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

DESEMPENHO TERMO-LUMINOSO DE MICROAPARTAMENTOS NA CIDADE DE SÃO PAULO

Carolina Leme (1); Leonardo Monteiro (2); Joana Gonçalves (3)
(1) Arquiteta, doutoranda do Departamento de Tecnologia da Arquitetura, carolina.leme@usp.br
(2) Doutor, Professor do Departamento de Tecnologia da Arquitetura, leo4mm@usp.br
(3) Doutora, Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura, jocarch29@gmail.com
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo,
Departamento de Tecnologia de Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética,
Rua do Lago 876, São Paulo – SP, 05508-080

RESUMO
Este artigo concentra-se na avaliação do desempenho termo-luminoso da recente produção de microapartamentos de planta livre, que já representam um volume expressivo na atual conjuntura imobiliária da cidade de São Paulo. No período entre 2011 e 2015, a participação dessa tipologia nos lançamentos residenciais menores que 45m² teve crescimento médio anual de 35%, passando de 7,9% em 2011, para representativos 35,9% em 2015. O objetivo do artigo é verificar o desempenho térmico e luminoso dos microapartamentos de planta livre produzidos entre 2011 e 2015 na cidade de São Paulo. O método é experimental a partir de levantamentos empíricos de variáveis térmicas e luminosas (temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar, luminância, iluminância) de estudos de casos. Os resultados das medições foram analisados comparativamente, permitindo o levantamento de problemáticas relacionadas ao conforto térmico e luminoso do usuário e a avaliação do desempenho termo-luminoso dos estudos de casos. Durante o inverno, as cinco unidades apresentaram no mínimo 45% do tempo abaixo da faixa de aceitabilidade de 80% do modelo adaptativo e aproximadamente 60% de horas dentro da faixa de iluminâncias úteis da luz diurna (300lux – 3000lux), demonstrando o baixo desempenho dos microapartamentos avaliados.
Palavras-chave: habitação compacta; desempenho térmico; iluminação natural; conforto adaptativo.

ABSTRACT
This paper focus on thermal and daylight performance of the recent production of open plan micro-apartments in São Paulo. The recent production of this typology already represents a relevant portion of São Paulo´s current real estate market. Between 2011 to 2015, the share of this typology, up to 45m², in the residential releases had an annual average growth of 35%, increasing from 7,9% in 2011 to 35,9% in 2015. This paper aims to evaluate the daylight and thermal performance of micro-apartment built in São Paulo, between 2011 and 2015. The method is experimental based on empirical surveys of thermal and light variables (air temperature, radiant temperature, relative humidity and air speed, and illuminance) in five case studies. The results were comparatively analysed and provided the set of problems regarding the thermal and daylight comfort of the user and an assessment of the cases under analysis. During the winter season field experiment, the five units are more than 45% of the time below 80% acceptability range of adaptive model and approximately 60% of hours inside the UDI range (300lux - 3000lux), which demonstrated the low performance of the assessed micro-apartments.
Keywords: minimum dwelling, residential, thermal performance, daylight; adaptive comfort.

1. INTRODUÇÃO

Edifícios altos de apartamentos tem sido solução usual nas metrópoles brasileiras, constituindo uma tipologia que, se por um lado, não sofreu modificações essenciais, por outro, tem originado novas possibilidades de habitação para uma população em contínuo processo de mudança (VILLA e TRAMONTANO, 2012). Segundo Ornstein (2006) até o início da década de 2000 o quadro geral dos modelos habitacionais ofertados pelo mercado imobiliário na maioria das cidades brasileiras não diferiu muito das tipologias consolidadas ao longo do século XX.

No entanto, nas últimas décadas, o aumento do valor da terra e as mudanças estruturais que tem ocorrido no núcleo familiar estão influenciando os espaços residenciais fomentado a produção de habitações mínimas. Nos primórdios da produção dos espaços residenciais reduzidos, focava-se em famílias básicas de 4 ou 5 pessoas, atualmente o mínimo é pensado para um único indivíduo (TRAMONTANO,1998). Assim, é impulsionada por esta nova conjuntura social que surgem os atuais microapartamentos de planta livre, releituras contemporâneas das quitinetes da década de 1950 e 1960 (LEME e MONTEIRO, 2016).

A recente produção dessa tipologia é caracterizada por habitações, majoritariamente, entre 14 e 45m², destinadas à classe média e alta, concentradas em regiões de infraestrutura urbana consolidada na cidade de São Paulo. Nos microapartamentos de planta livre a complexidade das interações entre atividades, usuário e espaço é intensificada, um único espaço reduzido deverá responder aos diferentes níveis de conforto dependendo da atividade a ser desempenhada. Ademais, as pessoas passam a maior parte de seu tempo em ambientes fechados, atitude profundamente enraizada em nossa sociedade, o que torna a qualidade dos espaços internos fator determinante ao bem-estar do ser humano.

Assim, a elevada representatividade dos microapartamentos na atual conjuntura imobiliária paulistana, demonstrada por Leme e Monteiro (2016), acentua a importância de estudos voltados a esses novos modelos de habitação. Segundo os autores, os microapartamentos com até 45m² produzidos entre 2011 e 2015 representam 37,7% do total de lançamentos residenciais verticalizados da cidade de São Paulo. Além disso, apesar da relevância do tema, são escassos os estudos, em âmbito nacional e internacional, que abordem questões de conforto termo-luminoso em espaços mínimos de moradia com planta livre, sobretudo em relação à produção contemporânea.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo verificar o desempenho térmico e luminoso da recente produção de microapartamentos de planta livre da cidade de São Paulo, a partir de levantamentos de campos realizados durante períodos representativos de inverno e verão.

3. MÉTODO

Investigou-se o tema por meio de estudos de casos a partir de métodos indutivos experimentais. Foram realizados levantamentos de campos em cinco tipologias de microapartamentos na cidade de São Paulo, em períodos representativos de inverno e verão. Elencou-se como estudo de caso cinco variações arquitetônicas mais usuais ofertadas recentemente pelo mercado imobiliário paulistano.

Os levantamentos de campo das variáveis térmicas (temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar) e luminosas (iluminância) foram realizados em duas etapas, com duração de 20 dias cada. A primeira ocorreu em agosto de 2017, referente ao período de inverno e a segunda em março de 2018, referente ao período de verão. Tais levantamentos seguiram as recomendações técnicas de procedimentos descritas na norma ISO 7726, 2001.

As análises dos dados coletados e tratados nos levantamentos de campo quanto ao desempenho termo-luminoso foram realizadas por meio de índices de conforto e métricas dinâmicas de avaliação lumínica. Optou-se pelo modelo adaptativo (NICOL et al, 2012) como índice de conforto térmico, visto que este se aplica a ambientes naturalmente ventilados e considera a capacidade adaptativa dos usuários (ASHRAE 55, 2013), situação característica de espaços residenciais. Quanto ao luminoso, aplicaram-se métricas dinâmicas baseadas no clima para avaliação do desempenho luminoso. A verificação em conjunto das condições de inverno e verão permitiu identificar os padrões de comportamento térmico e luminoso das unidades medidas.

3.1. Caracterização dos estudos de caso

Segundo Leme e Monteiro (2016), 87% dos atuais microapartamentos são caracterizados por habitações de planta livre com varanda e área entre 20m² e 45m². Tais empreendimentos estão concentrados na zona

central e sul da cidade de São Paulo, regiões mais adensadas ou em acelerado processo de adensamento. O clima subtropical de altitude de São Paulo (latitude 23ºS e 850 metros acima do nível do mar) apresenta temperaturas amenas durante a maior parte do ano, com a ocorrência de dias quentes no verão e noites frias no inverno.

As unidades avaliadas como estudos de casos são exemplares representativos da diversidade de soluções de microapartamentos ofertadas atualmente. As unidades apresentam aproximadamente 45m² de área, com varanda e planta livre, ou seja, sem compartimentação das áreas social e íntima. As cinco unidades padrões elencadas nessa pesquisa estão distribuídas em 3 edifícios, localizados na zona sul e centro-oeste da cidade de São Paulo. A figura 1 apresenta quadro síntese da caracterização dos estudos de casos, sendo a: unidade (a) com tratamento térmico na fachada e vidro duplo no caixilho; unidade (b) habitada e com envidraçamento da varanda; unidade (c) com varanda estendida, sendo varanda representa 65% da área total; unidade (d) duplex - com dois pavimentos e unidade (e) loft – pé-direito duplo (5,6m).

ESTUDO DE CASO | CARACTERÍSTICAS

	Unidade				Iluminação	Ventilação	
Planta Interna	Andar	Orientação	P.D	Área	Envidraçada	Ventilação	Qtd
Unidade (a) *F. Ventilada*	2º	SUL	2,68m	22,3m²	8,9m²	5,1m²	Única
Unidade (b) *Habitada*	16º	SE	2,43m	28m²	6,9m²	2,7m²	Única
Unidade (c) *Estendida*	2º	SO	2,70m	16m²	3,2m²	2,1m²	Única
Unidade (d) *Duplex*	14º	SO	2,70m	24,4m²	6,5m²	4,2m²	≠ Alturas
Unidade (e) *Loft*	3º	SO	5,64m	22,1m²	8,6m²	3,9m²	Cruzada

Figura 1 – Quadro síntese da caracterização dos estudos de casos.

3.2. Procedimentos de coleta e tratamento de dados

Os levantamentos de campo ocorreram nas unidades vazias sem ganho de calor interno, exceto na unidade (b) que estava ocupada e mobiliada. Além disso, cada período de medição foi composto por momentos com os caixilhos fechados e abertos, com o intuito de avaliar o impacto da ventilação natural na temperatura interna. Para a execução dos levantamentos de campo foi locado ao centro de cada unidade um tripé com instrumentos para coleta de dados primários de variáveis térmicas (temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa e temperatura de globo negro) e luminosas (iluminância), ilustrado na figura 2. Cada tripé era composto por um globo negro de 10cm de diâmetro, um sensor de fio quente e um datalogger HOBO U12, a 1,10m de altura para a coleta das variáveis térmicas (temperatura de globo negro, temperatura de ar, umidade relativa de ar e velocidade do ar), Em relação à velocidade de ar, a norma ISO 7726 (2001) apresenta a necessidade de considerar a direção do fluxo e a alternância de velocidade. No entanto, os ambientes desse trabalho são espaços internos com poucas aberturas em que a direção do fluxo pode ser desconsiderada. Para as variáveis luminosas foram utilizados, por possuirem sensores de iluminância, os datalogger HOBOware U12012 tanto para leitura quanto para registro de dados. Programou-se todos os sensores para registros de dados a cada 15 minutos.



Figura 2 – Levantamento de Campo unidade (a)

Quanto aos dados secundários, estes foram calculados a partir dos dados primários ou obtidos junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), referente aos registros da estação automática do mirante de Santana em São Paulo. A temperatura radiante média foi calculada segundo Nicol et al (2012) a partir da temperatura de ar, temperatura de globo e velocidade de ar e conforme expressão descrita na equação. A temperatura operativa que combina a temperatura de ar e a temperatura radiante média em um valor único, expressando o efeito casado delas (NICOL et al 2012) foi calculada conforme expressão do CIBSE (2006), equação 2. Optou-se por este método devido à variação da velocidade do ar ser superior a 0.1 m/s em alguns momentos.

$$Trm = [(Tg + 273)^4 + (1{,}2 * 10^8 * d - 0{,}4)Var * 0{,}6 (Tg - Tar)] 0{,}25 – 273$$

Equação 1

$$To = [Ta * \sqrt{(10 * Var)} + Trm] / [1 + \sqrt{(10 * Var)}]$$

Equação 2

Onde:
Var é a velocidade do ar [m/s];
d é o diâmetro do globo [m];
Trm é a temperatura radiante média [°C];
Tg é a temperatura de globo [°C];
Tar é a temperatura de ar [°C];
To é a temperatura operativa [°C].

3.3. Índices e métricas de avaliação do conforto térmico e luminoso

Em ambientes residenciais as atividades e as roupas tendem a variar rapidamente em escalas pequenas de tempo, o que contribui para o aumento significativo das flutuações internas de ganho de calor. Pesquisas em ambientes residenciais têm sido conduzidas para definição de índices de conforto adaptativo mais compatíveis a esses espaços, impulsionadas por Nicol e Windson (2010), Peeters et al (2009). Para este trabalho foi considerado taxa metabólica de 1met e foi aplicado o índice modelo adaptativo recomendado pela ASHRAE 55-2013. Este considera ambientes naturalmente ventilados, nos quais as condições térmicas dos espaços são reguladas principalmente pelos ocupantes, situação equivalente aos estudos de casos. O modelo adaptativo apresentará faixas de aceitabilidade do usuário correlacionando as temperaturas operativas calculadas e a média mensal da temperatura do ar externo. Para delimitação das faixas utiliza-se a temperatura neutra, mas relacionada as temperaturas operativas e as porcentagens de tolerâncias aceitas. Assim, a temperatura neutra aqui é denominada de temperatura de aceitabilidade e descrita pela equação 3:

$$T_(acet.)=0{,}31T_o+17{,}8±T_lim$$

Equação 3

Onde:
Tacet. é a temperatura de aceitabilidade [°C];
To é a temperatura operativa [°C];
Tlim é a temperatura limítrofe da faixa de aceitabilidade [°C].

Em relação à iluminação natural aplicou-se a métrica das Iluminâncias Úteis da Luz Natural (UDI) para avaliação do desempenho luminoso. Tal métrica permite verificar para cada ponto analisado a porcentagem de ocorrência da faixa de iluminâncias durante o período avaliado, por meio da frequência de iluminância em um determinado tempo de acordo com faixas preestabelecidas (PEREIRA, 2010). Segundo Mardaljevic et al (2011), recentes pesquisas demonstraram que faixas entre 300 e 3000lux de iluminância da luz natural são percebidas como desejáveis ou pelo menos toleráveis pelos ocupantes em diferentes cidades. Além disso, o UDI é subdividido em duas categorias: suplementar e autônoma. Na suplementar, entende-se que quando a avaliação da iluminância natural está entre 100 e 300 lux, dependendo da tarefa a ser executada, há necessidade de complementação com a iluminação artificial. Inferior a 100 lux é considerada não útil e superior a 3000 lux excessiva. Por tanto, entre 300 e 3000 lux é considerada autônoma.

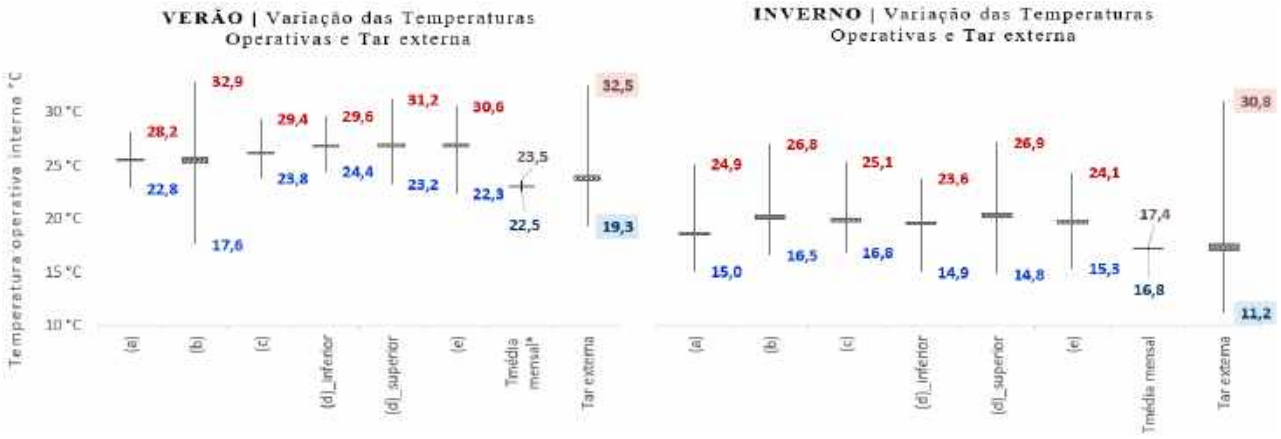
4. RESULTADOS

Em edifícios residenciais a taxa de ocupação é predominantemente noturna e, portanto, as estratégias a serem adotadas devem priorizar tal período de permanência. Nos microapartamentos a versatilidade do espaço compacto implica maiores dificuldades na formatação do conforto e na manutenção da qualidade ambiental. Dessa forma, à avaliação do conforto em sua totalidade deve considerar tais dinâmicas e a interação entre as

diversas esferas do conforto ambiental, em especial o térmico e o luminoso.

4.1. Resultados em relação às variáveis térmicas

A massa térmica desempenha papel fundamental na formatação do conforto em espaços residenciais, uma vez que contribui para a retenção do calor diurno durante as noites frias, condição frequente no clima de São Paulo (GONÇALVEZ, 2015). Nos microapartamentos o efeito da massa térmica é amplificado devido ao volume de ar ser pequeno em relação à área total de envoltória. É possível verificar tal efeito na figura 3, em que a amplitude térmica da temperatura operativa interna é consideravelmente menor do que a amplitude da temperatura de ar externa.



*temperaturas médias mensais (média dos 30 dias anteriores temperatura de ar externa)

Figura 3 – Distribuição normal das temperaturas operativas e das temperaturas médias mensais

No entanto, a contribuição da qualidade construtiva e das soluções arquitetônicas das unidades avaliadas para o efeito da massa térmica é baixa, o que resulta em uma amplitude térmica de aproximadamente 4ºC, sem considerar os ganhos de calor interno. Além disso, as máximas internas no verão estão bem próximas, em alguns casos maiores que a máxima da temperatura externa. Em casos de espaços semelhantes, mas com soluções mais adequadas às questões bioclimáticas, os resultados obtidos demonstraram um desempenho expressivamente melhor. Em estudo sobre quitinetes do edifício Copan, Gonçalves et al (2018) obtiveram uma variação da temperatura interna entre 0,5 e 1°C, tanto no verão quanto no inverno.

Segundo os autores (GONÇALVES et al, 2018), a massa térmica, ao contribuir para uma temperatura superficial interna menor que a temperatura do ar no verão, exerce papel fundamental em espaços reduzidos, principalmente em climas subtropicais como da cidade de São Paulo. Assim, o efeito do calor radiante das superfícies nesses ambientes pode resultar tanto em desconforto por assimetria, quanto em superaquecimento. Por tratar-se de espaços compactos, a proximidade do usuário com a envoltória é frequente, intensificando a ação dessas superfícies na sensação de conforto. Nesse sentido, o conjunto de soluções passivas adotadas, além de atuarem em noites frias, também devem contribuir para a dispersão do calor em noites quentes.

Quanto à variação das soluções arquitetônicas, percebe-se a influência entre os diferentes pavimentos da unidade (d), duplex, que resultou em uma baixa amplitude térmica do pavimento inferior e uma alta variação da temperatura operativa interna no pavimento superior. O pavimento superior, por ter o menor volume e abertura para o pavimento inferior, permite trocas térmicas por diferença de pressão. Dessa forma, o pavimento superior, apesar de estar mais protegida da radiação direta, é mais aquecido do que o inferior apresentando temperaturas internas mais elevadas em ambos os períodos de medição.

Ao avaliar as temperaturas operativas em relação à zona de conforto resultante do modelo adaptativo, constata-se a elevada ineficiência dessas unidades em manterem-se dentro da faixa de 80% de aceitabilidade (figura 4). Mesmo orientadas para faces com menor insolação solar, observa-se a tendência no verão de ficarem fora da zona de conforto por excesso de calor. Já no inverno a elevada ineficiência da construção de conservar o ganho solar, apresentando baixa inércia térmica, resultou em longos períodos fora da zona de conforto. No inverno, a área envidraçada da fachada é relativamente extensa o que viabiliza a penetração da radiação solar, em contrapartida não permite a conservação da radiação solar no interior dos ambientes. Tal dinâmica é constatada pelas elevadas amplitudes térmicas diárias.

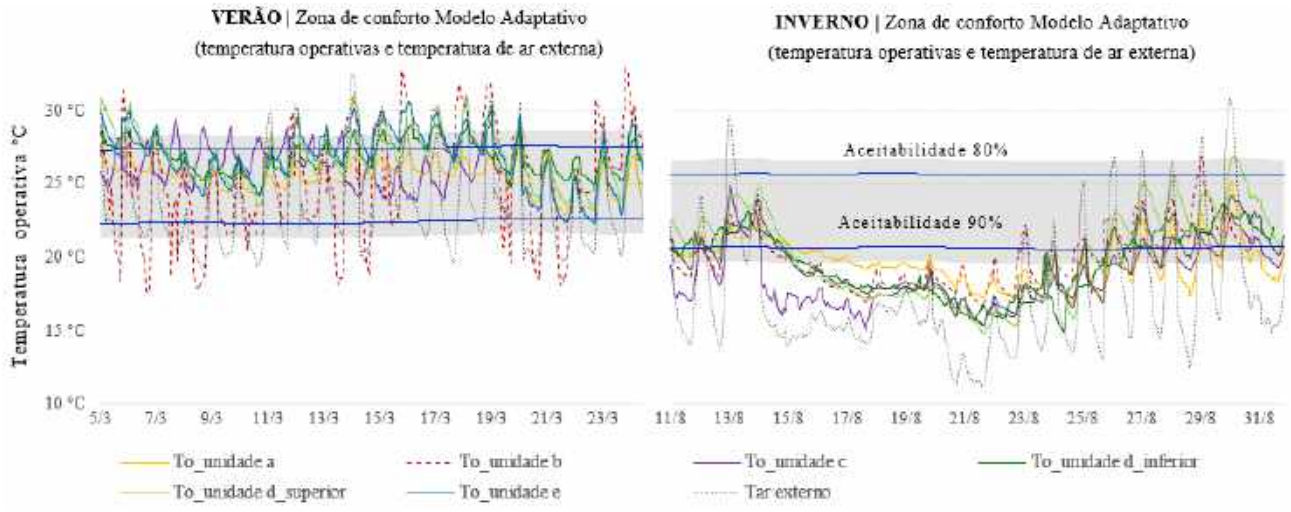


Figura 4 – Avaliação do conforto por meio do Índice do Modelo Adaptativo

Na tabela 01 é possível verificar a porcentagem de horas em que cada unidade se manteve na zona de conforto durante os levantamentos de campo. No período do inverno, as unidades sem ganho de calor interno não atingem mais 50% e a ocupada, unidade (b), alcança apenas 53%, com momentos de desconforto por excesso por aquecimento. Tais resultados demonstram a ineficiência da construção em manter-se na zona de conforto. Ainda, é importante salientar, que apesar do período de verão apresentar melhores resultados, as unidades encontravam-se vazias e, por tanto, sem ganhos de calor interno, com exceção da unidade (b).

Tabela 01 – Porcentagem de horas dentro, fora e acima da zona de conforto do modelo adaptativo (ASHRAE -55, 2013)

Unidades	**Verão – Zona 80% aceitabilidade**			**Inverno – Zona 80% aceitabilidade**		
	acima	dentro	abaixo	acima	dentro	abaixo
Unidade (a)	-	100,0%	-	-	29,3%	70,7%
Unidade (b)*	29,6%	58,5%	11,9%	0,8%	53,3%	46,5%
Unidade (c)	2,7%	97,3%	-	-	49,1%	50,9%
Unidade (d)	29%	71,0%	-	2,4%	49,5%	47,1%
Unidade (e)	26,3%	73,7%	-	-	49,5%	50,5%

*unidade (b) houve acionamento do ar condicionado durante o período de medição de verão.

Ainda, ao observar as curvas de comportamento no verão, ilustrada na figura 4, as temperaturas operativas internas encontram-se no limiar superior da zona de conforto, ou seja, ao acrescentar ganhos de calor interno há a tendência do aumento da porcentagem do tempo em desconforto. Para uma análise mais assertiva da dinâmica das unidades avaliadas, optou-se por examinar dois dias representativos, sendo um característico de inverno e outro de verão, com todas as aberturas fechadas. Dessa forma, garante-se a avaliação do desempenho em dias com características climáticas típicas dos períodos de inverno e verão, visto que durante os levantamentos existiram flutuações climáticas.

Na comparação entre os dias típicos (figura 5) o desempenho apresentado é bastante aquém do desejado, com exceção da unidade (a) no verão. Todas as unidades no inverno ficaram abaixo da zona de conforto de 80% de aceitabilidade. No verão verifica-se um aquecimento durante o dia, com pico no período da tarde e que se conserva durante a noite. Além disso, averiguou-se uma maior dificuldade de dissipação noturna do calor acumulado durante o dia no verão.

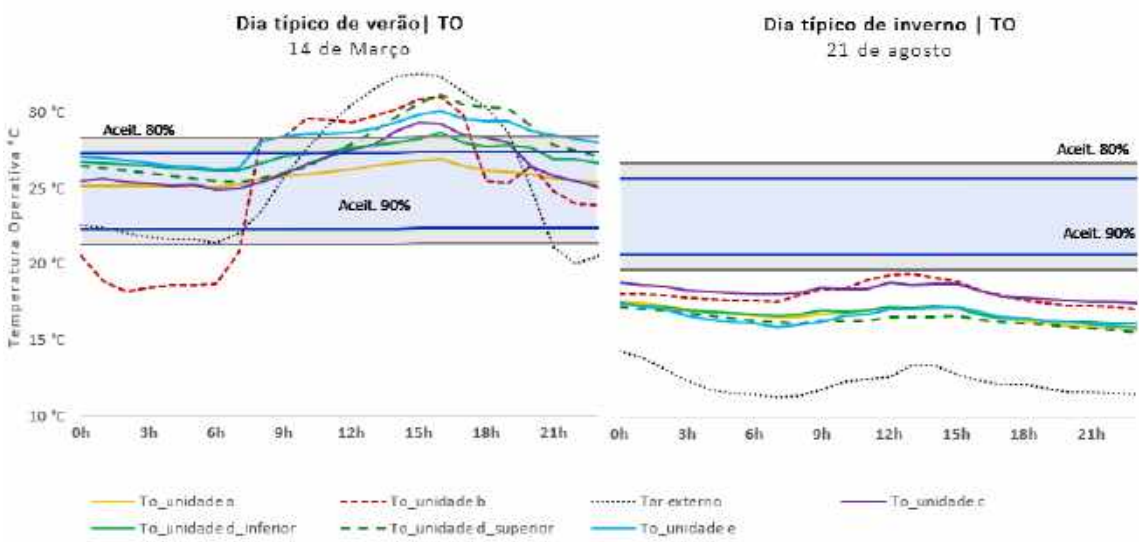


Figura 5– Avaliação do conforto por meio do Índice do Modelo Adaptativo – dias típicos de verão e inverno

Atingir a zona de conforto no período noturno em residências é de suma importância principalmente para não afetar a qualidade do sono. Como os levantamentos, na maioria, ocorreram em espaços vazios algumas ponderações devem ser consideradas quanto aos resultados encontrados. As alternativas de adaptação dos usuários para atingir a zona de conforto em situações como as demonstradas nas figuras 5 e 6 são mais eficientes no inverno do que no verão. Para aquecimento, deve-se considerar a capacidade de troca radiante entre os estofados e o ser humano, o acréscimo da resistência das vestimentas, e a produção de calor interno. Segundo Lin e Deng (2008), o efeito do isolamento térmico do sistema da cama na temperatura operativa é de aproximadamente 5,3ºC por clo, o que afeta significativamente a temperatura neutra durante o sono. Ainda, durante o sono a capacidade de adaptação do usuário é limitada (DE DEAR et al, 2009) e, portanto, o espaço deve atuar mais preponderantemente na formatação do conforto.

Analisando a figura 6, o delta de temperatura entre o ambiente externo e interno é menor e mais constante durante o inverno. Pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55 nenhuma das unidades estudadas ficaram dentro da faixa de 80% de aceitabilidade no dia típico de inverno, exigência mínima de atendimento para a referente norma. No entanto, a média da temperatura operativa interna foi de 16,9°C, não tão aquém a da faixa de 80% de aceitabilidade, sendo maiores e mais factíveis as estratégias de adaptação por parte dos usuários. Como mencionado, a produção de carga de calor interno, o aumento das camadas de vestimentas ou coberturas e as trocas radiantes entre os estofados e o usuário não foram consideradas.

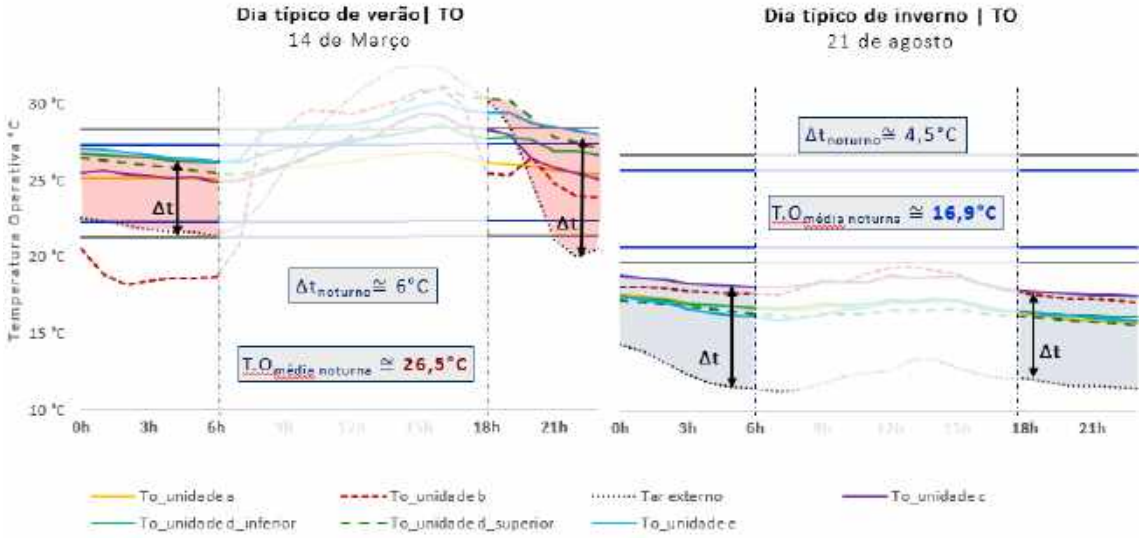


Figura 6 – Comparação entre dias típicos de verão e inverno

Portanto, mesmo o verão atendendo as exigências da referida norma, ao considerar o período predominante de uso (noturno), os resultados demonstram uma maior tendência de desconforto em situações reais de uso do que no inverno. Ao considerar a carga interna, a pouca capacidade do usuário em se adaptar ao calor durante o sono, em dias de verão tais unidades tendem a sair da zona de conforto o que pode induzir

ao uso de ar condicionado, como constatado na unidade habitada (b). Tal situação é reforçada pela elevada média de temperatura operativa interna observada, 26,5°C.

Além disso, o modelo adaptativo da ASHRAE 55 foi desenvolvido para espaços comerciais, onde o uso é preponderantemente diurno, e, portanto, pode ocorrer discrepâncias entre a faixa de conforto do modelo e a sensação de conforto real do usuário. Contudo, tanto no inverno quanto no verão, os estudos de casos demonstraram um baixo desempenho da construção, com poucas opções de formatação do espaço, visto que em todas as unidades as aberturas são compostas por portas de correr com vidro translúcido, sem persianas ou venezianas.

4.2. Resultados em relação às variáveis luminosas

A iluminação natural é uma importante questão na arquitetura ao afetar o arranjo funcional dos espaços, o conforto dos ocupantes (visual e térmico) e o consumo energético do edifício. O território brasileiro é abundante em luz natural, como fonte sustentável e de excelente qualidade, absorvê-la nos projetos de arquitetura torna-se imperativo. A quantidade e a distribuição interna da luz dependem da nebulosidade, do clima, das obstruções externas, da orientação, do projeto interno, do dimensionamento das aberturas e das características óticas e de reflexão dos materiais.

A penetração da luz natural nos estudos de casos ocorre quase que exclusivamente pelas portas das varandas. Elementos estes que tendem a proporcionar uma distribuição heterogênea da luz natural no interior do ambiente, uma vez que estão locados apenas em uma orientação, verticais e sem diferenças de alturas. Além disso, nas unidades avaliadas, apenas uma única abertura sem venezianas é responsável tanto pela ventilação natural, quanto pela iluminação natural, o que limita as alternativas de adaptação do espaço para alcance do conforto e contribuir para o uso de estratégias ativas, como condicionamento mecânico e a iluminação artificial.

Percebe-se na figura 7, quadro comparativo das iluminâncias entre inverno e verão, uma disponibilidade muito reduzida durante o inverno em relação ao verão. No entanto, no verão a possibilidade de ocorrência de ofuscamento por excesso de iluminância é relativamente elevada.

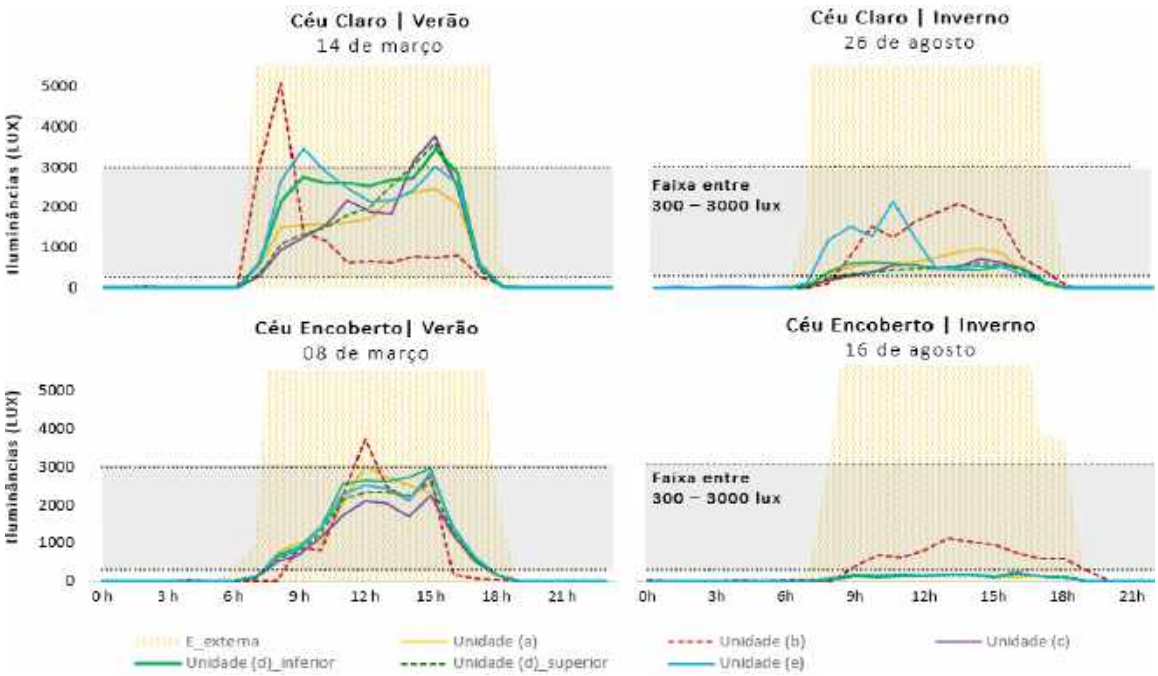


Figura 7 – Análise da Comparação entre os dias típicos de inverno e verão com céus encobertos e claros

A avaliação das iluminâncias da luz do dia úteis (UDI) do período de medição indicou um atendimento satisfatório da iluminação, com exceção do dia típico de inverno, em que há predominância do céu nublado, conforme demonstrado na figura 8. Neste dia, os resultados indicam a necessidade de uso da iluminação artificial durante todo o dia, seja esta complementar a iluminação natural ou total. Tal situação pode acarretar um aumento expressivo do consumo energético e prejuízos a acuidade visual e a saúde do usuário.

Características Construtivas						Período Total		Dias Típicos	
Unidade	*Orientação*	*Andar*	*P.D*	*Área de piso*	*Área Envidraçada*	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Unidade (a) *F. Ventilada*		2º	2,68m	22,3m²	8,9m²	**83,4%**	**58,5%**	**95,8%**	**0%**
Unidade (b) *Habitada*		16º	2,54m	28m²	6,9m²	**73,6%***	**87,5% ***	**83,3%***	**100,0%***
Unidade (c) *Estendida*		2º	2,70m	16m²	3,2m²	**81,1%**	**50,8%**	**87,5%**	**0%**
Unidade (d) *Duplex*		14º	2,70m	24,4m²	6,5m²	**64,9%**	**58,5%**	**91,7%**	**0%**
Unidade (e) *Loft*		3º	5,64m	22,1m²	8,6m²	**83,4%**	**59,0%**	**87,5%**	**0%**

Figura 8 – Quadro síntese das Iluminâncias Úteis (UDI)

Apesar da ocupação ser predominantemente noturna, é importante considerar também a influência da iluminação natural no período da manhã e nos finais de semana, além da sua relação com o conforto térmico e seus ganhos na qualidade visual e na percepção do espaço. Ademais, há um aumento significativo do trabalho remoto o que ocasiona um maior uso dos espaços residenciais no período diurno durante a semana. Tais alterações comportamentais, sociais e ambientais devem ser ponderadas na avaliação do conforto ambiental e na concepção dos espaços.

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa verificou o desempenho termo-luminoso da recente produção de microapartamentos por meio da avaliação de cinco estudos de caso durante períodos de verão e de inverno. Os resultados demonstram a baixa qualidade ambiental dos estudos de casos avaliados, visto que a maioria apresentou desempenho térmico inadequado ao período analisado. Tais resultados permitem induzir que aspectos climáticos, especificidades da implantação e a qualidade ambiental do espaço foram negligenciados no processo de concepção e de execução do projeto.

Ainda, as avaliações dos estudos de casos reforçam a mentalidade do mercado imobiliário de pasteurizar soluções arquitetônicas, pois não há diferenciação significativa das soluções adotadas, sejam construtivas ou arquitetônicas. Portanto, a atual tipologia de habitação mínima de planta livre ofertada pelo mercado, denominada de microapartamento, tende a fomentar respostas ineficientes energética e ambientalmente. Além de apresentarem potencial de prejuízo à saúde e ao bem-estar dos usuários, uma vez que não oferecem soluções mais versáteis e adequadas às complexidades dos espaços analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55**: **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. New York, 2013.

_____. **ISO 7726**: **Thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities**, Switzerland, 2001.

CIBSE - CHARTED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. **Degree-days: theory and application**. London, 2006.

DE DEAR, R.J; BRAGER, G.S. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55**. Energy and buildings, 34(6), pp.549-561, 2002.

GONÇALVES, J. C. S.; DOLCE, M.; MULFARTH, R. C. K.; LIMA, E. G.; FERREIRA, A. **Revealing the thermal environmental quality of the high-density residential tall building from the Brazilian bioclimatic modernism: The case-study of Copan building.** Energy and Buildings, 175, 17-29, (2018).

GONÇALVES, J.C.S.; BODE, K**. Edifício ambiental: Arquitetura e Ambiente**, São Paulo, Oficina de Textos, 2015.

LEME, C.C; MONTEIRO, L.M.; **A recente produção dos apartamentos compactos de planta livre na cidade de São Paulo**. Habitar 2016, Belo Horizonte, 2016.

LIN, Z.; DENG, S. **A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—developing a thermal comfort model for sleeping environments**. Building and Environment, 43(1), 70-81, 2008.

MARDALJEVIC, J; ANDERSEN, M; ROY, N; CHRISTOFFERSEN, J. **Daylighting metrics for residential buildings** (No. CONF), 2011.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. **Adaptive thermal comfort: principles and practice**. Routledge, 2012.

ORNSTEIN, S.W.; VILLA, S.B. **Avaliação do Comportamento dos Usuários no Processo Habitacional: métodos e reflexões.** Florianópolis: XI ENTAC, anais do evento, p. 1397-1407, 2006.

PEETERS, L; DE DEAR, R; HENSEN, J; D'HAESELEER, W. **Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation**. Applied Energy, 86(5), 772-780, 2009.

PEREIRA, I.M; DE ASSIS, E.S. **Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático**. Ambiente construído, 10(1), pp.31-51, 2010.

REINHART C.F; MARDALJEVIC J; ROGERS Z**. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design**. Leukos;3(1):7-31, 2006.

TRAMONTANO, M.C. **Novos modos de vida, novos espaços de morar, Paris, São Paulo, Tokyo: uma reflexão sobre a habitação contemporânea**. Tese de Doutorado. 1998.

VILLA, S. B.; TRAMONTANO, M. **Apartamento metropolitano: evolução tipológica.** Anais: Seminário de História da Cidade e do Urbanismo, v. 6, n. 3, 2012.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro e ao Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da universidade de São Paulo pelo apoio técnico.