

AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM UM AMBIENTE ACADÊMICO NATURALMENTE VENTILADO LOCALIZADO EM FLORIANÓPOLIS-SC

Carolina Buonocore (1); Izabella Lima (2); Roberta Barros (3); Renata De Vecchi (4); Roberto Lamberts (5)

(1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, carolina_buonocore@yahoo.com.br

(2) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, bellamedeiros@hotmail.com

(3) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, roberta.mlb@gmail.com

(4) Dra Eng. Civil, Arquiteta e Urbanista, renata.vecchi@labeee.ufsc.br

(5) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, roberto.lamberts@ufsc.br

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE/UFSC, Tel.: (48) 3271-2392

RESUMO

As avaliações de conforto térmico por meio dos métodos analítico e adaptativo são feitas a partir de pesquisas empíricas em diversos climas, estações e modos de condicionamento. O presente trabalho, oriundo de uma disciplina de pós-graduação, tem como objetivo avaliar as condições de conforto térmico em um ambiente educacional naturalmente ventilado localizado em Florianópolis/SC, no período de inverno, e se propõe a discutir a adequabilidade dos métodos – provenientes das abordagens analítica (PMV/PPD) e adaptativa. Para esse fim, variáveis ambientais e pessoais foram coletadas por meio de equipamentos e estimadas por questionários, respectivamente; foram também obtidos votos dos usuários em relação ao seu ambiente térmico, utilizados como base para a validação e discussão dos métodos analisados. Concluiu-se que, apesar da amostra de dados ser bastante pequena, o método adaptativo foi considerado o mais adequado para a avaliação de conforto térmico na situação estudada (espaços educacionais ventilados naturalmente, durante o período de inverno), o que já era esperado dado seu escopo. O modelo PMV superestimou a sensação de leve frio dos ocupantes, a qual não foi expressa nos votos coletados por questionários (AMV). Os usuários responderam, em sua maioria, com votos de neutralidade térmica ou de leve calor, optando por permanecer dessa maneira e considerando a condição de movimento do ar interno aceitável. Nas condições de inverno, o ambiente em questão foi considerado termicamente aceitável por 100% dos usuários, mostrando-se compatível à predição de aceitabilidade pelo método adaptativo; no entanto, tal cenário pode não ocorrer durante a estação de verão devido ao status de ambiente naturalmente ventilado.

Palavras-chave: conforto térmico, modelos de avaliação, ambientes naturalmente ventilados.

ABSTRACT

Thermal comfort assessment using analytical and adaptive methods is based on empirical research in different climates, seasons and conditioning types. The aim of this study is to evaluate the thermal comfort conditions in a naturally ventilated educational environment located in Florianópolis/SC, during the winter season, discussing the suitability of the analytical (PMV/PPD) method and the adaptive method. Thus, environmental variables were collected using proper equipment and personal variables were estimated by questionnaires. There were also user's votes related to the thermal environment, which were used as base to validate and discuss the analyzed methods. We concluded that, although the data sample is quite small, the adaptive method was considered the most adequate for the thermal comfort assessment in the studied situation (naturally ventilated educational environment during winter season), and it was already expected given its scope. The PMV model overestimated the light cold sensation of the occupants, which was not expressed in the votes collected by questionnaires (AMV). Users responded mostly with votes of thermal

neutrality or mild heat, opting to remain the same way and considering the condition of internal air movement acceptable. In winter conditions, the environment was considered thermally acceptable by 100% of the users, being compatible with the prediction of acceptability by the adaptive method. However, this scenario may not occur during the summer season because of its naturally ventilated environment condition.

Keywords: thermal comfort, evaluation models, naturally ventilated environments.

1. INTRODUÇÃO

Estudos de conforto térmico humano em ambientes internos são de suma importância para o entendimento das condições de satisfação pessoal, produtividade e saúde, bem como fundamentais à análise de desempenho térmico e energético das edificações, sob a ótica da conservação dos recursos energéticos (NICOL, HUMPHREYS, ROAF, 2012). Nesse sentido, avaliações de conforto térmico por meio de métodos baseados nas abordagens analítica (PMV/PPD) e/ou adaptativa são desenvolvidas por meio de pesquisas empíricas em diversos climas, estações e modos de condicionamento, no intuito de verificar a adequabilidade dos referidos métodos – dada a aproximação ou não em relação às percepções de conforto dos usuários.

O modelo do PMV/PPD, desenvolvido por Fanger nos anos 1970, é capaz de prever a sensação térmica média de um grupo de usuários e o percentual médio de insatisfeitos em relação ao referido ambiente térmico, por meio de variáveis ambientais (temperaturas do ar e radiante média, velocidade do ar e umidade do ar) e pessoais (taxa metabólica e isolamento da vestimenta). Não existem dúvidas a respeito da importância do referido modelo no âmbito da avaliação de conforto térmico; no entanto, sua adequabilidade em relação aos diversos contextos de ambientes reais vem sendo questionada por pesquisadores desde as últimas décadas, uma vez que o componente geográfico, a aclimação (AULICIEMS, SZOKOLAY, 1997) e as expectativas dos ocupantes são tidos atualmente como fatores que influenciam a percepção térmica.

De Dear, Brager e Cooper (1997) compilaram estudos de campo em edificações com diferentes tipos de climatização – naturalmente ventiladas, artificialmente controladas e modo misto. Observaram diferenças significativas no comportamento dos ambientes naturalmente ventilados em relação àqueles totalmente condicionados, no que se refere à adequação do modelo PMV para a predição de sensação térmica, especialmente em extremos climáticos (muito quente ou muito frio). A compilação originou uma nova abordagem para avaliação de conforto térmico, voltada para edificações naturalmente ventiladas: o método com base no modelo adaptativo.

Estudos realizados recentemente no leste da China (H. YAN, Y. MAO, L. YANG, 2017) endossam a disparidade existente entre o voto médio predito (PMV) e o voto médio real (AMV) em ambientes residenciais naturalmente condicionados, especialmente em localidades com verões quentes e invernos mais amenos – média mensal de temperatura externa em torno de 16°C no mês mais frio e 28°C no mês mais quente. Em Florianópolis, cujo contexto climático corresponde à descrição anterior, Rupp et al (2017) desenvolveram pesquisas de campo instantâneas em uma edificação de escritórios, operadas sob condicionamento artificial constante, durante as estações amenas e fria de 2014; como resultado, observou-se que o PMV/PPD superestimou a sensação de frio dos usuários e a insatisfação destes, respectivamente. Além disso, concluiu-se que o intervalo confortável de PMV entre +/- 0.5 é restrito quando comparado aos votos dos usuários, os quais podem estar termicamente confortáveis em intervalos maiores de PMV.

Por outro lado, estudos que se valeram do método baseado no modelo adaptativo encontraram resultados diferentes, durante a estação de inverno, em relação à aceitabilidade térmica dos usuários de escritórios naturalmente ventilados se comparada à predição pelo método. Para um ambiente, as temperaturas operativas se situaram dentro do intervalo de 90% de aceitabilidade proposto pelo método, com o voto médio de aceitabilidade correspondendo a esse cenário (DE QUADROS, VON MEUSEL, PASSOS, 2015); em outra pesquisa (PIRES, WHESTPHAL, 2015) os votos de aceitabilidade não apresentaram correlação evidente quando plotados sobre o gráfico adaptativo (ASHRAE STANDARD 55, 2013) – alguns votos de aceitabilidade proferidos se situaram fora dos limites impostos por norma, o que indicaria situação de frio.

Esse conjunto de assertivas indica a importância de se validar os métodos de avaliação com base em pesquisas empíricas, e reforça a crença de que outros fatores estão atuando sobre a percepção térmica dos usuários: sazonalidade e contato com o clima externo, alterações em vestimentas, operações de esquadrias (movimento do ar) e até mesmo a percepção de controle individual em um ambiente coletivo. Neste trabalho, é feita uma pesquisa de campo em um ambiente acadêmico, sob as condições de inverno em Florianópolis, com vistas a: (1) analisar o conforto térmico, (2) contribuir com a discussão acerca da adequabilidade dos referidos métodos de avaliação e (3) colaborar com a investigação acerca da interferência dos fatores citados acima na percepção térmica dos ocupantes.

2. OBJETIVO

Este trabalho consiste em avaliar as condições de conforto térmico de um ambiente educacional naturalmente ventilado, discutindo a adequabilidade dos métodos analítico (PMV/PPD) e adaptativo durante a estação de inverno em Florianópolis-SC, cidade cujo clima é classificado como temperado e úmido.

3. ESTUDO DE CASO

O espaço físico selecionado para este estudo corresponde a uma das salas de produção localizadas no prédio do PRONTO 3D (Laboratório de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D), que está localizado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus Trindade.

O ambiente em questão possui aproximadamente 20m²; seu formato em planta se assemelha a um quadrado, e está representado na figura 1. As Figuras 2 e 3 correspondem às fotografias que caracterizam alguns pontos internos e externos ao ambiente analisado, que possui relação com outros espaços do mesmo prédio, apresentando apenas uma parede de contato com o exterior (fachada norte, ver figura 1). A sala não possui nenhuma fonte de condicionamento artificial.

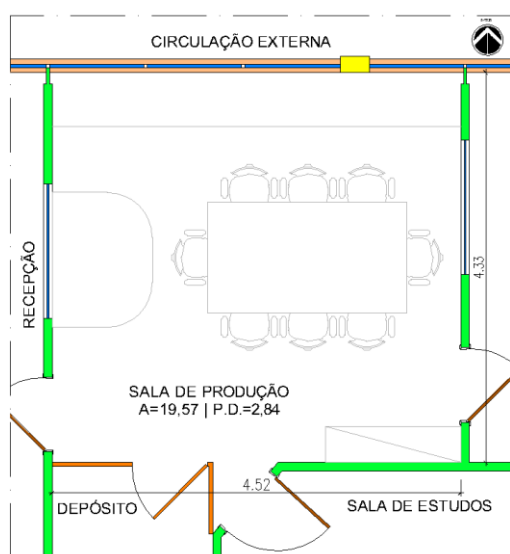


Figura 1 – Planta baixa da sala com as dimensões e o layout.



Figuras 2 e 3 – Fotografias externa (2) e interna (3).

Os elementos que mais influenciam as trocas de calor entre o ambiente e o meio são os da envoltória, no caso a parede da fachada norte e a cobertura. Esta fachada possui uma esquadria que ocupa toda a extensão do ambiente, e é protegida por um beiral de dois metros. Devido à orientação desta janela, a mesma está propícia a receber e transferir mais calor para o ambiente, além de gerar ofuscamento para os usuários e dificultar assim as atividades desempenhadas pelos mesmos.

4. MÉTODO

A medição das variáveis ambientais e pessoais foi realizada conforme as recomendações da proposta de norma brasileira encontrada em Lamberts et al (2013), que foi desenvolvida com base nas recomendações encontradas na ASHRAE 55 (2013). Os equipamentos utilizados e demais procedimentos experimentais respeitaram os parâmetros estabelecidos pela ISO 7726 (1998).

Foram feitas duas medições no espaço selecionado durante o período de inverno, com dois cenários distintos; a primeira medição ocorreu no dia 10/08/2016 durante a tarde, das 14h45 às 16h45 (Cenário 1) e a segunda no dia 11/08/2016 durante a manhã, das 10h25 às 12h25 (cenário 2). No Cenário 1 o ambiente foi composto por oito pessoas, e no Cenário 2 o ambiente possuía seis pessoas no momento da medição. A maioria dos usuários deste ambiente permaneceu parte do tempo sentado e parte do tempo em pé, realizando atividade leve ou moderada. No que diz respeito à vestimenta, todos os usuários usavam calça jeans, sapatos fechados (tênis ou bota), e alguns utilizavam camisa de manga curta, outros de manga longa.

Para a análise dos resultados foram utilizados dois métodos para determinação das condições térmicas aceitáveis: o método analítico (PMV/PPD), e o método para ambientes naturalmente ventilados (adaptativo). As variáveis ambientais medidas durante o estudo de campo foram: temperatura de bulbo seco (T_{bs}), a

temperatura de bulbo úmido (T_{bu}), temperatura de globo (T_g), a velocidade do ar em m/s (V_{ar}), a umidade relativa do ar em % e temperatura superficial (T_{sup}) – todas as temperaturas em graus Celsius ($^{\circ}C$). A Figura 4 mostra o posicionamento dos equipamentos de medição no ambiente, nos dois dias do experimento.

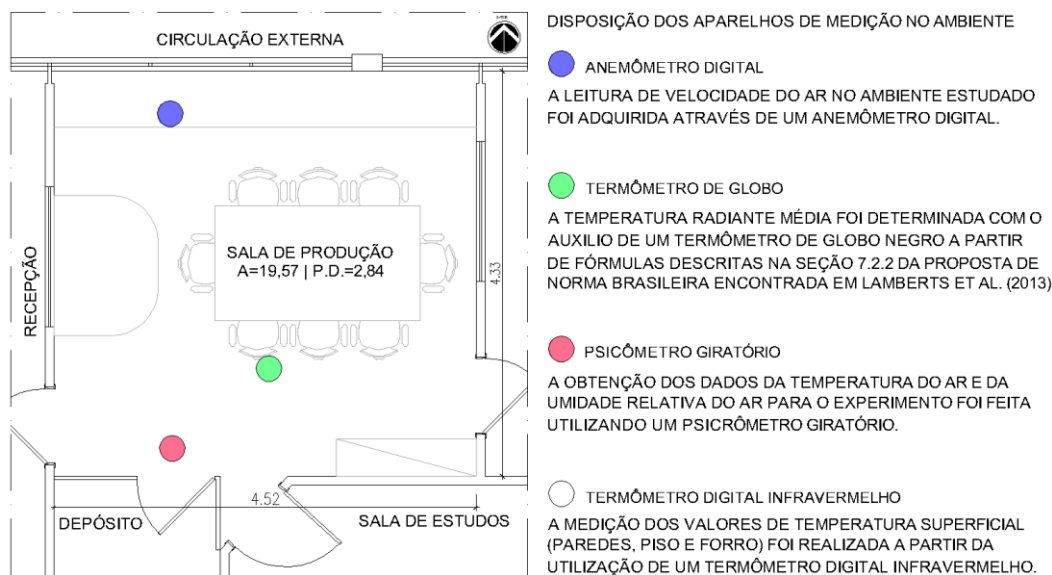


Figura 4 - Planta baixa do ambiente com o posicionamento dos aparelhos de medição.

O levantamento das variáveis ambientais ocorreu de 5 em 5 minutos, conforme recomendações da proposta de norma brasileira. Em paralelo às medições, foi solicitado que os usuários presentes respondessem por 7 vezes (7 votos para cada usuário) ao questionário de avaliação subjetiva das condições de conforto térmico a cada 20 minutos, durante um período de 2 horas, totalizando 35 votos em cada período (70 votos no total, entre o período da manhã e tarde), conforme ilustra a tabela 1.

Tabela 1 – Questionário de avaliação subjetiva: perguntas e opções de resposta.

3. Qual é a sua sensação térmica neste momento? (Assinale a alternativa mais apropriada)																	
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7										
Com muito calor	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
Com calor	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
Levemente com calor	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
Neutro	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
Levemente com frio	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
Com frio	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
Com muito frio	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
4. Você preferiria estar:																	
Mais aquecido	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
Assim mesmo	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
Mais resfriado	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]										
5. Para você este ambiente térmico é:																	
Aceitável						[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]					
Inaceitável						[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]					
6. Como você se sente com relação ao movimento do ar neste momento? (Assinale apenas uma alternativa, considerando a aceitabilidade ou não da velocidade do ar)																	
Inaceitável	Pouco movimento do ar						[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]				
	Muito movimento do ar						[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]				
Aceitável	Pouco movimento do ar						[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]				
	Movimento do ar suficiente						[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]				
						Muito movimento do ar						[]	[]	[]	[]	[]	[]
7. Considerando sua resposta anterior, qual a sua preferência com relação ao movimento do ar neste momento?																	
Muito movimento do ar						[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]			
Não mudar						[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]			
Menor movimento do ar						[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]			

Fonte: Adaptado de Lamberts et al (2013)

Para coleta dos dados ambientais, fez-se uso de equipamentos emprestados pelo LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – UFSC) sendo estes: um termômetro de globo, um anemômetro digital, um psicrômetro giratório e um termômetro digital infravermelho. Os valores correspondentes às características dos ocupantes quanto ao isolamento da vestimenta foram estimados com base nas tabelas do Apêndice normativo B da proposta de norma brasileira encontrada em Lamberts et al (2013), e os valores de taxa metabólica de acordo com as tabelas do Apêndice normativo A do mesmo documento.

4.1. Método analítico (Modelo PMV/PPD)

Os índices do PMV e PPD relacionados ao método de avaliação em ambientes climatizados artificialmente foram calculados utilizando a calculadora online da Universidade de Berkeley (CBE, 2016). O Voto Médio Estimado (PMV – *predicted mean vote*) relaciona as variáveis de conforto térmico mensuradas, de modo a obter uma resposta média de sensação térmica dos usuários em um dado ambiente, com base em uma escala sétima de sensações, que aponta desde muito frio (-3) até muito quente (+3), conforme descrito na Tabela 2:

Tabela 2 – Escala sétima de sensação térmica.

Muito frio	Frio	Leve frio	Neutro	Leve calor	Calor	Muito calor
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

Fonte: Adaptado de Lamberts et al (2013)

A Porcentagem Predita de Insatisfeitos (PPD – *predicted percentage of dissatisfied*) determina a quantidade média estimada de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico e está diretamente relacionada ao PMV. Foram obtidos para cada turno do experimento um total de 35 valores de PMV e PPD; em seguida, foi feita uma média aritmética na qual resultou em 5 valores de PMV e PPD para cada horário de medição e depois foi feita uma nova média aritmética para cada turno – ou seja, na análise dos resultados foi considerado um PMV e um PPD médios para o turno da tarde e outro para o turno da manhã.

4.1. Método com base no modelo Adaptativo

No modelo adaptativo, são consideradas a temperatura operativa (T_o) e a temperatura média predominante externa (T_{mpe}), a qual leva em consideração uma ponderação entre temperaturas médias externas que vigoraram 7 dias anteriormente ao dia do experimento, e foram adquiridas no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). O cálculo da temperatura operativa está relacionado à temperatura do ar medida *in loco* e à temperatura radiante média já calculada, utilizando a equação 1 (LAMBERTS et al, 2013). O valor de A é determinado em função da velocidade média do ar (V_{ar}).

$$T_o = A \times T_a + (1 - A) \times T_r \quad \text{Equação 1}$$

v_r	< 0,2 m/s	0,2 até 0,6 m/s	0,6 até 1,0 m/s
A	0,5	0,6	0,7

Onde:

T_o é a temperatura operativa;

T_a é a temperatura do ar;

T_r é a temperatura radiante média.

Para adquirir os resultados referentes ao método adaptativo, também foi utilizada a calculadora online de Berkeley (CBE, 2016), utilizando-se como dados de entrada a temperatura operativa média para cada turno (duas T_o) e a temperatura média predominante externa para cada turno (duas T_{mpe}). Dessa forma, foi possível analisar os resultados para ambientes naturalmente condicionados, com base nos limites de aceitabilidade de 80% e 90% estabelecidos pelo modelo.

4.2. Análise dos resultados

A análise dos resultados provenientes dos questionários foi feita por meio da quantificação dos votos de todas as questões e posterior conversão em gráficos. As questões de sensação e aceitabilidade térmicas, traduzidas nesta pesquisa em AMV (*actual mean vote*) e PPD real, respectivamente, indicam a real opinião dos usuários quanto ao seu ambiente térmico e oferecem uma base comparativa aos respectivos PMV e PPD.

Para os votos de sensação térmica (AMV), foi atribuída a mesma escala sétima aplicada ao PMV. Quanto à análise da aceitabilidade térmica (PPD real), foram atribuídas as pontuações 0 para “aceitável” e 1 para “inaceitável”, uma vez que o índice visa quantificar os insatisfeitos com o seu ambiente térmico e, portanto, quanto mais próximo de 1, mais insatisfeitos estarão os usuários. Deste modo, os valores obtidos foram contabilizados e transformados em percentual para análise dos resultados.

De posse dessas informações, foi feito o confronto entre os resultados do método analítico e os do questionário para a discussão da aceitabilidade do ambiente térmico (predição por cálculo de variáveis *versus* declaração dos usuários), e a comparação entre o método adaptativo e a questão de aceitabilidade térmica do questionário. As demais questões referentes à preferência térmica, aceitabilidade/sensação e preferências relacionadas à velocidade do ar foram analisadas isoladamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos a partir do registro – e do cálculo, quando necessário – das variáveis ambientais e pessoais verificadas para o ambiente em questão. A avaliação de conforto térmico foi feita conforme dois métodos diferentes apresentados pela proposta de norma brasileira (LAMBERTS et al, 2013): o método analítico com base no PMV e PPD, e o método voltado aos ambientes ventilados naturalmente. Além disso,

as análises foram validadas com os resultados da pesquisa de campo utilizando os votos provenientes dos questionários de aceitabilidade, sensação e preferência, os quais exprimem a real sensação dos usuários quanto a esse ambiente (N° de votos total = 70).

5.1. Comportamento das variáveis ambientais

A seguir estão representadas graficamente as variações de temperatura de bulbo seco (T_{bs}), temperatura radiante média (T_{rm}) e temperatura operativa (T_{op}) ao longo dos dois turnos do experimento, possibilitando uma análise comparativa das flutuações horárias das variáveis com as análises de conforto referentes a cada método. A figura 5 refere-se ao período da tarde e a figura 6 ao turno da manhã.

Esses registros são referentes aos momentos dos votos dos questionários (20 em 20 minutos), demonstrando as tendências de variação ocorridas. A velocidade do ar não sofreu grandes alterações, mantendo-se abaixo de 0,2m/s ao longo da maior parte do experimento, valor limite no qual a velocidade pode ser considerada como imperceptível. Os resultados da ponderação da taxa metabólica (met) e a informação numérica do isolamento da vestimenta (clo) por voto foram utilizados para o cálculo de avaliação de conforto térmico dos métodos em estudo e variaram de 1,1 à 1,7met, e de 0,58 à 1,5clo, respectivamente.

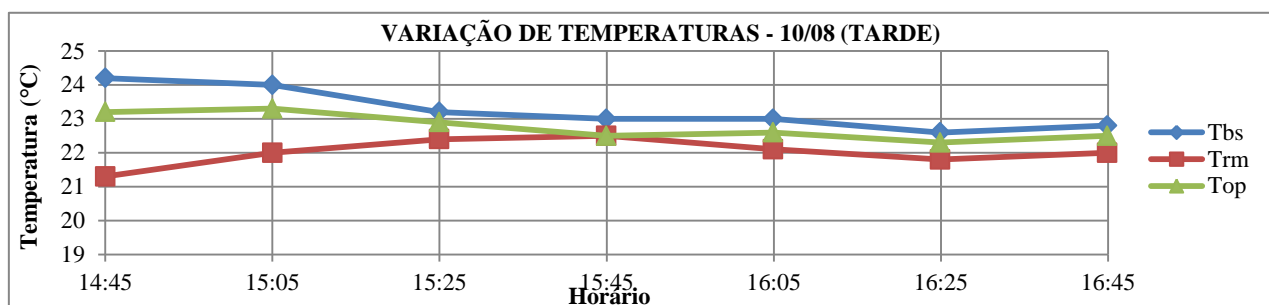


Figura 5: Variação de temperaturas (eixo da esquerda) e umidade relativa (eixo da direita) ao longo da tarde do dia 10/08.

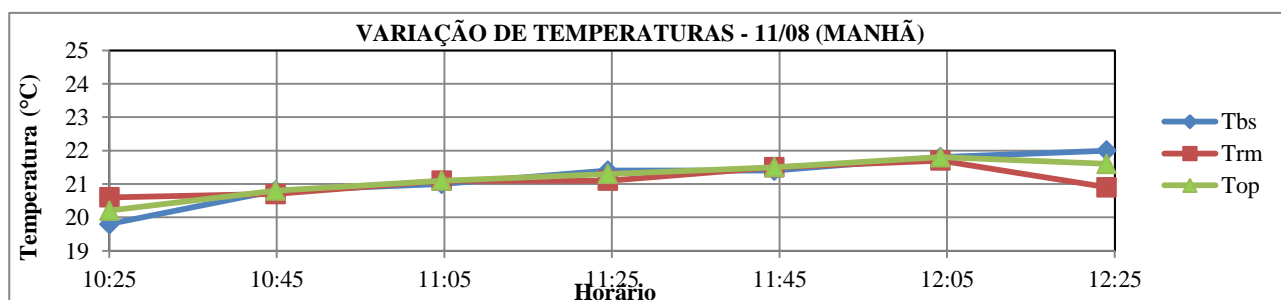


Figura 6: Variação de temperaturas (eixo da esquerda) e umidade relativa (eixo da direita) ao longo da manhã do dia 11/08.

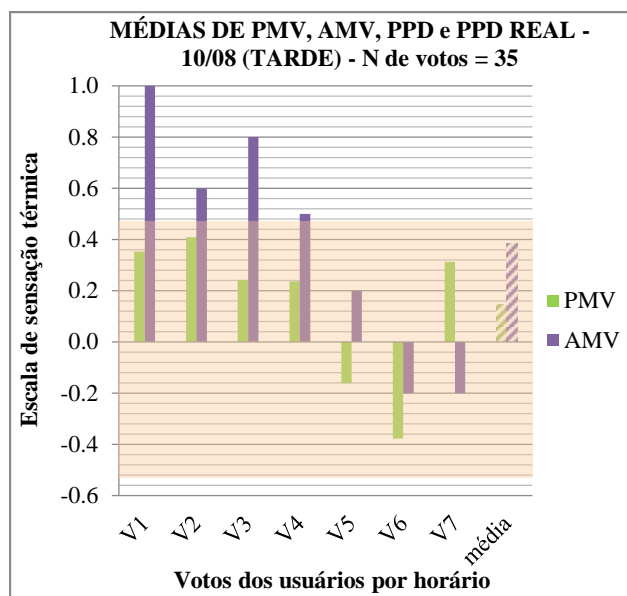
Em relação à temperatura do ar no interior do ambiente, no período da tarde, observou-se uma tendência de diminuição da mesma (1,4°C), enquanto no período da manhã observou-se um aumento de em média 2°C ao longo de duas horas de experimento. Esta tendência condiz com o comportamento do ar externo, que possui um pico máximo de temperatura no início da tarde no inverno (Figura 5), diminuindo gradativamente conforme a trajetória do sol (fim de tarde).

A média da umidade relativa do ar no primeiro foi de 54,14% e no segundo de 58,00%. A umidade relativa apresentou-se mais alta pela manhã (entre 55 e 61%), com média de 58%, enquanto durante a tarde apresentou valores de 49% a 57%, com média de 54%. Tal fato justifica-se pelo comportamento cíclico da umidade relativa do ar ao longo do dia. Pela manhã os valores apresentam-se mais altos que os da tarde, pois a quantidade de vapor d'água presente na atmosfera acumulado do período da madrugada ainda é grande. Durante a tarde a atmosfera está mais seca devido a grande exposição à radiação solar já sofrida.

5.2. Avaliação pelo método analítico (PMV/PPD)

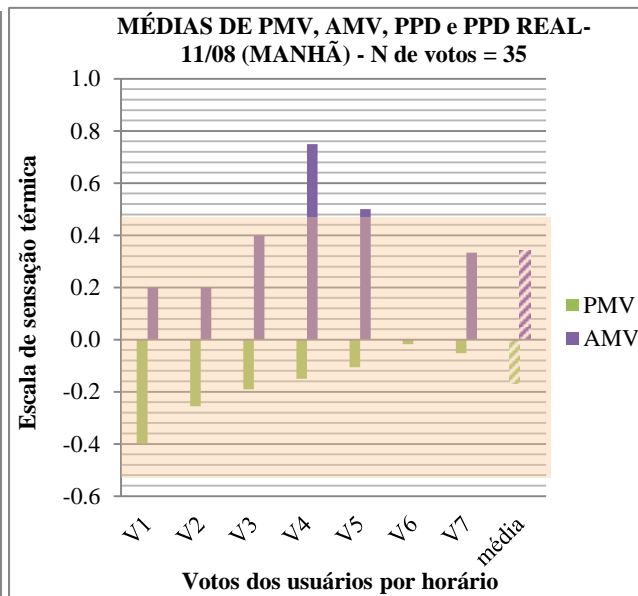
De posse das variáveis ambientais e pessoais foi feito o cálculo dos índices PMV e PPD por meio da calculadora online de Berkeley (CBE, 2016), resultando em 35 votos por turno. Dessas, foram extraídas as médias aritméticas por horário de voto e a média aritmética por turno do experimento. A análise dos resultados referentes ao método analítico deve ser feita por meio das médias, uma vez que os índices PMV/PPD se referem a grupos de usuários.

O mesmo procedimento foi aplicado aos votos de sensação (AMV) e aceitabilidade (PPD real) térmicos provenientes dos questionários, proporcionando o comparativo entre PMV x AMV e entre PPD x PPD real, apresentados na figura 7 referente ao turno da tarde e a figura 8 ao turno da manhã.



PMV=0,14	AMV=0,39	Limite:- 0,5<x<0,5	Situação:
PPD=9,89%	PPD R.=0%	Limite:<10%	Conforto

Figura 7 – Médias de PMV, AMV, PPD e PPD real obtidas para o turno da tarde.



PMV=-0,17	AMV=0,34	Limite:- 0,5<x<0,5	Situação:
PPD=11,2*	PPD R.=0%	Limite:<10%	Conforto*

Figura 8 – Médias de PMV, AMV, PPD e PPD real obtidas para o turno da manhã.

Através dos resultados do turno da tarde pode-se constatar que, ao longo de todos os votos deste período (exceto V6 e V7), o AMV apresentou tendência média de votos para calor (neutro ou levemente com calor), alcançando até 1,0, enquanto que os respectivos PMV apontaram sensações mais neutras em relação ao ambiente térmico, com valor máximo de 0,4 na escala de sensação térmica. É importante observar que os PMVs médios estão dentro da zona de aceitabilidade para conforto térmico geral ($\pm 0,5$), correspondendo ao valor dentro dos limites de conforto do PPD (9,89%) e à opinião de aceitabilidade proferida pelos usuários com 0% de insatisfação (PPD real).

Em comparação com o gráfico das variáveis de temperatura e umidade ao longo do experimento (figura 5), pode-se dizer que há coerência entre as variações de T_{bs} , T_{rm} e UR em relação ao PMV e ao AMV médios, com uma inversão de tendência de leve calor para leve frio nos votos 5 e 6. No momento destes votos foram registradas velocidades do ar de até 0,5m/s, o que pode ter motivado a reação de alguns usuários expressa por meio dos questionários.

Já no turno da manhã, observam-se discordâncias das variações de T_{bs} , T_{rm} e UR e o modelo PMV em relação ao AMV. As baixas temperaturas no início da manhã proporcionaram o menor PMV (ainda que dentro dos limites aceitáveis) para leve sensação de frio (mínimo de -0,4), quando o AMV seguiu tendência de leve calor ao longo de todo o período (máxima de 0,75), apontando uma diferença de 0,51 entre as médias dos turnos. Apesar desta diferenciação, o valor médio de ambos (PMV e AMV) manteve-se dentro do limite para situação de conforto, não invalidando assim a aplicação do método. Mesmo que o tamanho da amostra seja limitado, a superestimação da sensação de frio dos usuários pelo modelo PMV na cidade de Florianópolis foi observada em pesquisas com amostras significativamente maiores, como a de Rupp et al. (2017). Neste estudo realizado em ambientes com climatização artificial, a diferença média entre o PMV e AMV foi de 0,44, resultado bastante consistente com o observado neste estudo.

Quanto às porcentagens de insatisfeitos em relação ao ambiente térmico durante a manhã, nenhum dos usuários o considerou inaceitável (aceitabilidade foi de 100%), ou seja, o PPD real corresponde a 0% em ambos os períodos. Já a porcentagem predita (PPD) alcançou 11,2% e beirou o limite de um ambiente termicamente aceitável para conforto térmico geral de 10% descrito na proposta de norma brasileira encontrada em Lamberts et al (2013), ultrapassando-o no período da manhã, onde houve o PMV mais extremo para frio. Apesar da discordância entre o resultado predito e real, é preciso lembrar que essa porcentagem se aplica melhor aos cenários com grandes grupos de pessoas, obtendo a maior quantidade de votos possíveis e assim, uma média mais realista.

Ainda assim, apesar do número reduzido de usuários avaliados, a diferença média de ambos os períodos de análise de 10,54% entre PPD e PPD real corroboram com Lamberts et al. (2013) e Rupp et al. (2017) no sentido de que, no Brasil, e especificamente em Florianópolis no caso de Rupp et al. (2017), os valores de PPD não correspondem adequadamente ao PPD real, referente a insatisfação térmica dos usuários.

É importante ressaltar também, que o AMV referente à sensação do usuário proferido por questionário apresentou valores sempre acima de 0, indicando uma sensação de neutralidade para leve calor (exceto voto 6 e 7 do turno da tarde), e sempre acima dos valores de PMV, calculados a partir das variáveis ambientais e pessoais, exceto no voto 7 do turno da tarde. No momento de tais votos, as janelas estavam abertas (por iniciativa de um dos usuários, que as operou) e houve o registro de velocidade do ar acima de 0,2 m/s. As respostas dos ocupantes quanto à sensação térmica tenderam para “levemente com frio”, porém ainda dentro dos limites de conforto, o que pode indicar o efeito positivo e instantâneo do movimento do ar no conforto térmico dos usuários durante a ocupação, bem como a aceitabilidade de valores mais altos de velocidade do ar por parte dos usuários mesmo no inverno. De Vecchi, Cândido e Lamberts (2013) já haviam discutido a aceitabilidade, e até preferência, de altos valores de velocidade do ar (acima de 0,90m/s) nas demais estações na cidade de Florianópolis.

5.3. Avaliação pelo método adaptativo

Para a definição dos limites de aceitabilidade, apresentados nas figuras 9 e 10 pelas faixas azul e vermelha, foram calculadas as temperaturas média prevacente do ar externo (T_{mpe}) de cada dia de análise. A T_{mpe} para o dia 10/08 foi de 16,6°C e de 16,2°C para o dia 11/08. Para fins de comparação entre o método adaptativo com as respostas proferidas pelos usuários do questionário, adotou-se a porcentagem das respostas relativas a pergunta sobre a aceitabilidade daquele ambiente térmico (aceitável ou inaceitável).

Obteve-se que, para a média da temperatura operativa de ambos os turnos (22,6°C pela tarde e 21,3°C pela manhã), o ambiente cumpre os requisitos do projeto de norma brasileira para aceitabilidade térmica em ambientes naturalmente ventilados, com 80% e 90% de aceitabilidade dos usuários, sendo que, no período da manhã, seu valor apresentou-se mais próximo do limite inferior de 90% para frio. Na análise por horários, apenas no início da medição do período da manhã observou-se um valor fora do limite de aceitabilidade de 90%, porém mantendo-se ainda dentro do limite recomendado pela norma de 80%. Esta tendência para mais frio apresentada no turno da manhã pelo modelo adaptativo, principalmente no início da medição, faz correspondência ao PMV deste horário de sensação térmica de tendência levemente com frio, enquanto o AMV apresenta tendência de leve calor.

O resultado referente ao modelo está coerente com as variáveis apresentadas nas figuras 5 e 6, as quais mostram as menores temperaturas no início da medição do turno da manhã, e seu aumento ao longo das duas horas seguintes. Em relação às respostas dos questionários, a aceitabilidade do ambiente térmico foi de 100% para ambos os períodos, indicando compatibilidade com os resultados do método adaptativo.

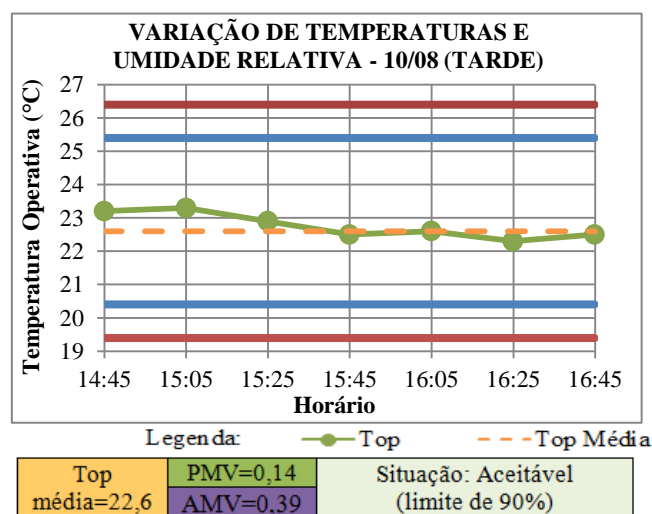


Figura 9 – Diagnóstico de aceitabilidade pelo método adaptativo para a tarde.

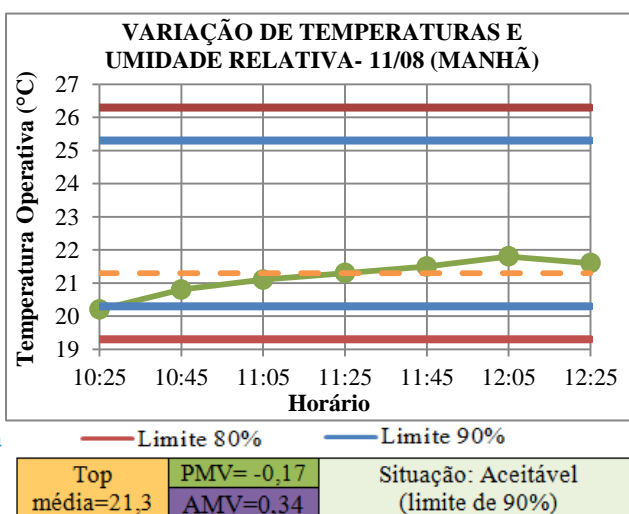


Figura 10 – Diagnóstico de aceitabilidade pelo método adaptativo para a manhã.

5.4. Avaliação dos questionários

Adicionalmente à avaliação de conforto térmico pelos métodos analítico e adaptativo, procedeu-se a interpretação dos questionários para pesquisas instantâneas, os quais forneceram, além dos dados quantificados como AMV (sensação térmica no momento dos votos) e PPD real (aceitabilidade térmica no momento dos votos) – já analisados conjuntamente com os resultados dos métodos analítico e adaptativo - opiniões de preferência quanto ao ambiente térmico e de aceitabilidade/sensação e preferência quanto ao movimento do ar. Esta última análise é particularmente importante devido à condição de ambiente naturalmente ventilado, e aos efeitos causados pela presença ou ausência de velocidade do ar.

As figuras 11, 12 e 13 apresentadas a seguir correspondem respectivamente aos votos proferidos em relação à preferência térmica, preferência por velocidade do ar, e aceitabilidade/sensação de velocidade do ar, de ambos os turnos conjuntamente em porcentagem.

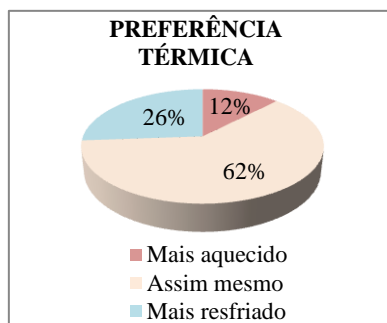


Figura 11 – Representação dos votos em relação à preferência térmica.

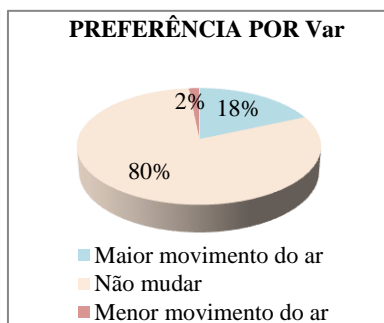


Figura 12 – Representação dos votos em relação à velocidade do ar.

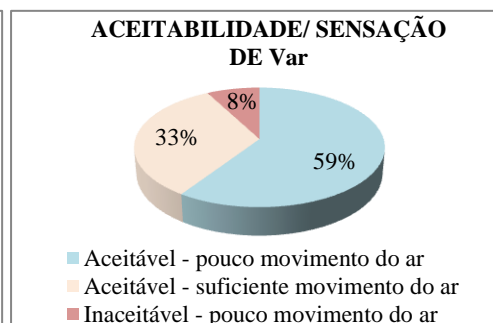


Figura 13 – Representação dos votos em relação à aceitabilidade/sensação de velocidade do ar

Os resultados referentes à preferência, tanto térmica quanto em relação à velocidade do ar, indicam que a maioria dos ocupantes gostariam de manter a situação atual do ambiente. Em relação especificamente à preferência térmica, apesar de 62% optarem por manter as condições do ambiente, uma porcentagem significativa (26%) gostaria que o ambiente estivesse mais resfriado, mesmo 100% dos usuários tendo indicado aceitabilidade térmica do ambiente (PPD real). Da mesma forma em relação à preferência por velocidade do ar, apesar da grande maioria (80%) terem optado pelo mantimento das condições de ventilação, 18% preferiam que houvesse um maior movimento do ar. Esses resultados indicam que uma maior velocidade do ar no ambiente seria desejável por parte dos usuários, para satisfazer suas preferências térmicas e por ventilação.

Em relação à aceitabilidade da velocidade do ar, apesar de 92% dos votos terem correspondido à aceitabilidade, 59% destes declarou estar sentindo pouco movimento do ar, enquanto apenas 33% responderam que o movimento do ar estava suficiente. É importante observar também que 8% dos participantes consideraram o pouco movimento do ar inaceitável. Essa tendência de observação de pouco movimento do ar por parte dos usuários mesmo no inverno foi observada também por Pires e Westphal (2015) em estudo realizado em edifícios de escritórios naturalmente ventilados em Florianópolis - 65% somando-se os votos inaceitáveis e aceitáveis de pouco movimento do ar - e por Cardoso et al. (2015) em salas de aula naturalmente ventiladas em Maringá, de clima também temperado – alcançando mais de 50% de inaceitabilidade devido ao pouco movimento do ar a depender da orientação da sala.

Todos os votos de inaceitabilidade foram proferidos no período da manhã e vale ressaltar que, neste cenário, as janelas permaneceram fechadas por todo o tempo do experimento e os usuários tiveram que se deslocar mais (aumentar mais a taxa metabólica ou mesmo variá-la com mais frequência) para cumprir suas atividades no laboratório, o que pode ter proporcionado esse resultado, ressaltando mais uma vez a importância da velocidade do ar dentro do ambiente mesmo no inverno.

6. CONCLUSÕES

O presente artigo se propôs a avaliar as condições de conforto térmico com base nos métodos analítico e adaptativo em um ambiente naturalmente ventilado a partir de medições das variáveis climáticas e aplicações de questionário. Por meio dos resultados obtidos, pode-se concluir que a avaliação de conforto térmico pelo modelo adaptativo se mostrou mais adequada ao ambiente em questão, uma vez que as representações obtidas pelo referido método foram as que mais se aproximaram da opinião expressa pelos usuários nos questionários. Dessa forma, esse trabalho endossa a tendência que várias pesquisas têm demonstrado de maior aplicabilidade do modelo adaptativo para avaliar o conforto térmico em ambientes não condicionados.

Por outro lado, ao comparar os resultados do método analítico e dos questionários, as divergências encontradas são discutíveis em relação à sua significância, uma vez que o PMV se apresentou dentro dos limites de conforto (-0,5 à 0,5) tanto para o período da tarde quanto para o período da manhã.

Vale a ressalva de que este estudo foi desenvolvido em um espaço de tempo limitado, em uma única estação do ano (inverno), e com poucos usuários devido à capacidade do ambiente analisado. No entanto, os resultados obtidos em relação à aceitabilidade térmica e da velocidade do ar, especificamente no inverno, merecem destaque por oferecerem evidências da influência externa sobre as preferências térmicas internas. Uma vez que o ambiente é naturalmente condicionado, as respostas dos usuários devem diferir das referentes ao período do verão devido principalmente às maiores temperaturas e às maiores velocidades do ar. Dessa forma, sugere-se que mais experimentos sejam desenvolvidos em outras estações do ano e com uma maior quantidade de ocupantes, no intuito de: (1) complementar a avaliação de edificações ventiladas naturalmente sob as abordagens estudadas; (2) ampliar a investigação acerca das ações dos ocupantes em relação a este tipo de ambiente; e, (3) aprofundar o entendimento acerca das preferências por movimento do ar nas edificações quando oriundo da ventilação natural – potencial recurso para conforto térmico no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE STANDARD 55 - 2013. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013.
- AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. **Thermal Comfort** (PLEA Note 3 - Passive and Low Energy Architecture International Design Tools and Techniques). Department of Architecture, The University of Queensland, Brisbane (1997).
- CBE Thermal Comfort Tool - University of California, Berkeley. **Calculadora online de Berkeley**. Disponível em: <<http://cbe.berkeley.edu/comforttool/>>. Acesso em: ago. 2016
- DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference**. Macquarie Research Ltd., Macquarie University, Sydney, NSW 2109, Australia (1997).
- DE QUADROS, Bianca M.; VON MEUSEL, Marina; PASSOS, Bruno A. Avaliação das condições de conforto térmico, visual e acústico em uma sala de escritório naturalmente ventilada em Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016
- DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 189-202, jul./set. 2013.
- CARDOSO, L.; VEDOVETTO, E.; SARDEIRO, P. Estudo do conforto térmico em salas de aula: estudo de caso. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015, Campinas. **Anais...** 2015.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Temperatura média predominante externa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em: ago. 2016.
- ISO Standard 7726 (1998). **Ergonomics of the thermal environment - Instruments and methods for measuring physical quantities**. Geneva International Standards Institution, 1998.
- LAMBERTS, R. et al. **Towards a Brazilian standard on thermal comfort**. 2013. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/node/406> . Acesso em: fevereiro de 2017.
- NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. **Adaptive Thermal Comfort: Principles and practice**. Routledge: 1 edition (May 6, 2012).
- PIRES, M. O.; WESTPHAL, F. S. Ventilação natural em ambientes de escritórios na cidade de Florianópolis: abordagem adaptativa e influência da velocidade do ar. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015, Campinas, **Anais...** ENCAC 2015.
- RUPP, R. F.; DE VECCHI, R.; ASMUS, B. F.; CANDIDO, C. M.; GHISI, E. Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. abordagem analítica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 111-123, jan./mar. 2017.
- YAN, H.; MAO, Y.; YANG, L. Thermal adaptive models in the residential buildings in different climate zones of Eastern China. **Energy and Buildings**, 141 (2017), p. 28–38.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelos recursos financeiros investidos na pesquisa; ao Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LabEEE/ECV/UFSC) pelo empréstimo dos equipamentos de medição necessários à concretização do estudo; e aos participantes – ocupantes do ambiente estudado, PRONTO 3D – por ceder atenção nos momentos de aplicação da pesquisa.