figura 4.6, observa-se que no dia 1 de setembro, os valores foram, em média, oito vezes superiores do que aqueles encontrados na área verde; no dia 22, a diferença foi de até seis vezes; enquanto que no dia 24 os valores foram cerca de nove vezes mais altos. Nas medições de outubro o contraste também foi significativo: no dia 14 a radiação na área com vegetação foi aproximadamente sete vezes inferior à radiação na grama, e no dia 16 esses valores foram até onze vezes menores. Esse resultado demonstra que a vegetação foi capaz de bloquear até 91% da radiação solar incidente. A razão para tal é, claramente, o efeito de sombreamento provocado pela presença das árvores, reduzindo diretamente a radiação solar incidente.

Em todos os casos da Figura 4.5, observa-se uma variação decrescente da radiação solar para o local sem vegetação, devido à trajetória aparente do Sol, enquanto que para as áreas arborizadas, a curva apresenta-se mais retilínea, seguindo uma trajetória mais constante. Quedas acentuadas observadas para a curva da grama no dia 16 de outubro estão ligadas interrupções temporárias na radiação solar pela presença de nuvens passageiras. No dia 14, por sua vez, percebe-se que esta variação é mais duradoura, representando nebulosidade a partir do período da tarde. Embora quase constante, as curvas referentes às áreas com vegetação apresentaram alguns picos acentuados, principalmente nos dias 1 e 22 de setembro. Dependendo da posição solar, conforme o horário do dia e da densidade de área foliar da planta pode ocorrer penetração da radiação por entre os espaços vazios das folhas no dossel das árvores. O resultado são picos em desconformidade com os demais valores, como foi visto nos gráficos 3.1 e 3.2 da Figura 4.5.

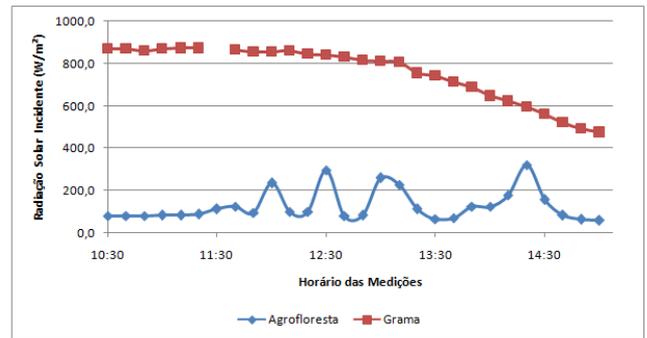
Os resultados ilustram a grande diferença entre os valores encontrados nas áreas com e sem vegetação, reforçando a significativa influência da presença de árvores na atenuação da radiação solar incidente embaixo do seu dossel. A Tabela 4-4 revela ainda que esse benefício foi mais evidente no período do final da manhã e início da tarde, por

volta do meio dia, quando são observadas as diferenças máximas entre as áreas estudadas. Durante a tarde, foram encontradas as menores diferenças, ainda assim bastante significativas. A maior atenuação da radiação, pela manhã, dentro das áreas arborizadas em estudo, deve-se à orientação das mesmas em relação ao nascer e pôr do Sol em combinação com a exposição dos sensores na parte sombreada no período da manhã que foi mantida a mesma na parte da tarde. Esse arranjo, fez com que na parte da tarde os sensores fossem menos sombreados. A exposição dos sensores não foi modificada ao longo do dia, para que o efeito de sombreamento em um mesmo ponto dentro da área vegetada pudesse ser avaliado durante todo o período de amostragem. Tendo em vista que as duas áreas são muito próximas, elas têm a mesma exposição à radiação solar. O que as diferencia, são os arranjos foliares do conjunto arbóreo de cada uma delas.

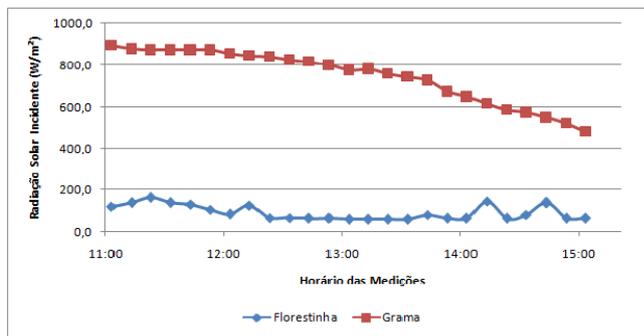
3.1) Dados referentes ao dia 01/09/2015.



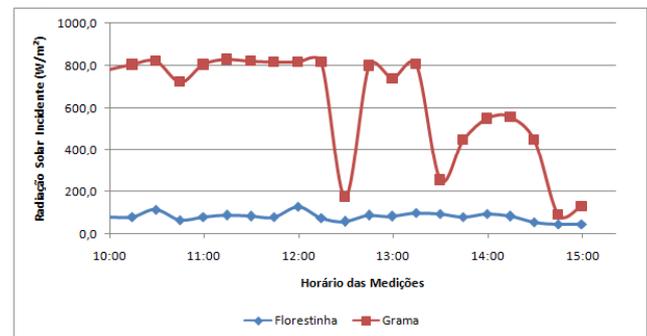
3.2) Dados referentes ao dia 22/09/2015.



3.3) Dados referentes ao dia 24/09/2015.



3.4) Dados referentes ao dia 14/10/2015.



3.5) Dados referentes ao dia 16/10/2015.

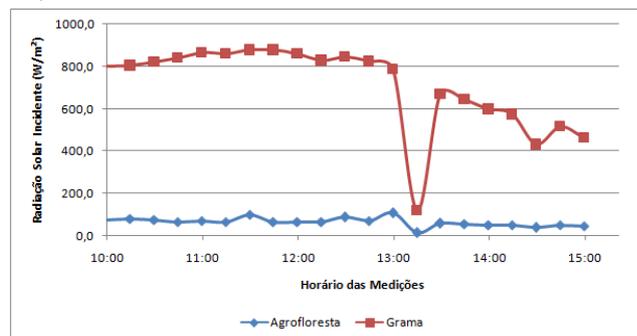
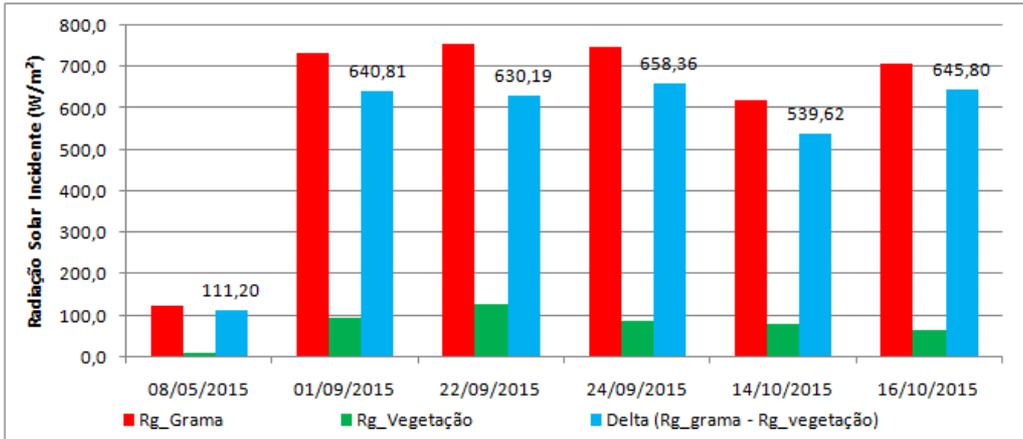
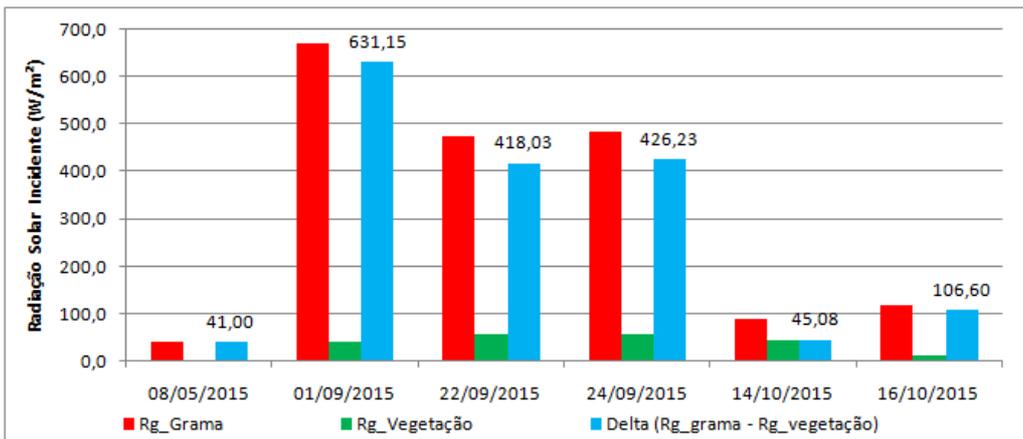


Figura 4.5: Gráficos de radiação solar para cada dia de amostragem.

3.6) Gráfico dos valores médios.



3.7) Gráfico dos valores mínimos.



3.8) Gráfico dos valores máximos.

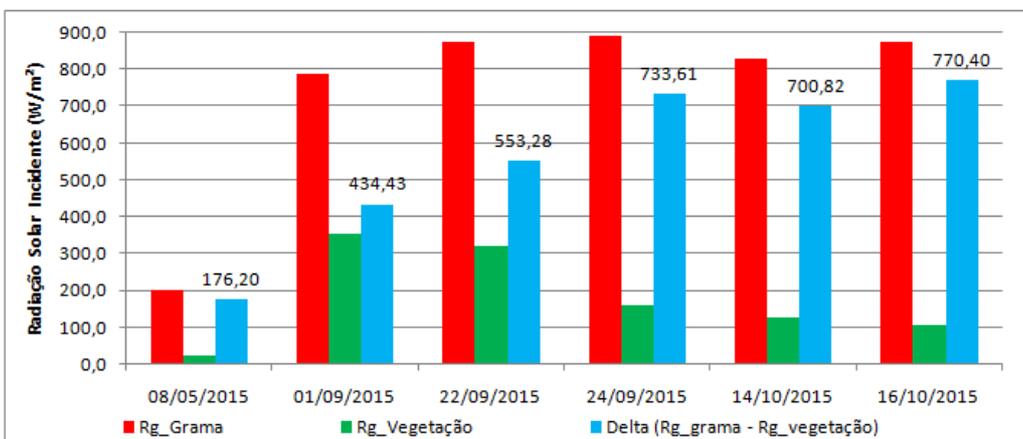


Figura 4.6: Gráficos de valores médios mínimos e máximos de radiação solar para cada dia de amostragem.

Tabela 4-4: Diferenças mínimas e máximas entre a radiação solar ocorrida em superfície grama e vegetada nos dias de amostragem.

Diferença mínima (W/m ²)	Diferença máxima (W/m ²)	Dia
360,7	733,6	01/09/2015
13:00h	11:15h	
274,6	791	22/09/2015
14:20h	10:30h; 10:40h; 11:10h	
413,9	774,6	24/09/2015
14:44h	11:04h; 12:04h; 12:24h	
45,1	741,8	14/10/2015
14:45h	11:15h; 12:15h	
106,6	811,5	16/10/2015
13:15h	11:45h	

4.1.4. Temperatura de superfície

As figuras 4.7 e 4.8 apresentam o comportamento da temperatura de superfície de forma simultânea nas superfícies gramada e vegetada (florestinha e agrofloresta) nos dias do experimento. Nota-se que, diferente dos outros parâmetros, a temperatura de superfície foi medida apenas para três dos seis dias analisados.

Através dos gráficos 4.4, 4.5 e 4.6 da figura 4.8, pode-se notar que a temperatura de superfície foi superior na área gramada para todos os casos analisados. Os valores médios variaram entre 22,4 - 32,0°C e 23,9 - 53,1°C para as áreas vegetada e gramada, respectivamente. As diferenças dessas médias, por sua vez, ficaram entre 1,5 - 21,7°C. No que diz respeito às temperaturas mínimas, os valores registrados para as áreas verdes variaram entre 21,5 - 29,5°C, ao passo que na área gramada, a variação foi de 22,6 - 38,6°C. Nesse caso, as diferenças foram menos acentuadas, variando entre 1,1 - 9,1°C. Com valores mais significativos, as temperaturas máximas apresentaram comportamento semelhante. Enquanto nas áreas arborizadas os valores ficaram entre 23,1 - 39,4°C, no local gramado a temperatura variou entre 25,6 - 62,9°C. Desse modo, foram alcançadas diferenças relevantes, variando entre 2,5 - 27,7°C.

Em média, para os três dias de amostragem, a temperatura de superfície apresentou valores mínimos iguais a 26,1°C e 31,3°C em superfície vegetada e gramada, respectivamente, com uma diferença de 5,2°C. Para a média dos máximos, esses valores foram de 32,6°C e 47,8°C, contrastando em 15,2°C. Em média, a temperatura de superfície variou entre 28,6°C e 41,9°C para as áreas com e sem vegetação, respectivamente, com uma diferença de 13,3°C. Devido ao grande contraste

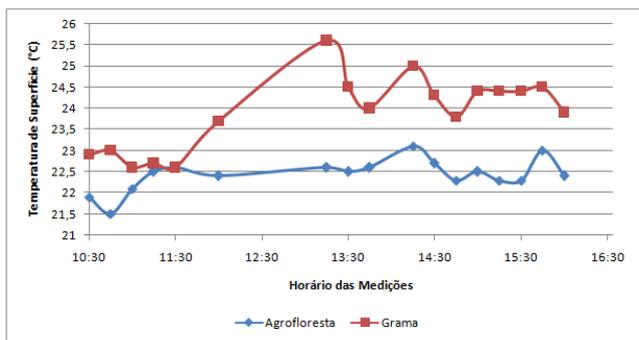
encontrado, fica clara a influência da vegetação na atenuação da temperatura de superfície.

Em todos os casos, a temperatura de superfície foi majoritariamente superior na área exposta em comparação com os locais arborizados. Com exceção do dia 8 de maio, quando as diferenças médias foram de apenas $1,5^{\circ}\text{C}$ - devido à condição chuvosa - os outros dois dias apresentaram valores muito superiores (gráficos 4.4, 4.5 e 4.6 da Figura 4.8).

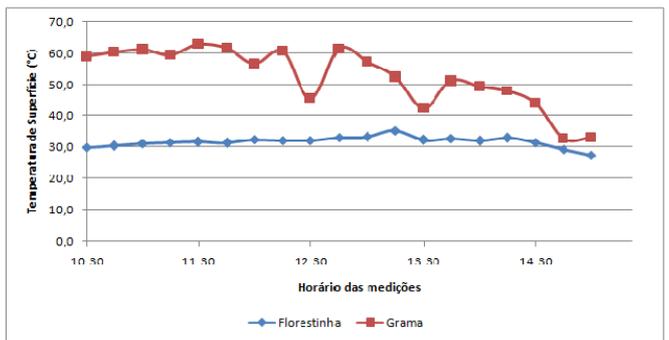
No dia 14 de outubro o contraste médio entre a área gramada e vegetada foi de, em média, $21,7^{\circ}\text{C}$ (gráfico 4.5 da Figura 4.8), atingindo um pico de $31,3^{\circ}\text{C}$ às 11:30h, e um mínimo de $3,4^{\circ}\text{C}$ às 14:45h (gráfico 4.2 da Figura 4.7; Tabela 4-5). Comparando-se os gráficos 3.4 e 4.2 das Figuras 4.5 e 4.7, respectivamente, vê-se uma correspondência nas curvas referentes à área de grama exposta. Nos mesmos períodos de queda de radiação, observa-se queda na temperatura de superfície, reforçando a correlação entre os parâmetros. Do mesmo modo, relação semelhante é obtida para a curva da área arborizada em ambos os gráficos. É interessante também destacar que, enquanto a curva para a área gramada apresenta-se com irregularidades, a curva do local arborizado forma um padrão com certa constância, variando em uma faixa estreita de valores.

O dia 16 de outubro também apresentou uma relevante diferença média de $16,8^{\circ}\text{C}$ na temperatura de superfície (gráfico 4.4 da Figura 4.8), com um mínimo de $7,2^{\circ}\text{C}$ registrado às 13:00h e um máximo de $25,3^{\circ}\text{C}$ às 11:00h (gráfico 4.3 da Figura 4.7; Tabela 4-5). De forma similar, os valores encontrados nesse dia também indicaram forte correlação com a radiação solar. Em ambos os gráficos os picos e quedas das curvas foram correspondentes. Desse modo, assim como os picos de mínima e máxima da radiação solar ocorreram à tarde e durante a manhã, respectivamente, o mesmo foi observado para a temperatura de superfície. Essa relação evidencia a importância dos efeitos do sombreamento proporcionado pela presença das árvores em ambientes urbanos.

4.1) Dados referentes ao dia 08/05/2015.



4.2) Dados referentes ao dia 14/10/2015.



4.3) Dados referentes ao dia 16/10/2015.

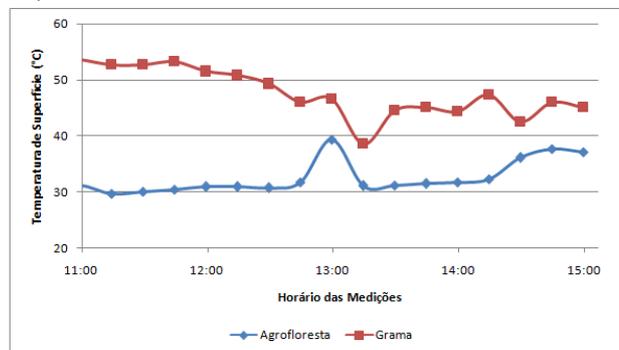
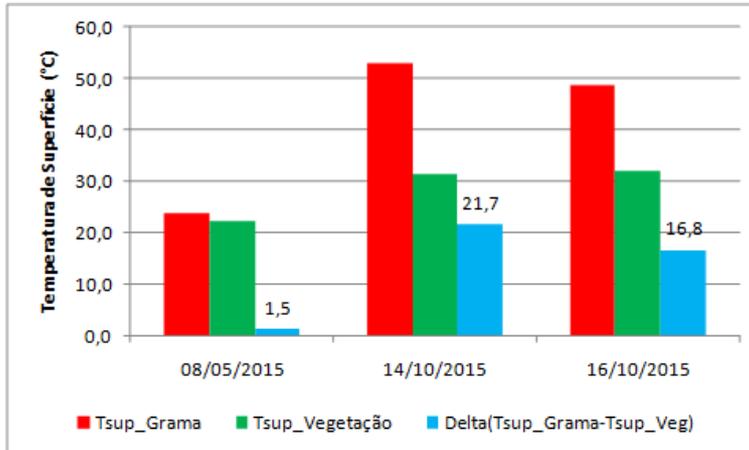
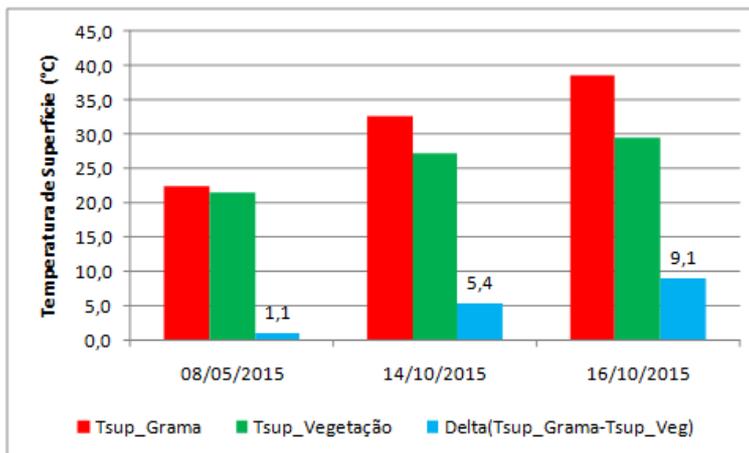


Figura 4.7: Gráficos de temperatura de superfície para cada dia de amostragem.

4.4) Gráfico dos valores médios.



4.5) Gráfico dos valores mínimos.



4.6) Gráfico dos valores máximos.

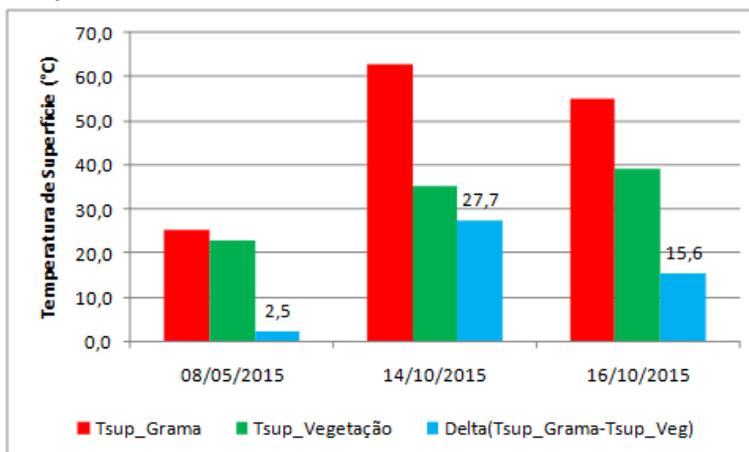


Figura 4.8: Gráficos de valores médios mínimos e máximos de temperatura da superfície para cada dia de amostragem.

Tabela 4-5: Diferenças mínimas e máximas entre a temperatura da superfície ocorrida em superfície grama e vegetada nos dias de amostragem.

Diferença mínima (°C)	Diferença máxima (°C)	Dia
0	2,1	08/05/2015
11:30h	15:15h; 15:30h	
3,4	31,3	14/10/2015
14:45h	11:30h	
7,2	25,3	16/10/2015
13:00h	10:15h	

4.2. Resultados da avaliação da percepção térmica

Utilizando os dados coletados em campo, foi feito um estudo acerca da sensação térmica de um indivíduo diante das condições meteorológicas analisadas. Através da revisão da literatura especializada feita no capítulo 2, escolheu-se o índice mais adequado diante das informações disponíveis. Foi utilizado o índice de calor, resultado de uma análise de múltipla regressão dos dados de STEADMAN (1979). Ao considerar a influência da radiação solar, o resultado do índice deve ser acrescido em 15°F (cerca de 8,3°C). O estudo contemplou ambos os casos: o primeiro, sem considerar radiação; e o segundo, considerando a radiação apenas na área gramada, uma vez que a área vegetada apresentou valores muito baixos de radiação.

A apresentação dos resultados considera uma coloração diferenciada para cada nível de alerta, conforme o valor encontrado através da aplicação da metodologia utilizada.

O índice foi aplicado para todos os dias e horários das medições feitas, e os resultados estão apresentados nas Tabelas 4-6 e 4-8. Observa-se, através dos resultados obtidos, um contraste evidente na grande maioria dos dias estudados. Com exceção do dia 8 de maio e 14 de outubro - quando os resultados foram muito semelhantes em ambas localidades - todos os demais dias apresentaram riscos de alerta mais elevados para as áreas sem vegetação.

No dia 1 de setembro, entre 12:30h e 13:30h, a área com vegetação apresentou níveis de cautela extrema. Esse mesmo risco, no entanto, permaneceu por um período 3 vezes maior na área de grama, sendo observado das 10:30h da manhã até 13:30h da tarde. Em ambos os casos, esse alerta ocorreu nos períodos de maiores temperaturas do ar e menor umidade relativa.

De forma semelhante, no dia 22 de setembro, enquanto o alerta de cautela extrema ocorreu apenas entre 12:30h e 13:00h para a área arborizada, o mesmo risco apresentou-se das 11:10h às 15:00h no local de grama exposta, totalizando 3 horas e 50 minutos, em contraste com apenas 30 minutos no primeiro caso. Novamente, o alerta prevaleceu nos horários onde foram registradas as maiores temperaturas do ar e menores valores de umidade relativa.

Esse contraste foi ainda mais evidente no dia 24 de setembro. Durante todo o período de medição a área arborizada mostrou risco de cautela extrema, enquanto a área sem vegetação apresentou, por sua vez, o alerta de perigo. Visto isso, fica evidente a influência da presença da vegetação na melhoria do conforto térmico humano em ambientes externos.

O dia 16 de outubro também evidencia o desconforto no local sem vegetação. Durante praticamente toda manhã e tarde, prevaleceu o alerta de perigo. Por outro lado, na área arborizada, esse risco só foi observado durante 45 minutos pela manhã e em um horário à tarde que, por sua vez, registrou a temperatura do ar máxima nesse dia.

A porcentagem referente a cada nível de alerta para as áreas com e sem vegetação pode ser visto na Tabela 4-7. Nessa tabela observa-se que, enquanto a área gramada permanece em estado de cautela extrema ou perigo em 81,7% do período de amostragem, a área vegetada permanece 57,2%, ou seja, 24,5% a menos. Vale ressaltar, que a área vegetada permanece em estado de perigo durante apenas 4% do período de amostragem, enquanto a gramada fica em 35,7% do dito período. Por sua vez, o período de tempo em estado de cautela extrema é praticamente o mesmo para as duas áreas, em torno de 50%.

Embora a área com vegetação apresente quase seis vezes mais períodos de cautela, e quase a mesma proporção de cautela extrema que o local sem vegetação, a grande diferença está nos momentos de perigo, que constituem riscos mais graves. Nesse caso, como pode-se ver, as áreas expostas permitem níveis de perigo quase nove vezes maiores do que locais arborizados. Isso se dá pelas temperaturas do ar e de superfície mais elevadas nessas áreas, aliado à exposição direta da radiação solar, fazendo com que haja um super aquecimento do corpo humano em condições de dias muito quentes. Desse modo, como mostra a Tabela 4-6, os dias 24 de setembro e 16 de outubro apresentaram grandes riscos para a saúde da população, por serem dias muito quentes. No entanto, o alerta foi inferior para as áreas cobertas por vegetação. Esse efeito foi resultado do benefício de sombreamento proporcionado pelo dossel das

árvores, reduzindo a radiação solar incidente tanto de forma direta no indivíduo, como também nos materiais urbanos de entorno, atenuando sua temperatura de superfície e, por conseguinte, a emissão de calor dos mesmos.

Tabela 4-6: Resultados para o Índice de Calor sem considerar a influência da radiação solar.

08/05/2015			01/09/2015			22/09/2015		
HORA	IC_Agrofloresta (°C)	IC_grama (°C)	HORA	IC_florestinha (°C)	IC_grama (°C)	HORA	IC Agrofloresta (°C)	IC Grama (°C)
10:30	22,1	20,6	10:00	30,1	30,9	10:30	30,1	31,2
10:45	21,0	20,3	10:15	30,5	31,9	10:40	29,6	31,4
11:00	21,2	20,3	10:30	30,6	32,2	10:50	29,7	31,9
11:15	21,4	20,1	10:45	30,7	32,6	11:00	30,0	31,8
11:30	20,2	20,3	11:15	31,6	34,1	11:10	30,5	32,6
12:00	20,0	20,4	11:30	32,0	34,9	11:20	30,8	34,0
13:15	22,1	23,7	11:45	32,8	35,2	11:30	31,0	34,3
13:30	22,2	23,0	12:00	31,7	37,6	11:40	31,2	34,6
13:45	22,1	22,6	12:15	31,7	35,2	11:50	31,6	34,3
14:15	21,5	22,5	12:30	32,0	35,3	12:00	31,9	35,1
14:30	22,2	22,8	12:45	32,7	34,5	12:10	31,7	34,9
14:45	22,2	22,9	13:00	33,1	35,2	12:20	31,7	35,7
15:00	22,4	22,8	13:15	33,4	36,6	12:30	32,3	35,3
15:15	22,1	22,6	13:30	33,7	36,8	12:40	32,1	36,5
15:30	22,1	22,8	-	-	-	12:50	32,1	36,3
15:45	22,1	22,8	-	-	-	13:00	32,2	36,2
16:00	22,2	22,6	-	-	-	13:10	31,4	35,8
-	-	-	-	-	-	13:20	31,4	35,6
-	-	-	-	-	-	13:30	31,6	35,2
-	-	-	-	-	-	13:40	31,1	35,4
-	-	-	-	-	-	13:50	31,2	36,3
-	-	-	-	-	-	14:00	30,8	35,7
-	-	-	-	-	-	14:10	30,8	35,3
-	-	-	-	-	-	14:20	30,5	35,7
-	-	-	-	-	-	14:30	30,2	35,9
-	-	-	-	-	-	14:40	30,2	35,0
-	-	-	-	-	-	14:50	30,3	34,4
-	-	-	-	-	-	15:00	30,3	35,1

24/09/2015			14/10/2015			16/10/2015		
HORA	IC Florestinha (°C)	IC Grama (°C)	HORA	IC Florestinha (°C)	IC Grama (°C)	HORA	IC Agrofloresta (°C)	IC Grama (°C)
11:04	38,7	43,4	10:00	33,0	35,6	10:00	38,8	43,7
11:14	37,9	43,3	10:15	33,2	35,6	10:15	39,8	45,4
11:24	37,8	42,9	10:30	33,1	36,8	10:30	40,3	47,0
11:34	37,9	42,7	10:45	33,7	37,4	10:45	41,1	46,4
11:44	37,5	42,0	11:00	34,3	38,1	11:00	41,3	48,2
11:54	37,5	42,1	11:15	34,4	37,7	11:15	41,1	47,2
12:04	36,6	42,9	11:30	34,5	38,0	11:30	40,9	47,4
12:14	36,5	42,6	11:45	34,7	38,3	11:45	41,1	47,7
12:24	37,4	43,9	12:00	34,7	39,8	12:00	40,9	46,9
12:34	37,6	43,7	12:15	35,2	40,0	12:15	40,3	48,8
12:44	37,9	45,0	12:30	35,2	39,2	12:30	39,8	49,4
12:54	37,4	44,0	12:45	35,0	39,8	12:45	40,5	48,2
13:04	37,5	44,4	13:00	36,0	38,7	13:00	40,9	49,7
13:14	37,3	44,4	13:15	35,4	38,3	13:15	40,5	48,0
13:24	37,3	43,2	13:30	34,4	35,9	13:30	39,5	45,9
13:34	36,7	43,2	13:45	33,7	35,8	13:45	40,3	47,5
13:44	36,9	43,9	14:00	32,4	34,9	14:00	40,8	47,6
13:54	37,2	45,2	14:15	31,4	34,5	14:15	43,8	43,7
14:04	37,2	45,4	14:30	30,8	33,1	14:30	39,0	43,1
14:14	37,6	45,6	14:45	30,3	31,2	14:45	39,5	42,9
14:24	37,5	45,8	15:00	29,2	30,4	15:00	40,1	40,8
14:34	37,6	45,1	-	-	-	-	-	-
14:44	37,6	44,8	-	-	-	-	-	-
14:54	37,8	45,1	-	-	-	-	-	-
15:04	37,9	45,3	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 4-7: Nível de alerta em porcentagem do total de horas de amostragem.

Com vegetação	Nível de alerta	Sem vegetação
13,50%	Não há alerta	13,50%
29,40%	Cautela	4,80%
53,20%	Cautela Extrema	46,00%
4,00%	Perigo	35,70%

Considerando-se o efeito da radiação, foi feita a adição de 15°F (cerca de 8,3°C) em cada valor para o índice de calor obtido anteriormente. Essa adição foi feita somente na área gramada, tendo em vista que na área arborizada os níveis de radiação solar foram muito atenuados pelo sombreamento. Dessa forma, não é razoável adicionar o mesmo valor de 15°F para contabilizar o efeito da radiação nessas situações distintas.

A porcentagem referente a cada nível de alerta para as áreas com e sem vegetação pode ser visto na Tabela 4-9.

Comparando os dois casos estudados, vê-se que a radiação influencia bastante na sensação térmica em ambientes externos. Considerando-se o efeito da mesma, pôde-se observar um aumento significativo no alerta de perigo para todos os pontos de coleta de dados. Na área sem vegetação a porcentagem referente a esse risco passou de 35,7% para 65,1%. A radiação também colaborou para o surgimento do risco de perigo extremo no local sem cobertura vegetal, representando 12,7% dos valores encontrados para essa área. No total, o alerta de perigo geral nessa área foi de 77,8%.

Tabela 4-8: Resultados para o Índice de Calor considerando a influência da radiação solar.

08/05/2015			01/09/2015			22/09/2015		
HORA	IC Agrofloresta (°C)	IC grama (°C)	HORA	IC florestinha (°C)	IC grama (°C)	HORA	IC Agrofloresta (°C)	IC Grama (°C)
10:30	22,1	28,9	10:00	30,1	39,2	10:30	30,1	39,5
10:45	21,0	28,6	10:15	30,5	40,2	10:40	29,6	39,7
11:00	21,2	28,6	10:30	30,6	40,5	10:50	29,7	40,2
11:15	21,4	28,4	10:45	30,7	40,9	11:00	30,0	40,1
11:30	20,2	28,6	11:15	31,6	42,4	11:10	30,5	40,9
12:00	20,0	28,7	11:30	32,0	43,2	11:20	30,8	42,3
13:15	22,1	32,0	11:45	32,8	43,5	11:30	31,0	42,6
13:30	22,2	31,3	12:00	31,7	45,9	11:40	31,2	42,9
13:45	22,1	30,9	12:15	31,7	43,5	11:50	31,6	42,6
14:15	21,5	30,8	12:30	32,0	43,6	12:00	31,9	43,4
14:30	22,2	31,1	12:45	32,7	42,8	12:10	31,7	43,2
14:45	22,2	31,2	13:00	33,1	43,5	12:20	31,7	44,0
15:00	22,4	31,1	13:15	33,4	44,9	12:30	32,3	43,6
15:15	22,1	30,9	13:30	33,7	45,1	12:40	32,1	44,8
15:30	22,1	31,1	-	-	-	12:50	32,1	44,6
15:45	22,1	31,1	-	-	-	13:00	32,2	44,5
16:00	22,2	30,9	-	-	-	13:10	31,4	44,1
-	-	-	-	-	-	13:20	31,4	43,9
-	-	-	-	-	-	13:30	31,6	43,5
-	-	-	-	-	-	13:40	31,1	43,7
-	-	-	-	-	-	13:50	31,2	44,6
-	-	-	-	-	-	14:00	30,8	44,0
-	-	-	-	-	-	14:10	30,8	43,6
-	-	-	-	-	-	14:20	30,5	44,0
-	-	-	-	-	-	14:30	30,2	44,2
-	-	-	-	-	-	14:40	30,2	43,3
-	-	-	-	-	-	14:50	30,3	42,7
-	-	-	-	-	-	15:00	30,3	43,4

24/09/2015			14/10/2015			16/10/2015		
HORA	IC Florestinha (°C)	IC Grama (°C)	HORA	IC Florestinha (°C)	IC Grama (°C)	HORA	IC Agrofloresta (°C)	IC Grama (°C)
11:04	38,7	51,7	10:00	33,0	43,9	10:00	38,8	52,0
11:14	37,9	51,6	10:15	33,2	43,9	10:15	39,8	53,7
11:24	37,8	51,2	10:30	33,1	45,1	10:30	40,3	55,3
11:34	37,9	51,0	10:45	33,7	45,7	10:45	41,1	54,7
11:44	37,5	50,3	11:00	34,3	46,4	11:00	41,3	56,5
11:54	37,5	50,4	11:15	34,4	46,0	11:15	41,1	55,5
12:04	36,6	51,2	11:30	34,5	46,3	11:30	40,9	55,7
12:14	36,5	50,9	11:45	34,7	46,6	11:45	41,1	56,0
12:24	37,4	52,2	12:00	34,7	48,1	12:00	40,9	55,2
12:34	37,6	52,0	12:15	35,2	48,3	12:15	40,3	57,1
12:44	37,9	53,3	12:30	35,2	47,5	12:30	39,8	57,7
12:54	37,4	52,3	12:45	35,0	48,1	12:45	40,5	56,5
13:04	37,5	52,7	13:00	36,0	47,0	13:00	40,9	58,0
13:14	37,3	52,7	13:15	35,4	46,6	13:15	40,5	56,3
13:24	37,3	51,5	13:30	34,4	44,2	13:30	39,5	54,2
13:34	36,7	51,5	13:45	33,7	44,1	13:45	40,3	55,8
13:44	36,9	52,2	14:00	32,4	43,2	14:00	40,8	55,9
13:54	37,2	53,5	14:15	31,4	42,8	14:15	43,8	52,0
14:04	37,2	53,7	14:30	30,8	41,4	14:30	39,0	51,4
14:14	37,6	53,9	14:45	30,3	39,5	14:45	39,5	51,2
14:24	37,5	54,1	15:00	29,2	38,7	15:00	40,1	49,1
14:34	37,6	53,4	-	-	-	-	-	-
14:44	37,6	53,1	-	-	-	-	-	-
14:54	37,8	53,4	-	-	-	-	-	-
15:04	37,9	53,6	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 4-9: Nível de alerta em porcentagem do total de horas de amostragem.

Com vegetação	Nível de alerta	Sem vegetação
13,50%	Não há alerta	0,00%
29,40%	Cautela	13,50%
53,20%	Cautela Extrema	8,70%
4,00%	Perigo	65,10%
0,00%	Perigo Extremo	12,70%

4.3. Resultados da avaliação por sensoriamento remoto

Como uma etapa complementar na avaliação da influência da vegetação no microclima urbano, foi feita uma comparação entre dois mapas gerados através de técnicas de sensoriamento remoto, conforme descrito no capítulo 3 (Materiais e Métodos).

O primeiro mapa, obtido através de imagens do satélite Rapideye, consiste em uma representação gráfica dos diferentes usos do solo na Cidade Universitária. O segundo, feito através de imagens do satélite LANDSAT 8, apresenta as temperaturas de superfície ao longo da área estudada (Figura 4.9). A Figura 4.10 apresenta os resultados encontrados.



Figura 4.9: Área de estudo referenciada.

Antes de iniciarmos a análise, é importante relembrar que as temperaturas indicadas correspondem às temperaturas de brilho no topo da atmosfera e, por isso são menores do que as reais temperaturas de superfície. Isso ocorre pois não foi feito o processo de correção atmosférica, uma vez que o propósito dessa etapa seria determinar as diferenças entre as áreas, o que ocorre de forma praticamente similar com ou sem a realização desse processo.

Observando a Figura 4.10, podemos perceber nitidamente menores temperaturas de superfície nas áreas vegetadas, e maiores para as áreas ditas urbanas, de solo exposto ou em locais com pastagem não verde (vegetação seca/queimada). A menor temperatura registrada foi de 13,1°C, justamente na área verde de maior extensão dentro da Cidade Universitária. A maior, por sua vez, de 20,1°C, encontrada em um dos dois segmentos urbanos mais concentrados da região de estudo.

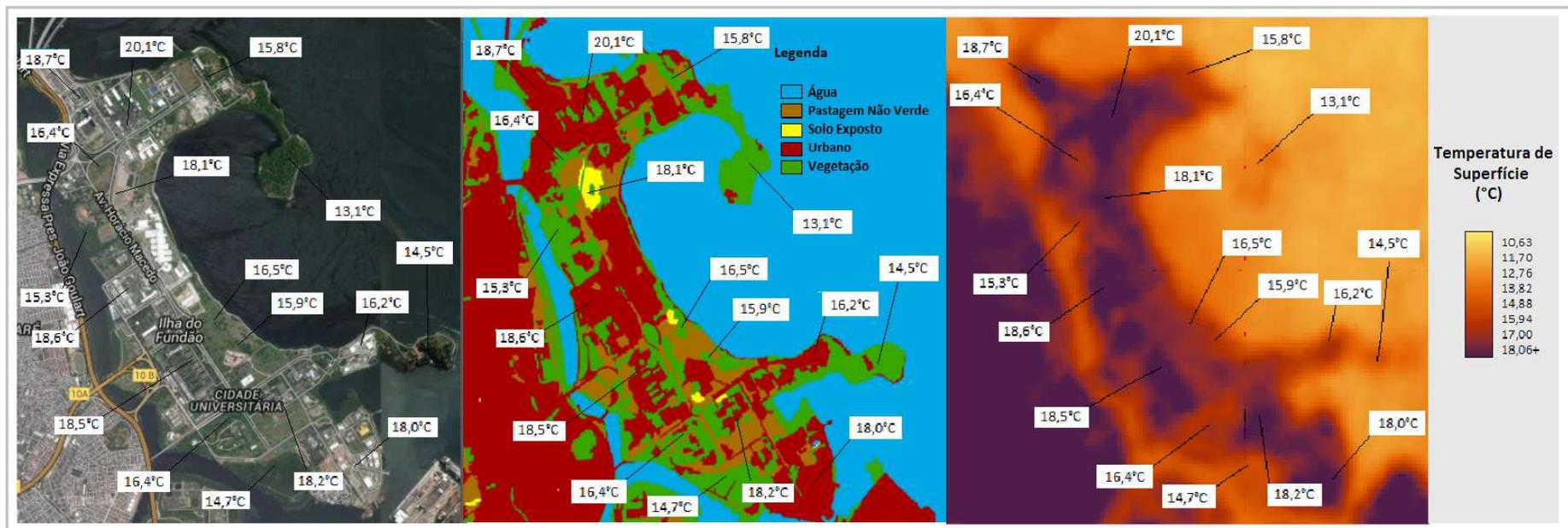


Figura 4.10: Resultados obtidos através das técnicas de sensoriamento remoto. Da esquerda para a direita: imagem de satélite da área da Ilha do Fundão; mapa do uso do solo da área de estudo (imagem do dia 27/01/2015); e mapa termal da área de estudo (imagem do dia 28/11/2015).

A Tabela 4-10 apresenta as temperaturas encontradas, relacionando-as com o tipo de superfície em que foram registradas. As áreas sem vegetação compreendem as áreas urbanas, de solo exposto e de pastagem não verde (vegetação seca/queimada).

Podemos observar que os maiores valores registrados foram, sem dúvida, nas áreas sem vegetação, que obteve uma média de 18,3°C. A máxima nesses espaços foi de 20,1°C e a mínima de 16,4°C. Os locais vegetados, por sua vez, constaram temperaturas mais amenas, com uma média de 15,3°C. Nesse caso, a máxima foi de 16,5°C, e a mínima de 13,1°C. A diferença das temperaturas máximas foi, portanto, de 3,6°C, enquanto a das mínimas foi de 3,3°C. O contraste entre as temperaturas médias foi de 3,0°C. No entanto, se compararmos o valor máximo encontrado nos locais sem vegetação, e mínimo encontrado nas áreas verdes, temos um contraste ainda mais relevante, de até 7°C. Essas diferenças estão ilustradas na Figura 4.11.

Tabela 4-10: Temperatura de superfície nas áreas com e sem vegetação obtidas através do mapeamento térmico.

Temperatura de Superfície (°C)		
	Áreas sem vegetação	Áreas com vegetação
	20,1	16,5
	18,7	16,4
	18,6	15,9
	18,5	15,8
	18,2	15,3
	18,1	14,7
	18	14,5
	16,4	13,1
Média	18,3	15,3

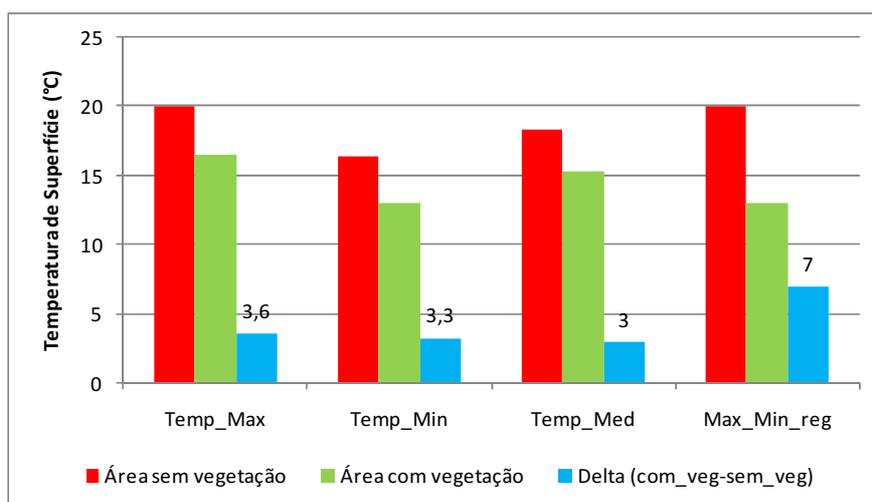


Figura 4.11: Gráfico dos valores máximo, mínimo e médio registrados nas áreas com e sem vegetação registrados através do mapeamento termal.

5. Conclusão e Recomendações

O presente trabalho teve como objetivo a investigação da presença da vegetação na atenuação dos parâmetros microclimáticos urbanos responsáveis pelos efeitos das ilhas de calor. Para tal, foram utilizados diferentes abordagens, de modo a obter resultados mais abrangentes e consistentes, dentro dos limites possíveis à realização da pesquisa.

A primeira abordagem foi feita através de medições diretas em campo, por meio da coleta de dados referentes à temperatura do ar, umidade relativa, radiação e temperatura de superfície. Os resultados apresentaram um efeito bastante positivo da vegetação na atenuação desses parâmetros. A temperatura do ar mostrou-se inferior nas áreas vegetadas, na média, em todos os dias analisados, alcançando uma diferença média de até 2,7°C. Dos resultados obtidos, em três dos seis dias estudados, a temperatura do ar registrada na área sem cobertura vegetal foi superior durante todo o período de coleta de dados. Para esses casos, a diferença encontrada foi, na média, de 2,7°C, 1,6°C e 2,7°C para os dias 1, 22 e 24 de setembro, respectivamente. Nos demais dias, embora tenha havido uma alternância de valores superiores de temperatura do ar entre a superfície vegetada e a de grama, em média, a presença da vegetação arbórea amenizou a temperatura do ar. No dia 08/05, a partir das 13:15h, a temperatura do ar registrada na grama foi superior, em média, em 0,4°C à temperatura na área da agrofloresta. Nos dias 14 e 16 de outubro, essa oscilação ocorreu no período da tarde. No dia 14, até as 13:30h, a temperatura do ar se manteve, em média, 1,1°C superior na área sem vegetação. No dia 16, até as 14:00h, essa diferença foi de 2,3°C. Dentre os resultados obtidos, o mais significativo foi a redução de até 4,9°C na temperatura do ar às 12:00h de um dia quente e ensolarado, dentro da área verde, ocorrido no dia 01/09. Além disso, foi possível observar também que as áreas verdes apresentaram menor amplitude térmica (em 5 dos 6 dias estudados), atingindo valores quase 4 vezes inferiores.

O efeito do sombreamento foi bastante evidente através dos dados obtidos para a radiação solar. Sendo majoritariamente superior nas áreas não arborizadas, os valores da radiação foram de seis a até onze vezes maiores do que aqueles registrados nas áreas verdes, o que significa que a vegetação foi capaz de bloquear até 91% da radiação solar incidente. Em média, para os dias de análise, a radiação solar variou entre 76,8 W/m² e

614,5 W/m² em superfície vegetada e gramada, respectivamente, apresentando uma diferença significativa de 537,7 W/m². Os resultados evidenciam a capacidade de redução da incidência de radiação solar através da presença de árvores no ambiente.

Isso influencia diretamente na temperatura de superfície que, por sua vez, também apresentou resultados muito interessantes. Em todos os casos, a temperatura de superfície foi superior na área exposta em comparação com os locais arborizados. Com exceção ao dia 8 de maio, cuja diferença média foi de apenas 1,5°C, os demais dias apresentaram valores bastante significativos. Com uma diferença média de até 21,7°C, o dia 14 de outubro apresentou o contraste mais relevante: 31,3°C a mais medidos no local sem vegetação. No dia 16, essa diferença média foi de 16,8°C, atingindo um pico de 25,3°C. Lembrando que, quanto maior a temperatura de superfície, maior a emissão de calor da mesma, contribuindo para um aumento no desconforto térmico local. Dessa forma, os resultados sugerem uma relevante contribuição da vegetação na atenuação do desconforto térmico local, por meio da redução da temperatura de superfície.

A umidade, por sua vez, foi o único parâmetro que não apresentou um comportamento muito definido. Os valores encontrados para a umidade foram superiores na área vegetada durante todo o período de coleta apenas no dia 1 de setembro, apresentando uma diferença média de 7,2%. No dia 8 de maio, a umidade também foi superior na área arborizada durante quase todo o período estudado, com uma diferença média de aproximadamente 3% para esse período. Nos demais dias, os valores registrados na área gramada foram superiores àqueles encontrados nos locais arborizados, durante todo o período de coleta de dados, exceto no dia 24 de setembro em que a umidade do ar foi superior na área vegetada até às 12:00h.

Através da equação do índice de calor aplicada, foi possível reforçar os resultados obtidos anteriormente. Foram feitas duas análises: a primeira desprezando-se o efeito da radiação solar; e a segunda, considerando a influência da radiação na área exposta. Em praticamente todos os dias estudados, a área sem vegetação apresentou não somente riscos de alerta mais elevados, como também por períodos mais prolongados, em comparação aos locais arborizados. Desprezando-se o efeito da radiação solar, foi possível observar que enquanto a área gramada permanece em estado de cautela extrema ou perigo em 81,7% do período de amostragem, a área vegetada permanece 57,2%, o que corresponde a 24,5% a menos de tempo sob riscos mais graves à saúde. Dentro desse cenário, a porcentagem correspondente ao alerta de perigo para as áreas verdes foi de cerca de 4%, ao passo que na área exposta, esse risco se manteve durante

35,7% do tempo. Considerando o efeito da radiação, o resultado foi ainda mais significativo. Na área gramada a porcentagem referente ao alerta de perigo passou de 35,7% para 65,1%. Além disso, a radiação também colaborou para o surgimento do risco de perigo extremo no local sem cobertura vegetal, representando 12,7% dos valores encontrados para essa área. No total, o alerta de perigo geral nessa área foi de 77,8%, em contraste com apenas 4% encontrados nas áreas verdes. Isso sugere o efeito positivo da vegetação na melhoria do conforto térmico em ambientes urbanos.

Por fim, a comparação dos mapas termal e de uso do solo obtidos através de imagens de satélite, evidenciou a correlação espacial da distribuição das temperaturas de superfície com as características do solo. Áreas urbanas e sem vegetação apresentaram uma média de 18,3°C, enquanto que nos locais vegetados, essa média foi de 15,3°. Além da diferença média de 3,0°C, foi observada uma diferença máxima de até 7,0°C a mais nos espaços urbanos, contemplando uma possível relação entre o efeito das ilhas de calor e a ausência da vegetação na composição urbana.

A conclusão que se pode chegar é que, de fato, ocorre uma influência da vegetação nos parâmetros microclimáticos, sobretudo ao que diz respeito às temperaturas do ar e de superfície. No entanto, embora os resultados do estudo tenham sido bastante significativos, é importante ressaltar que se trata de um assunto de grande complexidade. Uma possível recomendação é a extensão do período de análise, de preferência incluindo diferentes estações do ano. Desse modo, é possível obter uma base de dados mais sólida, tanto em termos quantitativos como qualitativos. Com dados mais numerosos e abrangendo diferentes condições climáticas referentes a cada estação do ano, é possível determinar com mais consistência a influência da vegetação no microclima urbano. Além disso, seria interessante incluir variáveis que não foram incorporadas na pesquisa, como por exemplo, a velocidade do vento. Embora os parâmetros mais importantes no que diz respeito à condição microclimática tenham sido abordados, a inclusão de outras variáveis físicas pode auxiliar a interpretação mais acurada do efeito das áreas verdes na percepção térmica de um indivíduo em ambientes abertos. Os resultados obtidos com o presente trabalho poderão, portanto, servir como base para estudos futuros, de modo a auxiliar a compreensão do tema, através dos dados encontrados na análise.

Adicionalmente, esses resultados podem ser utilizados como base para possíveis incorporações de áreas verdes nos espaços não construídos dentro da Ilha do Fundão. Com a implantação de instituições conveniadas e órgãos federais e, mais recentemente,

a inauguração do BRT, a Cidade Universitária apresenta atualmente um contingente expressivo de pessoas circulando diariamente pelo local. A necessidade de soluções que possam vir a melhorar o conforto e mobilidade dessa população se torna cada vez mais presente. Nesse contexto, a vegetação urbana seria uma forma de promover uma melhoria no conforto e bem-estar das pessoas que estudam e trabalham na região. Além disso, visto que os locais arborizados apresentaram menor amplitude térmica, a implantação de áreas verdes contribuiria também para uma maior resiliência local diante da ocorrência de ondas de calor. Desse modo, o presente trabalho pode auxiliar na tomada de decisão através dos resultados encontrados, além do planejamento e disposição dessa vegetação, otimizando seus benefícios climáticos com o espaço disponível para sua implantação.

6. Referências Bibliográficas

AKBARI, H., DAVIS, S., DORSANO, S., et al (eds), 1992, *Cooling Our Communities. A Guidebook On Tree Planting And Light-Colored Surfacing*. In: Lawrence Berkeley Laboratory Report, LBL-31587, United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D. C.

AKBARI, H., 2002, "Shade Trees Reduce Building Energy Use and CO2 Emissions from Power Plants", **Environmental Studies**, v. 116, pp. 119-126. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/psw/programs/uesd/uep/products/12/psw_cufr703_Akbari_Reduce_Energy_Use.pdf> Acesso em: 12 set. 2015, 15:35.

AKBARI, H., POMERANTZ, M., TAHA, H., 2001, "Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas", **Solar Energy**, v. 70, n. 3, pp. 295-310.

ALI, M., 2009, "The Effect of Green Spaces on Urban Climate and Pollution", **Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 6, n. 1, pp. 35-40.

ALI, M., 2013, "The Contribution of Urban Green Spaces in the Regulation of the Microclimate and the Improvement of the Air Quality in Cities", **Asian Journal of Current Engineering and Maths**, v. 2, n. 3, pp. 190-195.

ALUCCI, M. P., MONTEIRO, L. M., 2004, "Climate and Thermal Stress in Outdoor Spaces". *The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, 19 - 22, Eindhoven, The Netherlands, 19 - 22 September.

ASSIS, E. S., 2005, "A Abordagem do Clima Urbano e Aplicações no Planejamento da Cidade: Reflexões sobre uma Trajetória". *Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído*, 92-101, Maceió, Alagoas, Brasil, 5-7 Outubro. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0225/Assis_2005_reflexoes_trajetoria.pdf> Acesso em: 07 fev. 2016, 00:30.

BARBOSA, R. V. R., 2005, *Áreas Verdes e Qualidade Térmica em Ambientes Urbanos: Estudos em Microclimas de Maceió (AL)*. Tese de M.Sc., Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

BARBOSA, R. V. R., VECCHIA, F. A. S., 2009, "Estudos de Ilha de Calor Urbana por meio de Imagens do Landsat 7 ETM+: Estudo de Caso em São Carlos (SP)", **Revista Minerva**, v.6, n.3,

pp.273-278. Disponível em: <[http://www.fipai.org.br/Minerva%2006\(03\)%2007.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2006(03)%2007.pdf)> Acesso em: 25 jan. 2016, 22:30.

BENEDICT, M. A., McMAHON, E. T., 2002, "Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century". *Sprawl Watch Clearing House*, Washington. D. C., USA, May. Disponível em: <<http://www.sprawlwatch.org/greeninfrastructure.pdf>> Acesso em 20 out.2015, 16:30h.

BŁAŻEJCZYK, K., 2006b, *MENEX_2005 - the Revised Version of Man-Environment Heat Exchange Mode*, Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland. Disponível em: <https://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/ZGiK/opracowania/indywidualne/blazejczyk/MENEX_2005.pdf> Acesso em: 07 jan. 2016, 02:30.

BLAZEJCZYK, K., 1992, "MENEX - The Man-Environment Heat Exchange Model and its Applications in Bioclimatology". *Proceedings of the International Conference on Environmental Ergonomics*, pp. 142-147, Maastricht, The Netherlands, Nov. Disponível em: <<http://www.lboro.ac.uk/microsites/lds/EEC/ICEE/textsearch/92articles/Blazejczyk21992.pdf>> Acesso em: 23 dez. 2015, 00:30.

BLAZEJCZYK, K., EPSTEIN, Y., JENDRITZKY, G., et al., 2012, "Comparison of UTCI to Selected Thermal Indices", **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 3 (Mai), pp. 515-535.

BOLUND, P., HUNHAMMAR, S., 1999, "Ecosystem Services in Urban Areas", **Ecological Economics**, v. 29, pp. 293-301. Disponível em: <<https://www.kth.se/social/upload/4ea53de1f27654240a000000/Bolund%20and%20Hunhammar%201999.pdf>> Acesso em: 22 jan. 2016, 23:45.

BRAGER, G. S., DE DEAR, R., 2001, "Climate, Comfort & Natural Ventilation: a New Adaptive Comfort Standard for ASHRAE Standard 55". In: *Proceedings, Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, Windsor, UK, Abril. Disponível em: <<http://www.escholarship.org/uc/item/2048t8nn>> Acesso em: 05 dez. 2015, 22:30.

BROWN, T. C., BERGSTROM, J. C., LOOMIS, J. B., 2007, "Defining, Valuing, and Providing Ecosystem Goods and Services", **Natural Resources Journal**, v.47, n.2, pp. 329-376. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/rm/value/docs/defining_valuing_providing_ecosystem_services.pdf> Acesso em: 06 jan. 2016, 17:00.

BROWN, R. D., GILLESPIE, T. J., 1986, "Estimating Outdoor Thermal Comfort using a Cylindrical Radiation Thermometer and an Energy Budget Model", **International Journal of Biometeorology**, v. 30, n. 1 (Mar), pp. 43-52.

BUREAU OF METEOROLOGY (AU), 2010, *Weather Services - Thermal Comfort Observations*, Australian Government. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/> Acesso em: 10 set. 2015, 02:35.

CA, V. T., ASAEDA, T., ABU, E. M., 1998, "Reductions in Air Conditioning Energy Caused by a Nearby Park", **Energy and Buildings**, v. 29, n. 1 (Dez), pp. 83-92.

CALLEJAS, I., J., A., NOGUEIRA, M., C., J., A., 2013, "Sensação térmica em Ambiente Urbano a Céu Aberto na Cidade Cuiabá-MT", **Rev. Elet. em Gestão**, v. 9, n. 9 (Fev), pp. 1946-1958.

CENTRO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO RIO DE JANEIRO (CAU), 2001, **Guia da arquitetura moderna no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, Casa da Palavra, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

CHARLES, K. E., 2003, *Fanger's Thermal Comfort and Draught Models*. Institute for Research in Construction, Research Report RR-162, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada. Disponível em: <<http://www.nascoinc.com/standards/breathable/PO%20Fanger%20Thermal%20Comfort.pdf>> Acesso em: 26 nov. 2015, 21:30.

COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR WATER SENSITIVE CITIES AUSTRALIA (CRC WSC), 2013, *Determine the microclimate influence of harvesting solutions and Water Sensitive Urban Design at the micro-scale - Green cities and microclimate*. Disponível em: <<http://watersensitivecities.org.au/wpcontent/uploads/2015/01/GreenCitiesandMicroclimate-no2.pdf>> Acesso em: 10 set.2015, 12:30.

COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR WATER SENSITIVE CITIES AUSTRALIA (CRC WSC), 2014, *The impacts of WSUD solutions on human thermal comfort - Green Cities and Micro-climate. Project B3.1*. Disponível em: <<http://watersensitivecities.org.au/wpcontent/uploads/2015/01/GreenCitiesandMicroclimate-no2.pdf>> Acesso em: 10 set.2015, 12:30h.

COSTA, D. F., SILVA, H. R., PERES, L. F., 2009, "Identificação de Ilhas de Calor na Área Urbana de Ilha Solteira-SP através da Utilização de Geotecnologias", In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 647-653, Natal, Abr.

DAS, N., 2006, *Green Streets - An Innovative Street Design Approach*, Sustainability and Built Environment, UC. Davis, Sacramento, California. Disponível em: <https://extension.ucdavis.edu/sites/default/files/green_streets.pdf> Acesso em: 16 nov. 2015, 21:30.

DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS (DESA), POPULATION DIVISION, UNITED NATIONS, 2014. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, (ST/ESA/SER.A/352). Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wup/highlights/wup2014-highlights.pdf>> Acesso em: 07 dez.2015, 00:30h.

DIMOUDI, A., NIKOLOPOULOU, M., 2003, "Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits", **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1 (Jan), pp. 69-76.

DOICK, K., HUTCHINGS, T., 2013, *Air Temperature Regulation bu Urban Trees and Green Infrastructure*, Research Note, FCRN012, Forestry Commission, UK. Disponível em: <[http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCRN012.pdf/\\$FILE/FCRN012.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/FCRN012.pdf/$FILE/FCRN012.pdf)> Acesso em: 18 set. 2015, 00:35.

DORIGON, L. P., CARDOSO, R. S., 2015, "Análise do Fluxo de Vento e seu Papel na Dispersão de Poluentes em Presidente Prudente -SP", **Boletim de Geografia**, v. 33, n. 1, pp. 95-108.

DUARTE, D., 2015, *Efeitos da Vegetação nos microclimas urbanos*. Notas de aula, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0225/Aulas/Aut_225_Aula_6b_Vegetacao_Urbana_20152.pdf> Acesso em: 20 jan. 2016, 01:40.

DUARTE, D. H. S., SERRA, G. G., 2003, "Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental Brasileira: Correlações e Proposta de um Indicador", **Ambiente Construído**, v. 3, n. 2, pp. 7-20.

DWYER, J. F., SCHROEDER, W., GOBSTER, P. H., 1991, "The Significance of Urban Trees and Forests: Toward a Deeper Understanding of Values", **Journal of Arboriculture**, v. 17, n. 10 (Oct), pp. 276-284.

DWYER, J. F., MCPHERSON, E. G., SCHROEDER, H. W., et al., 1992, "Assessing the Benefits and Costs of the Urban Forest", **Journal of Arboriculture**, v. 18, n. 5 (Sep), pp. 227-234.

ESCRITÓRIO TÉCNICO DA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UNIVERSIDADE DO BRASIL (ETUB), 1957, **Cidade Universitária da Universidade do Brasil**. Rio de Janeiro, Departamento de Imprensa Nacional, Serviço de Documentação (DASP). Disponível em: <http://biblioteca.forum.ufrj.br/images/sampled/Arquivos2/Cidade_Universitaria_da_Universidade_do_Brasil_1957.pdf> Acesso em: 12 dez. 2015, 02:45.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA, 2003, *Protecting Water Quality from Urban Runoff*, EPA 841-F-03-003, Washington, D.C.

Disponível em: < http://www3.epa.gov/npdes/pubs/nps_urban-facts_final.pdf> Acesso em: 14 nov. 2015, 19:35.

EPSTEIN, Y., MORAN, D. S., 2006, "Thermal Comfort and the Heat Stress Indices", **Industrial Health**, v. 44, n. 3 (Jul), pp. 388-398. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.411.3790&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em: 12 set. 2015, 21:30.

ESCOBEDO, F., J., KROEGER, T., WAGNER, J. E., 2011, "Urban Forests and Pollution Mitigation: Analyzing Ecosystem Services and Disservices", **Environmental Pollution**, v. 159, pp. 2078-2087. Disponível em: <<http://esanalysis.colmex.mx/Sorted%20Papers/2011/2011%20USA%20-CO2%20Interd.pdf>> Acesso em: 05 jan. 2016, 16:30.

FABRIZI, R., BONAFONI, S., BIONDI, R., 2010, "Satellite and Ground-Based Sensors for the Urban Heat Island Analysis in the City of Rome", **Remote Sensing**, v. 2, n. 5 (Mai), pp. 1400-1415.

FANGER, P. O., 1970, **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen, Denmark, Danish Technical Press.

FIORIO, P. R., BARROS, P. P. S., BONILLA, M. Z., 2013, *Download de Imagens do LANDSAT-8*, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

FROTA, A. B., SCHIFFER, S. R., 2001, **Manual de Conforto Térmico**. 7 ed. São Paulo, Studio Nobel.

GILL, S. E., 2006, *Climate Change and Urban Greenspace*. Tese de D.Sc., University of Manchester.

GILL, S., HANDLEY, J., ENNOS, A., et al., 2007, "Adapting Cities for Climate Change: The Role of The Green Infrastructure", **Built Environment**, v. 3, n. 1 (Mar), pp. 115-133.

GIVONI, B., 1998, **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York, Van Nostrand Reinhold: John Wiley.

GIVONI, B., NOGUCHI, M., SAARONI, H., et al., 2003, "Outdoor Comfort Research Issues", **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1 (Jan), pp. 77-86.

GRIMMOND, S, SOUCH, C., GRANT, R., et al., 1994, "Local Scale Energy and Water Exchanges in a Chicago Neighborhood". In: McPherson, E. G., Nowak, D. J., Rowntree, R. A. (eds), capítulo 7, *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Disponível em: < http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf> Acesso em: 15 set. 2015, 14:00.

HAFNER, J., KIDDER, S. Q., 1999, "Urban Heat Island Modeling in Conjunction with Satellite-Derived Surface/Soil Parameters", **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, n. 4 (Abr), pp. 448-465.

HEISLER, G. M., GRIMMOND, S., GRANT, R. H., et al., 1994, "Investigation of the Influence of Chicago's Urban Forests on Wind and Air Temperature Within Residential Neighborhoods". In: McPherson, E. G., Nowak, D. J., Rowntree, R. A. (eds), capítulo 3, *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Disponível em: < http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf> Acesso em: 15 set. 2015, 14:00.

HÖPPE, P., 2002, "Different Aspects of Assessing Indoor and Outdoor Thermal Comfort", **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6 (Jul), pp. 661-665. Disponível em: <http://www.javeriana.edu.co/arquidis/educacion_continua/documents/Different_aspects_of_assesing_indoor_and_aotdoor_comfort.pdf> Acesso em: 03 set. 2015, 21:40.

HOPKINS, W. G., HÜNER, N. P. A., 2008, **Introduction to Plant Physiology**. 4 ed. New Jersey, Wiley.

HOSOI, F., OMASA, K., 2009, "Estimating Vertical Leaf Area Density Profiles of Tree Canopies Using Three-Dimensional Portable LIDAR Imaging". In: Bretar, F., Pierrot-Deseilligny, M., Vosselman, G. (eds), *Laser scanning*, v. 38, pp. 152-157, Paris, France, Set. Disponível em: < <http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/joho/Omasa/462.pdf>> Acesso em: 23 jan. 2016, 01:15.

HUANG, Y. J., AKBARI, H., TAHA, H., et al., 1987, "The Potential of Vegetation in Reducing Summer Cooling Loads in Residential Buildings", **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 26, n. 9 (Set), pp. 1103-1116.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), *Apostila Digital*. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acesso em: 23 jan. 2016, 01:40.

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.

ISO 7243:1989, Hot Environments - Estimation of the Heat Stress on Working Man, based on the WBGT-Index (Wet Bulb Globe Temperature).

IQBAL, M., 1983, **An Introduction to Solar Radiation**. Canada, Academic Press.

JAUREGUI, E., 1990-1991, "Influence of a Large Urban Park on Temperature and Convective Precipitation in a Tropical City", **Energy and Buildings**, v. 15, n. 3-4, pp. 457-463.

JÚNIOR, A. S. O., BRANDÃO, A. M. P. M., 2015, "O Clima Urbano da Ilha do Fundão (RJ): Subsídio a um Planejamento Urbano Sustentável", **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8,

n.1, pp.113-127. Disponível em:
<<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/836/693>> 16 dez. 2015, 21:40.

KAPLAN, R., 1993, "The Role of Nature in the Context of the Workplace", **Landscape and Urban Planning**, v. 26, n. 1-4 (Oct), pp. 193-201. Disponível em:
<<http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/30542/0000175.pdf?sequence=1>>
Acesso em: 27 dez. 2015, 00:40.

KLEIN, J., RÓZOVÁ, Z., 2014, "Impact of Vegetation on Microclimate in Different Layouts of Built-Up Areas in Urbanised Environment of Nitra Municipality in Spring Period". In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds), p. 173-188, *Conference proceedings from the Mendel and Bioclimatology International Conference*, Masaryk University, Brno, Czech Republic, 3-5 September. Disponível em: < <http://www.cbks.cz/SbornikBrno14/KleinRozova.pdf>> Acesso em: 19 out. 2015, 21:30.

KLUGE, R. A., TEZOTTO-ULIANA, J. V., SILVA, P. P. M., 2015, "Aspectos Fisiológicos e Ambientais da Fotossíntese", **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, pp. 56-73.

KUO, F. E., SULLIVAN, W. C., 2001, "Agression and Violence in the Inner City: Effects of Environment via Mental Fatigue", **Environment and Behavior**, v. 33, n. 4 (Jul), pp. 543-571. Disponível em:
<https://is.muni.cz/el/1423/podzim2011/HEN597/um/Readings_Env_Psy/Kuo__F.E.__Sullivan__W.C.__2001_.pdf> Acesso em: 22 dez. 2015, 00:30.

KURN, D. M., BRETZ, S. E., HUANG, B., AKBARI, H., 1994, *The Potential for Reducing Urban Air Temperatures and Energy Consumption Through Vegetative Cooling*. Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Berkeley, California.

LABAKI, L. C., SANTOS, R. F., BUENO-BARTHOLOMEI, C. L., et al., 2011, "Vegetação e Conforto Térmico em Espaços Urbanos Abertos", **Fórum Patrimônio, Mudanças Climáticas e o Impacto das Cidades**, v. 4, n. 1, pp. 23-42.

LI, P. W., CHAN, S. T., 2000, "Application of a Weather Stress Index for Alerting the Public to Stressful Weather in Hong Kong", **Meteorological Applications**, v. 7, n. 4 (Dez), pp. 369-375.

LIETH, H., 1974, "Introduction to Phenology and the Modeling of Seasonality". In: *Phenology and seasonality modeling*, v. 8, *Ecological Studies*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 3-19.

LUZ, C., BARROSO, M. A., 1972, "Cidade Universitária: um Sonho de 37 Anos", **Educação, Brasília: MEC**, v. 2, n. 5, pp. 2-31. Disponível em: <http://biblioteca.forum.ufrj.br/images/sampled/Arquivos2/Cidade_Universitaria:um_sonho_de_37_anos.pdf> Acesso em: 17 dez. 2015, 15:30.

MACIEL, C. R., NOGUEIRA, M. C. J. A., NOGUEIRA, J. S., 2011, "Cobertura do Solo e sua Influência na Temperatura de Microclimas Urbanos na Cidade de Cuiabá-MT", **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 38 (Set), pp. 40-57.

MENEZES, P. M. L., ANDRADE, L. G., LEPORE, V. M. G., et al., 2005, "Evolução Histórica-Geográfica-Cartográfica da Ilha do Fundão". In: *Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina*, pp. 9288-9299, São Paulo, Mar. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egall10/Nuevastecnologias/Cartografiatematica/12.pdf>> Acesso em: 02 out. 2015, 00:30.

MCPHERSON, E.G., 1994a, "Cooling urban heat islands with sustainable landscapes". In: *The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity*, Amherst: University of Massachusetts Press, pp. 151-171.

MCPHERSON, E. G., 1994b, "Energy-Saving Potential of Trees in Chicago". In: McPherson, E. G., Nowak, D. J., Rowntree, R. A. (eds), capítulo 7, *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Disponível em: <http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf> Acesso em: 15 set. 2015, 14:00.

MCPHERSON, E. G., SIMPSON, J. R., SCOTT, K. I., 1999, *Actualizing Microclimate and Air Quality Benefits with Parking Lot Tree Shade Ordinances*. Wetter und Leben, in press. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/psw/programs/uesd/uep/products/11/cufr_69.pdf> Acesso em: 10 dez. 2015, 14:00.

MCPHERSON, E. G., SIMPSON, J. R., 2003, "Potential Energy Savings in Buildings by an Urban Tree Planting Programme in California", **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 2, n. 2, pp. 73-86.

MENDONÇA, R. P., RIBEIRO, V. A. F., 2014, *Análise da Dinâmica Sedimentar no Entorno da Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ.*, Tese de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MONTEIRO, L. M., 2008, *Modelos Preditivos de Conforto Térmico: Quantificação de Relações entre Variáveis Microclimáticas e de Sensação Térmica para Avaliação e Projetos de Espaços Abertos.* Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

NAGARA, K., SHIMODA, Y., MIZUNO, M., 1996, "Evaluation of the Thermal Environment in an Outdoor Pedestrian Space", **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 3 (Fev), pp. 497-505.

NATIONAL WEATHER SERVICE WEATHER FORECAST OFFICE (NOAA), 2015, *What is the Heat Index?*, Amarillo, TX. Disponível em: <<http://www.srh.noaa.gov/ama/?n=heatindex>> Acesso em: 20 out. 2015, 00:30.

NIKOLOPOULOU, M., BAKER, N., STEEMERS, K., 2001, "Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Understanding the Human Parameter", **Solar Energy**, v. 70, n. 3, pp. 227-235.

NIKOLOPOULOU, M. (ed), 2004, **Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach.** Athens, Greece, Centre for Renewable Energy Sources. Disponível em: < http://www.cres.gr/kape/education/1.design_guidelines_en.pdf> Acesso em: 05 jan. 2016, 22:30.

NÓBREGA, R. S., LEMOS, T. V. S., 2011, "O Microclima e o (Des)Conforto Térmico em Ambientes Abertos na Cidade do Recife", **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 28, n. 1, pp. 93-109. Disponível em: < <https://www.ufpe.br/tropoclima/images/pdf/nobrega.pdf>> Acesso em: 10 jan. 2016, 21:30.

NOWAK, D. J., 1994a, "Urban Forest Structure: the State of Chicago's Urban Forest". In: McPherson, E. G., Nowak, D. J., Rowntree, R. A. (eds), capítulo 2, *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.

Disponível em: < http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf> Acesso em: 15 set. 2015, 14:00.

NOWAK, D. J., 1994b, "Air Pollution Removal by Chicago's Urban Forest". In: McPherson, E. G., Nowak, D. J., Rowntree, R. A. (eds), capítulo 5, *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Disponível em: < http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf> Acesso em: 15 set. 2015, 14:00.

NOWAK, D. J., DWYER, J. F., 2007, "Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems". In: KUSER, J. E. (ed), *Urban and Community Forestry in the Northeast*, 2 ed., chapter 2. Springer Netherlands.

NOWAK, D. J., MCPHERSON, E.G., ROWNTREE, R.A., 1994, "Executive Summary". In: McPherson, E. G., Nowak, D. J., Rowntree, R. A. (eds), capítulo 7, *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Disponível em: <http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_ne186.pdf> Acesso em: 15 set. 2015, 14:00.

OBI, N. I. A., 2014, "The Influence of Vegetation on Microclimate in Hot Humid Tropical Environment - A Case of Enugu Urban", **International Journal of Energy and Environmental Research**, v. 2, n. 2 (Jun), pp. 28-38. Disponível em: <<http://www.eajournals.org/wp-content/uploads/The-Influence-of-Vegetation-on-Microclimate-in-Hot-Humid-Tropical-Environment-A-Case-Of-Enugu-Urban..pdf>> Acesso em: 10 dez. 2015, 00:45.

O'DRISCOLL, M., CLINTON, S., JEFFERSON, A., et al., 2010, "Urbanization Effects on Watershed Hydrology and In-Stream Processes in the Southern United States", **Water**, v. 2, pp. 605-648.

OFFICE OF THE FEDERAL COORDINATOR FOR METEOROLOGICAL SERVICES AND SUPPORTING RESEARCH (OFCM), 2003, *Report on Wind Chill Temperature and Extreme Heat Indices: Evaluation and Improvement Projects*. FCM-R19-2003, US. Department of Commerce/National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D.C. Disponível em: < http://www.ofcm.gov/jagti/r19-ti-plan/pdf/entire_r19_ti.pdf> Acesso em: 06 jan. 2016, 20:35.

OKE, T. R., 1976, "The Distinction Between Canopy and Boundary - Layer Urban Heat Islands", **Atmosphere**, v. 14, n. 4, pp. 268-277

OKE, T. R., 1979, *Review of Urban Climatology 1973-1976*. In: WMO-N°539, Technical Note N°169, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. Disponível em: <http://ac.ciifen.org/omm-biblioteca/CCI_TECH/WMO-539.pdf> Acesso em: 26 jan. 2016, 00:10h.

OKE, T. R., 1987, **Boundary Layer Climates**. 2 ed. Methuen, London, Psychology Press.

OKE, T. R., EMERY, W. J., 1989, "Satellite-Derived Urban Heat Islands from Three Coastal Cities and the Utilization of such Data in Urban Climatology", **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 11, pp. 1699-1720.

OLIVEIRA, A. J. B., 2005, *Das Ilhas à Cidade - A Universidade Visível. A Construção da Cidade Universitária da Universidade do Brasil (1935-1950)*. Tese de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

OLIVEIRA, L. A., CHIABI, L., FIRMO, H., et al., 2013, "Histórico e Impacto do Grupo MUDA na Engenharia Ambiental da UFRJ". *Resumos do VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia*, 15235, Porto Alegre, RS, Brasil, 25-28 Nov. Disponível em:<<http://www.abaagroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/viewFile/15235/9405>> Acesso em: 06 fev. 2016, 17:30.

PAIVA, C. M., 2001, *Extração da Temperatura da Superfície do Mar Utilizando Sensoriamento Remoto por Satélite*, Exame de Qualificação de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

PARSONS, K., 2014, **Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance**. 3 ed. Boca Raton, FL, CRC Press.

PINTO, G. A., BUFFA, E., 2006, "Arquitetura, Urbanismo e Educação: Campi Universitários Brasileiros". In: *Congresso Lusobrasileiro de História da Educação*, pp. 5724-5746, Uberlândia, São Paulo, Abr. Disponível em: <http://www2.faced.ufu.br/colubhe06/anais/arquivos/519GelsonAlmeidaPinto_EsterBuffa.pdf> Acesso em: 11 dez. 2015, 01:50.

POTCHTER, O., COHEN, P., BITAN, A., 2006, "Climatic Behavior of Various Urban Parks During Hot and Humid Summer in the Mediterranean City of Tel Aviv, Israel", **International Journal of Climatology**, v. 26, pp. 1695-1711.

RANA, R., KUSY, B., JURDAK, R., et al., 2013, "Feasibility Analysis of Using Humidex as an Indoor Thermal Comfort Predictor", **Energy and Buildings**, v. 64, pp. 17-25.

RELATÓRIO DE APRESENTAÇÃO DO GRUPO MUDA, 2014.

ROTHFUSZ, L. P., 1990, *The Heat Index Equation (or more than you ever wanted to know about Heat Index)*. NWS Southern Region Technical Attachment, SR/SSD 90-23, Fort Worth, TX. Disponível em: < http://www.srh.noaa.gov/images/ffc/pdf/ta_htindx.PDF> Acesso em: 11 jan. 2016, 22:45.

RUAS, A. C., 1999, *Avaliação de Conforto Térmico: Contribuição a Aplicação Prática das Normas Internacionais*. Tese de M.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

SANDERS, R. A., 1986, "Urban Vegetation Impacts on the Hydrology of Dayton, Ohio", **Urban Ecology**, v. 9, pp. 361-376.

SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D., 1996, **Passive Cooling of Buildings**. London, Earthscan.

SANTOS, R. D., AGAREZ, F. V., NORONHA, F., 2000, *Levantamento Detalhado dos Solos do Campus da Ilha do Fundão UFRJ*. In: Boletim de Pesquisa Número 19, ISSN 1517-5219, Projeto Parque Frei Veloso, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Rio de Janeiro.

SANTOS, T. O., 2011, *Identificação de Ilhas de Calor em Recife-PE por meio de Sensoriamento Remoto e Dados Meteorológicos de Superfície*. Tese de M.Sc., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

SHAMS, J. C. A., GIACOMELI, D. C., SUCOMINE, N. M., 2009, "Emprego da Arborização na Melhoria do Conforto Térmico nos Espaços Livres Públicos", **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 4, n. 4, pp. 1-16. Disponível em: < http://www.revsbau.esalq.usp.br/artigos_cientificos/artigo71.pdf> Acesso em: 17 set. 2015, 22:30.

SHASHUA-BAR, L., HOFFMAN, M. E., 2000, "Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street: An Empirical Model for Predicting the Cooling Effect of Urban Green Areas with Trees", **Energy and Buildings**, v. 31, n. 3 (Abr), pp. 221-235. Disponível em: <<http://jwc.cicp.edu.cn/resource/data/080704/U/150/data/coursefile/5446.pdf>> Acesso em: 22 jan. 2016, 22:30.

SOARES, F. S., ALMEIDA, R. K., RUBIM, I.B., et al., 2015, "Análise Comparativa da Correção Atmosférica de Imagem do Landsat 8: o Uso do 6S e do ATCOR2". In: *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 1821-1828, João Pessoa, PB, Abr.

SOARES, A. L., REGO, F. C., MCPHERSON, E. G., et al., 2011, "Benefits and Costs of Street Trees in Lisbon, Portugal", **Urban Forest & Urban Greening**, v. 10, n. 2, pp. 69-78.

SPANGENBERG, J., SHINZATO, P., JOHANSSON, E., et al., 2008, "Simulation of the Influence of Vegetation on Microclimate and Thermal Comfort in the City of São Paulo", **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 3, n. 2 (Jun), pp. 1-19. Disponível em: <http://www.revsbau.esalq.usp.br/artigos_cientificos/artigo36.pdf> Acesso em: 09 dez. 2015, 01:30.

STAIGER, H., LASCHEWSKI, G., GRÄTZ, A., 2012, "The Perceived Temperature - a Versatile Index for the Assessment of the Human Thermal Environment. Part A: Scientific Basis", **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 1 (Jan), pp. 165-176.

STEADMAN, R. G., 1979, "The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science", **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, n. 7 (Jul), pp. 861-873.

SUSCA, T., GAFFIN, S. R., DELL'OSSO, G. R., 2011, "Positive Effects of Vegetation: Urban Heat Island and Green Roofs", **Environmental Pollution**, v. 159, n. 8-9 (Ago-Set), pp. 2119-2126.

THOMPSON, R., HANNA, R., NOEL, J., et al., 1999, "Valuation of Tree Aesthetics on Small Urban-Interface Properties", **Journal of Arboriculture**, v. 25, n. 5 (Sep), pp. 225-234.

TOUDERT, F. A., 2005, *Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate*. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, Germany.

TROWBRIDGE, P. J., BASSUK, N. L., 2004, **Trees in the Urban Landscape: Site Assessment, Design, and Installation**. 1 ed. New Jersey, John Wiley & Sons.

ULRICH, R. S., 1984, "View through a Window may Influence Recovery from Surgery", **Science**, v. 224, n. 4647 (Apr), pp. 420-421.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ), 1966, **Algumas Notas sobre a Ponte Oswaldo Cruz e seu Papel no Desenvolvimento da Cidade Universitária**. Rio de Janeiro, UFRJ, Escritório Técnico da Cidade Universitária.

Disponível em:

<http://biblioteca.forum.ufrj.br/images/sampled/Arquivos2/Algumas_notas_sobre_a_ponte_Oswaldo_Cruz.pdf> Acesso em: 17 dez. 2015, 01:15.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ), 1972a, **A Universidade Federal do Rio de Janeiro no Sesquicentenário da Independência**. Rio de Janeiro, UFRJ, Serviço de Publicações. Disponível em:

<http://biblioteca.forum.ufrj.br/images/sampled/Arquivos2/a_universidade_federal_do_rio_de_janeiro_no_sesquicentenario.pdf> Acesso em: 14 dez. 2015, 00:30.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ), 1972b, **A UFRJ Participa do Processo de Desenvolvimento do Brasil: Dados e Informações**. Rio de Janeiro, UFRJ. Disponível em:

<http://biblioteca.forum.ufrj.br/images/sampled/Arquivos2/A_UFRJ_participa_do_processo_de_desenvolvimento_do_Brasil.pdf> Acesso em: 14 dez.2015, 02:45.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ), 2011, **Plano Diretor UFRJ 2020: Proposta para Discussão**. Rio de Janeiro, Serviço de Mídias Impressas, Virtuais e de Produção Editorial da Superintendência Geral de Comunicação Social da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em:

<http://www.ufrj.br/noticia/docs/plano_diretor_2020/PD_2011_02_07.pdf> Acesso em: 16 dez. 2015, 21:45.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2015, "*Landsat - Earth Observation Satellites*". Fact Sheet 2015-3081. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2015/3081/fs20153081.pdf>> Acesso em: 25 jan. 2016, 00:35.

VARGAS, K. E., MCPHERSON, E. G., SIMPSON, J. R., et al., 2008, *Tropical community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-216. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 109 p.

VERNON, H. M., WARNER, C. G., 1932, "The Influence of the Humidity of the Air on Capacity for Work at High Temperatures", **Journal of Hygiene**, v. 32, n. 3 (Jul), pp. 431-462.

WANG, Q. (ed), 2011, **Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Applications**. Boca Raton, Florida, CRC Press.

WEBB, C. G., 1960, "A "comfort graph" for life in the tropics", **The New Scientist**, v. 8, n. 214 (Dez), pp. 1643-1646.

WENG, Q., 2003, "Fractal Analysis of Satellite-Detected Urban Heat Island Effect", **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 69, n. 5 (Mai), pp. 555-566.
Disponível em: < <http://isu.indstate.edu/qweng/PERS03Weng.pdf>> Acesso em: 25 jan. 2016, 00:15.

WENG, Q., 2009, "Thermal Infrared Remote Sensing for Urban Climate and Environmental Studies: Methods, Applications, and Trends", **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, pp. 335-344. Disponível em: < <http://isu.indstate.edu/qweng/ISPRS-Weng-09.pdf>> Acesso em: 25 jan. 2016, 02:30.

XIAO, Q., MCPHERSON, E. G., SIMPSON, J. R., et al., 1998, "Rainfall Interception by Sacramento's Urban Forest", **Journal of Arboriculture**, v. 24, n. 4 (Jul), pp. 235-244.
Disponível em: <http://www.fs.fed.us/psw/programs/uesd/uep/products/cufr_28_XQ98_55.PDF> Acesso em: 10 dez. 2015, 18:40.

XIAO, Q., MCPHERSON, E. G., 2002, "Rainfall Interception by Santa Monica's Municipal Urban Forest", **Urban Ecosystems**, v. 6, n. 4 (Dec), pp. 291-302. Disponível em: <http://sfrc.ufl.edu/urbanforestry/Resources/PDF%20downloads/Xiao_2003.pdf> Acesso em: 01 dez. 2015, 19:00.

ZUPANCIC, T., 2015, **The Impact of Green Space on Heat and Air Pollution in Urban Communities: a Meta-Narrative Systematic Review**. Vancouver, BC, David Suzuki Foundation. Disponível em: <<http://www.davidsuzuki.org/publications/ImpactofGreenSpaceonHeatandAirPollutioninUrbanCommunities.pdf>> Acesso em: 06 jan. 2016, 15:30.