

VENTILAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS: ABORDAGEM ADAPTATIVA E INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DO AR

Maíra Oliveira Pires (1); Fernando Simon Westphal (2)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,
maira.opires@gmail.com

(2) Dr, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, fernando.sw@ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de
Conforto Ambiental, Caixa Postal 470, Florianópolis - SC, 88040-970, Tel.: (48) 3721-4974

RESUMO

Arquitetura adequada ao clima tem como característica inerente a proposição de conforto ao seu usuário com baixo consumo de energia. Dessa forma, o modelo adaptativo de conforto térmico, em desenvolvimento desde a década de 70, e atualmente em uso nas normas EN 15251 – 2007 e ASHRAE 55 – 2013 como método opcional destinado a ambientes naturalmente ventilados, propõe um olhar dinâmico sobre a pesquisa em conforto térmico, a partir do paradigma de que as pessoas são agentes ativos no estabelecimento do seu estado de conforto. O principal atributo do método é a determinação de intervalos de temperatura de conforto do ambiente interno a partir da temperatura externa predominante. Ambas as normas, assim como muitos estudos recentes, apontam o uso da velocidade do ar como fator de correção dos limites de conforto determinados pela abordagem adaptativa. A cidade de Florianópolis apresenta um regime de ventos favorável ao uso da ventilação natural como estratégia passiva de condicionamento, pois apresenta velocidades do ar superiores a 2 m/s em mais de 80% do ano. Neste contexto, com o objetivo de investigar a influência da velocidade do ar na sensação de conforto térmico dos usuários de ambientes de escritórios naturalmente ventilados em Florianópolis, foi conduzida uma análise dessa influência por meio da abordagem adaptativa de análise de conforto térmico. As análises entre velocidade do ar e percepção dos indivíduos em relação ao seu contexto térmico e movimentação do ar foram realizadas a partir de dados (variáveis ambientais e pessoais) adquiridos em campo como parte de uma pesquisa de conforto térmico em ambientes de escritórios naturalmente ventilados em Florianópolis. A pesquisa de campo foi realizada no período de maio de 2014 a janeiro de 2015, envolveu quatro ambientes distintos, 72 questionários aplicados, totalizando 455 votos de percepção térmica. Os resultados mostraram uma alta aceitabilidade da população pesquisada em relação ao seu ambiente térmico, 89%. No entanto, a insatisfação dos pesquisados em relação a baixa movimentação de ar é evidente no período de clima quente da pesquisa, pois 70% dos votos de preferência em relação a movimentação do ar representavam o desejo por maior velocidade do ar.

Palavras-chave: conforto térmico, ventilação natural, abordagem adaptativa, escritórios, Florianópolis.

ABSTRACT

To provide comfort to the user without spending more energy for this is an inherent feature of the architecture suitable to the climate. Thus, the adaptive model of thermal comfort, in development since the 1970s, and currently in use in standards EN 15251-2007 and ASHRAE 55-2013 as an optional method for the naturally ventilated environments, proposes a dynamic look at the research in thermal comfort, from the paradigm that people are active agents in the establishment of their state of comfort. The main attribute of this approach is the determination of thermal comfort temperature ranges of the internal environment from the outdoor air temperature. Both standards, as well as many recent studies, have recommended the use of air speed as a factor of correction of comfort limits determined by the adaptive approach. The city of Florianópolis has a system of favorable winds to the use of natural ventilation as a passive strategy of conditioning, since it is characterized by a wind speed greater than 2m/s over 80% of the year. In this context, an analysis of the influence of air speed on thermal comfort in offices spaces in Florianópolis was conducted according to the adaptive approach to thermal comfort analysis, in order to investigate the influence of air speed on thermal comfort. Analyses of air speed and subject's perceptions about its thermal

environment and air movement were made from field data (environmental and personal variables) acquired in the field study as part of a thermal comfort research in naturally ventilated office spaces held in Florianópolis. The field study was conducted from May 2014 to January 2015, and involved four different spaces, 72 thermal environment survey, totaling 455 thermal comfort votes. The results showed high acceptability of the population investigated in relation to their thermal environment, 89%. However, the dissatisfaction of subjects about low air movement is evident in the period of hot weather research, because 70% of the preferential votes for air movement represented the desire for greater air speed.

Keywords: thermal comfort, natural ventilation, adaptive model, office spaces, Florianópolis.

1. INTRODUÇÃO

A abordagem adaptativa de conforto térmico tem como princípio que se mudanças no ambiente térmico ocorrem a ponto de causar desconforto, as pessoas irão reagir em busca de restaurar seu estado de conforto (NICOL, HUMPHREYS, 2002). De uma forma geral, a temperatura de conforto, segundo esta abordagem, é resultante das interações entre o sujeito e o ambiente ocupado. "A interação entre o ocupante e a edificação é crucial para a abordagem adaptativa de conforto térmico, já que a grande maioria de edificações passivas exigem que seus ocupantes tenham uma posição ativa em relação ao controle do seu ambiente" (Santamouris, 2007, p.3). O uso de estratégias passivas de condicionamento, como a ventilação natural para os períodos de clima quente, pode ser uma resposta da arquitetura à necessidade de viabilizar edificações energeticamente mais eficientes, já que grande parte do consumo energético das edificações se dá em decorrência do aumento no uso de equipamentos de condicionamento de ar. Dentre os fatores que intensificaram o processo de expansão do uso desses equipamentos nos últimos anos, destacados por Santamouris (2007), estão a adoção de um estilo massificado de Arquitetura ditado pelo mercado, que não considera questões climáticas locais e resulta em um aumento na demanda de energia nos períodos quentes; e aumento da temperatura, particularmente em ambientes urbanos, devido ao fenômeno de Ilha de Calor.

A ventilação natural deve ser pensada de forma integrada ao projeto do edifício a fim de ser mais facilmente reconhecida e apropriada pelo usuário. Conforme Bittencourt e Cândido (2005) a ventilação é apontada, frequentemente, como a estratégia bioclimática mais eficiente para obtenção de conforto térmico nos espaços urbanos e arquitetônicos, apresentando-se como uma importante estratégia bioclimática na busca de conforto térmico para localidades que apresentam clima quente e úmido, já que o movimento do ar favorece as trocas de calor entre a pele e o meio, através da convecção e evaporação. A remoção de carga térmica da edificação através da ventilação natural contribui também com a redução do consumo de energia decorrente da utilização de sistemas de condicionamento de ar. Essa estratégia também tem a função de manter a qualidade do ar promovendo a renovação de ar mínima permanente, e ainda pode atuar no resfriamento estrutural da edificação, aliado à inércia térmica. A influência da inércia térmica e da ventilação natural enquanto processos de condicionamento passivo e suas implicações no conforto térmico dos ocupantes são investigados em Goulart (2004). Os processos responsáveis pela troca de ar entre o ambiente externo e interno de uma edificação são as componentes térmica e eólica, que são determinadas por diferença de temperaturas e diferença de pressão entre os meios, respectivamente. Elementos como: a densidade da área urbana; largura e altura dos edifícios; orientação das ruas e avenidas; disposição, dimensão e desenho de espaços abertos e áreas verdes são determinantes na ação dos ventos, principalmente no que tange às abordagens a nível urbano (meso clima) e do edifício (micro clima).

Para a análise de conforto térmico sob a ótica do modelo adaptativo entende-se que edificações passivas, ou naturalmente ventiladas (*free-running buildings*) são aquelas que no momento da pesquisa não estão sendo aquecidas nem resfriadas artificialmente (NICOL, 2004). A relação entre o clima interno e externo se apresenta como eixo fundamental da abordagem adaptativa e diversas relações estatísticas entre neutralidade térmica interna (temperatura de conforto) e clima externo foram exploradas, conforme Dear *et al.* (1997); Nicol e Humphreys (2002); Auliciems, Szokolay (2007); Nicol, Humphreys, Roaf (2012).

O uso da velocidade do ar para ampliar este intervalo de conforto está integrado ao modelo adaptativo nas normas internacionais que o trazem como método opcional de análise direcionado a ambientes naturalmente ventilados (ASHRAE Std. 55-2013 e EN 15251-2007). Além disso, o aumento da velocidade do ar para compensar a sensação de calor provocada pelo aumento da temperatura tem sido amplamente investigado. Em pesquisas de campo realizadas em 1973 no norte da Índia e Iraque, Nicol já havia constatado que a presença de movimento do ar poderia representar uma sensação equivalente a redução de 4°C na temperatura. Já em 1999, com análises de dados extraídos no Paquistão, sugeriu que para temperaturas

internas maiores que 25 °C a velocidade do ar deveria estar acima de 0,45 m/s (NICOL, 2004). Cândido *et al.* (2011) fazem as seguintes recomendações de velocidade mínima do ar para 90% de aceitabilidade: para temperaturas entre 24 °C e 27 °C, velocidade mínima do ar de 0,4 m/s; De 27 °C a 29 °C, velocidade mínima do ar de 0,41 m/s a 0,8 m/s; E entre 29 °C e 31 °C, a velocidade mínima do ar recomendada é superior a 0,8 m/s. Por outro lado, pesquisas recentes tem mostrado as dificuldades de se obter altas velocidades do ar em ambientes de escritórios, como Indraganti *et al.* (2014), que em um estudo de campo constataram que as velocidades do ar interna registradas em Chennai não chegam a 0,60 m/s, e em Hyderabad não atingem os 0,20 m/s, mesmo havendo amplas evidências na literatura sobre o aproveitamento da ventilação natural na Índia. Indraganti, Ooka e Rijal (2013), no Japão, também em pesquisas de campo, mostraram que em 70% dos ambientes naturalmente ventilados pesquisados, a velocidade do ar máxima registrada foi 0,18 m/s. Esses valores encontrados em campo são muito inferiores às recomendações da ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) para ampliar o limite de temperatura operativa em ambientes controlados por seus ocupantes, que são 0,6 m/s (para ampliar em 1,2 °C), 0,9 m/s (para ampliar em 1,8 °C) e 1,2 m/s (para ampliar em 2,2 °C). Além disto, Indraganti, Ooka e Rijal (2013) alertam que, diferentemente de ambientes residenciais, a alta velocidade do ar em ambientes de escritórios pode provocar situações inconvenientes como movimentação excessiva de papéis, cabelos e roupas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é investigar a influência da velocidade do ar na sensação de conforto térmico de usuários de ambientes de escritórios naturalmente ventilados em Florianópolis.

3. MÉTODO

O método adotado neste trabalho consiste em uma análise da influência da velocidade do ar na sensação de conforto térmico por meio da abordagem adaptativa e dados adquiridos em pesquisa de campo. A análise baseia-se na relação sujeito – clima – edificação, base do pensamento adaptativo (NICOL *et al.*, 2012) e por isso, divide-se em três etapas principais: Caracterização da pesquisa de campo (clima, ambientes estudados e procedimentos de medição); comparação entre percepção em relação ao ambiente térmico e velocidade do ar; análise sobre a interação do usuário com a edificação em busca do conforto térmico e comportamento do ambiente frente ao clima.

3.1. Contexto da pesquisa de campo

As investigações em campo foram realizadas entre maio de 2014 e janeiro de 2015 e divididas em três períodos de acordo com o clima: período ameno, frio e quente; totalizando oito dias de medições e aplicação de questionário sobre percepção e preferências térmicas, nos turnos da manhã e tarde.

3.1.1. Clima de Florianópolis

Florianópolis, cidade de considerável amplitude térmica sazonal, gera desafios quanto ao uso da ventilação natural como estratégia passiva de conforto térmico, uma vez que deve ser aproveitada de forma seletiva, pois deve ser evitada nos períodos de clima mais extremo, seja para frio ou calor.

Mendonça e Oliveira (2007) classificam Florianópolis como Clima Subtropical Úmido com inverno fresco a frio, caracterizado por uma regularidade na distribuição anual da pluviometria e acentuada variabilidade térmica, tanto espacial como temporalmente. Tais características climáticas são controladas pelo predomínio de altas temperaturas, elevada precipitação e conteúdo de umidade atmosférica, sendo os verões quentes e invernos frios controlados pela atuação de massas Polar Marítimas do Atlântico. Dessa forma, as bruscas mudanças no tempo verificadas em qualquer estação do ano ocorrem quando os dias quentes e úmidos são modificados pelo avanço de frentes frias polares. Mendonça e Lombardo (2008) esclarecem que no inverno as mudanças são sempre precedidas pela elevação da temperatura e a frente é sucedida por ondas de frio causadas pelas massas polares. No verão, as condições do clima registram a instalação de massas de ar polar por meio da mudança da direção dos ventos, que passam a soprar a partir do sul e não mais do nordeste. Os ventos predominantes em Florianópolis são provenientes do quadrante norte, entretanto os mais velozes são provenientes do quadrante sul, associados às massas de ar Tropical Marítima e Polar Marítima do Atlântico. Assim, o vento sul antecede a entrada das frentes frias e do ar Polar Marítimo. A atuação da massa de ar Polar Marítima, também é responsável pelas grandes amplitudes térmicas diárias e possíveis índices de umidade relativa inferiores a 50%, ainda que devido a influência da maritimidade a umidade relativa média de Florianópolis seja alta, por volta de 80%.

Os gráficos representados na Figura 1e na Figura2 trazem as informações de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os 12 meses do ano, respectivamente. O regime dos ventos também pode ser

conhecido por meio dos dados de arquivos climáticos. A frequência de ocorrência de velocidades e direção dos ventos pode ser vista nos gráficos da Figura 3 e da Figura 4. O arquivo de referência utilizado na consulta é do formato EPW e é resultante de medições registradas no aeroporto Internacional Hercílio Luz.

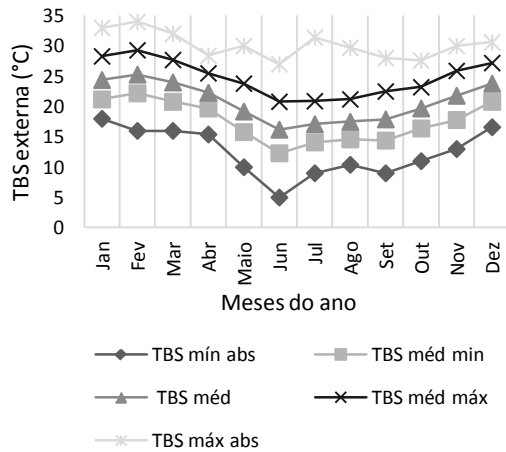


Figura 1 - TBS externa em Florianópolis

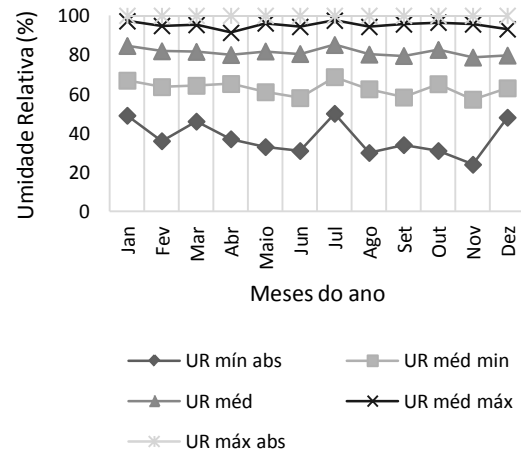


Figura 2 - Umidade relativa externa em Florianópolis

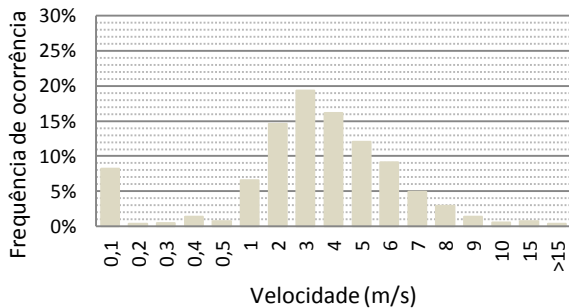


Figura 3 - Velocidade dos ventos em Florianópolis

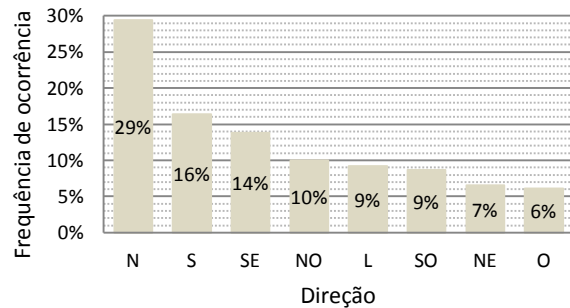


Figura 4 - Direção dos ventos em Florianópolis

3.1.2 Ambientes pesquisados

Os quatro escritórios que participaram dos levantamentos de dados estão localizados nos bairros Trindade e Córrego Grande, bairros que circundam o campus da Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de Florianópolis.

Estes ambientes foram escolhidos de acordo com os seguintes critérios: possuir janelas operáveis e disponíveis a todos os usuários; apresentar atividade sedentária (e semelhante entre eles); não ter equipamento de condicionamento de ar em operação no dia em questão; disponibilidade dos ocupantes e responsáveis pelo espaço em contribuir com a pesquisa. As três primeiras características dizem respeito a aplicabilidade do modelo adaptativo de conforto térmico. Já a última condição é um fator determinante para a pesquisa, pois o bom andamento do experimento em campo e a confiabilidade dos dados adquiridos por meio dos questionários dependem muito da dedicação dos indivíduos pesquisados em contribuir de forma sincera para a pesquisa e também de facilitar o trabalho do pesquisador em campo. As tipologias arquitetônicas que emergiram a partir destas condições de trabalho são bastante variadas, e representativas do momento de transição urbana que passa a região da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis.

O escritório 01 encontra-se no quinto andar de um edifício comercial de duas torres localizado na via principal do bairro Trindade, a rua Lauro Linhares. O edifício apresenta um pavimento térreo de pé direito duplo, um pavimento de estacionamentos e torre de 8 andares. O ambiente de estudo apresenta duas paredes externas, orientadas a nordeste e sudeste. O conjunto de aberturas apresenta peitoril de vidro fixo e folha do tipo maxim ar na parte superior. Cada janela é composta por quatro folhas de vidro, duas fixas e duas móveis. A fachada sudeste, a maior, apresenta duas janelas, já a noroeste apresenta uma. As paredes externas apresentam aproximadamente 60% de sua superfície envidraçada e não há proteção solar externa nas janelas. Internamente, usa-se persianas horizontais. O escritório 02 encontra-se em uma casa, localizada na rua Gonçalves Lêdo, bairro Trindade. O ambiente apresenta planta em "L" e foi setorizado para a realização do experimento. O setor elegido para ser monitorado apresenta duas paredes externas orientadas a noroeste e

sudoeste, cada uma com uma janela de abertura de correr, composta por quatro folhas de vidro, duas fixas e duas móveis. As janelas são altas e não permitem contato visual com o exterior aos indivíduos em suas posições de trabalho, elas apresentam proteção solar externa configurada por uma série de pequenas aletas horizontais. As plantas e fotos dos ambientes 01 e 02 estão na Figura 5 e na Figura 6, respectivamente.

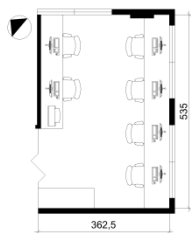


Figura 5 - Ambiente 01 - Trindade

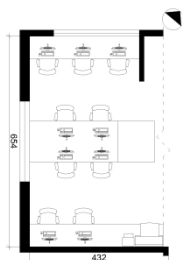


Figura 6- Ambiente 02 - Trindade

O escritório 03 localiza-se no terceiro andar de um edifício de cinco pavimentos, na região central do campus da Universidade Federal de Santa Catarina, Trindade. Este foi o maior ambiente pesquisado, e também necessitou ser setorizado. O setor escolhido para monitoramento apresenta uma parede externa orientada a oeste com aproximadamente 85% de sua superfície envidraçada. Esta fachada apresenta dois jogos de esquadrias divididos em 12 planos de vidro, quatro linhas verticais e três horizontais. Os peitoris são de vidro fixo, já as partes centrais e as bandeiras são folhas de abrir do tipo maxim ar. As janelas apresentam proteção solar externa na porção superior (aproximadamente um terço da altura da janela) configurada por planos de concreto distantes 60 cm das janelas. Internamente, usa-se persiana horizontal de cor branca. O escritório 04 está no segundo andar de um prédio comercial na rua João Pio Duarte Silva, via principal do bairro Córrego Grande. O prédio apresenta lojas térreas com pé direito duplo e oito escritórios no segundo pavimento. O ambiente apresenta uma parede externa, orientada a sul. O conjunto de aberturas apresentam uma pequena faixa de peitoril de vidro fixo e folha do tipo maxim ar na parte superior. A janela é composta por quatro folhas de vidro, duas fixas e duas móveis. A parede externa apresenta aproximadamente 60% de sua superfície envidraçada e não há proteção solar externa nas janelas. Internamente, usa-se persianas horizontais. A Figura 7 e Figura 8 a trazem as plantas e fotos dos ambientes 03 e 04, nesta ordem.

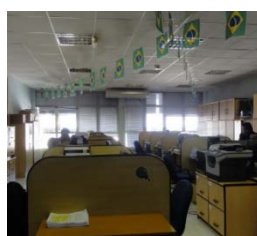
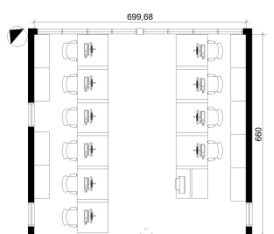


Figura 7- Ambiente 03 - Trindade

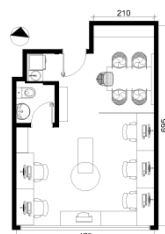


Figura 8 - Ambiente 04 - Córrego Grande

3.1.3 Procedimentos de medição

As visitas em campo ocorreram durante oito dias, dois no período ameno, três no período frio e três no período quente, com medições das variáveis ambientais durante o turno da manhã e tarde, e aplicação de questionários durante duas horas em cada turno. Os votos de percepção e preferência térmica foram solicitados em intervalos de 20 minutos, contabilizando 7 votos por turno, e a aplicação dos questionários começava 1 hora após o início das atividades nos escritórios estudados, ou seja, no turno da manhã o levantamento de dados iniciava entre 9h e 10 h, e a tarde entre 14 e 15 h.

Os ambientes foram monitorados com os seguintes equipamentos: Estação microclimática SENSU programado para registrar as variáveis ambientais internas em intervalos de 5 minutos; Medidor eletrônico de temperatura do ar e umidade (datalogger) HOBO Onset programado para registrar as variáveis externas em intervalos de 5 minutos; e Termoanemômetro portátil de fio quente ALNOR. O uso deste equipamento teve foco no período quente da pesquisa, e os registros foram realizados em intervalos de 20 minutos, assim como as respostas do indivíduos sobre o ambiente térmico. Nas primeiras fases de medições, por conta do clima ameno a frio, a velocidade do ar foi monitorada por meio da estação microclimática SENSU, já que a movimentação do ar nos ambientes não era significativa por conta das janelas fechadas na maioria dos experimentos.

O questionário aplicado dividia-se em duas partes, a primeira visava conhecer o entrevistado, por meio de suas características físicas e pessoais, vestimentas usadas no momento da entrevista, localização no ambiente pesquisado, e hábitos relacionados ao conforto térmico e ajustes do seu ambiente térmico; e a segunda, consistia na atribuição dos votos de sensação, preferência e aceitabilidade em relação ao ambiente térmico e movimentação do ar experimentados no exato momento das medições.

3.2. Comparação entre percepção em relação ao ambiente térmico e velocidade do ar

3.2.1. Aceitabilidade Térmica e velocidade do ar

Aceitabilidade térmica pode ser definida como a expressão da satisfação térmica com um ambiente e é usada para determinar o intervalo de temperatura aceitável, ou seja, a zona de conforto deste ambiente térmico. Na presente pesquisa foi fornecida a opção binária de resposta, “aceitável” e “inaceitável”. Tradicionalmente, a aceitabilidade térmica refere-se a temperatura operativa do ambiente em questão, mas como o propósito deste trabalho é discutir a velocidade do ar como elemento de conforto térmico, ela foi identificada entre os votos de não aceitabilidade no período quente da pesquisa a fim de investigar uma possível relação.

3.2.2. Sensação Térmica e velocidade do ar

A sensação térmica pode ser abordada como um indicador da percepção térmica de um indivíduo que combina as variáveis do ambiente térmico com as variáveis pessoais. Ela é adquirida por meio da escala sétima de sensação térmica da ASHRAE, que apresenta as seguintes categorias: com muito calor (3), com calor (2), levemente com calor (1), neutro (0), levemente com frio (-1), com frio (-2) e com muito frio (-3). Tratando-se da abordagem adaptativa, a sensação térmica também é relacionada às temperaturas medidas no ambiente, seja temperatura operativa, do ar ou de globo. As velocidades do ar registradas em campo no período da pesquisa foram relacionadas aos votos de sensação térmica informados pelos questionários no mesmo período.

3.2.3. Aceitabilidade e preferência em relação a velocidade do ar

As questões “*Como você se sente em relação ao movimento do ar?*” e “*Qual sua preferência em relação ao movimento do ar?*” foram realizadas nos três períodos da pesquisa (ameno, frio e quente), mesmo que nos períodos de clima ameno e frio não tenham sido realizadas medições individuais de velocidade do ar. As respostas a estes questionamentos forneceram uma relação mais direta do indivíduo com a velocidade do ar ocorrente no ambiente pesquisado.

3.3. Análise sobre a interação do usuário com a edificação

O nível de atuação do sujeito no ato de adaptar-se está fortemente ligado a fatores exteriores a ele, seu contexto, que Dear *et al.* (1997, p. 8) definem como “oportunidades adaptativas” (*Adaptive opportunity*). Por meio do questionário abordou-se os tipos de controle de conforto térmico utilizados pelos indivíduos; em campo observou-se as características da edificação (localização, orientação e tipo das aberturas, existência ou não de proteção solar externa e persianas internas) e a atuação dos usuários no ambiente (abertura e fechamento de janelas e persianas).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 População investigada

Foram aplicados 72 questionários nos oito dias de experimento. Destes, 59,7% eram mulheres e 40,3% eram homens. Os ambientes 01, 02 e 04 são escritórios de arquitetura, e o ambiente 03 exerce atividades administrativas. As médias de idade foram 27 anos para o escritório 01 e 02; 30 anos para o escritório 03; e 29 anos para o escritório 04. O gráfico da Figura 9 traz a frequência de ocorrência de mulheres e homens para cada ambiente analisado. Vê-se a frequência de ocorrência no eixo (y) e os ambientes investigados no eixo (x).

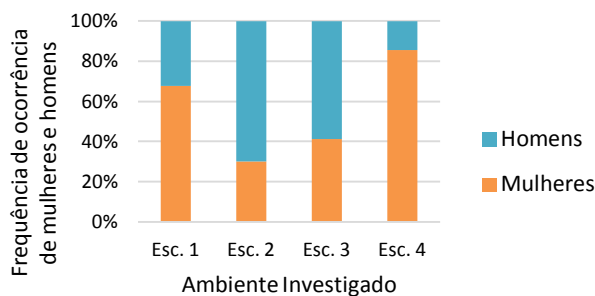


Figura 9 - Gênero da população pesquisada para cada escritório

4.2 Percepção em relação ao ambiente térmico e velocidade do ar

As velocidades do ar registradas nos levantamentos em campo realizados no período de verão foram extremamente baixas, com velocidade média de 0,09m/s e registro máximo de 0,30 m/s. A insatisfação dos pesquisados em relação a baixa movimentação de ar é evidente neste período da pesquisa, já que 70% dos votos representavam o desejo por maior velocidade do ar. Os ambientes apresentaram alguns picos de velocidade acima de 0,30m/s, entre intervalos de votos, que ocorreram no período da tarde, chegando a 0,80 m/s em curtos e esporádicos momentos. De uma forma geral, as velocidades do ar aumentavam no decorrer do dia. O gráfico de barras da Figura 10 traz a frequência de ocorrência de intervalos de velocidade do ar, definidos a partir das velocidades do ar registradas nas investigações do período de clima quente, aproximadamente, durante cada voto de sensação e preferência térmica informada pelo indivíduo pesquisado no questionário.

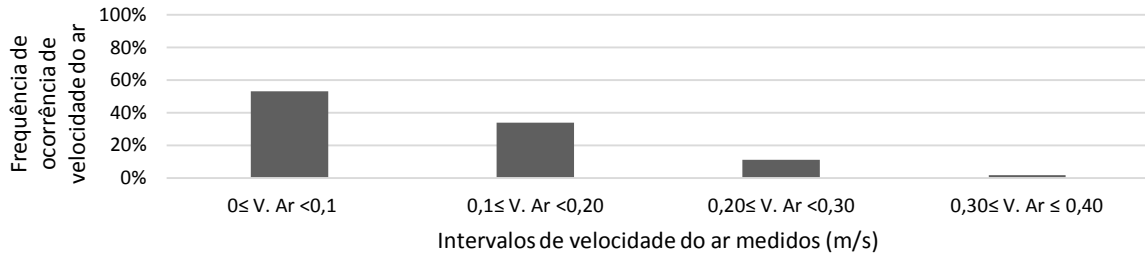


Figura 10 - Frequência de ocorrência de velocidade do ar no período de clima quente da pesquisa

4.2.1 Aceitabilidade Térmica e velocidade do ar

As condições ambientais dos escritórios investigados para os três períodos da pesquisa apresentaram 76,3% registros de conformidade com o intervalo de temperatura correspondente a 80% de aceitabilidade determinado pela ASHRAE Std. 55 (2013). Desses, 8,1% disseram que o ambiente térmico era inaceitável, o que significa que 70% dos 455 votos da pesquisa consideraram o ambiente térmico aceitável e estavam dentro do intervalo de 80% de aceitabilidade. Para o intervalo de 90% de aceitabilidade, a conformidade dos votos de aceitabilidade ao modelo reduz para 40% dos votos. O gráfico da Figura 11 apresenta os votos de aceitabilidade e não aceitabilidade para os três períodos da pesquisa em função das temperaturas operativas, eixo (y), e temperaturas externas predominantes, eixo (x), com a marcação dos intervalos de conforto determinados pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013). A relação entre a não aceitabilidade ao ambiente térmico para o período quente da pesquisa e as velocidades do ar ocorridas está ilustrada no gráfico da Figura 12 e também se apresenta em função das temperaturas operativas, eixo (y), e temperaturas externas predominantes, eixo (x), com a marcação dos intervalos de conforto determinados pela mesma norma.

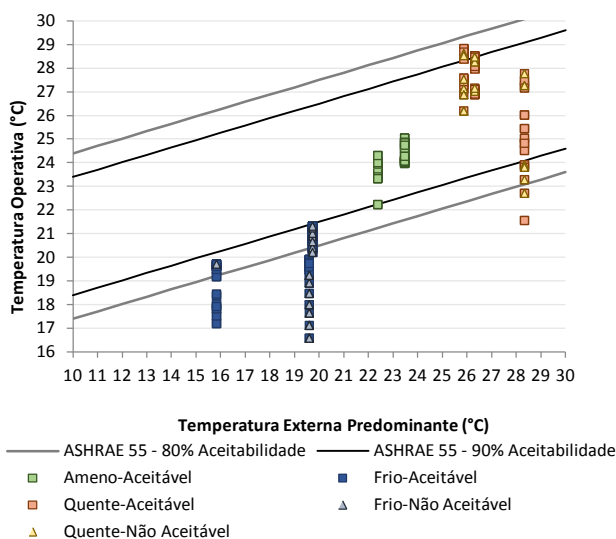


Figura 11 Aceitabilidade ao ambiente térmico nos três períodos da pesquisa

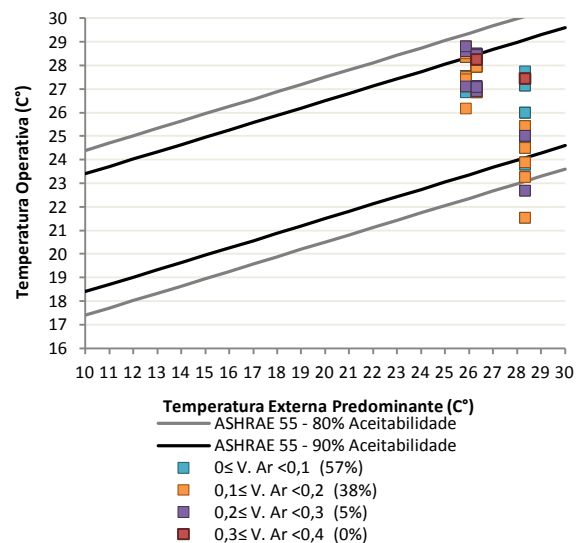


Figura 12 - Não aceitabilidade ao ambiente térmico no período quente da pesquisa e intervalos de velocidade do ar

O olhar sobre a aceitabilidade ao ambiente térmico das investigações do período quente em função da velocidade do ar permite observar que as movimentações do ar proporcionadas pelas edificações em questão

não são suficientes para auxiliar nas trocas de calor do indivíduo com o ambiente, seja essa sensação de calor causada por conta de altas temperaturas ou por conta de índices de umidade relativa do ar mais elevados. Isso mostra a dificuldade em se ampliar as faixas de temperatura operativa aceitável a partir de velocidade do ar acima de 0,3 m/s, como sugere a ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) sem o auxílio de equipamentos auxiliares como ventiladores, tratando-se apenas do que as edificações podem proporcionar.

4.2.2 Sensação Térmica e velocidade do ar

Mesmo que seja um parâmetro de alta variabilidade, percebe-se que a velocidade do ar pode interferir na sensação térmica dos indivíduos, pois os votos de sensação fora do eixo entre -1 e 1, no período quente da pesquisa ocorreram sob velocidades inferiores a 20 m/s, em sua grande maioria. Dentre os votos de sensação térmica equivalente a “com calor” (VST = 2), 57% era referente a velocidade do ar inferior a 0,1 m/s e 38% ocorreram com velocidades entre 0,1 m/s e 0,2 m/s. O gráfico da

Figura 13 traz no eixo (y) os votos de sensação térmica acusados pelos indivíduos nas investigações em campo do período quente, e no eixo (x) as temperaturas operativas medidas em campo. Os votos de sensação térmica estão classificados por intervalos de velocidade do ar definidos a partir das velocidades monitoradas em campo com o termoanemômetro portátil.

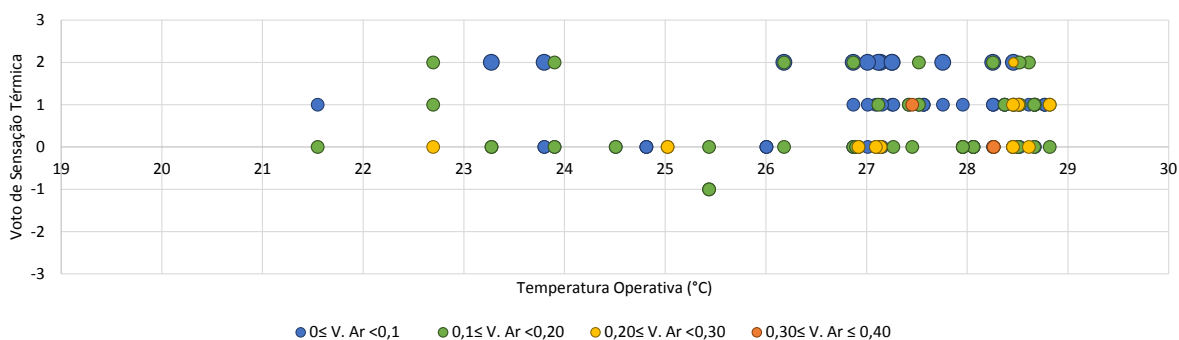


Figura 13- Sensação térmica dos indivíduos no período de clima quente da pesquisa classificada por intervalos de velocidade do ar

4.2.3 Aceitabilidade e preferência em relação a velocidade do ar

Nos períodos ameno e frio não foram realizadas medições individuais de velocidade do ar. Apenas a medição em um único ponto com a estação microclimática foi efetuada. No entanto, as questões “*Como você se sente em relação ao movimento do ar?*” e “*Qual sua preferência em relação ao movimento do ar?*” foram feitas para os três períodos da pesquisa e as respostas mostraram que 52% e 70% dos indivíduos não desejavam alteração na velocidade do ar, para o período ameno e frio, respectivamente. Já para o período quente, 70% dos indivíduos preferiam maior movimentação do ar. A sensação em relação ao movimento do ar para os três períodos da pesquisa é trazida no gráfico da Figura 14, onde se observa que os contextos aos quais os indivíduos estavam expostos eram em sua grande maioria aceitáveis, mas divididos entre movimento do ar suficiente e pouco movimento do ar. O gráfico traz a frequência de ocorrência das sensações sobre movimentação do ar no eixo (y) e as sensações classificadas por aceitável e inaceitável no eixo (x).

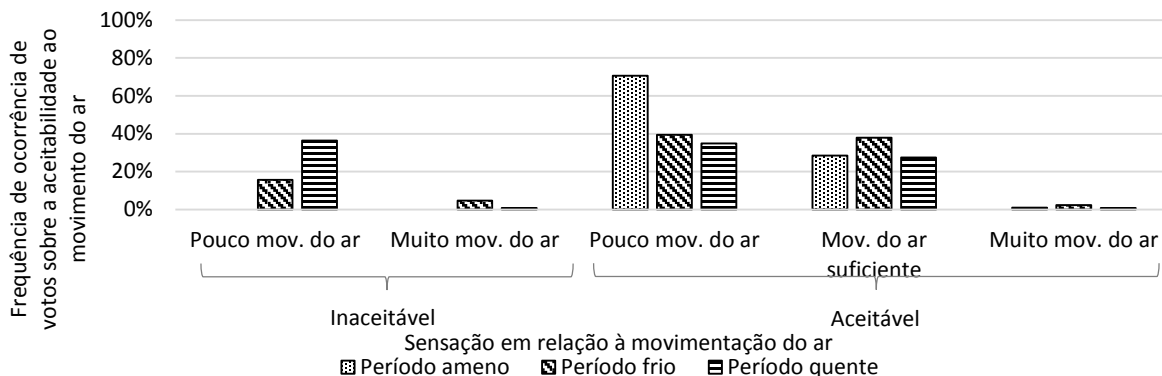


Figura 14- Sensação em relação a movimentação do ar para os períodos de clima ameno, frio e quente da pesquisa

4.3 Oportunidades adaptativas: Interações entre usuário e ambiente

A grande maioria dos pesquisados, 94,4% declara que utiliza algum tipo de controle de conforto térmico (janelas, persianas ou ar-condicionado). Dentre os que declararam não utilizar algum tipo de controle, 75%

são usuários do maior e mais populoso ambiente pesquisado, o Escritório 03, e 25% são usuários do segundo ambiente de maior área e maior população, o Escritório 02. Todos os pesquisados informaram não usar ventiladores no ambiente de trabalho.

No escritório 01 foi possível observar, e os relatos sobre desconforto visual confirmam, que as persianas somente são abertas quando se abrem as janelas, pois com o vento elas se movimentam e geram ruído. Dessa forma, apenas duas janelas são modificadas pelos usuários neste ambiente, uma em cada fachada e sempre as mesmas. A fachada nordeste recebe radiação solar direta no período da manhã durante todo o ano. Já a fachada sudeste recebe insolação nas primeiras horas da manhã durante o verão, o que faz com que o escritório inicie o dia com temperaturas elevadas na maior parte do ano. Ambas fachadas apresentam entorno desobstruído, o que facilita o aproveitamento da ventilação natural, principalmente oriunda do quadrante nordeste, ventos mais frequentes em Florianópolis, inclusive durante o verão. Esse ambiente apresenta a maior oferta de velocidade do ar dos ambientes pesquisados. Nele observou-se que a partir de uma velocidade de 0,30 m/s papéis fixados na parede se movem, e acima de 0,45 m/s a velocidade do ar provoca a movimentação de persianas e por volta da velocidade de 0,60 m/s os papéis sobre as mesas voam.

Já no escritório 02 foi possível observar durante todo o dia de experimento indivíduos sentados próximo as janelas abrindo e fechando as mesmas, ora pela necessidade de renovar o ar do ambiente, ora por estarem sentindo frio. Mesmo que a medição de velocidade do ar tenha sido pontual neste ambiente e tenha registrado velocidades muito baixas (menores que 0,05m/s), acredita-se que o estímulo em fechar a janela era em decorrência da temperatura do ar, e não da velocidade. Nesse escritório foi realizado somente experimento no período de clima frio, pois a partir de novembro o ar-condicionado já estava sendo usado sistematicamente todos os dias. Sobre o ambiente pesquisado, ambas as fachadas recebem radiação solar direta no período da tarde no verão. No inverno, apenas a fachada noroeste recebe radiação no fim da manhã e início da tarde.

Quanto ao escritório 03, foi possível observar o fechamento de algumas persianas no período da tarde realizado apenas pelas duas pessoas sentadas imediatamente ao lado das janelas. Os vidros foram mantidos fechados durante o dia todo. Assim como no escritório 02, foi realizado somente experimento no período de clima frio, pois a partir de novembro o ar-condicionado já estava sendo usado sistematicamente todos os dias. A fachada recebe radiação solar direta no período da tarde durante todo o ano, sempre com alguma porção sombreada pelo elemento externo. Constata-se que uma circulação de ar substancial neste ambiente é fortemente dependente dos ambientes adjacentes e da porta de acesso ao escritório para que haja a diferença de pressão causada por outras aberturas, já que mesmo com as janelas fechadas observaram-se algumas correntes de ar (de baixa velocidade).

A fachada do escritório 04 está ligeiramente inclinada para o quadrante sudeste, dessa forma, no início das manhãs de verão recebe algumas horas de radiação solar direta, fazendo com que o ambiente inicie os dias de verão com temperaturas elevadas. O aproveitamento da ventilação natural é prejudicado pelo desenho do ambiente, e conseqüente falta de outro acesso ao exterior, já que a fachada apresenta entorno desobstruído, e facilitaria o aproveitamento da ventilação natural oriunda do quadrante sul, o que poderia ser aproveitado nas entradas de frente fria no período do verão. As maiores velocidades registradas no período quente foram entre 0,16m/s e 0,19m/s em alguns pontos. Foi possível observar que as persianas não tiveram sua configuração alterada em nenhum momento dos estudos, permanecendo inteiramente aberta, seja no período frio ou quente (duas medições foram realizadas neste ambiente). No período frio, os vidros foram mantidos fechados e no período de calor, foram mantidos abertos, sem alteração no decorrer do dia.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho mostra uma análise de aceitabilidade ao ambiente térmico de quatro escritórios naturalmente ventilados por meio da abordagem adaptativa, além de relacioná-la, assim como os votos de sensação térmica, às velocidades do ar registradas nos ambientes. Aceitabilidade e preferência em relação a movimentação do ar, e atuação dos indivíduos no seu ambiente térmico também foram estudados e observados. Os votos de aceitabilidade térmica para todo o estudo (período ameno, frio e quente) mostraram que os indivíduos que consideraram o ambiente termicamente aceitável, com voto dentro do intervalo de 80% de aceitabilidade, representavam 70% da população pesquisada; e para o intervalo de 90%, este índice cai para 40% da população. O gráfico da Figura 11 também mostrou a baixa conformidade do modelo adaptativo proposto pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) com as condições ambientais de Florianópolis e as preferências dos usuários de ambientes naturalmente ventilados, por meio da porção de indivíduos que considerava o ambiente termicamente aceitável em temperaturas inferiores aos limites

propostos. Sabe-se que, conforme Indraganti *et al.* (2013, 2014), o voto de aceitabilidade térmica é complexo, já que depende das temperaturas interna e externa, memória térmica, expectativas, controle do ambiente, idade e gênero. Além disso, o termo pode ser entendido como satisfação ou tolerância, podendo refletir ou não um estado de conforto térmico. Esta dualidade pôde ser observada nos levantamentos de dados em campo, já que este questionamento gerou frequentes dúvidas e comentários por parte dos indivíduos no decorrer da pesquisa. No entanto, é a maneira amplamente utilizada em pesquisas de campo segundo a abordagem adaptativa para determinar a zona de conforto deste ambiente térmico, e diante disto, acredita-se que por um lado o modelo adaptativo não teve uma boa adequação à população, clima e ambientes pesquisados, e por outro, os meios de abordar a subjetividade dos pesquisados deve ser melhor investigado.

No tocante a velocidade do ar, a partir dos resultados discutidos, pode-se inferir que a medida que o número de ocupantes de um ambiente aumenta, a taxa de percepção em relação ao controle do ambiente diminui, o que pode influenciar na aceitabilidade dos ocupantes em relação ao uso da ventilação natural. Da mesma forma, o aumento da área do ambiente também pode influenciar na percepção de controle, e no uso efetivo das oportunidades adaptativas por todos os usuários do ambiente, ou seja, a existência de oportunidades adaptativas não garantem o seu uso por todos os ocupantes. Outro fator que mostra a possível restrição do uso da ventilação natural a medida que aumenta a população e tamanho do ambiente é o fato de os dois maiores e mais populosos ambientes pesquisados a partir de novembro já estarem usando equipamentos de condicionamento de ar sistematicamente todos os dias.

A diferença de comportamento da ventilação natural entre os escritórios 01 e 04, ambientes que tiveram medição individual de velocidade do ar no período quente, ilustra o melhor desempenho da ventilação cruzada (01) em detrimento da ventilação unilateral (02) em relação a velocidade do ar. Por outro lado, a ocorrência de velocidades acima de 0,30 m/s, registradas no escritório 01, de forma inesperada pode ser fator de desconforto em decorrência da movimentação de papéis, cabelos e persianas.

Este trabalho mostra, sobretudo, a necessidade de se discutir mais o papel da arquitetura na promoção de conforto térmico por meio da ventilação natural no âmbito das edificações que estão sendo produzidas atualmente. Conforme dados da pesquisa, o uso de equipamentos auxiliares, como ventiladores, não é comum em ambientes de escritórios. O clima e regime de ventos de Florianópolis é favorável ao uso de estratégias passivas durante grande parte do ano, entretanto as velocidades do ar registradas no interior dos ambientes são muito inferiores as referências de literatura para auxiliar na redução de calor; e a instabilidade das velocidades pode surgir como um indicador de desconforto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Std. 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.
- DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE RP - 884. Berkeley, Sydney, Março, 1997.
- BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. Introdução à Ventilação Natural. Maceió: Edufal, 2005. 147p.
- CÂNDIDO, C; DEAR, R; LAMBERTS, R. Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate. Building and Environment, v.46, n.2, p.379-385, 2011.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 15251: Indoor Environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic. Bruxelas, 2007.
- GOULART, Solange V. G. Thermal Inertia and Natural Ventilation – Optimization of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil. TESE.2004 Architectural Association School of Architecture.
- INDRAGANTI, M. *et al.* Adaptive model of thermal comfort for offices in hot and humid climates of India. Building and Environment, v. 74, p. 39–53, abr. 2014.
- INDRAGANTI, M.; OOKA, R.; RIJAL, H. B. Thermal comfort in offices in summer: Findings from a field study under the “setsuden” conditions in Tokyo, Japan. Building and Environment, v. 61, p. 114–132, mar. 2013.
- MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. D. Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MENDONÇA, M; LOMBARDO, M. El clima urbano de ciudades subtropicales costeras atlánticas: el caso de la conurbación de Florianópolis. Revista de Geografía Norte Grande, v. 44, p. 129-141, 2009.
- NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice. Londres: Routledge, 2012.
- NICOL, J. F; HUMPHREYS, M.A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Energy and Buildings, v. 34, n. 6, Pages 563-572, 2002.
- NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice. Londres: Routledge, 2012.
- NICOL, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. Energy and Buildings, v. 36, n. 7, p. 628-637, 2004.
- AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. Thermal Comfort. PLEA: Passive and Low Energy Architecture International. Note 3, 2º ed. 2007.
- SANTAMOURIS. Advances in Passive Cooling. Londres: EARTHSCAN, 2007.