# A INFLUÊNCIA DA VESTIMENTA NOS MODELOS DE CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES NO CLIMA TROPICAL

**Rafael Ponce de Leon Amorim (1); Solange Maria Leder (2)**
(1) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo/ UFPB, professor de Design de Interiores/ IFPB, rafael.ponce@ifpb.edu.br, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
(2) PhD, Professora de Arquitetura e Urbanismo, solangeleder@yahoo.com.br, Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental

## RESUMO
A escolha da vestimenta é uma das principais estratégias passivas de adequação do usuário em relação ao seu ambiente térmico por influenciar diretamente nas trocas de calor por condução, radiação, convecção e evaporação. No ambiente residencial, onde as restrições sociais são mais brandas, os moradores gozam de maior liberdade de composição, podendo ajustar-se facilmente as variações climáticas diárias e sazonais. Nesse sentido, este estudo buscou avaliar a contribuição do nível de isolamento da vestimenta nos modelos de conforto térmico adaptativo e PMV/PPD para a verificação da necessidade de resfriamento ou aquecimento de habitações em climas tropicais ao longo do ano. Foram analisados os dados climáticos horários de oito cidades paraibanas com auxílio do *software Rhinoceros* 7/ *Grasshopper* e do *plugin LadyBug* 1.2 de acordo com os modelos propostos pela norma americana de conforto térmico ASHRAE 55/ 2017. Constatou-se que o modelo PMV/PPD, quando considerado uma faixa de aceitabilidade térmica ampliada com valores de isolamento de vestimenta entre 0,15 e 3,55 *clo*, permitiu uma verificação mais aproximada do comportamento real dos usuários, além de possibilitar a simulação do período noturno, com ajustes na taxa de atividade metabólica e inclusão do efeito do isolamento do conjunto composto por cama, roupa de cama e roupa de dormir. Os valores referentes aos percentuais anuais de horários em que o usuário considera o ambiente termicamente aceitável teve variação entre as cidades estudas de 38,6% a 84,5% para 90% de aceitabilidade e de 57,3% a 95,6% para 80% de aceitabilidade de acordo com o modelo adaptativo, enquanto com o método PMV/PPD a variação foi de 83,3% a 99,9%.

Palavras-chave: Isolamento da vestimenta, conforto térmico, desempenho térmico.

## ABSTRACT
The choice of clothing is one of the most effective passive strategies for occupant adapting to the thermal environment. Clothing influences heat transfers through conduction, radiation, convection, and evaporation. In dwellings, social restrictions are more flexible, residents enjoy greater freedom in the clothing composition, and they can easily adjust to daily and seasonal climatic variations. Therefore, this research analyzed the contribution of the clothing insulation level in the adaptive model and the PMV / PPD model to verify the need for annual cooling or heating of dwellings in tropical climates. The hourly climatic data from eight cities in Paraíba were analyzed using the thermal comfort models proposed by ASHRAE standard 55/ 2017. For this purpose, the software Rhinoceros 5 / Grasshopper and the pluggin LadyBug 0.0.65 was used. It was found that the use of an expanded range of thermal acceptability, with clothing insulation values between 0.15 and 3.55 clo in the PMV / PPD model, allowed a closer verification of the real behavior of users, besides allowing the simulation at the nighttime, with adjustments in the rate of metabolic activity and bedding systems consisting of bed, bedding and sleepwear. Among the cities evaluated, the annual percentage of hours in which the environment is thermally acceptable varied from 38.6% to 84.5%, for 90% of acceptability and from 57.3% to 95.6% for 80% of acceptability for the adaptive model, while with the PMV / PPD method the variation was from 83.3% to 99.9%.

Keywords: Clothing insulation, thermal comfort, thermal performance.

## 1. INTRODUÇÃO

Os modelos preditivos de conforto térmico possibilitam a estimativa da sensação térmica dos ocupantes de um determinado ambiente com base em equações matemáticas que quantificam a influência das variáveis ambientais e pessoais envolvidas. Por permitir avaliações quantitativas, estes modelos podem ser incorporados às avaliações de desempenho termo energético de edifícios realizadas por simulações computacionais e assim gerar informações relevantes que auxiliam a tomada de decisão em diferentes etapas de projeto.

As soluções arquitetônicas com maior impacto termo energético são propostas na etapa inicial de projeto. Nesse sentido, Olgyay (2010) indica que a análise dos elementos climáticos do local é o primeiro passo para adequação ambiental do edifício, sendo necessária a compreensão sobre as variações diárias e sazonais do clima. Esta análise pode ser realizada a partir dos dados horários constantes em um arquivo climático do local de estudo, ao se adotar modelos preditivos de conforto desenvolvidos para o ambiente interno. É válido ressaltar que, para este fim, os resultados gerados serão apenas valores de referência, pois os dados avaliados referem-se ao ambiente externo e não consideram a influência do microclima urbano, as trocas de calor do edifício com seu entorno e as atividades realizadas em seu interior, que podem atenuar ou potencializar os efeitos do clima local no ambiente interno.

As equações que compõem os modelos preditivos são simplificações de fenômenos reais que permitem estimar a influência das interrelações que ocorrem entre os aspectos físicos, fisiológicos e psicológicos e, para o intuito aqui investigado, gerar informações úteis que auxiliem a tomada de decisão projetual. Estas simplificações possuem restrições e geram limitações que devem ser observadas durante a escolha do modelo preditivo a ser utilizado em cada análise, tais como as faixas aplicáveis das variáveis: temperatura, umidade e velocidade do ar, isolamento da vestimenta e atividade metabólica, além de outros elementos pontuais que podem influenciar a percepção do ambiente térmico.

No Brasil, os modelos preditivos PMV/PPD e adaptativo, propostos pela norma americana ASHRAE 55/2017[1], são frequentemente utilizados como referência em estudos e simulações computacionais de desempenho térmico das edificações. Nas simulações de edifícios naturalmente ventilados, o modelo adaptativo tem sido mais utilizado por ser considerado um índice dinâmico que incorpora ao processo de análise a contribuição da aclimatação dos ocupantes, referente às adaptações fisiológicas que ocorrem em resposta às variações climáticas sazonais, assim como, as oportunidades de adaptação que os usuários têm disponível em seu ambiente térmico, ao considerar desde o ajuste da vestimenta quanto os ajustes no ambiente, como a abertura de janelas.

Porém, por se tratar de um índice elaborado a partir de dados obtidos em estudos realizados em espaços que possuem códigos de vestimenta, sejam estes rígidos ou flexíveis, como escritórios e ambientes acadêmicos, o modelo adaptativo restringe a escolha das vestimentas para uma faixa estreita de isolamento entre 0,5 clo e 1,0 clo, enquanto o PMV/PPD, considerado um índice estático por exigir a especificação fixa das variáveis analisadas, não delimita uma faixa de valores de isolamento da vestimenta.

O isolamento resultante da escolha da vestimenta influencia diretamente as trocas de calor por condução, radiação, convecção e evaporação, tornando-se uma das variáveis mais influente na sensação de conforto térmico. Newsham (1997) argumenta que a adequação da vestimenta é o mais importante ajuste térmico disponível para os ocupantes de um edifício. De acordo com a ASHRAE55/ 2017 o efeito da alteração da vestimenta na temperatura operativa ótima é de 6°C por clo para ocupantes exercendo atividades sedentárias de aproximadamente 1,2 met, o que resulta em um acréscimo (ou redução) da temperatura operativa ótima de 0,6°C a cada 0,1 clo.

A existência de códigos de vestimenta bem mais flexíveis nos ambientes residenciais permite a escolha livre de composições de roupas para um ajuste mais adequado às condições do ambiente térmico. Nesse sentido, a utilização do índice PMV/PPD possibilita uma análise menos restritiva quanto a adaptação da vestimenta ao admitir a verificação da sensação térmica dos indivíduos a partir da composição mais refinada da sua vestimenta, como exemplo, um indivíduo utilizando um conjunto composto por chinelo, roupa íntima e short de caminhada apresenta isolamento de apenas 0,15 clo.

Outro ponto importante que deve ser considerando na avaliação térmica de ambientes residenciais é a diversidade e flexibilidade de uso dos espaços. Nesta perspectiva, Faria (1999) ressalta que os requisitos higrotérmicos em uma residência varia de acordo com requisitos funcionais de cada cômodo e que mesmo

[1] Norma utilizada como referência para a reformulação da norma brasileira ABNT NBR 16401-2, referente ao conforto térmico.

em uma casa projetada com estratégias bioclimáticas, ocorrerá em seu interior diversos microclimas em função da interação dos diferentes elementos da envoltória com os elementos climáticos locais.

Por sua vez, Roriz (2003) presume que as temperaturas de conforto oscilam ao longo das horas do dia, fundamentado em dois pontos principais: o isolamento da vestimenta (durante a noite, a utilização de colchões e roupas de cama dificultam as trocas térmicas entre o corpo humano e o meio ambiente, exigindo ambientes com temperaturas mais baixas) e o ciclo circadiano (o relógio biológico responde aos estímulos externos da natureza, como temperatura e luz, durante as 24 horas do dia).

## 2.1 Adequação da vestimenta às variações diárias e sazonais do clima

Os climas tropicais registram pouca variação de temperatura sazonal ao longo do ano, sendo a amplitude de temperatura anual média inferior a amplitude térmica diária. Abarca climas quentes, úmido ou seco, com temperaturas médias do ar superiores a 18°C em todos os meses do ano, conforme a classificação climática de Koppen.

As edificações naturalmente ventiladas em climas tropicais mantêm a temperatura interna próxima a temperatura externa. Nas habitações, o ajuste da vestimenta é a alternativa mais utilizada para adequação dos ocupantes ao ambiente térmico. Nesse sentido, destaca-se o estudo realizado por Indraganti (2010) em edifícios habitacionais naturalmente ventilados localizados em Hyderabad/ Índia, que buscou compreender a sensação, preferência e aceitabilidade térmica dos ocupantes durante o período de verão. Neste estudo foi observado que o isolamento da vestimenta entre os cem participantes avaliados variava entre 0,15 clo e 0,8 clo, enquanto a atividade metabólica variava entre 0,7 e 2,0 met.

Durante o período noturno, quando há maior ocorrência de desconforto por frio, as possibilidades de adequação da vestimenta são ainda maiores devido ao isolamento propiciado pelo conjunto composto por cama, roupa de cama e roupa de dormir, como demonstrado por um estudo realizado por Lin e Deng (2008) em Hong Kong. O estudo analisou o isolamento térmico do conjunto composto por diferentes combinações a partir de dois tipos de cama, quatro tipos de cobertores (e oito variações relacionadas ao percentual de recobrimento, com variações entre 23,3% e 100%) e dois tipos de roupas de dormir. Foi constatado que o isolamento total desses conjuntos variava entre 0,9 e 4,89 clo, tornando aceitáveis ambientes com uma faixa ampla de temperatura de 8,9°C a 30,1°C.

Diversos outros estudos vêm demonstrando a necessidade de aprofundamento sobre a dinâmica de uso das vestimentas. Considerando que as variações sazonais do clima são progressivas, Schiavon e Lee (2013) propuseram uma equação preditiva que ajusta o valor de isolamento da vestimenta considerando o valor da temperatura externa medida às 6 horas da manhã para cada dia do ano. Posteriormente, o método proposto foi incorporado a norma ASHRAE 55/2017 possibilitando ajuste automático da variável "vestimenta" nas simulações de desempenho térmico e nos sistemas de controle de edifícios.

A partir destas considerações, é importante examinar a validade da adoção dos métodos preditivos disponibilizados pela norma ASHRAE 55 (2017) como referências para a avaliação das habitações considerando as variações diárias e sazonais do clima. Apesar de não considerar a variação climática do ambiente externo, o método PMV/PPD permite diversas composições da vestimenta, enquanto o método adaptativo considera uma faixa limitada de 0,5 clo a 1 clo.

## 3. OBJETIVO

Considerando as particularidades do uso residencial, o presente estudo parte do pressuposto que a avaliação termo energética de habitações deve implicar em exigências menores de controle do ambiente térmico do que aquelas estabelecidas para ambientes comerciais e acadêmicos. Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo avaliar a contribuição do nível de isolamento da vestimenta nos modelos preditivos de conforto térmico disponíveis na norma ASHRAE 55/ 2017 para verificação da necessidade de resfriamento ou aquecimento de habitações em climas tropicais ao longo do ano a partir dos dados disponíveis em arquivos climáticos, do tipo TMY[2], de oito cidades paraibanas.

[2] *Typical Meteorological Year* é um dos formatos existentes de arquivos climáticos que compilam dados horários para uso em simulação computacional.

## 3. MÉTODO

Este estudo foi realizado em duas etapas sequenciais considerando os dados climáticos de oito cidades localizadas no estado da Paraíba e que possuem arquivos climáticos no formato TMY disponibilizados na plataforma climate.onebuilding.org. As cidades escolhidas são representativas da diversidade climática do nordeste brasileiro. De acordo com a classificação climática de Köppen: Areia, Campina Grande, João Pessoa, Sousa e Mataraca são caracterizadas pelo clima tropical de savana enquanto Patos, Monteiro e Cabaceira são caracterizadas pelo clima semiárido quente, conforme demonstrado na Figura 1.

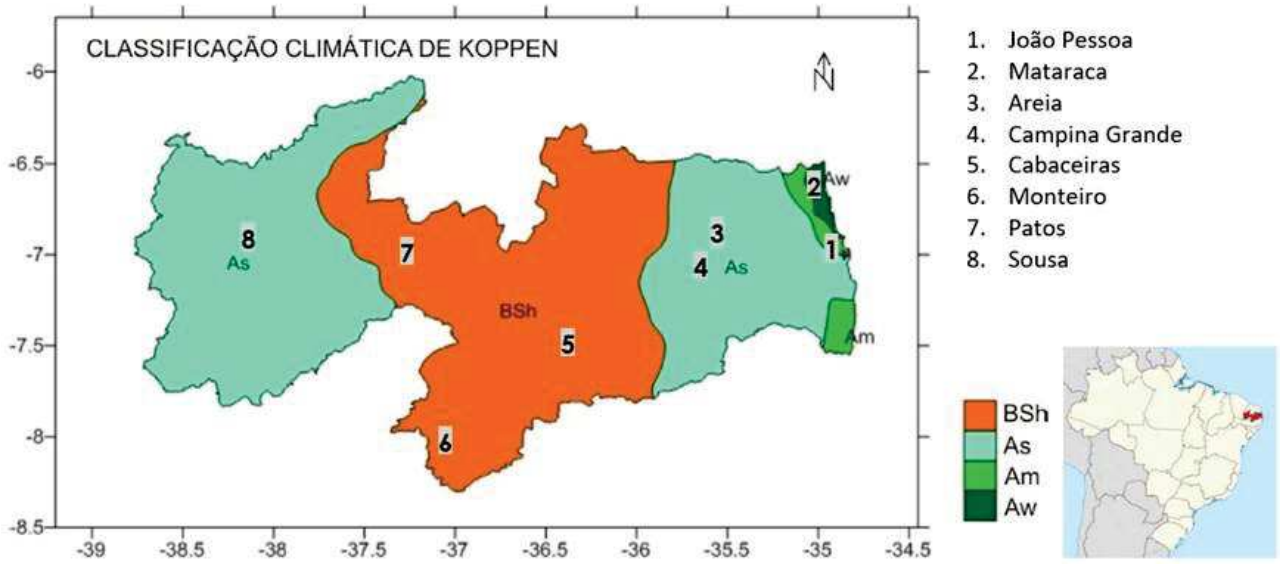



Figura 1: Classificação climática de Köppen.
Fonte: Climatologia do Estado da Paraíba (2017).

Na primeira etapa, foi avaliado o percentual anual de horas em que um ambiente térmico hipotético[3] pode ser considerado termicamente aceitável. Esta suposição permitiu uma compreensão generalizada sobre o comportamento das variáveis climáticas de cada cidade a partir do arquivo TMY, desconsiderando a influência do edifício e do seu entorno. Para análises específicas, o mesmo procedimento pode ser adotado considerando os dados obtidos por simulação térmica de edifícios naturalmente ventilados, estes dados serão representativos do desempenho térmico do edifício simulado e fornecerá informações relevantes sobre a necessidade de resfriamento e/ou aquecimento.

Para a análise de aceitabilidade térmica, foram adotados os dois modelos preditivos de conforto térmico disponibilizados pela ASHRAE 55/2017, o modelo adaptativo e o modelo PMV/PPD. A avaliação foi realizada com auxílio do *software Rhinoceros* 7/ *Grasshopper* com auxílio do *plugin LadyBug* 1.2, conforme pode ser visualizado na Figura 2.

[3] Considera-se que o edifício analisado não troca calor com o entorno, não tem ganho de calor por radiação solar, não tem inércia térmica e não possui fontes internas de calor, dessa forma a temperatura operativa é igual a temperatura do ar externo.

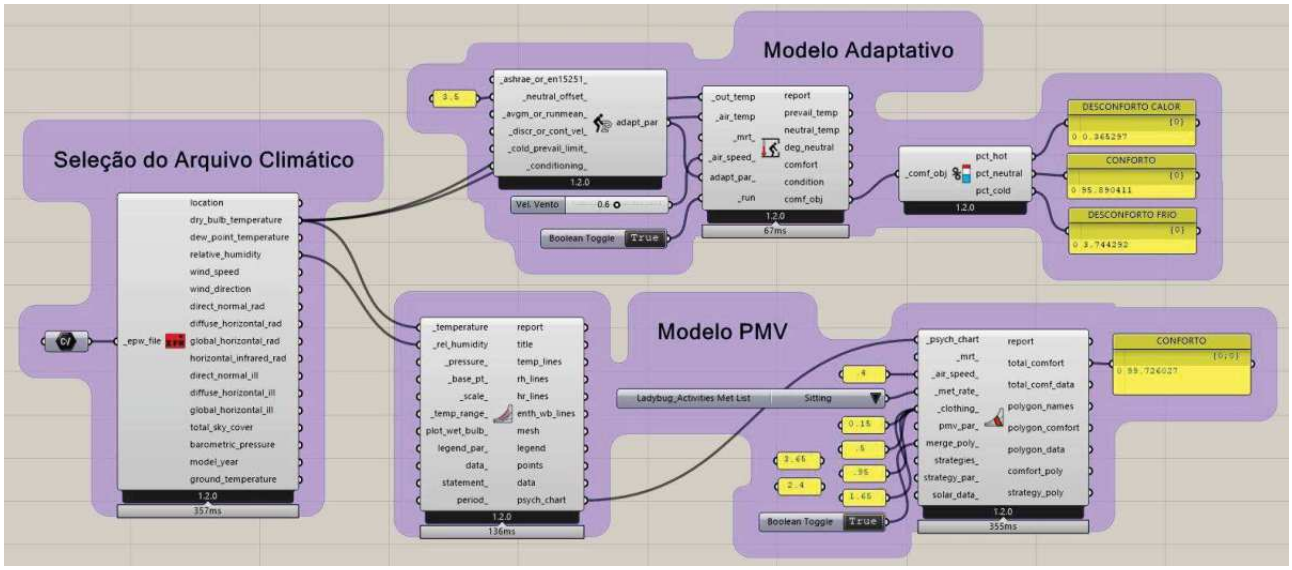



Figura 2: Programação visual dos algoritmos de avaliação de aceitabilidade térmica no *software Rhinoceros* 7 e *plugin Ladybug 1.2*.

Para o modelo adaptativo adotou-se os percentuais de 90% e 80% de aceitabilidade térmica do ambiente, que tem limites de ±2,5°C e ±3,5°C em relação a temperatura neutra. A zona de conforto térmico foi ampliada em 1,2°C no limite superior devido à possibilidade de ajuste da velocidade do ar para até 0,6 m/s.

Para o modelo PMV, considerando que os climas analisados são predominantemente quentes, adotou-se uma velocidade fixa do ar com 0,4 m/s[4]. Quanto ao isolamento da vestimenta, a zona de conforto térmico foi ampliada considerando quatro opções de composição que totalizam 0,15 clo, 0,5 clo, 0,95 clo e 1,65 clo, conforme pode ser verificado na Tabela 1. Estes valores foram adotados visando possibilitar uma avaliação mais aproximada da dinâmica real do comportamento dos ocupantes nos diferentes horários do dia ao longo do ano, considerando que o residente da edificação tem maior autonomia para ajustar a vestimenta às necessidades térmicas sem a preocupação com os limites impostos por "*dress codes*"[5] comuns em ambientes de trabalho. Também foi incluído o valor de isolamento resultante do conjunto composto por cama, roupa de cama e roupa de dormir durante os horários noturnos. Na Figura 3 é apresentada a carta psicométrica com o agrupamento das quatro zonas de conforto, com PMV entre -0,5 e 0,5, para os diferentes valores de isolamento térmico referente às composições da vestimenta contidas na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de isolamento da vestimenta e composição da vestimenta.

| CLO | COMPOSIÇÃO DA VESTIMENTA |
|---|---|
| 0,15 | chinelo + roupa íntima + short de caminhada |
| 0,5 | meia + roupa íntima + calça fina + camisa fina de manga longa |
| 0,95 | meia + roupa íntima + calça grossa + camisa de manga longa + casaco fino |
| 1,65[6] | colchão + lençol simples + 79.9% de corpo coberto |

Fonte: Composto a partir dos valores disponíveis na norma ASHRAE 55/2017 e em Ling e Deng (2008).

[4] A velocidade do ar foi fixada em 0,4 m/s devido à limitação do software em permitir apenas a utilização simultânea de múltiplos valores para apenas uma das variáveis: velocidade do ar ou isolamento da vestimenta. Dessa forma, considerando que a sensação de desconforto ocorre predominantemente por calor, optou-se por estabelecer metade do valor máximo permitido para velocidade do ar, que é de 0,8 m/s para o modelo utilizado.

[5] São códigos de vestimenta que indicam a maneira mais adequada para se vestir.

[6] Considerando que as temperaturas mínimas ocorrem no período entre 22:00h e 05:00, optou-se por utilizar os valores de isolamento da vestimenta considerando o conjunto composto pelo colchão e roupa de cama proposto por Lin e Deng (2008).

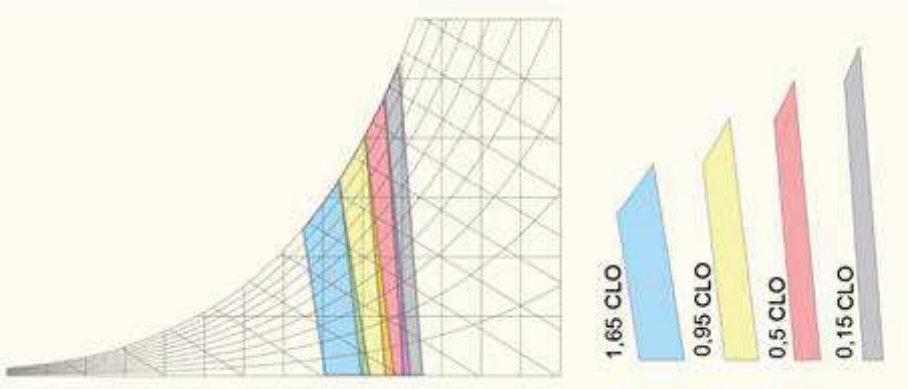



Figura 3: Carta psicométrica com zonas com PMV entre -0,5 e 0,5, delimitadas para velocidade do ar com 0,4 m/s e isolamento da vestimenta de 0,15, 0,5, 0,95 e 1,65 clo.
Fonte: Produzido a partir dos dados gerados com auxílio do software *Rhinoceros* 7/ *Grasshopper* e do *plugin Ladybug* 1.2.

Na segunda etapa, buscou-se identificar as condições de conforto térmico durante os meses com maior e menor temperatura média. Com este intuito, foi realizada uma análise estatística descritiva dos dados climáticos contidos nos arquivos TMY para as oito cidades estudadas. Foram identificadas as médias anuais dos valores de temperatura média, máxima e mínima do ar, além das médias mensais de temperatura máxima e mínima do ar para cada cidade.

Em seguida, foram identificados os trimestres com maior média de temperatura máxima e menor média de temperatura mínima com o intuito de investigar a possibilidade de ampliação do percentual total de horas em que o ambiente pode ser considerado termicamente aceitável nos períodos com condições térmicas extremas. Para esta análise, o modelo PMV foi escolhido por não limitar a faixa de isolamento térmico das vestimentas que podem ser utilizadas. Nas situações de calor, foi avaliada o aumento da velocidade do ar para 0,8 m/s, e, nas situações de frio, a redução da velocidade do ar para 0,05 m/s e o aumento do isolamento da vestimenta para até 3,55 clo conforme indicado nas composições propostas na Tabela 2 e que podem ser melhor compreendidas a partir das imagens da Figura 4.

Tabela 2: Valores de isolamento da vestimenta e composição da vestimenta considerando o conjunto composto pelo colchão e roupa de cama proposto por Lin e Deng (2008).

| CLO | COMPOSIÇÃO DAVESTIMENTA |
|---|---|
| 2,40 | colchão + lençol simples + pijama de algodão manga curta + 94.1% de corpo coberto |
| 3,65 | colchão + edredom simples + pijama de algodão manga curta + 94.1% de corpo coberto |

Fonte: Composto a partir de Ling e Deng (2008).




Figura 4: Vestimenta e roupa de cama utilizados como referência. A esquerda: tipos de cobertores, no centro: pijama e a direita: proporção do corpo coberta.
Fonte: Composição elaborada a partir das imagens disponíveis em Ling e Deng (2008).

É válido ressaltar que no estudo proposto por Lin e Deng (2008) foram avaliadas diversas combinações entre diferentes tipos de cama, cobertores e roupas de dormir, considerando também o percentual de recobrimento do corpo. No presente estudo, optou-se por selecionar apenas as composições leves de vestimentas que são mais comumente utilizadas na região nordeste.

## 4. RESULTADOS

A etapa inicial teve como objetivo a verificação do percentual anual de horas em que um ambiente térmico hipotético seria termicamente aceitável nas oito cidades paraibanas estudadas. Na Figura 5, são apresentados os percentuais referentes ao modelo adaptativo com 80% e 90% de aceitabilidade e ao modelo PMV/PPD com voto predito entre -0,5 e 0,5 e 10% de insatisfação para cada cidade.

Observa-se que os resultados obtidos com o modelo adaptativo são mais rigorosos que os resultados obtidos com o modelo PMV ajustado para múltiplas vestimentas, apontando menor aceitação do ambiente térmico mesmo quando o percentual de aceitabilidade térmica é reduzido de 90% para 80%. Ao aplicar o modelo PMV os percentuais de horas em que o usuário considera o ambiente termicamente aceitável variou entre 82,3% e 99,7% para as oito cidades, enquanto no modelo adaptativo variou entre 38,6% e 84,5%, para 90% de satisfação, e entre 57,3% e 95,9%, para 80%.

É válido ressaltar que com a utilização do modelo PMV, observou-se que os menores percentuais de aceitação do ambiente térmico foram obtidos em cidades com climas quente e seco e maior amplitude térmica diária. Porém, com a utilização do modelo adaptativo, o maior percentual de insatisfação foi obtido na cidade de Areia, predominando o desconforto por frio.

Apesar de ser considerado um índice dinâmico por incorporar a variação sazonal da temperatura e permitir ajustes comportamentais, quando considerado o uso residencial, o modelo adaptativo é bastante restritivo quanto às possibilidades de ajuste da vestimenta às variações diárias de temperatura. Nesse sentido, a avaliação com o modelo PMV demonstrou ser mais adequada para ambientes residenciais por possibilitar a delimitação de uma faixa mais ampla para o ajuste da vestimenta, entre 0,15 clo a 1,65 clo.

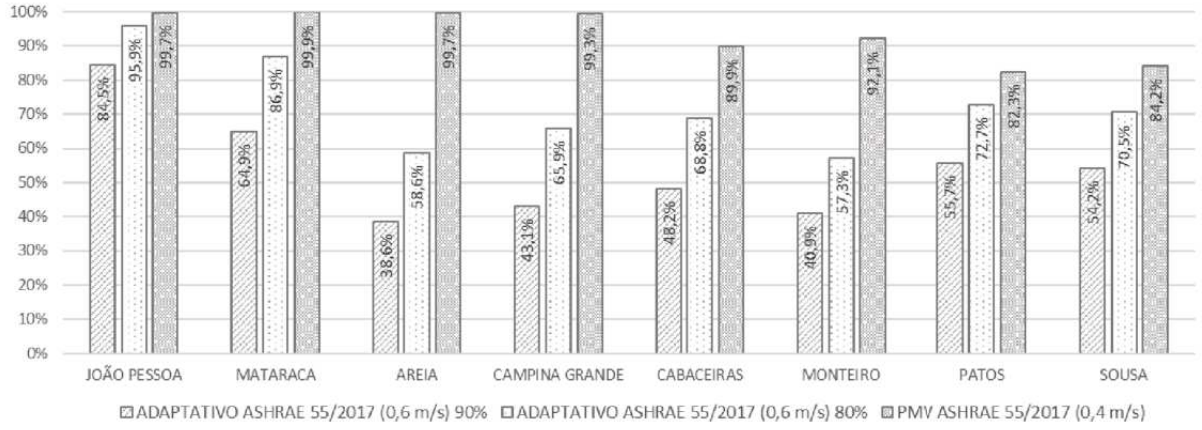



Figura 5: Percentual de horas anuais em satisfação com ambiente térmico de acordo com o modelo adaptativo e o modelo PMV proposto pela ASHRAE55/ 2017.

Nas Figura 6 e 7 foram plotados gráficos do tipo boxplot com os valores referentes às medias anuais de temperatura e umidade relativa do ar mínima (primeiro quartil), máxima (terceiro quartil) e média (segundo quartil) e a maior (limite superior) e menor (limite inferior) média mensal de temperatura do ar para todas as cidades avaliadas.

É interessante observar que dentre as cidades com menor amplitude térmica (João Pessoa, Mataraca, Areia e Campina Grande), Areia e Campina Grande apesar de registrarem temperaturas mais amenas, apresentam um baixo percentual de horas em que o ocupante considera o ambiente termicamente aceitável quando avaliados pelo modelo adaptativo. Nestas cidades, o percentual de horas em desconforto por frio é elevado, superando o percentual de desconforto por calor, porém os valores mais baixos de temperatura são registrados no período noturno entre 23:00 e 6:00, horário em que os ocupantes têm maior possibilidade de ajustar o isolamento do conjunto da vestimenta, que será composto pela roupa de cama e pela roupa de dormir, acrescido do valor de isolamento da cama.

Nas cidades com maiores amplitudes térmicas diárias (Cabaceiras, Monteiro, Patos e Sousa) o modelo adaptativo também indica um percentual elevado de horas em que o usuário estaria insatisfeito com o ambiente térmico. As cidades com médias mínimas baixas, como Cabaceiras e Monteiro, registram uma alto percentual de horas em desconforto para o frio e para o calor. Por sua vez, em Patos e Sousa, cidades localizadas na região do Sertão Paraibano onde as temperaturas médias máximas ultrapassam 35°C durante o trimestre mais quente e 30°C no trimestre mais frio, ainda é observada a necessidade da adoção de sistemas de resfriamento (passivo ou ativo) mesmo quando considerada a avaliação pelo modelo PMV ajustado com a zona de conforto ampliada pelas diversas possibilidades de isolamento da vestimenta.

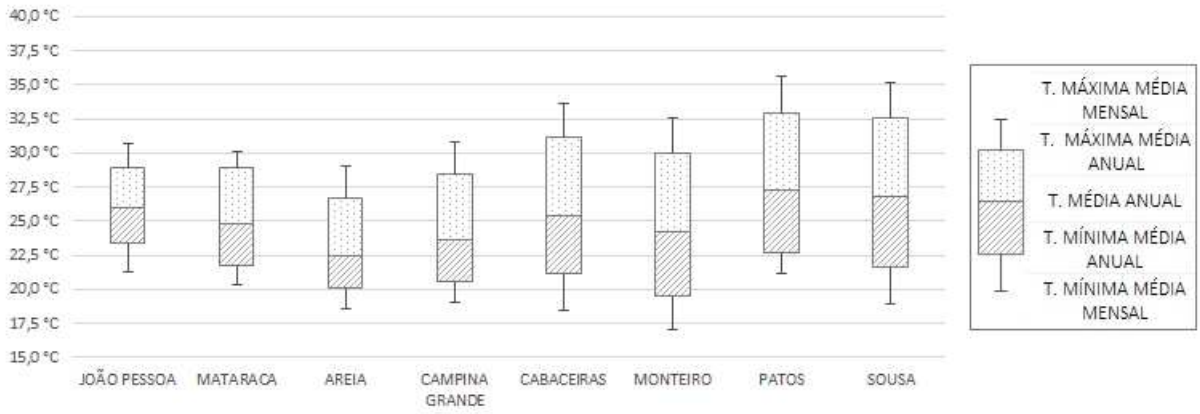



Figura 6: Médias anuais de temperatura do ar (mínimas, máximas e médias) e maior média mínima e maior média máxima mensal.

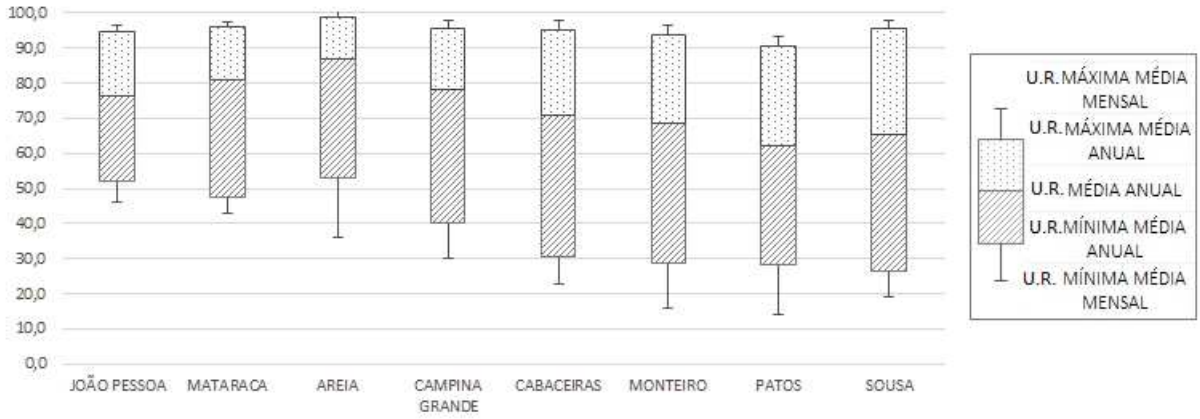



Figura 7: Médias anuais de umidade relativa do ar (mínimas, máximas e médias) e maior média mínima e maior média máxima mensal.

A segunda etapa teve como objetivo investigar a possibilidade do aumento do percentual de horas em que o ambiente hipotético seria termicamente aceitável a partir da adição de mais opções de ajuste no isolamento da vestimenta e na velocidade do ar, direcionados as situações térmicas mais severas de frio e de calor. Para este fim, procedeu-se a análise das cidades com menor temperatura mínima média no trimestre mais frio e com maior temperatura máxima média no trimestre mais quente.

Conforme pode ser observado na Figura 6, a cidade de Monteiro registrou as menores temperaturas médias mínimas (mensal e anual), enquanto Patos registrou as maiores temperaturas médias máximas (mensal e anual), dessa forma assume-se que as soluções aqui investigadas também poderão ser consideradas eficientes quando aplicadas às demais cidades.

A cidade de Monteiro registrou média mínima anual de temperatura do ar de 19,5°C, enquanto a menor média mínima mensal alcançou 17°C. O trimestre com menor temperatura média mínima corresponde aos meses de junho, julho e agosto, respectivamente, 17,1°C, 17,0°C e 17,9°C. Em relação aos horários de ocorrência, o período em que as temperaturas do ar são inferiores à 20°C tem início às 23:00h e estende-se até às 06:00h. Por se tratar do período noturno, para esta análise adotou-se a redução da velocidade do ar para 0,05 m/s e o ajuste da taxa de atividade metabólica do usuário de 1,0 met para 0,7 met, referente à uma pessoa em repouso. Quanto aos ajustes do nível de isolamento da vestimenta, foram acrescentadas as combinações com 2,4 clo e 3,65 clo, conforme indicado na Tabela 2. Após estes ajustes, a satisfação térmica durante o trimestre mais frio foi alcançada em todos os horários avaliados.

A cidade de Patos registrou média máxima anual de temperatura, 32,9°C, a maior média mensal alcançou 35,7°C. O trimestre com maior temperatura média máxima do ar corresponde aos meses de outubro, novembro e dezembro, respectivamente, 35,6°C, 35,7°C e 35,4°C. Neste período, mesmo ao considerar o isolamento da vestimenta com 0,15 clo, o percentual de aceitação do ambiente térmico pelo método PMV foi de apenas 65,8%, enquanto o percentual anual foi 82,3%. Considerando que as temperaturas do ar superam 30°C a partir das 9:00h e permanecem acima deste valor até aproximadamente 20:00h, optou-se por ajustar a velocidade do ar de 0,4m/s para 0,8 m/s como alternativa para redução do desconforto térmico. Quanto ao isolamento da vestimenta, optou-se por não reduzir o valor mínimo utilizado,

já bastante reduzido. Com o aumento da velocidade do ar, o percentual de satisfação com o ambiente térmico no trimestre mais quentes aumentou de 65,8% para 75,6%. Dessa forma, verifica-se que em 24,4% dos horários avaliados, mesmo após as soluções adotadas, ainda se faz necessária a adoção de um sistema de resfriamento, seja ele passivo ou ativo.

## 5. CONCLUSÕES

Apesar de ser considerado um modelo dinâmico por incorporar tanto a capacidade de aclimatação do usuário quanto alguns ajustes comportamentais, o modelo adaptativo tem limitações que devem ser consideradas quando empregado em ambientes residenciais e que podem levar a conclusões equivocadas sobre as condições climáticas do local. Nesse sentido, a delimitação de uma faixa estreita para o nível de isolamento da vestimenta, entre 0,5 clo e 1,0 clo, tem forte influência na severidade das avaliações por não refletir a dinâmica de ocupação dos espaços residenciais.

Por sua vez, o modelo PMV que é considerado um índice fixo por avaliar situações estáticas, quando empregado com múltiplas possibilidades de isolamento da vestimenta, permite incorporar a dinâmica de adequação da vestimenta de forma mais aproximada ao comportamento real dos usuários, em especial, nas habitações localizadas em climas quentes. Outro destaque se faz a possibilidade de simulação do período noturno, a partir dos ajustes na taxa de atividade metabólica e do nível de isolamento da vestimenta, incorporando os valores do conjunto composto por cama, roupa de cama e roupa de dormir.

Utilizando o método PMV, com apenas ajustes realizados na vestimenta e velocidade do ar, foi possível alcançar quase a totalidade de satisfação com o ambiente térmico nas cidades com menor amplitude térmica: João Pessoa, Mataraca, Areia e Campina Grande, enquanto as cidades com maior amplitude térmica: Cabaceiras, Monteiro, Patos e Sousa obtiveram percentual entre 82,3% e 92,1% de satisfação, valor bastante expressivo se considerarmos que as adequações ao ambiente térmico adotadas foram apenas relacionadas ao ajuste da velocidade do ar com até 0,8 m/s e à possibilidade de ajuste da vestimenta entre 0,15 e 3,65 clo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 55-2017 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. USA, Atlanta: 2017.

FARIA, J. R. G. Givoni, Fanger: uma comparação. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza. *Anais*... ANTAC, 1999.

INDRAGANTI, Madhavi. Thermal comfort in naturally ventilated apartments in summer: Findings from a field study in Hyderabad, India. Applied Energy, v. 87, n. 3, p. 866-883, 2010.

LIN, Zhongping; DENG, Shiming. A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—Measuring the total insulation values for the bedding systems commonly used in the subtropics. Building and Environment, v. 43, n. 5, p. 905-916, 2008.

OLGYAY, V. Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. 6. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2010. 203p.

NEWSHAM, G. R. Clothing as a thermal comfort moderator and the effect on energy consumption. Energy and Buildings, v. 26, n. 3, p. 283-291, 1997.

RORIZ, M. Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo. In: VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba. *Anais*... ANTAC, 2003.

SCHIAVON, Stefano; LEE, Kwang Ho. Dynamic predictive clothing insulation models based on outdoor air and indoor operative temperatures. Building and Environment, v. 59, p. 250-260, 2013.