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

CONFORTO TÉRMICO EM RESIDÊNCIAS DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS EM JOINVILLE/SC

Leticia Silveira Moy (1); Ricardo Forgiarini Rupp (2); Enedir Ghisi (3)
(1) Engenheira Civil, leticiamoy@hotmail.com
(2) Doutor, Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, ricardorupp@gmail.com
(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir.ghisi@ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Caixa Postal 476, Florianópolis - SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-2392

RESUMO
Considerando o cenário atual do aumento das temperaturas globais e da dependência por energia elétrica para alcançar o conforto térmico, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de residências em Joinville/SC e o conforto térmico de seus moradores. Foram monitoradas três residências durante 128 dias, em um período predominantemente frio. Comparou-se a temperatura externa e interna de cada residência para a análise do desempenho térmico. O estudo de conforto térmico foi feito por meio da aplicação de questionários, com questões referentes à preferências e sensações térmicas dos usuários no momento da resposta, que serviram como base para estabelecer correlações entre os dados e analisar possíveis padrões nas respostas. Buscou-se encontrar relações entre os parâmetros avaliados e comparar temperaturas e umidades das diferentes residências e ambientes monitorados. As correlações foram avaliadas e comparadas com resultados obtidos por estudos semelhantes. Quanto ao desempenho térmico, ao analisar os dados de temperatura, notou-se que devido aos padrões construtivos, uma das residências registrava valores bem mais baixos que as demais. As correlações de conforto térmico entre o isolamento das vestimentas e os dados de sensação térmica e temperatura foram significativas, conforme a teoria de conforto adaptativo. Os resultados obtidos neste trabalho demonstram a influência dos padrões construtivos das residências no seu desempenho térmico. Os resultados de conforto térmico condizem com o estudo do conforto adaptativo, podendo-se atribuir as diferenças entre as temperaturas obtidas nesse trabalho e os demais à capacidade de adaptação dos usuários ao ambiente que vivem.
Palavras-chave: residência unifamiliar, estudo de campo, conforto adaptativo, desempenho térmico.

ABSTRACT
Considering the current scenario of increasing global temperatures and the dependence on electric power to achieve thermal comfort, this work aims to evaluate the thermal performance of residences in Joinville/Brazil and the thermal comfort of their occupants. Three residences were monitored over 128 days in a predominantly cold period. The external and internal temperatures of each residence were compared for the thermal performance analysis. The study on thermal comfort was carried out through the application of questionnaires, with questions regarding the user's thermal preferences and sensations at the moment of the response, which served as a basis for establishing correlations between the data and analyzing possible patterns in the responses. It was sought to find relationships between the evaluated parameters and to compare temperatures and humidities of the different residences and monitored environments. Correlations were evaluated and compared with results obtained in similar studies. As for the thermal performance, when analyzing the temperature, it was noticed that due to the construction standards, one of the residences had temperatures much lower than the others. The correlations of thermal comfort between the clothing insulation and the thermal sensation and temperature were significant, according to the theory of adaptive comfort. The results obtained in this work show the influence of the characteristics of the residence in their thermal performance. In addition, the results on thermal comfort confirm and conform to the adaptive comfort theory, so that the differences between the temperatures obtained in this work and the others can be attributed to the adaptability of users to the environment in which they live.
Keywords: single family residence, field study, adaptive comfort, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução da sociedade também aumenta a demanda por tecnologias que satisfaçam os novos interesses da população. Neste contexto, o consumo de energia elétrica cresce em todos os setores, ameaçando a capacidade mundial de suprir toda essa energia e levando a ocorrência de crises energéticas como as de 2001 e 2005 no Brasil. No setor da Construção Civil, a possibilidade de economia de energia no setor residencial por meio de técnicas visando maior desempenho térmico das edificações mostra-se fundamental ao analisar-se os dados do Balanço Nacional de Energia do ano de 2016. Enquanto houve queda total do consumo de energia de 0,9% devido à desaceleração da economia, esse setor em contraste aos demais aumentou em 1,4%, representando 9,7% do consumo total de energia do país e 25,6% do consumo total de eletricidade (EPE, 2017).

Somado ao alto consumo energético das edificações no país, o aumento da temperatura terrestre devido às mudanças climáticas gera a necessidade de redução dos efeitos do aquecimento global por meio da utilização de estratégias passivas nos futuros projetos de edificações (INVIDIATA; GHISI, 2016). As novas soluções construtivas, compostas por diferentes composições de materiais e maiores preocupações quanto às orientações das edificações, fizeram com que fosse possível a melhora do desempenho térmico com algumas mudanças na elaboração dos projetos. Neste cenário, em 2005 foi criada a primeira Norma Brasileira referente ao desempenho térmico em edificações: a ainda vigente NBR 15220 (ABNT, 2005), que tem como objetivo diminuir o consumo de energia com condicionamento artificial e alcançar maior conforto térmico dos usuários. Em 2013 foi lançada outra norma sobre edificações residenciais, a NBR 15575 (ABNT, 2013).

A partir da criação das normas notou-se maior preocupação quanto ao desempenho e conforto térmico, quando estes assuntos se tornaram mais presentes em pesquisas e trabalhos acadêmicos. De acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), o nível de eficiência energética de uma edificação se dá por meio da avaliação da envoltória e do sistema de aquecimento da água, que dependem da região geográfica e da zona bioclimática (PROCEL EDIFICA *et al*., 2012). As características da região geográfica em que a edificação se localiza, por exemplo, a altitude, latitude e topografia, influenciam diretamente nas condições climáticas locais, como a temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento (OLGYAY, 2008). Com o objetivo de adequar as construções ao clima, a NBR 15220-3: Desempenho térmico em edificações (ABNT, 2005) divide o país em oito zonas bioclimáticas, definidas segundo dados climáticos de temperatura e umidade. Desse modo, existem recomendações específicas para cada uma das zonas bioclimáticas (PROCEL EDIFICA *et al*., 2012).

A envoltória é um fator determinante para o desempenho térmico e é composta por elementos que estão em contato com o meio externo, sendo divididos em quatro grupos principais: paredes, coberturas, pisos e aberturas. As diferentes características termofísicas relacionadas aos materiais utilizados, como a transmitância térmica, absortância e capacidade térmica, influenciam significativamente nas características termofísicas da envoltória (FERREIRA *et al*., 2017). Existem também outros fatores a serem considerados no desempenho térmico das edificações, como o microclima do local onde essas se encontram, o qual não pode ser desprezado em termos de desempenho térmico. Por sua vez, o entorno construído afeta diretamente o microclima da região em que a edificação está localizada (VASCONCELLOS; CORBELLA, 2007).

Dessa forma, é possível notar a importância do estudo da região em que a edificação se localiza, identificando sua zona bioclimática e a escolha dos materiais da envoltória, garantindo assim desempenho térmico satisfatório do projeto e, eventualmente, o conforto térmico relacionado aos usuários, definido por Fanger (1970) como "a condição da mente em que se expressa satisfação com o ambiente térmico inserido". Para alcançar esse estado, existem diversos fatores a serem considerados. Nesse estudo, utilizou-se a abordagem de conforto adaptativo, ou seja, ao passar por uma situação de desconforto térmico, as pessoas tendem a se adaptar de modo a restaurar o seu conforto térmico (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997). Estudos de conforto térmico em edificações residenciais têm sido realizados em diferentes regiões, como na Índia (INDRAGANTI; RAO, 2010), na Austrália (KIM *et al.,* 2017) e na China (SONG *et al*., 2018).

2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo principal verificar a influência das características de diferentes edificações unifamiliares no desempenho térmico da edificação e avaliar o conforto térmico dos usuários.

3. MÉTODO

O método deste trabalho divide-se em cinco etapas: Descrição do clima de Joinville/SC; Escolha das residências; Medições em campo; Aplicação de questionários; Tratamento e análise dos dados.

3.1. Descrição do clima de Joinville/SC

A cidade de Joinville encontra-se no Sul do Brasil e é a maior cidade de Santa Catarina, com 1.124,5 km². Localiza-se na região nordeste do Estado, em latitude sul 26°18'05'' e longitude oeste 48°50'38''. O clima da cidade é do tipo úmido a superúmido, com umidade relativa média anual do ar externo de 76,0%. Devido ao seu relevo, apresenta três subclasses de microclima diferentes. A cidade pertence à zona bioclimática 5 (ABNT, 2005). As direções predominantes dos ventos são as direções leste (26,5%) e nordeste (16,4%) (IPPUJ, 2017). A cidade possui, na maior parte do ano, temperaturas amenas, porém com diferenças claras entre estações quentes, amenas e frias. A temperatura média anual é de 21,7°C, a máxima é de 31,0°C no mês de janeiro e a mínima é de 13,0°C em julho. Outra característica marcante da cidade é a grande ocorrência de chuvas, com precipitação média mensal de 169,8mm (IPPUJ, 2017).

3.2. Escolha das residências

A escolha das residências foi feita de forma a obter-se locais que possuíssem temperaturas externas semelhantes, por meio da proximidade entre eles. Dessa forma, foram escolhidas três casas no bairro Costa e Silva, localizado na região oeste da cidade. Duas das casas encontram-se no mesmo condomínio, distanciando-se 80 metros entre si. A terceira casa está a 660 metros da casa mais distante, como mostra a Figura 1.



Figura 1 – Proximidade entre as residências escolhidas.

3.3. Medições em campo

Para obter as temperaturas internas das residências, foram utilizados sensores distribuídos nos ambientes de permanência prolongada de cada uma das residências. Os equipamentos utilizados foram do tipo Hobo *data logger* H8, da Onset Computer Corporation, que medem temperatura e umidade relativa do ar. Todos os equipamentos foram emprestados pelo Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) da UFSC. As temperaturas e umidades relativas do ar externo foram obtidas a partir do requerimento de dados ao Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM). O período de medição foi do dia 1º de junho até dia 7 de outubro de 2018.

No total foram alocados onze sensores. Na Residência 1, foram alocados sensores em dois dos três quartos (o terceiro quarto não foi estudado, pois não possui ocupante permanente), um na cozinha e um na sala de estar conjugada, totalizando quatro sensores. Na Residência 2, alocou-se um sensor na cozinha e um em cada quarto, sendo três sensores no total. Com três quartos, a Residência 3 foi contemplada com quatro sensores, um em cada quarto e um na sala de estar. As medições foram feitas em intervalos de 30 minutos. Optou-se por continuar as medições durante a primeira semana do mês de outubro devido às temperaturas mais altas registradas no início desse mês.

Durante o período de estudo nas três residências, os sensores foram fixados em móveis dos ambientes, com pedaços de velcro, de forma a não estarem diretamente encostados nos móveis. Todos os sensores foram colocados ou no centro do ambiente, ou a pelo menos um metro de distância de cada uma das paredes externas. Os sensores foram posicionados a uma altura de 0,6 metros acima do nível do piso, conforme recomendações da norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) para ocupantes sentados. Todos os sensores foram calibrados previamente à realização do estudo.

3.4. Aplicação de questionários

Foram adotados dois tipos de questionários para realizar o estudo. O primeiro questionário foi aplicado apenas uma vez, de forma a conhecer as características dos usuários, contendo perguntas demográficas e pessoais, como idade, altura, peso e nível de escolaridade, além de perguntas sobre hábitos para a obtenção de conforto e práticas usuais.

O segundo questionário foi referente à percepção térmica no momento da resposta. Uma vez por semana era enviado aos entrevistados o questionário via celular, em dias e horários diferentes, porém com

predominância do período noturno devido à disponibilidade dos entrevistados, durante todo o período de medição dos sensores. O questionário foi elaborado na plataforma Google Forms, e de forma a ser um questionário rápido de ser respondido, com duração aproximada de dois minutos. Nesse questionário, as perguntas eram sobre a sensação, preferência e conforto térmico dos usuários. A Figura 2 mostra o fluxograma do questionário. Após a identificação do usuário e localização dele na residência, havia a pergunta sobre sensação térmica, com sete possíveis respostas variando entre os extremos de -3, "com muito frio" e +3 "com muito calor", conforme a escala de 7 pontos de sensação térmica da ASHRAE 55. A quarta pergunta era sobre conforto térmico, ou seja, o usuário poderia estar "confortável", "ligeiramente confortável", "ligeiramente desconfortável" ou "desconfortável". Logo após, questionava-se se o usuário preferia estar "mais aquecido (+1)", "assim mesmo (0)" ou "mais resfriado (-1)". Em seguida eram feitas perguntas sobre as estratégias que estavam sendo utilizadas no cômodo, como uso de aparelhos de ar-condicionado, ventiladores, entre outros; além da pergunta sobre o tipo de roupa utilizada no momento da resposta, que poderia variar entre quatro respostas (muito leve, leve, casual e pesada) e sobre o uso de alguma peça de roupa extra como luvas e cachecóis. Maiores informações sobre os questionários aplicados podem ser consultadas em Moy (2018).



Figura 2 – Fluxograma do questionário semanal.

3.5. Tratamento e análise dos dados

Para a interpretação dos resultados obtidos, realizaram-se análises dos dados coletados por meio de planilhas eletrônicas e gráficos no *software* Microsoft Excel. Os resultados de temperatura interna obtidos foram agrupados em planilhas eletrônicas, de acordo com seu respectivo ambiente, residência e mês de coleta. Os dados de temperatura interna e externa foram comparados com suas respectivas respostas aos questionários de conforto térmico.

Inicialmente, foi analisada a influência das propriedades construtivas das residências no desempenho térmico das mesmas. Para isso, utilizou-se a diferença entre os dados obtidos de temperaturas médias diárias internas e externas, que foi analisada e comparada com as características dos ambientes e residências. Dessa forma, constatou-se quais fatores poderiam ter sido mais ou menos influentes nas divergências entre as temperaturas internas e externas.

Os dados obtidos por meio dos questionários semanais foram correlacionados com os dados de temperatura registrados no cômodo em que foi respondido o questionário, sendo possível analisar sua influência nos parâmetros estudados. Para isso, elaboraram-se gráficos, facilitando a análise e o entendimento da relação entre os dados. Para a correlação da temperatura com sensação térmica, conforto térmico e vestimenta, os dados destes parâmetros foram agrupados por faixa de temperatura, realizando uma média aritmética entre os dados existentes em cada faixa, de modo que a cada 1°C existisse apenas um valor correspondente da outra variável. Na correlação da vestimenta e sensação térmica, realizou-se uma média aritmética dos valores de isolamento da vestimenta correspondentes a cada um dos sete pontos de sensação térmica. Adotou-se para fins de estudos os valores de isolamento térmico para cada tipo de roupa iguais aos do estudo de Kim *et al*. (2017). Para roupas muito leves, considerou-se o isolamento de 0,2 clo; para roupas leves, 0,4 clo; para roupas casuais, 0,6 clo; por fim, para roupas pesadas adotou-se 1,0 clo. Analisou-se também o uso de ajustes ambientais na sensação térmica sentida.

Para a realização do gráfico de conforto, dividiu-se as respostas "Desconfortável", "Ligeiramente desconfortável", "Ligeiramente confortável" e "Confortável" em faixas de porcentagem de conforto, 0-25%, 25-50%, 50-75% e 75-100%, de modo a obter-se a porcentagem de usuários confortáveis. Depois, realizou-se a média das porcentagens para cada faixa de temperatura de modo a obter-se apenas um valor de porcentagem de usuários confortáveis por temperatura.

Por fim, pelo método de Griffiths, obteve-se a temperatura de neutralidade térmica para cada resposta ao questionário semanal e foi realizada a média aritmética dos valores encontrados para obter-se a temperatura de neutralidade do estudo. O método de Griffiths é utilizado em diversos estudos relacionados

ao conforto térmico (HUMPHREYS *et al.*, 2013; RUPP *et al.*, 2018) e consiste na obtenção da temperatura de neutralidade para cada resposta de sensação térmica de acordo com a Equação 1.

$$T_{neutra}=T_{oper}-TSV/G \quad \text{Equação 1}$$

Onde:
T_{neutra} é a temperatura de neutralidade térmica [°C];
T_{oper} é a temperatura operativa no ambiente em que a resposta foi registrada [°C]. Neste trabalho, foi adotada a temperatura do ar;
TSV é o voto de sensação térmica [adimensional];
G é a constante de Griffiths [$°C^{-1}$], adotada como 0,5 neste trabalho, de acordo com outros estudos semelhantes, como o de Rupp (2018).

4. RESULTADOS

Apresenta-se os resultados obtidos por meio de análises e correlações dos dados gerados. Da mesma forma, são expostas as características de cada uma das residências monitoradas, de modo a obterem-se comparações entre as diferentes residências.

4.1. Residências estudadas e perfil dos entrevistados

A primeira residência possui quatro pavimentos, com três quartos e uma área total de 330m². Esta residência é ocupada por quatro moradores. Sua fachada principal está localizada a oeste e seu entorno possui dois prédios, um terreno baldio e uma casa. Suas paredes foram executadas com tijolo cerâmico de 6 furos, revestidas com argamassa e pintadas na cor amarela. Sua cobertura é composta por telha cerâmica cinza, manta térmica e laje. Suas esquadrias são de madeira, com veneziana e vidro simples. A Figura 3 mostra sua fachada principal. A segunda residência é uma residência térrea, com dois quartos, área de 160m² e três moradores. Como está localizada em um condomínio, ela é cercada apenas por outras casas, em todos os lados. Sua fachada principal está localizada a oeste. Suas paredes foram executadas com tijolo cerâmico de 6 furos, revestidas com argamassa e pintadas na cor cinza. Sua cobertura é composta por telha cerâmica cinza e laje. Suas esquadrias são de madeira, com vidro simples. A Figura 4 mostra sua fachada principal. A Residência 3 possui dois andares, três quartos, área de 200m² e três moradores. Apesar de estar em um condomínio, esta casa se localiza no extremo da rua, de forma que é cercada apenas por duas casas e nos outros dois lados há terrenos baldios. Tem suas paredes executadas com tijolo cerâmico de 6 furos, revestidas com argamassa e pintadas na cor cinza. Sua cobertura é composta por telha cerâmica natural. Suas esquadrias são de madeira com vidro simples. Sua fachada principal possui orientação sudoeste, como mostra a Figura 5.

Neste estudo foram entrevistados dez ocupantes das residências, sendo a maioria deles mulheres (60%), com idade média dos entrevistados de 32 anos, peso médio de 69kg e altura média de 1,71m.



Figura 3 – Fachada da Residência 1.



Figura 4 – Fachada da Residência 2.



Figura 5 – Fachada da Residência 3.

4.2. Desempenho térmico

Por meio dos registros de temperatura e suas comparações, foi possível avaliar o desempenho térmico dos ambientes monitorados. Totalizaram-se 67.782 medições em todos os cômodos. Comparando as temperaturas obtidas em cada uma das residências, é possível notar a diferença de temperatura entre a Residência 1 e as Residências 2 e 3, como mostra a Figura 6. A Residência 1 possui temperatura interna mais baixa que as demais, estando mais próxima da temperatura externa, pois possui pé-direito mais elevado e ambiente maiores, resultando em maior volume de ar nos espaços.

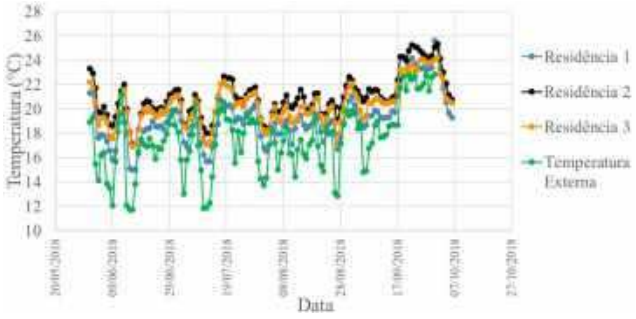


Figura 6 – Comparação entre as temperaturas médias diárias de cada residência e a temperatura média diária externa.

As temperaturas mínimas possuem diferenças de até 3,9°C entre a residência mais fria (Residência 1) e a mais quente (Residência 2). Quando analisadas as temperaturas máximas, pode-se notar que a Residência 2 é a que registra os maiores valores. Como visto na seção anterior, este fato pode dever-se à Residência 2 ser uma residência térrea, portanto com maior incidência solar direta nos ambientes monitorados, como concluído por Indraganti e Rao (2010). Outro fator de grande contribuição para o aumento da temperatura nessa residência é o seu entorno, pois ao contrário das outras duas residências, seu entorno é composto por outras residências, de modo que não há o resfriamento causado pela presença de vegetação, conforme exposto por Castaldo *et al*. (2018). O sombreamento causado pelas casas vizinhas se mostrou pequeno devido à distância entre elas.

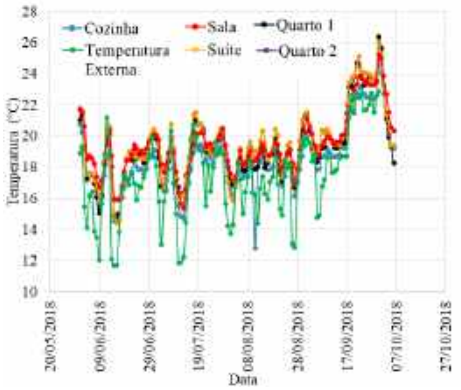


Figura 7 – Comparação das temperaturas de cada cômodo da Residência 1.

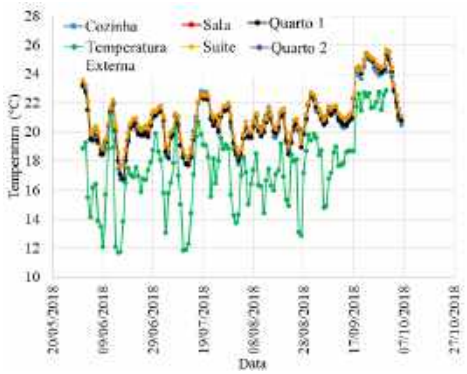


Figura 8 – Comparação das temperaturas de cada cômodo da Residência 2.

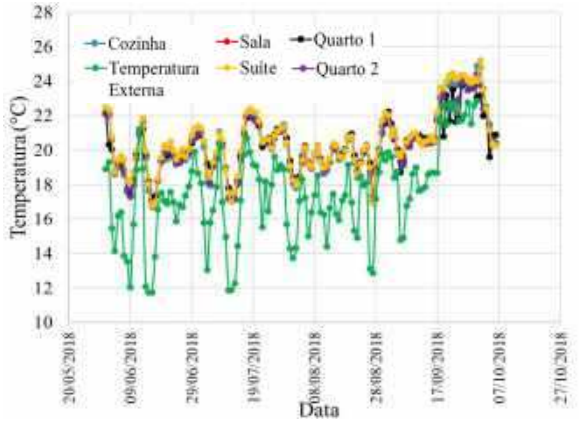


Figura 9 – Comparação das temperaturas de cada cômodo da Residência 3.

Na Residência 1 nota-se que o ambiente mais quente monitorado é a sala (Figura 7). Esse fato pode ser devido à presença de uma esquadria existente em toda a extensão da altura do pé-direito, facilitando a incidência dos raios solares. A suíte, que possui a mesma orientação da sala, registra temperaturas maiores que os outros dois cômodos, indicando influência da orientação solar na temperatura interna. Nota-se casos em que a temperatura da cozinha chega a se igualar à temperatura externa. A sua localização térrea, proximidade a entornos com grande presença de vegetação e orientação são alguns dos fatores que influenciam nesse comportamento. Pode-se observar a capacidade da casa manter sua temperatura relativamente constante, apesar da variação da temperatura externa. Manter as portas e janelas fechadas durante o período da noite torna-se uma prática satisfatória para manter a temperatura constante. A abertura de janelas, a partir do início da manhã, gera uma redução significativa nos valores registrados (2,0°C). Dessa forma, pode-se concluir que o desempenho térmico da residência foi satisfatório e, ao analisar as respostas do questionário (Figura 17), nota-se baixo uso de ajustes ambientais ativos (aquecedores, aparelhos de ar-condicionado, entre outros), de modo que se atribui o desempenho aos meios passivos, como a envoltória e aberturas.

A Figura 8 evidencia a baixa variação na temperatura por ambiente monitorado na Residência 2, com predominância de temperaturas mais altas na suíte. Nota-se também que, apesar de variações semelhantes, as temperaturas internas registram valores mais altos que a externa, havendo poucos pontos de equivalência.

Assim como na Residência 1, é possível verificar um bom desempenho térmico da residência, sendo também atribuído aos meios passivos.

Na Figura 9 é possível notar a pequena variação nas temperaturas, com diminuição da diferença entre a temperatura externa e as internas com o aumento da temperatura na Residência 3. Essa pequena variação pode dever-se ao fato de todos os ambientes monitorados possuírem pelo menos uma fachada externa para a mesma orientação e também por nenhuma das fachadas estar paralela às orientações leste e oeste, que tem maior incidência solar pelo período da manhã e da tarde, respectivamente.

4.3. Conforto térmico

A Tabela 1 mostra resumidamente as respostas referentes ao questionário semanal. Nota-se que mesmo morando na casa com temperaturas mais baixas, os moradores da Residência 1 são os que mais registraram votos de sensação levemente com calor no questionário, indicando uma adaptação dos usuários às temperaturas mais baixas encontradas na casa. Com voto máximo de +2 e mínimo de -1, a Residência 2 apresentou maior número de usuários confortáveis. Como essa residência também se mostrou a mais quente, esse quadro poderia ser o contrário nos períodos mais quentes do ano.

Tabela 1 – Resumo das respostas do questionário semanal.

Variável	Residência 1	Residência 2	Residência 3
Número de observações	35	32	15
Sensação térmica média	-0,11	-0,40	-0,47
Preferência média	0,14	0,20	0,20
Conforto médio (%)	74,0	91,5	75,0
Temperatura média interna (°C)	19,7	21,3	20,6
Temperatura média externa (°C)	17,4		
Umidade média interna (%)	73,4	71,1	73,8
Umidade média externa (%)	91,8		
Isolamento médio das vestimentas (clo)	0,68	0,63	0,62

4.3.1. Relação entre sensação térmica e temperatura

Neste trabalho, correlacionou-se os votos de sensação térmica e temperatura do ar interno (Figura 10). Nota-se que o valor da sensação térmica aumenta com o aumento da temperatura do ambiente.

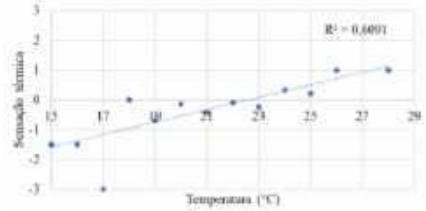


Figura 10 – Relação entre sensação térmica e temperatura.

Devido ao período de monitoramento deste trabalho ter ocorrido em meses em que predominam o frio, não houve respostas registradas dos votos mais extremos de calor ("com calor" e "com muito calor"). Houve predominância no voto "Neutro", correspondendo a 58% do total de votos. Somando os votos nas sensações "levemente com frio" e "levemente com calor" com as sensações de "neutro", chegou-se a um valor de 91% dos votos totais indicando poucas situações de sensações térmicas mais extremas.

A linha de tendência traçada (Figura 10) possui um coeficiente de determinação (R^2) de 0,61, evidenciando certa correlação entre os dados. O estudo de Song *et al*. (2018), também em climas úmidos, encontrou R^2 de 0,91 para os mesmos parâmetros. Essa diferença no índice de determinação deve-se à dificuldade em haver um padrão nesse tipo de correlação, visto que está relacionada a preferências pessoais de cada usuário.

Correlacionou-se também os dados de sensação térmica e temperatura interna por residência. Por meio das correlações foi possível observar que, apesar de a Residência 2 ser a mais quente, seus usuários relataram sensação térmica mais baixa que na residência mais fria (Residência 1). Isso pode indicar habituação dos usuários da Residência 1 às temperaturas mais baixas.

4.3.2. Temperatura de neutralidade térmica

Por meio do método de Griffiths, obteve-se valor de T_{neutra} igual a 21,6°C. Esta temperatura obtida mostrou-se mais baixa que as encontradas em estudos semelhantes; Song *et al*. (2018) encontraram temperatura de neutralidade térmica de 24,7°C para usuários em Tianjin, China, no período de verão. Este fato pode ter ocorrido, pois as temperaturas em Tianjin são mais altas que as temperaturas registradas durante o período de monitoramento desse trabalho em Joinville. Dessa forma, obteve-se média mais alta de temperatura de neutralidade térmica.

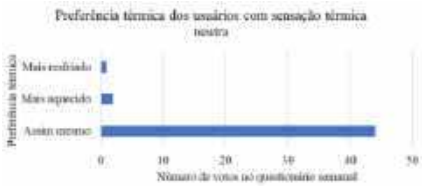


Figura 11 – Relação entre temperatura de neutralidade e preferência térmica.

A Figura 11 mostra a variação da preferência térmica para os usuários com votos em "neutro" na sensação térmica. Observa-se que a maioria dos votos possui preferência em continuar "assim mesmo". Porém, existem respostas mostrando que, mesmo com sensação neutra, existem usuários que preferiam estar mais resfriados ou mais aquecidos, indicando que a sensação considerada neutra pode não ser a ideal para todos os usuários.

4.3.3. Relação entre usuários confortáveis e temperatura

Na Figura 12 é possível observar uma linha de tendência polinomial, evidenciando que as temperaturas em que os usuários obtêm maior conforto são as temperaturas amenas, centrais no eixo das temperaturas. O coeficiente de determinação foi de 0,44, mais baixo que o de 0,77 obtido por Song *et al*. (2018). Neste estudo, a temperatura em que se obteve o máximo conforto foi a de 23°C.

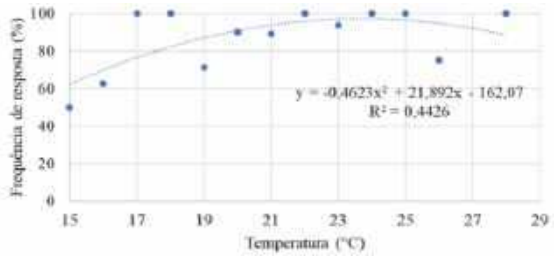


Figura 12 – Relação entre pessoas confortáveis e temperatura.

Outra análise foi a da faixa de temperatura em que 90% dos usuários sentiam-se confortáveis. A partir da equação da linha de tendência calcularam-se as temperaturas extremas da faixa de conforto. Dessa forma, a faixa em que 90% dos usuários estão confortáveis é de 19,8°C e 27,6°C, com 7,4°C de variação. Rupp (2018) encontrou um valor similar (7,6°C para 80% de conforto) no seu estudo em escritórios em Florianópolis/SC. Song *et al*. (2018) obtiveram variação de 7,3°C para a faixa em que 80% dos usuários estavam confortáveis no seu estudo em edificações residenciais em Tianjin, China.

Dessa forma, a variação encontrada nesse trabalho é condizente com as demais encontradas na literatura. Porém, pode-se notar que comparada aos demais trabalhos, a variação encontrada é maior, pois trata-se da faixa de 90% de conforto. Isso indica que os usuários do estudo toleraram maiores variações de temperatura que os demais. A partir da Tabela 2 pode-se ver que os usuários mais confortáveis são os da Residência 2 e os únicos votos em "desconfortável" foram de usuários da Residência 1, que também é a mais fria.

Tabela 2 – Porcentagem de conforto térmico em cada Residência.

Voto de conforto térmico	Residência 1	Residência 2	Residência 3
Confortável (%)	68,6	81,2	60
Ligeiramente confortável (%)	14,3	15,6	20
Ligeiramente desconfortável (%)	14,1	3,2	20
Desconfortável (%)	3	0	0

4.3.4. Relação entre preferência térmica e temperatura

A partir dos dados obtidos por meio do questionário, relacionou-se a preferência térmica com a temperatura, como mostra a Figura 13. Um fato marcante é que em diferentes faixas de temperatura (por exemplo, de 16ºC a 18ºC e de 22°C a 25°C), os usuários preferiram estar da mesma maneira que estavam, apesar das demais respostas de sensação térmica e conforto térmico. Votos de preferência térmica por estar mais resfriado foram quase inexistentes. Na faixa entre 19ºC e 21ºC e, com 15ºC, foram reportadas preferências por estar mais aquecido.

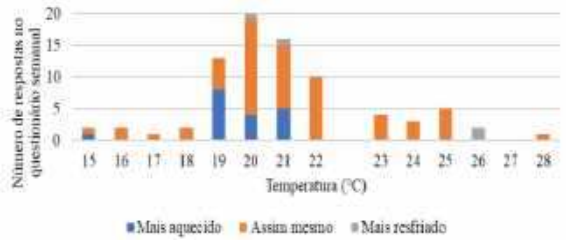


Figura 13 – Relação entre preferência térmica e temperatura.

4.3.5. Escolha da vestimenta

A escolha da vestimenta é um fator importante no estudo de conforto térmico, visto que possibilita ao usuário alternativa de adaptar-se ao ambiente térmico. Por meio da Figura 14 pode-se notar a alta correlação entre o isolamento da vestimenta e a temperatura (R^2 igual a 0,84), valor próximo ao obtido por Song *et al*. (2018). Constata-se o aumento de 0,1 clo no isolamento da vestimenta a cada decréscimo de 1,8°C na temperatura. Esse resultado obtido é semelhante ao encontrado no estudo de Kim *et al*. (2017), realizado em edificações residenciais em Sydney, na Austrália, em que a cada 1,8°C reduzido na temperatura havia um aumento de 0,1 clo na faixa entre 19°C e 26°C.

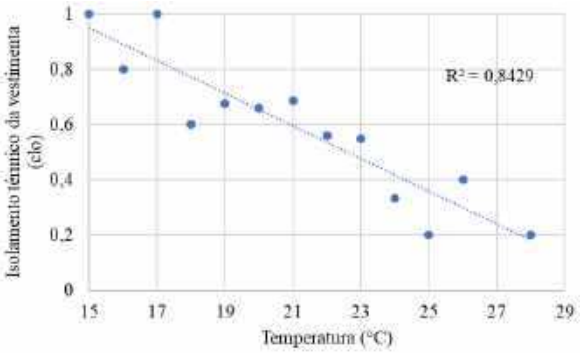


Figura 14 – Relação entre escolha da vestimenta e temperatura.

4.3.6. Uso de ajustes ambientais

A Figura 15 apresenta os ajustes ambientais em função da sensação térmica. Nota-se o uso de aquecedores (elétricos ou a óleo) nos votos de sensação térmica mais baixos. A estratégia de fechar portas e janelas mostra-se mais utilizada na sensação térmica de "com frio" a "levemente com calor", tendo seu pico na sensação neutra, sendo o ajuste mais utilizado nesse voto de sensação térmica. A partir do voto de "levemente com frio" pode-se notar o aparecimento de ajustes ligados ao resfriamento do ambiente, como a abertura de janelas e portas e o uso de aparelhos de ar-condicionado. Nota-se também a alta quantidade de respostas referentes a nenhum uso de ajuste, principalmente no voto de sensação térmica "neutro".

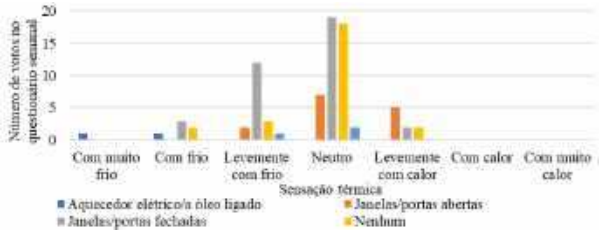


Figura 15 – Sensação térmica e uso de ajustes ambientais.

5. CONCLUSÕES

Em um panorama geral, analisando os resultados, nota-se que as residências apresentaram resultados satisfatórios de desempenho térmico, principalmente as Residências 2 e 3, mantendo temperaturas mais elevadas e estáveis ao longo do período de monitoramento (predominantemente durante o inverno). Quando a obtenção de comparações do desempenho térmico entre edificações de diferentes características como número de pavimentos, orientação solar e entorno, nota-se que ao analisar as médias das temperaturas internas dos ambientes monitorados, foi possível verificar que a Residência 1 apresentou registros de temperaturas mais baixas, a Residência 3 possuiu a menor oscilação de temperatura entre seus ambientes e que a Residência 2 foi a que registrou maiores temperaturas.

Ao avaliar o conforto térmico sentido pelos usuários dessas edificações e analisar possíveis relações com o desempenho térmico das residências, constatou-se que, mesmo a Residência 2 sendo mais quente, seus usuários apresentaram votos de sensação térmica mais baixos que a residência mais fria (Residência 1). Uma possível explicação seria a adaptação dos usuários da Residência 1 ao local em que vivem, de modo que mesmo com temperaturas mais baixas os usuários expressaram sensações térmicas mais próximas à neutralidade. Porém, conforme demonstrado pelos resultados de conforto térmico, os usuários da Residência 2 sentiram-se mais confortáveis do que os usuários das demais residências. Dessa maneira, evidencia-se diferenças subjetivas na relação entre sensação térmica e conforto térmico. Portanto, recomenda-se sempre incluir a questão sobre conforto térmico em questionários.

O valor da temperatura de neutralidade térmica encontrado foi de 21,6°C, enquanto o valor médio da temperatura externa foi de 17,4°C. Quanto à faixa de 90% de conforto, obteve-se o intervalo de 19,8°C a 27,6°C, com 7,4°C de variação, similar ao encontrado por Rupp (2018) e Song *et al*. (2018). Este intervalo pode servir como referência para a operação de residências durante o inverno em Joinville e cidades com clima semelhante. No entanto, maior número de residências e usuários tornaria o estudo mais confiável e permitiria realizar análises mais aprofundadas. Também cabe salientar que análises incluindo as épocas mais quentes do ano são necessárias para investigar se as residências seguem obtendo bom desempenho também no verão.

Por fim, concluiu-se com este estudo que entender os padrões de desempenho e o comportamento das edificações é uma forma de reduzir os gastos energéticos com estratégias para alcançar o conforto do usuário. Com relação ao conforto térmico, torna-se evidente a influência de diversos fatores no conforto de um usuário. Estes fatores podem ser tanto pessoais, dificilmente mudados, quanto fatores que podem ser facilmente mudados como ajustes ambientais e vestimentas, de modo que o usuário pode escolher as estratégias utilizadas e alcançar o conforto mais facilmente, adaptando-se conforme as condições térmicas da residência.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220, **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro-RJ, 2005.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575, **Edifícios habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro-RJ, 2013.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2017.

CASTALDO, V.; PISELLO, A.; PISELLI, C.; FABIANI, C.; COTANA, F.; SANTAMOURIS, M. How outdoor microclimate mitigation affects building thermal-energy performance: A new design-stage method for energy saving in residential near-zero energy settlements in Italy. **Renewable Energy**, v. 127, p. 920-935, 2018.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference: Final Report on ASHRAE RP - 884**. Sydney, 1997.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional.** Relatório Síntese 2017, ano base 2016.

FANGER, P. **Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering**. Estados Unidos, 1970.

FERREIRA, C.; SOUZA, H.; ASSIS, E. Discussão dos requisitos e dos limites das propriedades térmicas para garantia de conforto térmico segundo as normas brasileiras. In: **XIV Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído / X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Balneário Camboriú/SC, 2017.

HUMPHREYS, M.A.; RIJAL, H.B.; NICOL, J.F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. **Building and Environment**, v. 63, p. 40–55, 2013.

INDRAGANTI, M.; RAO, K. Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 273-281, 2010.

INVIDIATA, A.; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**, v.130, p.20-32, 2016.

IPPUJ, Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. **Joinville: Cidade em dados 2017**. Joinville/SC. 2017.

KIM, J.; DE DEAR, R.; PARKINSON, T.; CANDIDO, C. Understanding patterns of adaptive comfort behaviour in the Sydney mixed-mode residential context. **Energy and Buildings**, v.141, p. 274-283, 2017.

MOY, L. **Comparação do desempenho térmico entre três residências em Joinville/SC e análise do conforto térmico dos usuários por meio da teoria de conforto adaptativo.** Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

OLGYAY, V. **Arquitectura y Clima.** Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Edição Castelhana, versão 5, 2008. Edição original 1998.

PROCEL EDIFICA; ELETROBAS; INMETRO; CB3E. Manual RTQ-R 4.2. **Manual para Aplicação do RTQ-R.** Versão 1. 2012.

RUPP, R.F. **Conforto térmico humano em edificações de escritórios localizadas no clima subtropical úmido de Florianópolis/SC**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

RUPP, R.F.; DE DEAR, R.; GHISI, E. Field study of mixed-mode office buildings in Southern Brazil using an adaptive thermal comfort framework. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1475–1486, 2018.

SONG, Y.; SUN, Y.; LUO, S.; TIAN, Z.; HOU, J.; KIM, J.; PARKINSON, T.; DE DEAR, R. Residential adaptive comfort in a humid continental climate – Tianjin China. **Energy and Buildings**, v. 170, p. 115-121, 2018.

VASCONCELLOS, V.; CORBELLA, O. **Entorno construído e microclima. Influências que determinam o uso dos espaços exteriores**. In: IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto/MG, 2007.