XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM ESCRITÓRIOS CERTIFICADOS LEED ID+C

Maíra Nazareth de Macedo (1); Fúlvio Vittorino (2)

(1) Arquiteta, Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologias pelo Instituto de Pesquisa Tecnológicas (IPT), Máster em Arquitetura e Sustentabilidade pela Universidade Politécnica da Catalunha (UPC), Gerente de Relações Institucionais e Governamentais no GBC Brasil, mairamacedo@gbcbrasil.org.br

(2) Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo, Pesquisador e Diretor do Centro Tecnológico do Ambiente Construído do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, fulviov@ipt.br, Avenida Professor Almeida Prado, 532, Butantã.

RESUMO

As certificações para edifícios sustentáveis cumprem um importante papel ao atestarem que o empreendimento contribuiu para o alcance de objetivos, como: reduzir o consumo de energia e de recursos naturais; melhorar a qualidade ambiental interna; minimizar o uso de transportes poluentes; dentre outros. Esta pesquisa se concentrou na categoria de qualidade ambiental interna na certificação LEED, dado que na maior parte do tempo indivíduos que vivem em centros urbanos estão em ambientes internos, particularmente em escritórios. Mais especificamente, foi avaliado o conforto térmico em três escritórios certificados no sistema LEED CI (atual ID+C). Os múltiplos métodos de avaliação incluíram a aplicação de questionário junto aos ocupantes, a realização de medições das variáveis ambientais (temperatura, velocidade e umidade do ar e temperatura radiante média), a estimação das variáveis pessoais (taxa metabólica e isolamento térmico da roupa) e a análise dos projetos. Os resultados indicaram que as condições para a satisfação térmica geral dos ocupantes requeridas pelo LEED não estão necessariamente presentes em escritórios certificados, realçando a importância de reavaliar os critérios do conforto térmico no processo da certificação.

Palavras-chave: Conforto térmico; escritórios; certificação LEED.

ABSTRACT

Sustainable building certifications play an important role in attesting that the enterprise has contributed to the achievement of objectives, such as: reducing consumption of energy and natural resources, improving indoor environmental quality and minimizing the use of polluting transportation. This research focused on the indoor environmental quality category of LEED certification, since individuals who live in urban centers spend most of their time indoors, particularly in office spaces. Specifically, thermal comfort was evaluated in three LEED CI (currently ID+C) certified offices. Thermal comfort assessment included the completion of a questionnaire with the occupants, the measurement of environmental variables (air temperature, velocity and humidity and mean radiant temperature), the estimation of personal variables (metabolic rate and thermal insulation of clothes) and the project analysis. The results indicated that the conditions required by LEED for general thermal comfort of occupants are not necessarily met in certified offices, thus emphasizing the importance of reassessing the thermal comfort criteria during the certification process.

Keywords: Thermal comfort; offices; LEED certification.

1. INTRODUÇÃO

As ferramentas de certificação para edifícios sustentáveis têm o objetivo de atestar aqueles concebidos visando à redução dos impactos ambientais por meio da utilização de estratégias nas etapas de projeto, construção e, em alguns casos, de operação. Esta pesquisa se concentrou em edifícios certificados LEED devido à grande aceitação desta certificação no mercado.

O LEED é estruturado em categorias que incluem: Processo Integrativo; Localização e Transporte; Redução do consumo de Água; Energia e Atmosfera; Materiais e Recursos; Qualidade Ambiental Interna; Inovação e Prioridade Regional. Dentre estas, a qualidade ambiental interna vem ganhando importância dado que, em geral, as pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes construídos. Com efeito, esta é influenciada por fatores, como: condições térmicas; acústica; iluminação; qualidade do ar interno e ventilação; ergonomia; e biofilia.

Em relação a avaliação do conforto térmico, são requeridos diferentes critérios dependendo do tipo de ventilação: natural, artificial ou mista. O atendimento aos mesmos não é um pré-requisito para a obtenção da certificação, mas permite a obtenção de até dois pontos no processo. Sua atual versão considera, para o projeto de climatização, o cumprimento da ISO 7730, EN 15251 ou da ASHRAE 55. Além disso, é necessário o fornecimento de controle individual aos ocupantes.

A análise da certificação LEED aplicada a escritórios (sistema ID+C, antigo LEED CI) mostrou que, no que tange ao conforto térmico, seu valor relativo foi sendo reduzido ao longo das atualizações do LEED: na versão 2 este fator representava 5,3% da pontuação total da certificação, enquanto que na versão 4 (atual) esta participação foi reduzida para 0,9%. Para verificar se esta redução foi precedida de uma melhora nas condições de conforto térmico, esta pesquisa concentrou-se neste fator.

2. OBJETIVO

Investigar se escritórios certificados LEED em São Paulo estão proporcionando conforto térmico aos ocupantes, de modo a justificar a perda de importância deste fator.

3. MÉTODO

Analisou-se casos reais em três escritórios LEED CI, por de um método de avaliação para ambientes existentes (em operação) com base nas diretrizes da ISO 10551:1995 para coletar dados sobre as condições de conforto térmico no local de trabalho, composto por: avaliação subjetiva; medições das variáveis ambientais; estimativa das variáveis pessoais (isolamento térmico da roupa e taxa metabólica) e análise dos projetos de *layout* e ar-condicionado.

3.1. Ambiente térmico aceitável segunda as normas

As normas estabelecem critérios de conforto nos quais a maioria dos ocupantes, apesar das diferentes características pessoais, está satisfeita com o ambiente térmico. A sensação de conforto térmico geral pode ser influenciada por desconforto local e, portanto, a ocorrência ou não deste fenômeno deve ser observada em uma avaliação de conforto térmico no ambiente construído (ASHRAE, 2017, p. 35).

A Tabela 1 mostra a classificação do ambiente térmico segundo a ISO 7730:2005 (categorias A, B e C), indicando percentuais máximos de insatisfação com o estado térmico do corpo como um todo e devido ao desconforto local (CEN, 2005, p. 04; p. 08). Essas categorias são equivalentes à I, II e III da DIN EN 15251:2012, que estabelece adicionalmente uma categoria IV (VME < -0,7 ou VME > +0,7) (DIN, 2012a, p. 04).

Tabela 1 – Categorias do ambiente térmico segundo a ISO 7730:2005.[1]

Categoria	Estado térmico do corpo como um todo		Desconforto local			
				PIDL %		
				causado por		
	PPI %	VME	TRLI %	Diferença vertical na temperatura do ar	Piso quente ou frio	Assimetria radiante
A	< 6	-0,2 < VME < +0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < VME < +0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < VME < +0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

[1] TRLI é uma tradução nossa do termo *draught rate*. A ISO 7730:2005 define *draught* como: "resfriamento local indesejável causado por movimento do ar" (CEN, 2005, p. 06, tradução nossa).

Onde:
PPI: % previsto de insatisfeitos; VME: voto médio estimado;
TRLI: taxa de resfriamento local indesejável e PIDL: % de insatisfeitos com o desconforto local.

Por sua vez, a ASHRAE 55:2017 não estabelece categorias e sim uma região de conforto térmico na qual a temperatura operativa (To) e umidade do ar propiciam situações de 80% de aceitabilidade dos ocupantes, que leva em conta 10% de insatisfação geral (corpo todo) com base no índice VME-PPI e um adicional de 10% de insatisfação devido ao desconforto local (em parte do corpo) (ASHRAE, 2017, p. 35), correspondendo à categoria B da ISO 7730. É recomendado ainda um limite máximo para a variação da To ao longo do tempo (desvios ou rampas), quando ela não estiver sob o controle individual dos ocupantes: 1,1°C em 15 minutos; 1,7°C em 30 minutos; 2,2°C em 60 minutos; 2,8°C em 120 minutos; 3,3°C em 240 minutos (ASHRAE, 2017, p. 12; p. 14).

3.2. Seleção e caracterização do objeto de estudo

A amostra compreende escritórios certificados LEED CI, localizados na cidade de São Paulo (maior mercado no país). Considerou-se um mínimo de 10% de participação nos questionários enviados, com relação ao número total de ocupantes que estava entre 100 e 950 pessoas em cada empresa. Os respondentes deveriam exercer atividades típicas de escritório e de forma a assegurar que sua amostra fosse aleatória, os responsáveis pelo *Facilities* das empresas enviaram a pesquisa simultaneamente a todos os funcionários, cuja participação foi confidencial e voluntária.

Os escritórios selecionados ocupam entre 1 e 15 pavimentos de edifícios corporativos com fachadas envidraçadas, sem janelas operáveis. Em relação ao ambiente interno, os mesmos possuem área que variam entre 900m² e 1.800m² o pavimento e predomina-se o conceito de ambientes *open spaces*, com sistemas de refrigeração VRV (volume de refrigerante variável) e VAV (volume de ar variável) nos quais o ar é insuflado pelo teto por difusores de 4 vias. No que tange aos dados sobre a certificação, os escritórios foram certificados nas versões 2 e 3 do LEED CI, entre os anos de 2013 e 2015, onde a norma de referência para as exigências de conforto térmico era a ASHRAE 55:2004. É importante ressaltar que nem todos os escritórios pesquisados atenderam aos créditos de conforto térmico do LEED, sendo que as Empresas B e C obtiveram os dois pontos disponíveis neste quesito, enquanto a Empresa A não obteve nenhum ponto.

Para a seleção da amostra dos pontos das medições ambientais, buscou-se obter uma malha distribuída no espaço com base nas plantas de *layout* (considerando a distribuição de pessoas, de equipamentos e as fachadas envidraçadas) e de ar-condicionado (levando em conta os circuitos e os difusores de distribuição de ar), que representasse as diferentes condições a que os ocupantes são submetidos. O *layout* dos espaços foi apresentado nas Figuras 1, 2 e 3, onde também foram indicados os pontos de medição cujos procedimentos foram apresentados na subseção 3.4.

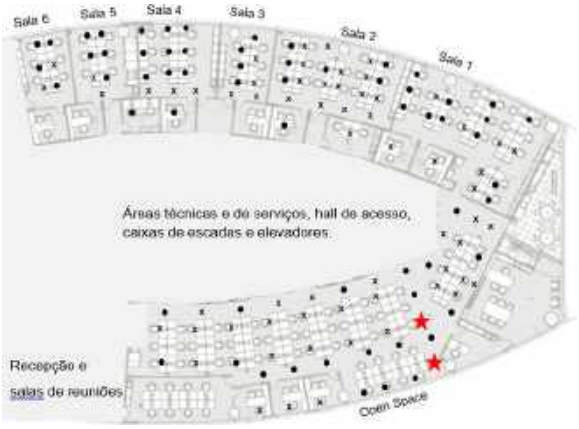

Figura 1 - Indicação dos pontos de medição no escritório da Empresa A (adaptado pela autora, 2017).



Figura 2 - Indicação dos pontos de medição no escritório da Empresa B (adaptado pela autora, 2017).

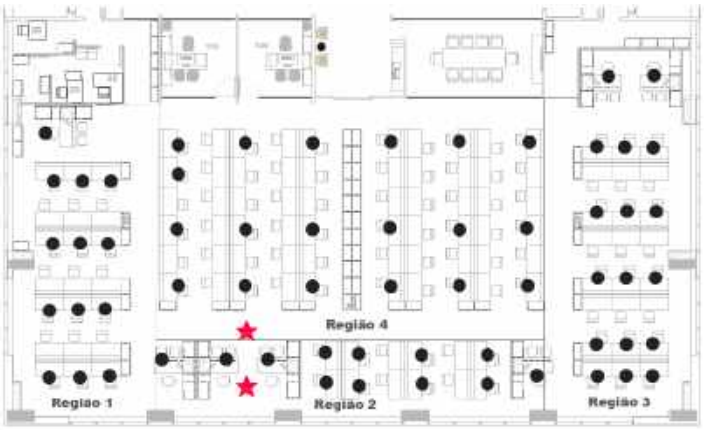

Figura 3 - Indicação dos pontos de medição no escritório da Empresa C (adaptado pela autora, 2017).

Onde:
● Indica que foi medida a Ta e a Va no ponto;
x Indica que foi medida a Va no ponto;
★ Sensor fixo de medição da UR, Wa, Ta e Tg (somente próximo a janela).

3.3. Avaliação subjetiva

O questionário sintetizado nas Tabelas 2 e 3 baseou-se nas normas de referência para coletar a satisfação geral e a sensação dos usuários em relação ao conforto térmico, bem como impressões sobre características do ambiente térmico. Com relação à sensação térmica, foram indagadas as percepções no verão e no inverno para verificar o possível efeito do isolamento térmico da roupa em um ambiente climatizado artificialmente. Por questões de disponibilidade dos escritórios avaliados, os participantes responderam à pesquisa apenas uma vez em 2016, com os sistemas de ar condicionado em funcionamento. A partir das perguntas sobre a sensação térmica foi calculado o PPI conforme a equação da ISO 7730:2005 (CEN, 2005, p. 08).

A questão que trata do desconforto térmico local (Tabela 3) enfocou suas causas mais comuns em escritórios, jato de ar localizado (correntes de ar), segundo a ISO 7730:2005 (CEN, 2005, p. 10) e o controle de umidade nos espaços.

Tabela 2 - Questões sobre sensação e satisfação global.

Questão	Tipo de Escala	Escala	Normas de referência
Qual a sensação térmica no verão?	Sensação (7 níveis)	+3 (Muito quente) +2 (Quente) +1 (Levemente quente) 0 (Nem frio, nem quente) 1 (Levemente frio) -2 (Frio) -3 (Muito frio)	ASHRAE 55:2017 ISO 28802:2012 ISO 10551:1995
Qual a sensação térmica no inverno?	Sensação (7 níveis)	+3 (Muito quente) +2 (Quente) +1 (Levemente quente) 0 (Nem frio, nem quente) 1 (Levemente frio) -2 (Frio) -3 (Muito frio)	ASHRAE 55:2017 ISO 28802:2012 ISO 10551:1995
Qual o nível geral de satisfação em relação às condições térmicas do seu ambiente de trabalho?	Avaliação (4 níveis)	Totalmente satisfeito Satisfeito Insatisfeito Totalmente insatisfeito	ISO 10551:1995 (Escala adaptada)
Qual o conforto térmico neste momento?	Avaliação (4 níveis)	Agradável Levemente desconfortável Desconfortável Muito desconfortável	ISO 10551:1995 (Escala adaptada)
Em qual período do dia há desconforto térmico?	Temporal (5 níveis)	Durante a manhã Durante a tarde Durante o dia todo Durante a noite Nunca	Não baseada em norma

Tabela 3 - Aprofundamento da avaliação subjetiva.

Questão	Tipo de Escala	Escala	Normas de referência
Eu sinto desconforto devido a jato de ar localizado	Desconforto (4 níveis)	Sempre Muitas vezes Algumas vezes Nunca	ISO 28802:2012 (Escala adaptada)
A velocidade de circulação do ar atrapalha porque é muito alta	Avaliação (4 níveis)	Sempre Muitas vezes Algumas vezes Nunca	ISO 10551:1995 (Escala adaptada)
Eu consigo controlar a ventilação do meu local de trabalho, seja pela abertura ou fechamento de janelas ou pelo controle da ventilação forçada	Avaliação (4 níveis)	Sempre Muitas vezes Algumas vezes Nunca	ISO 10551:1995 (Escala adaptada)
O ar do escritório é muito úmido?	Umidade (4 níveis)	Sempre Muitas vezes Algumas vezes Nunca	ISO 28802:2012 (Escala adaptada)
O ar do escritório é muito seco?	Secura (4 níveis)	Sempre Muitas vezes Algumas vezes Nunca	ISO 28802:2012 (Escala adaptada)

3.4. Medições das variáveis ambientais e estimação das variáveis pessoais

As medições foram realizadas no início de 2017, com o apoio da instituição acadêmica onde foi desenvolvida a pesquisa sustentadas nas normas ISO 7726:1998, ISO 28802:2012 e DIN EN 15251:2012. O escopo incluiu temperatura, velocidade e umidade do ar e temperatura de globo. Também foram registradas imagens com um termo visor infravermelho digital que estima a temperatura de superfície. Com isto, buscou-se viabilizar o cálculo do VME, por meio da ferramenta do *Center for the Built Environment* (CBE) (TYLER, 2017), bem como encontrar possíveis causas de desconforto local.

Os sensores em posição fixa coletaram, ao longo do dia, medições de temperatura e umidade do ar e temperatura de globo (Ta, UR, Wa e Tg, respectivamente), sendo que a Tg foi medida apenas no sensor próximo da janela (Figuras 1, 2 e 3). Já os sensores portáteis realizaram medições pontuais da temperatura e velocidade do ar (Va) entre 14h e 15h na amostra de pontos definida para cada escritório (Figuras 1, 2 e 3). A temperatura radiante média (Tr) foi calculada com base na equação da ISO 7726:1998 (1998, p. 16) e a temperatura operativa (To) ao longo do dia foi obtida pela média aritmética entre a Ta e Tr, uma vez que nos locais dos sensores fixos Va foi inferior a 0,20m/s nos três escritórios (CEN, 2001, p. 52).

Com relação às variáveis pessoais, a taxa metabólica para atividades leves, típicas de escritório, e o isolamento térmico da roupa dos ocupantes foram estimados com base nos valores sugeridos na ASHRAE 55:2017, respectivamente 1,1met e 0,44clo (este último com base nas vestimentas observadas nos ocupantes durante as visitas aos escritórios) (ASHRAE, 2017, p. 06-08).

4. RESULTADOS

Dado que os critérios de conforto térmico da ASHRAE 55:2004 (base das versões 2 e 3 do LEED CI) se mantiveram na ASHRAE 55:2017 e que a NBR 16401-2:2008, de aplicação compulsória a estas situações, considera os mesmos critérios (ABNT, 2008, p. 01), assume-se que as conclusões derivadas da ASHRAE

55:2017 são válidas para escritórios projetados no Brasil.

4.1. Avaliação subjetiva

A Tabela 4 mostra, para todas as empresas, um percentual de satisfação geral aquém dos 80% recomendados pela ASHRAE 55:2017, com situação mais crítica na Empresa B. Já a Tabela 5 indica a predominância da sensação de frio, tanto no verão (principalmente) como no inverno. Com exceção da Empresa C no inverno, os escritórios pesquisados apresentaram PPI acima dos 10% recomendados na norma, sendo que a Empresa B, novamente, obteve o pior resultado. Considerando que os sistemas de ar condicionado tendem a operar de forma similar ao longo do ano, uma hipótese para esta diferença entre as duas estações é o aumento do isolamento térmico da roupa no inverno. Por fim, em relação ao desconforto devido a jato de ar localizado, considerando o limite da ASHRAE 55:2017 de 20% de insatisfação em relação a correntes de ar e admitindo que esta é relevante quando ocorre sempre ou muitas vezes, a Tabela 6 mostra que apenas a Empresa A esteve conforme a norma, enquanto as Empresas B e C não estiveram.

Tabela 4 - Nível geral de satisfação em relação às condições térmicas no ambiente de trabalho.

Empresa	Totalmente satisfeito	Satisfeito	Insatisfeito	Totalmente insatisfeito	% Satisfeitos	ASHRAE 55:2017
A	24%	54%	15%	7%	78%	80%
B	4%	54%	38%	4%	59%	80%
C	12%	66%	18%	4%	78%	80%

Tabela 5 - Sensação térmica, VME e PPI.

	Verão									Inverno								
Empresa	3	2	1	0	-1	-2	-3	VME	PPI	3	2	1	0	-1	-2	-3	VME	PPI
A	0%	10%	7%	37%	22%	10%	15%	-0,59	12,2%	0%	5%	7%	44%	20%	15%	10%	-0,61	12,8%
B	2%	3%	6%	23%	20%	23%	24%	-1,19	34,8%	2%	4%	11%	27%	25%	24%	7%	-0,71	15,7%
C	2%	1%	8%	24%	33%	17%	16%	-0,99	25,8%	2%	2%	11%	42%	24%	12%	7%	-0,46	9,4%

Tabela 6 - Desconforto devido a jato de ar localizado.

Empresa	Sempre	Muitas vezes	Algumas vezes	Nunca	Sempre + muitas vezes	ASHRAE 55:2017
A	5%	0%	33%	63%	5%	20%
B	9%	13%	25%	53%	22%	20%
C	11%	11%	32%	46%	22%	20%

Levando-se em conta que a Empresa A foi a única que optou por não atender aos créditos de conforto térmico do LEED, é possível concluir que os resultados da avaliação subjetiva são opostos à expectativa de maior satisfação com o conforto térmico nas Empresa B e C, que foram as que obtiveram maior pontuação neste quesito no processo de certificação.

O tratamento das respostas das outras questões será alvo da continuidade deste trabalho.

4.2. Medições das variáveis ambientais

A Figura 4 mostra que a temperatura do ar (Ta) apresentou baixa oscilação nas Empresas B e C (entre 23,1°C e 24,1°C) durante todo o período de medição. Na Empresa A, a amplitude foi de 2,1°C (de 23,4°C a 25,5°C), acompanhando a tendência da temperatura radiante média[1] (Tr). Por sua vez, esta variável apresentou comportamento distinto em cada empresa, teve amplitude de 4°C na Empresa A (24°C a 28°C), sendo uma elevação gradual ao longo da manhã e queda brusca no início da tarde, devido à ocorrência de chuva. Já na Empresa B, Tr apresentou baixa oscilação, entre 23,8°C e 25,4°C (1,6°C de amplitude), devido ao céu nublado e ocorrência de chuva. Por outro lado, esta variável apresentou um comportamento distinto nas medições da Empresa C, com amplitude elevada de 7,8°C (mínima de 30,6°C e máxima de 38,4°C) e intensa variação: entre 10h37min e 10h46min com amplitude de 7°C, estabilizando-se para cerca de 5°C a cada 6,5min (em média) até o término das medições (12h57min), influenciada pela movimentação de nuvens ao longo do dia que estava muito ensolarado.

O comportamento da temperatura operativa (To) caracterizou-se na Empresa A por alguns momentos de flutuação acima dos limites da ASHRAE 55:2017 para desvios e rampas (Figura 4 e detalhe naTabela 7),

[1] Para o cálculo da Tr foi considerada a Va do ponto mais próximo do termômetro de globo negro, a qual foi medida apenas entre 14h às 15h. Assim, nas Empresas A, B e C a Va considerada foi de 0,12m/s, 0,10m/s e 0,15m/s, respectivamente.

problema não identificado na Empresa B. A To na Empresa C, sob influência da radiação solar, permaneceu acima de 27°C (média de 28,7°C a 1,17m da janela), o que não a enquadra em nenhuma das categorias (I, II ou III) de conforto térmico da DIN EN 15251:2012. Também apresentou, em diversos momentos, flutuação acima dos limites recomendados na ASHRAE 55:2017 para desvios e rampas (especialmente dentro de intervalos de 15 e 30 minutos) como pode ser verificado na Tabela 7.

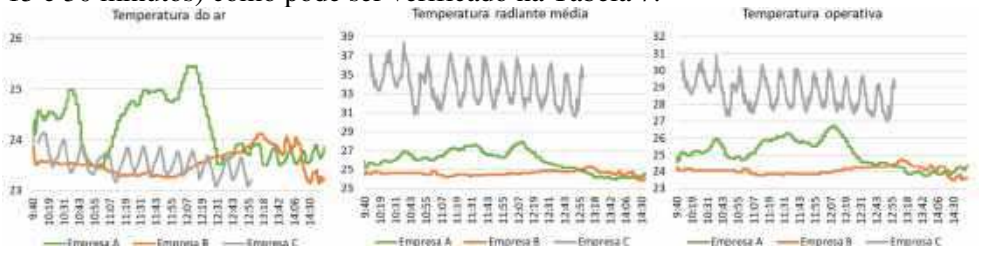

Figura 4 - Temperatura do ar, temperatura radiante média e temperatura operativa em posição fixa.[14]

Nota: Empresas A e B, sensores a 1,50m da janela; Empresa C a 1,17m da janela. Altura de 0,60m.

Tabela 7 - Desvios e rampas observados nos escritórios.

Intervalo	Limite ASHRAE 55:2017	Nº ocorrências acima do limite		
		Empresa A	Empresa B	Empresa C
15 minutos	1,1°C	2	0	25
30 minutos	1,7°C	1	0	24
1 hora	2,2°C	1	0	11
2 horas	2,8°C	1	0	1
4 horas	3,3°C	0	0	N. Disp.

A Figura 5 mostra o tratamento estatístico dos resultados das medições de Ta e Va nos diversos pontos (indicados nas Figuras 1,2 e 3), obtidos pelo sensor móvel, entre 14h e 15h.

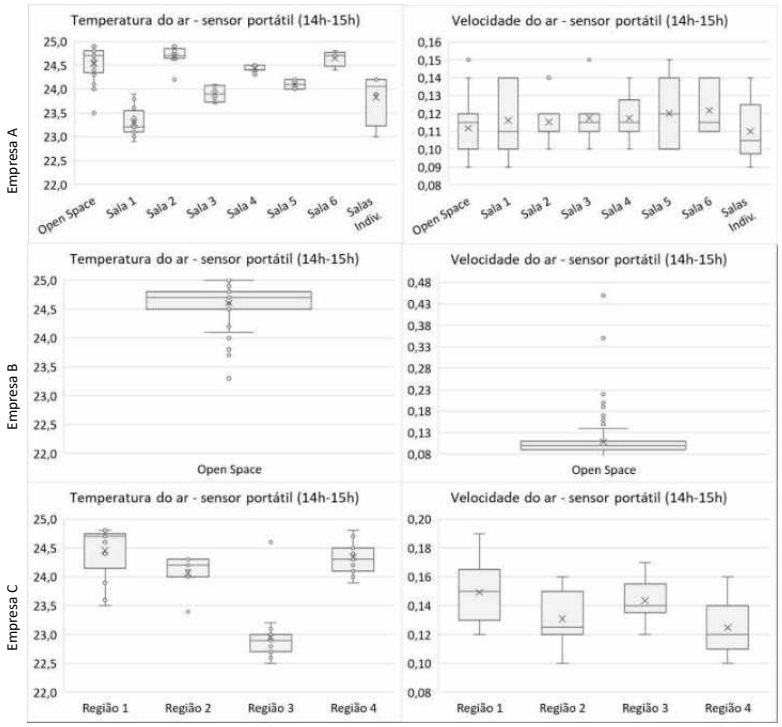

Figura 5 - Temperatura e velocidade do ar nos pontos de medição nas Empresas A, B e C.

No que tange à temperatura do ar, percebeu-se uma região (Sala 1) um pouco mais fria que as demais na Empresa A, ainda que na maioria dos pontos neste escritório Ta manteve-se entre 24°C e 25°C. A Ta na Empresa B, em geral, mostrou baixa dispersão, entre 24,5°C e 25°C, e, nos casos em que ficou abaixo deste intervalo, Ta nunca foi inferior a 23,3°C. Na Empresa C, esta variável oscilou entre 22,5°C e 24,8°C. Os

[14] Na Empresa C a medição dos sensores mantidos em posição fixa teve duração menor que nas Empresas A e B devido a problemas técnicos no equipamento.

pontos em que Ta situou-se entre 22,5°C e 23,2°C localizam-se na Região 3, a qual esteve mais fria que as demais (média de 22,9°C versus 24,3°C nas outras regiões) possivelmente devido a um ramal desbalanceado de ar-condicionado, o que também pode ter provocado a região fria na Sala 1 da Empresa A.

Em termos da Va, nas Empresas A e C não houve evidência de jato de ar localizado, dado que em todos os pontos a medição foi inferior a 0,20m/s. Já a Empresa B apresentou quatro pontos com Va superior a 0,20m/s e dois com Va igual a 0,45m/s, indicando a presença de fortes correntes de ar.

As imagens termográficas (Figura 6) indicam as ações de fortes jatos de ar e não uniformidades na distribuição de ar pelos difusores da Empresa B. No caso da Empresa C, a terceira imagem mostra o impacto da radiação solar na região próxima à janela, provocando grandes diferenças de temperatura entre as superfícies internas. A quarta indica não uniformidade no difusor de ar, o que pode gerar desconforto por jatos de ar locais.

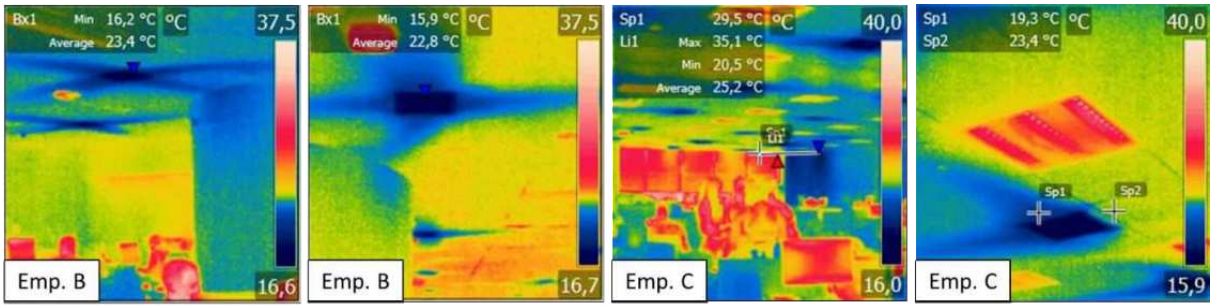

Figura 6 - Imagens termográficas das Empresas B e C.

Os detalhes do projeto de ar-condicionado da Empresa B, mostrados na Figura 7, indicam que os jatos de ar localizados ocorreram em pontos próximos de difusores de saída de ar. Na imagem da esquerda, pode-se notar a proximidade do difusor de um elemento arquitetônico circular cujo efeito do jato de ar sobre o elemento pode se refletir neste local (ver Figura 4). Esta região também sofreu a influência do difusor linear próximo da fachada. Na imagem da direita, foi percebida a inclusão de um volume arquitetônico retangular não previsto no projeto original, o qual pode causar a "reflexão" de um fluxo de ar oriundo de algum difusor. Além disso, foi constatada, durante a visita ao local, a existência de uma saída de ar não presente no projeto.

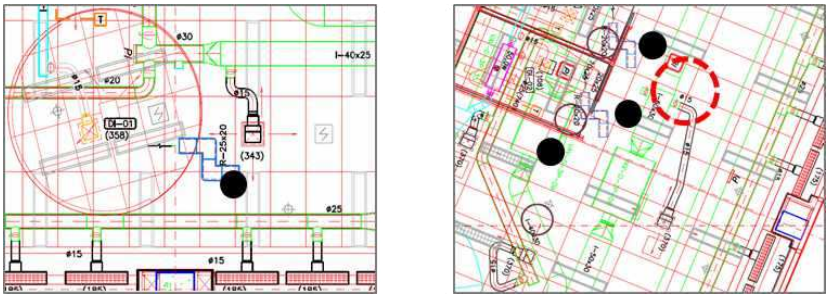

Figura 7 - Detalhe em projeto dos pontos de medição que apresentaram fortes jatos de ar na Empresa B.

Onde:

Difusor de insuflamento | Difusor linear de insuflação | Dutos novos de retorno | Equipamentos novos | Equipamentos, dutos existentes | Pontos de medição de Ta e Va | Região onde há difusor que não consta em projeto

Em relação à umidade do ar, em todos os escritórios, UR e Wa estiveram conforme os limites máximos recomendados da DIN EN 15251:2012 (respectivamente 65% e 11,5g/kg), apresentados na Tabela 8 – a ASHRAE 55:2017 não estabelece limites isolados para UR e Wa.

Tabela 8 - Medições em posição fixa de UR e Wa nos escritórios pesquisados.

Variável	Unidade	Empresa A		Empresa B		Empresa C	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
UR 1,50m da Janela	%	47,3	59,6	51,4	58,2	53,5	57,9
UR 4,20m da janela	%	47,4	60,5	49,6	56,2	-	-
Wa 1,50m da Janela	g/kg	8,9	11,3	9,4	10,6	9,6	10,3
Wa 4,20m da janela	g/kg	8,7	10,7	9	10,2	-	-

4.3. VME calculado para a amostra de pontos

Os resultados do VME (Tabela 9) mostram que, de um modo geral, as Empresas A e B estiveram conforme a ASHRAE 55:2017, ao contrário da Empresa C, que apresentou sensação estimada de calor. Este resultado foi oposto ao da avaliação subjetiva, possivelmente devido ao forte impacto da radiação solar no dia das medições neste escritório. No caso da Empresa B, a despeito das medições não refletirem os resultados da avaliação subjetiva para o ambiente como um todo, elas corroboraram a percepção dos respondentes com relação ao desconforto devido a jato de ar localizado. Conforme esperado, nos pontos que apresentaram elevada velocidade do ar, o VME apontou sensação de frio, abaixo da média deste escritório. Também conforme o esperado, as regiões frias das Empresas A e C (Sala 1 e Região 3) apresentaram VME inferior ao restante desses escritórios.

Tabela 9 - VME calculado para a amostra de pontos (14h às 15h).

Empresa A	Geral	Open Space	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala 5	Sala 6	Salas Indiv.
VME calculado	-0,47	-0,40	-0,64	-0,39	-0,53	-0,44	-0,51	-0,40	-0,50

Empresa B	Geral	Pontos com jato de ar localizado
VME calculado	-0,48	-1,18 (média)

Empresa C	Geral	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
VME calculado	+0,91	+1,00	+1,02	+0,74	N. Disp.

5. CONCLUSÕES

Os escritórios pesquisados não apresentaram condições mínimas de conforto térmico conforme as recomendações das normas internacionais, tanto em termos da satisfação e sensação globais percebidas pelos respondentes da avaliação subjetiva, como das medições das variáveis ambientais, as quais indicaram a ocorrência de desvios e rampas, jatos de ar localizado e regiões frias.

Essas considerações permitem concluir que os critérios da certificação não foram efetivos para proporcionar o conforto térmico nesses escritórios. O atendimento às recomendações das normas que regem o tema é opcional, conforme verificado na Empresa A que não obteve este crédito e foi certificada. As bruscas oscilações de Tr contribuíram para a ocorrência de desvios e rampas na To acima dos limites recomendados na ASHRAE 55:2017 nas Empresas A e C (principalmente), este efeito poderia ter sido mitigado por meio de soluções de proteção da fachada, seja por sombreamento, bem como por meio do acionamento de algum tipo de controle individual (previsto no processo de certificação).

Além disso, destaca-se que mudanças de projeto, bem como das condições de funcionamento dos sistemas de HVAC ao longo da operação, podem alterar as condições de conforto térmico inicialmente previstas no momento da obtenção da certificação, como observado na Empresa B, onde a inclusão de um volume arquitetônico e de um difusor de saída de ar não presentes no projeto original podem ter contribuído, juntamente com a Va elevada, para o resultado do VME não conforme os limites recomendados nas normas. Esses resultados ressaltam a importância do acompanhamento das condições de conforto térmico ao longo da operação.

Um ponto de atenção é o fato de escritórios com resultados tão distintos em termos de conforto térmico serem igualmente certificados. Uma síntese desta situação é a que a perda de importância deste fator no processo da certificação não foi acompanhada pelo atendimento das condições mínimas de conforto térmico e que há oportunidades de melhoria na certificação LEED ID+C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **STANDARD 55-2004**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: Ashrae, 2004. 26 p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **STANDARD 55-2017**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: Ashrae, 2017. 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**: Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: Abnt, 2008. 7 p.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **DIN EN ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Bruxelas: CEN, 2005. 56 p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 15251**: Indoor environmental input parameters for design and assessment of

energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Berlin: DIN, 2012a. 64 p.
DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN ISO 28802**: Ergonomics of the physical environment – Assessment of environments by means of an environmental survey involving physical measurements of the environment and subjective responses of people. Berlin: DIN, 2012b, 28 p.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10551**: Ergonomics of the thermal environment — Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Geneva: ISO, 1995. 18 p.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. 2 ed. Geneva: ISO, 1998. 50 p.
TYLER, Hoyt et al. **CBE Thermal Comfort Tool.** 2017. Center for the Built Environment, University of California Berkeley. Disponível em: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em: 01 jun. 2018.
UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED® for Commercial Interiors.** Washington: U.S. Green Building Council, 2005a. 74 p.
UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED 2009 for Commercial Interiors.** Washington: U.S. Green Building Council, 2009a. 67 p.
UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **Reference Guide for Interior Design and Construction.** Washington: U.S. Green Building Council, 2013a. 474 p.
UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL (Washington) (Comp.). **LEED project directory.** 2018. Disponível em: <https://www.usgbc.org/projects>. Acesso em: 20 abr. 2018.