

CONFORTO HIGROTÉRMICO EM RUAS DO BAIRRO DE SÃO CRISTÓVÃO, RIO DE JANEIRO/ BRASIL

M. L. A. Niemeyer

RESUMO

Em função da crescente inquietação com questões relacionadas ao meio ambiente, o planejamento ambiental, coerente com as características climáticas do sítio e a realidade sócio-cultural da população, passou a ser um referencial importante para a sustentabilidade urbana. Na maioria das grandes cidades brasileiras, e o Rio de Janeiro não é uma exceção, a opção preferencial pelos meios de transporte rodoviário tem levado à construção de vias expressas, túneis e viadutos como alternativa para melhorar a mobilidade urbana. Na prática tais intervenções têm se mostrado ambientalmente tão mais agressivo quanto mais consolidado for o contexto urbano. Uma destas vias expressas é a chamada Linha Vermelha, cujas pistas elevadas cruzam o bairro de São Cristóvão. O objetivo do presente trabalho é avaliar o impacto da Linha Vermelha sobre as condições de conforto higrotérmico das ruas afetadas. O método de avaliação partiu da comparação entre os índices PMV e PPD, corrigidos pelo fator de expectativa, calculados para pontos localizados abaixo e no entorno imediato do viaduto. O trabalho de campo envolveu o levantamento físico e o registro de variáveis ambientais (temperaturas de bulbo seco, úmido e de globo, umidade relativa e velocidade do ar) das ruas estudadas.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de paisagem como conjunto visual e funcional total parte do pressuposto que o conforto global depende de paisagem organizada, onde as partes se integram de forma harmoniosa, mas que seja também coerente com seus sentidos, sua vida e utilização (LYNCH, 1981). Pensar no espaço urbano como um meio no qual o homem está inserido é fundamental para atingir o equilíbrio e criar condições de conforto para os usuários. Tais condições podem ser induzidas por diversos tipos de indicadores como: cor, forma, movimento ou polarização da luz, textura, odores e sons entre outros (CHING, 1998).

A rua é o mais característico dos espaços urbanos - mais importante que praças, bosques, parques e quaisquer outros tipos de logradouros – por ser o local onde ocorrem as relações de troca com a comunidade (SANTOS, 1985). Além de passagem obrigatória da população em seus trajetos cotidianos, a rua constitui local de permanência obrigatória para diversas categorias de trabalhadores que nela exercem suas funções sob as mais diversas condições ambientais.

Em cidades de clima quente-úmido — como o Rio de Janeiro - não existe fronteira rígida interior/exterior: as janelas permanecem abertas a maior parte do dia e o uso de espaços abertos, como varandas, terraços ou pátios, é um traço muito presente na arquitetura. Neste contexto, o conforto no interior do edifício está fortemente relacionado às características microclimáticas da rua.

O espaço da rua é configurado pelo alinhamento das fachadas dos edifícios e cortado pela via de tráfego, ao longo de sua dimensão dominante. A orientação de seu eixo, a relação entre a largura da rua e a altura dos edifícios, a continuidade e volumetria de seus limites laterais, o tipo de pavimentação e o tratamento paisagístico das calçadas determinam os padrões de comportamento térmico do espaço.

A implantação de uma via expressa em um tecido urbano consolidado é fator de impacto ambiental, seja pelo bloqueio visual, pela interferência na insolação e ventilação devido à inserção de elementos verticais ou pela emissão de calor, ruído e poluentes por veículos automotores.

2. SÃO CRISTÓVÃO E A LINHA VERMELHA

A ocupação inicial do bairro se deu na primeira metade do século XVI, por padres da Companhia de Jesus que receberam uma porção de terras alagadiças onde construíram a ermida de São Cristóvão, próxima ao caminho do mesmo nome. A circulação de tropas e viajantes pelo caminho que ligava o “sertão” à cidade, propiciou o aparecimento de uma pequena povoação e seu rossio, o Campo de São Cristóvão. Após a expulsão dos jesuítas, a grande fazenda dividida em chácaras. No topo de uma elevação, sobre a paisagem pantanosa - se destacava a sede de uma destas propriedades, a Quinta da Boa Vista. Em 1808, a propriedade foi doada ao Príncipe Regente D.João, que fez dela sua residência de verão. A região foi então rapidamente ocupada. Em curto espaço de tempo, a vila de pescadores transformou-se no aristocrático arrabalde de São Cristóvão Imperial.

A partir do exílio de Pedro II, o bairro entrou em decadência. Refletindo as modificações por que passava o resto da cidade, mudaram o perfil social de sua ocupação, a natureza de seu tráfego e a forma e a função de seus edifícios. Indústrias, atraídas pela infra-estrutura e facilidade de transporte, ocuparam com trapiches a praia de São Cristóvão. Casarões decadentes foram transformados em lojas, pensões e casas de cômodos.

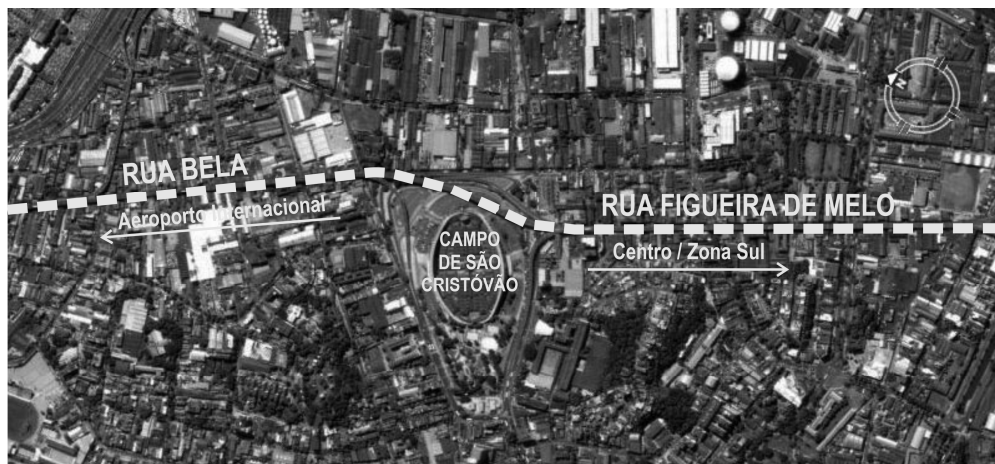


Fig. 1: Passagem da Linha Vermelha através de São Cristóvão

Uma intervenção que mudou de forma definitiva a paisagem do bairro foi a construção da Linha Vermelha – via expressa que liga a Baixada Fluminense ao Centro e é um dos principais acessos para o Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. Constituído por duas pistas elevadas, em estrutura metálica apoiada sobre pilares de concreto, o viaduto corta São Cristóvão, através da Rua Bela, Campo de São Cristóvão e Rua Figueira de Melo (figura 1).

3. AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO POR VOTO MÉDIO ESTIMADO

O Voto Médio Estimado (PMV - *Predicted Mean Vote*), proposto por Fanger (1970), utiliza parâmetros ambientais (temperatura radiante, temperatura, umidade relativa e velocidade do ar) e individuais (resistência térmica da vestimenta e metabolismo em função da atividade) para estimar o grau de satisfação do usuário com a sensação térmica. O modelo sugere uma escala de sete níveis de sensação térmica (tabela 1). São consideradas satisfeitas as pessoas cujos votos estão compreendidos entre (+1) e (-1).

Tabela 1 – Escala de avaliação PMV (ISO 7730, 1994)

PMV	+ 3	+ 2	+ 1	0	- 1	- 2	- 3
SENSAÇÃO TÉRMICA	Muito quente	Quente	Ligeiramente quente	Neutro	Ligeiramente frio	Frio	Muito Frio

Baseado nos votos de sensação térmica¹, Fanger estabeleceu, por regressão matemática, a equação do PMV:

$$PMV = [0,303.e^{-0,036.M} + 0,028] L$$

onde: PMV é o Voto Médio Estimado (adimensional);

M é a taxa metabólica da produção de calor (W/m²)

L é a carga térmica que atua sobre o corpo (W/m²)

Em função do PMV, pode ser estabelecida a Porcentagem Estimada de Insatisfeitos² (PPD - *Predicted Percentage of Dissatisfied*) através da seguinte equação:

$$PPD = 100 - 95.exp [- (0,03353.PMV^4 + 0,2179.PMV^2)]$$

Apesar de adotado com padrão para avaliação de conforto térmico em ambientes internos (ISO 7730/ 1994), o índice PMV apresenta distorções quando aplicado em climas quentes, Trabalhos de campo indicam, nestes casos, os valores de PMV não correspondem ao Voto Real (ASV – *Actual Sensation Vote*) dos usuários. Em climas quentes os indivíduos podem se sentir confortáveis com temperaturas superiores a 30°C, especialmente se usarem ventilação (NICOL, 2004). As razões de tais discrepâncias, apesar de não compreendidas plenamente, podem ser atribuídas a comportamentos individuais e padrões culturais.

Com o objetivo de reduzir tais discrepâncias, alguns pesquisadores buscaram fatores de correção - para diferentes situações climáticas - que aproximassem os valores calculados de PMV e PPD ao Voto Real dos usuários (FANGER, 2002).

¹ Os votos foram obtidos em pesquisa realizada com 1.296 pessoas em ambiente interno, com parâmetros ambientais controlados.

² Para atender à norma ISO 7730 a porcentagem de insatisfeitos deverá ser inferior a dez por cento (PPD ≤ 10%) que corresponde a (-0,5 ≤ PMV ≤ +0,5).

Para a cidade do Rio de Janeiro, ainda não foram estabelecidos índices de correção. Entretanto, em pesquisa realizada em praça na Barra da Tijuca, Zona Oeste da cidade, Zambrano, Bastos e Malafaia (2006) verificaram que fatores de correção situados entre 0,5 e 0,7 permitem a aproximação dos valores de PMV e PPD calculados ao Voto Real, obtido através de questionários.

4. METODOLOGIA

O roteiro metodológico (NIEMEYER, 2007) envolveu as seguintes etapas:

4.1. Inventário Físico

O inventário físico teve por objetivo identificar as características morfológicas das ruas que potencialmente possam interferir no desempenho higrotérmico dos espaços. Esta etapa envolveu o levantamento dos elementos físicos através de registro fotográfico, análise das plantas cadastrais e informações complementares obtidas em campo. Nesta etapa foram também observados os hábitos e comportamento dos usuários (tipo de atividade, padrão de vestimenta, etc).

4.2. Medições em Campo

As medições foram sempre realizadas em dois turnos - manhã (9:00 horas) e tarde (16:00 horas). O objetivo foi registrar a evolução das variáveis ambientais ao longo do dia em função do aquecimento das estruturas e das diferentes condições de penetração/bloqueio da radiação solar e fluxo de ventos pela interferência de obstáculos do entorno.

As medições apresentadas neste trabalho, foram realizadas no mês de março de 2008. Na cidade do Rio de Janeiro este é um período ainda bastante quente, mas que não apresenta situações extremas de calor, como as verificadas nos meses de janeiro e fevereiro.

A cada medição, foram registrados os seguintes dados:

- Temperatura de Bulbo Úmido (TBU), em $^{\circ}\text{C}$;
- Temperatura de Bulbo Seco (TBS), em $^{\circ}\text{C}$;
- Temperatura de Globo (TG), em $^{\circ}\text{C}$;
- Umidade relativa do ar (UR), em %;
- Velocidade do vento, em m/s.

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Conjunto de termômetros (TG, TBS e TBU) - Instruerm/ modelo TGD 100;
- Anemômetro de fio quente Lutron/ modelo AM-4204;
- Termohigrômetro digital/TFA.

4.3. Cálculo do PMV_c e PPD_c e Sensação Térmica_c

O cálculo dos índices de conforto foi realizado em programa computacional³, em Delphy, 5.0.de acordo com o algoritmo da ISO 7730.

³ A adaptação do algoritmo, originalmente escrito em linguagem Basic, foi realizada pelo Prof. Neury Nunes Cardoso (M. Sc.), Coordenador do Curso de Ciência da Computação, da Universidade Gama Filho.

Dados de Entrada:

- Clothing (clo): Fixado o valor de 0,5 clo ($0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) que corresponde a uma vestimenta leve⁴;
- Taxa Metabólica (met): Fixado o valor de 2.4 met (140 W/m^2), correspondente a caminhada (3 km/h) em terreno plano;
- Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), Temperatura Radiante ($^{\circ}\text{C}$) e Velocidade do ar (m/s): valores registrados em campo;
- Umidade relativa do ar (%) ou pressão de vapor d'água (Pa): foi usada a umidade relativa, registrada em campo;
- Fator de correção (%): Foi fixado o valor de 60%.

Dados de Saída:

- PMV e PMV_c: Voto Médio Estimado e Voto Médio Corrigido;
- PPD e PPD_c: Calculados em função dos valores de PPV e PMV_c;
- Sensação Térmica e Sensação Térmica_c (Tabela 2)

Tabela 2 – Sensação Térmica em função do PMV

PMV	> + 2,5	< + 2,5 > - 1,5	< + 1,5 > - 0,5	< + 0,5 > - 0,5	< - 0,5 > - 1,5	> - 1,5 > - 2,5<	< -2,5
SENSAÇÃO TÉRMICA	Muito quente	Quente	Ligeiramente quente	Neutro	Ligeiramente frio	Frio	Muito Frio

Na última etapa de trabalho, as características morfológicas das ruas estudadas foram confrontadas com o desempenho térmico avaliado pelos índices calculados.

5. ÁREA DE ESTUDO

Para o estudo de caso foram selecionadas três ruas que, embora próximas, apresentam configuração espacial bastante diversas. Para representar as características tipológicas de cada uma das ruas, os pontos de medição (Figura 2) estão localizados em “meio de quadra”, evitando-se situações de cruzamento de vias, que apresentam características mais complexas.

- Ponto 1: Campo de São Cristóvão;
- Ponto 2: Rua Figueira de Melo, embaixo do viaduto da Linha Vermelha;
- Ponto 3: Rua São Cristóvão.

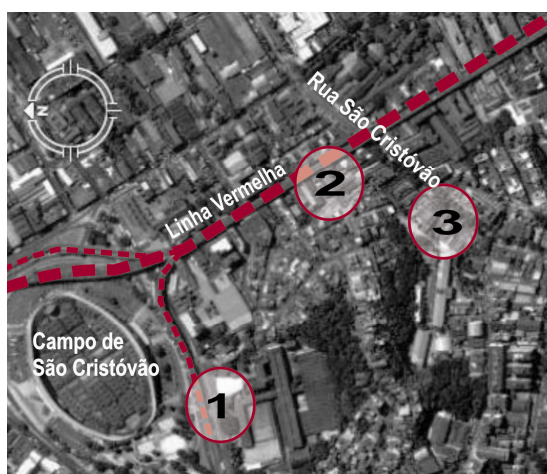


Fig. 2 – Localização dos pontos de medição

⁴ Calça de tecido leve, camisa de mangas curtas, meias e sapatos. Anexo E, ISO 7730 (1994).

5.1. Campo de São Cristóvão

Uso do Solo: Colégio Pedro II, Escola Municipal Gonçalves Dias e Centro de Tradições Nordestinas (antigo Pavilhão de São Cristóvão).

Tráfego de veículos: Desnível de cerca de 5,00 metros entre as vias.. Fluxo intenso de veículos nas pistas no nível do campo e alça de acesso ao viaduto da Linha Vermelha. Fluxo leve nas pistas em frente aos colégios.

Padrão de ocupação: Construções de grande porte, soltas das divisas e afastadas da testada do lote.

Fachadas: Predomínio de cores claras.

Largura média da via 10,0 metros/ Largura média das calçadas: 3,00 metros.

Pavimentações: asfalto (vias), placas de concreto (calçadas) saibro e grama (campo).

Vegetação: A arborização do pátio do colégio e do Campo projeta sombra sobre as calçadas.

Insolação: Apesar da forte incidência de radiação solar, a vegetação contribui para amenizar o desconforto térmico;

Ventilação: O vento flui livremente entre os edifícios, devido à permeabilidade do tecido urbano e à topografia.



**Fig. 3: Mapa figura-fundo e corte transversal às vias de tráfego.
O local das medições está assinalado em vermelho**

Tabela 3: Resultado das medições (Figura 3)

	1º DIA		2º DIA	
período	manhã	tarde	manhã	tarde
nebulosidade	céu nublado		céu claro	
TBU (°C)	21,2	23,9	22,5	26,1
TBS (°C)	24,7	29,5	28,3	30,7
TG (°C)	24,9	36,3	31,9	40,2
UR (%)	70	55	58	45
Vento (m/s)	0,5	1,2	1,2	1,0
PMV	1,62	2,44	2,02	3,00
sensação térmica	levemente quente	quente	quente	muito quente
PPD	57,16	92,09	77,55	99,11
PMV _C	0,97	1,46	1,21	1,8
sensação térmica (corrigida)	levemente quente	levemente quente	levemente quente	quente
PPD _C	24,83	48,94	35,76	66,94

5.2. Rua Figueira de Melo

Uso do Solo: Comércio e serviços. Na maior parte dos edifícios de uso misto, o espaço originalmente ocupado por habitações é destinado a depósitos e almoxarifados.

Tráfego de veículos: Fluxo médio nas pistas no nível da rua. Fluxo intenso nas pistas do viaduto.

Padrão de ocupação: Predominam os edifícios colados nas divisas laterais e alinhados na testada do lote. Lojas térreas e sobrados de 2 ou 3 pavimentos.

Fachadas: Escuras devido à poluição.

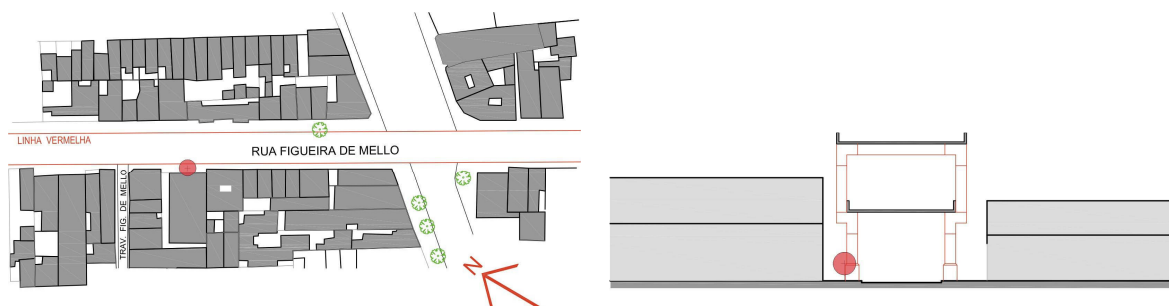
Largura média da via: 10,0 metros/ Largura das calçadas: 2,0 a 6,0 metros, com pontos de estrangulamento junto aos pilares do viaduto.

Pavimentações: asfalto (via) e cimentado (calçadas);

Vegetação: Ausência quase total

Insolação: As pistas do viaduto bloqueiam a radiação solar a maior parte do dia.

Ventilação: Vento quente e intermitente, induzido pelo deslocamento dos veículos.



**Fig. 4: Mapa figura-fundo e corte transversal às vias de tráfego.
O local das medições está assinalado em vermelho**

Tabela 4: Resultado das medições (Figura 4)

	1 ^o DIA		2 ^o DIA	
período	manhã	tarde	manhã	tarde
nebulosidade	céu nublado		céu claro	
TBU (°C)	21,2	24,0	23,1	26,0
TBS (°C)	24,7	32,2	28,0	37,1
TG (°C)	24,9	41,5	28,8	45,7
UR (%)	70	50	63	38
Vento (m/s)	0,5	0,5	0,4	0,4
PMV	1,62	3,53	2,17	4,21
sensação térmica	levemente quente	muito quente	quente	muito quente
PPD	57,16	99,93	83,87	100
PMV _C	0,97	2,12	1,30	2,53
sensação térmica (corrigida)	levemente quente	quente	levemente quente	quente
PPD _C	24,83	81,72	40,42	94,00

5.3. Rua São Cristóvão

Uso do Solo: Comércio e serviços.

Tráfego de veículos: Fluxo intenso, porém fluido.

Padrão de ocupação: Predominam edifícios: colados nas divisas laterais e alinhados na testada do lote. Lojas térreas, sobrados e edifícios de até seis pavimentos.

Fachadas: Originalmente de cores vivas, mas escurecidas pela poluição do ar

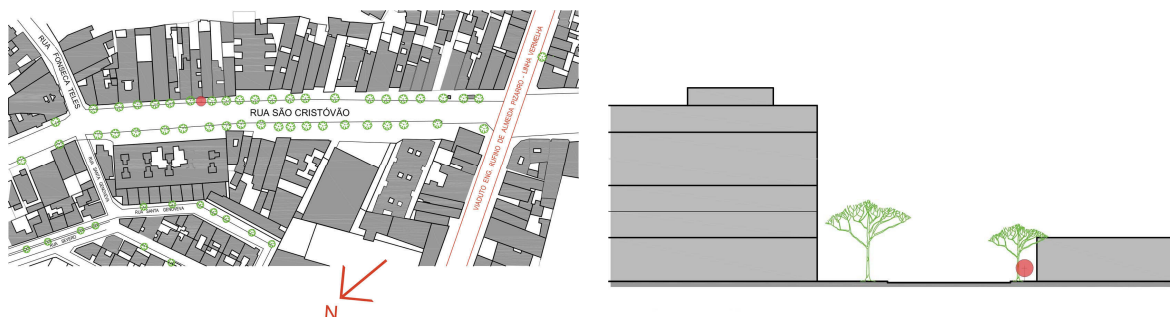
Largura média da via: 12,0 metros/ Largura das calçadas: 3,0 a 12,0 metros.

Pavimentações: asfalto (via) e cimento (calçadas)

Vegetação: Arborização farta ao longo das calçadas.

Insolação: Radiação direta sobre as calçadas filtrada pela copa das árvores.

Ventilação: Boas condições de ventilação devido à largura e orientação da rua.



**Fig. 5: Mapa figura-fundo e corte transversal às vias de tráfego.
O local das medições está assinalado em vermelho**

Tabela 5: Resultado das medições (Figura 5)

período	1 ^o DIA		2 ^o DIA	
	manhã	tarde	manhã	tarde
nebulosidade	Céu nublado		Céu claro	
TBU (°C)	22,0	21,6	24,9	25,3
TBS (°C)	25,8	27,1	30,5	32,1
TG (°C)	26,7	29,9	34,2	32,6
UR (%)	73	52	49	42
Vento (m/s)	0,5	0,8	0,8	0,5
PMV	1,84	1,97	2,66	2,74
sensação térmica	quente	quente	muito quente	muito quente
PPD	69,22	75,27	96,22	97,23
PMV _C	1,11	1,18	1,6	1,65
sensação térmica (corrigida)	levemente quente	levemente quente	levemente quente	quente
PPD _C	30,78	34,3	56,15	58,8

6. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos (tabelas 3, 4 e 5) foram construídos gráficos para avaliação comparativa dos valores corrigidos de Voto Médio Estimado (PMVc) e Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PPDc).

Nos gráficos abaixo, a variação dos índices PMVc (Figura 6) e PPDc (Figura 7), agrupados por turno de medição.

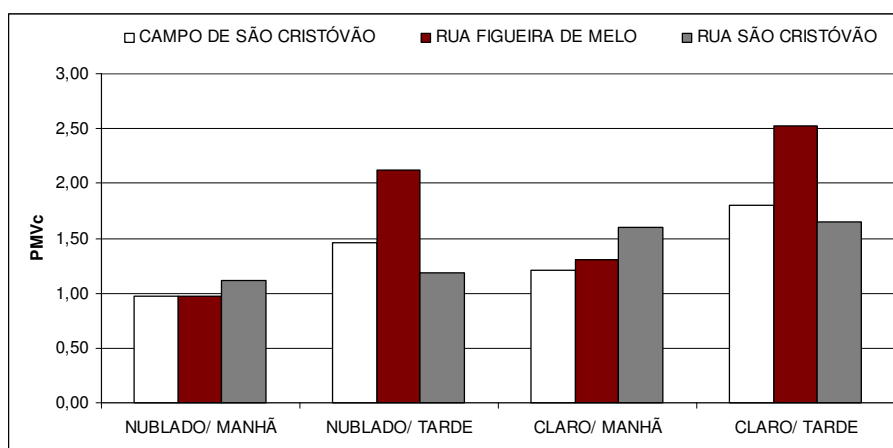


Fig. 6: Variação do PMVc

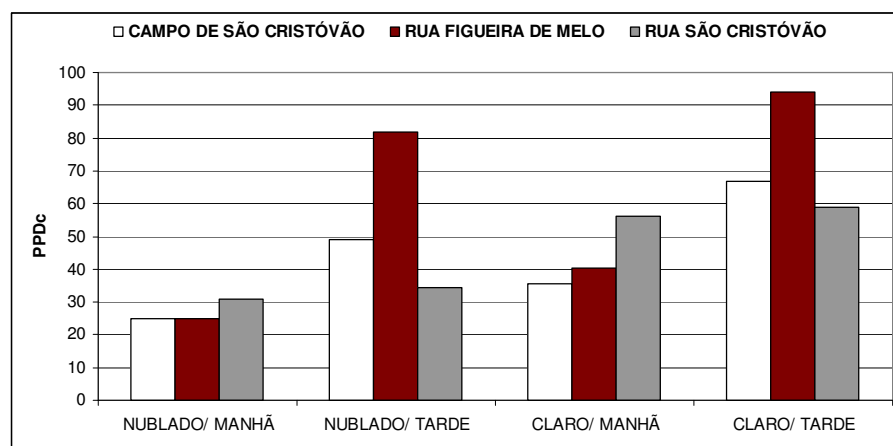


Fig. 7: Variação do PPDc

Os piores desempenhos foram verificados no período da tarde, no ponto de medição (2), localizado na Rua Figueira de Melo, embaixo das pistas do viaduto. Em dia de céu claro, a porcentagem de insatisfeitos foi da ordem de 94%.

A acentuada variação ao longo do dia (Figura 8) pode ser atribuída à presença do viaduto da Linha Vermelha, construído com materiais de grande inércia térmica e ocupando praticamente todo o espaço livre entre os edifícios. No início do dia, a sombra densa projetada sobre a via e as calçadas retarda o ganho térmico por radiação direta. Entretanto, ao longo do dia, as temperaturas (do ar e radiante) aumentam rapidamente devido ao calor emitido pela estrutura do viaduto e pela reduzida área para exaustão de ar quente e poluentes atmosféricos.

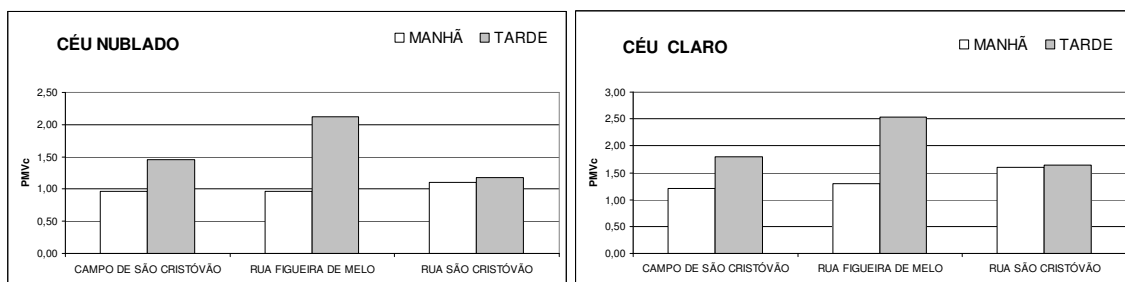


Fig. 8: Variação do PMVc ao longo do dia

O ponto (3), localizado na Rua São Cristóvão, foi o que apresentou a menor variação dos índices de conforto entre os períodos da manhã e da tarde. Esta estabilidade pode ser atribuída à presença de farta arborização do passeio. Outro fator a ser destacado é a ventilação constante, favorecida pela largura da via e orientação do eixo da rua.

No ponto (1), situado no Campo de São Cristóvão, a variação de temperatura ao longo do dia pode ser explicada pela forte incidência de radiação solar. Apesar da calçada onde foram realizadas as medições não ser arborizada, no período da manhã, a sombra projetada pelo muro e vegetação do pátio do colégio contribuem para amenizar o desconforto térmico. À tarde, apesar da incidência direta da radiação solar, o aumento da temperatura é parcialmente equilibrado pela ventilação e evapotranspiração das massas vegetais.

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um aspecto de extrema importância é o entendimento do tipo de uso que o espaço deve comportar, para que seu planejamento incorpore as necessidades e o resultado atenda às expectativas de conforto dos usuários. A qualidade do espaço público envolve, além de características puramente formais, aspectos ambientais, sócio-culturais e simbólicos.



Fig. 9: À esquerda, entrada do Colégio Pedro II. À direita, Rua São Cristóvão

Com exceção do Campo de São Cristóvão, o padrão de ocupação dominante nas ruas estudadas, característico dos primeiros bairros da cidade, oferece pouca proteção em relação ao ambiente externo (figura 9). Os edifícios são alinhados na testada dos lotes, com fachadas muito próximas das vias de tráfego (fontes de calor, ruído e poluição). Em muitas situações percebe-se claramente que o alargamento das vias de tráfego foi obtido com a redução do passeio, configurando situações de desconforto não apenas para os pedestres como para os usuários dos edifícios.

A situação mais crítica é encontrada ao longo da Rua Figueira de Melo. A via “coberta” pelo viaduto da Linha Vermelha, aliadas a tipologia característica do comércio popular carioca - lojas com portas abertas direta e permanentemente para a calçada - transformam o interior das lojas uma extensão do ambiente externo.

As características morfológicas e ambientais da Rua Figueira de Melo são determinadas por uma intervenção urbana que pode ser classificada como irreversível, não apenas pelo investimento público em sua construção quanto por seu papel como um dos principais eixos viários da cidade. Neste contexto, as possíveis soluções para a melhoria da qualidade ambiental envolvem, intervenções radicais sobre os edifícios do entorno, melhorando as condições de exaustão do ar (quente e poluído) e reduzindo o bloqueio da iluminação natural (Figura 10).



Fig. 10: À esquerda, contato da estrutura do viaduto com beiral da loja. À direita, sombra projetada pelo viaduto sobre via transversal.

A pesquisa constatou que, apesar do impacto decorrente da implantação da via expressa, em ruas do entorno, a combinação de topografia, arborização e diferentes padrões de uso e ocupação do solo criam situações de relativo conforto térmico.

7. REFERÊNCIAS

Ching, F. D. (1998) **Arquitetura, Forma, Espaço e Ordem**. Martins Fontes, São Paulo.

Fanger, P. (1970) **Thermal Comfort: Analysis and Application in Environmental Engineering**. Danish Technical Press, Dinamarca.

_____. (2002) Extension of the PMV Model to Non-air-conditioned Buildings in Warm Climates, **Energy and Buildings**, n. 34, pp. 533-536.

ISO 7730 (1994) **Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort**. Genebra, Suíça. 1994.

Lynch, K. (1981) **A Theory of Good City Form**, MIT Press, Cambridge.

Nicol, F. (2004) Adaptive Thermal Comfort Standards in the Hot-humid Tropics. *Energy and Buildings*, n. 36, pp. 628-637.

Niemeyer, M. L. **Conforto Acústico e Térmico, em Situação de Verão, em Ambiente Urbano: Uma Proposta Metodológica**. Tese de Doutorado COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro. 2007.

Santos, C. N. F. (1985) **Quando a rua vira casa**. Projeto, São Paulo.

Zambrano, L., Malafaia, C., Bastos, L. (2006). Evaluation of the Terms of Thermal Comfort in Outdoor Space of Tropical Humid Climate, **Proceedings of the 23rd Passive and Low Energy Architecture**, Genebra, Suíça.