

INFLUÊNCIA DO VIDRO NO CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS CLIMATIZADOS

Marina von Meusel (1); Fernando Simon Westphal (2)

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

(2) Dr., Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, fernando.sw@ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Florianópolis - SC, 88040-970, Tel.: (48) 3721-9550

RESUMO

As janelas são responsáveis por grande parte das perdas e ganhos de calor nos ambientes. O sistema de envidraçamento pode causar o desconforto térmico por radiação dos ocupantes. Quando posicionados próximos às janelas os usuários tendem a sentir maior desconforto por frio ou calor, se houver grande área envidraçada na fachada. Este artigo objetiva verificar a influência dos tipos de vidro no conforto térmico dos usuários através de diferentes métodos para a obtenção do cálculo de conforto. O estudo de caso corresponde a uma típica sala comercial situada em Florianópolis. As análises foram realizadas por meio de simulação computacional no programa Energyplus. A abordagem metodológica consistiu na avaliação de três diferentes formas de simulação para obter o nível de conforto térmico do usuário por meio do método de Fanger, para ambientes climatizados artificialmente. A simulação realizada pelo EnergyPlus considera cada zona térmica com a temperatura do ar uniformemente distribuída por todo o seu volume. Essa simplificação pode levar a imprecisões na avaliação do desconforto localizado. Foram avaliadas quatro diferentes amostras de vidro e sua influência no conforto térmico dos ocupantes em todos os três métodos adotados. As simulações no Energyplus permitiram determinar as imprecisões dos diferentes métodos abordados neste estudo e verificar a relação entre os parâmetros simulados. Os resultados apontam que quanto mais próxima da janela, maior é a sensação de desconforto por frio ou calor do ocupante. Em todos os modelos abordados, o vidro de controle solar manteve o usuário dentro da zona de conforto na maior parte das horas do dia quando comparado com um simples sistema de envidraçamento.

Palavras-chave: sistema de envidraçamento, conforto térmico, simulação computacional.

ABSTRACT

Windows are responsible for largely of the loss and heat gain in buildings. The glazing system may cause thermal discomfort due to radiation to the occupants. When placed next to windows, people tend to feel more discomfort by cold or heat, if there is large glass area on the facade. This paper aims to investigate the influence of glass types on the indoor thermal comfort through different methods for obtaining comfort indexes. The case study corresponds to a typical commercial area located in Florianópolis. Analyses were performed by means of computer simulation using the Energyplus program. The methodological approach consisted of the evaluation of three different forms of simulation for the level of thermal comfort of the building occupant through Fanger method to artificially air-conditioned rooms. A simulation conducted by means of EnergyPlus program considers each thermal zone with the air temperature evenly distributed throughout its volume. This simplification can lead to inaccuracies in the evaluation of local discomfort. Four different samples of glass were evaluated, considering their influence on the thermal comfort of the occupants in all three methods adopted. Simulations in Energyplus allowed to determine inaccuracies of different methods covered in this study and to examine the relationship between the simulated parameters. The results show that the closer to the window, the greater the occupant discomfort by cold or heat. In all models discussed, the selective glazing system kept the occupant within the comfort zone in most of the hours of the day when compared to a simple glazing.

Keywords: glazing system, computer simulation, thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

Nos edifícios de escritórios artificialmente condicionados, grande parte do consumo de energia é proveniente da carga térmica da envoltória. A configuração das fachadas também é responsável por problemas de desconforto térmico, quando as especificações são incompatíveis com o clima.

Alguns parâmetros de conforto ambiental podem ser controlados pelos diversos sistemas que compõem a edificação. Diferentemente disso, a temperatura radiante média é fortemente influenciada pelas características do envelope. De acordo com Cappelletti *et al.* (2013) as superfícies envidraçadas são as maiores fontes de calor nos espaços, pois admitem a entrada de radiação solar nos ambientes, afetando o equilíbrio térmico e a sensação de conforto dos ocupantes. Tzempelikos *et al.* (2010) conclui que uma edifício com alto desempenho no envelope consegue manter a temperatura operativa dentro da faixa de conforto térmico e assim eliminar a necessidade de horas de uso de condicionamento artificial na edificação.

Segundo Ghisi e Tinker (2005), grandes áreas envidraçadas expostas para o exterior tem a inconveniência de permitir ganhos ou perdas excessivas de calor no ambiente. Sendo evidente o reconhecimento da sensação de calor ou frio quando se aproxima de uma janela.

Muitos estudos estão sendo conduzidos para demonstrar o efeito de janelas com vidro de controle solar na redução do consumo anual energético e na demanda de pico no verão. Segundo a ASHRAE (2009), o vidro simples incolor transfere mais de 75% da radiação incidente e mais de 85% da luz visível, permitindo grande entrada de calor para o interior do edifício e admitindo, em condições típicas de verão, grande carga térmica, sendo que, vidros de baixa emissividade reduzem a entrada direta de energia solar na edificação e diminuem a demanda energética nesse período. Basen e Westphal (2012) desenvolveram uma análise de conforto térmico e desempenho energético de fachadas com vidros laminados e vidros duplos em quatro diferentes cidades brasileiras e concluíram que quanto maior o WWR (*window-to-wall ratio*) e o fator solar, maior o consumo de energia. Noh Pat *et al.* (2010) demonstram que o ganho de calor pelas janelas pode ser reduzido em 55% com o uso de vidro de controle solar, quando comparadas àquelas que possuem sistemas convencionais de envidraçamento.

Esses estudos demonstram que o uso de vidros de menor fator solar proporciona redução significativa no consumo de energia em climatização. Entretanto, pouco foi explorado sobre os benefícios desses sistemas de controle solar em relação ao conforto dos usuários por evitar problemas de assimetria de radiação.

2. OBJETIVO

Verificar a influência do sistema de envidraçamento no conforto térmico de um ambiente de escritórios climatizado artificialmente por meio de análise de três formas de modelagem e cálculo da temperatura radiante média.

3. MÉTODO

Neste artigo foram abordados três diferentes meios para a obtenção do cálculo de conforto térmico através de simulação computacional. Os votos de conforto dos usuários foram avaliados em uma típica sala comercial, variando o zoneamento do espaço analisado. O Energyplus caracteriza os ambientes por intermédio de zonas com propriedades térmicas semelhantes.

Primeiramente a análise ocorreu através da modelagem de uma única zona térmica com variação da posição do usuário na sala. Os índices de PMV (Voto Médio Estimado) e PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas) foram obtidos com o ocupante posicionado no centro da zona e a um metro da janela. Para locar com precisão o usuário próximo a abertura, realizou-se de forma manual o cálculo do fator de forma do indivíduo em relação as demais superfícies do ambiente. Não foi verificada significativa diferença nos níveis de conforto. Posteriormente, com o intuito de melhor avaliar a influência da janela no índice de conforto térmico do ocupante, modelaram-se três subzonas na sala analisada e os índices PMV e PPD foram apontados no centro de cada subzona.

Em todos os casos simulados um sistema convencional de envidraçamento foi comparado com um modelo de controle solar. As simulações no Energyplus permitiram determinar as imprecisões dos diferentes métodos abordados neste artigo e verificar a relação entre os parâmetros simulados.

3.1. Parâmetros adotados para o estudo de caso

Para elaboração do modelo no EnergyPlus requer-se uma série de informações relativas aos diversos sistemas do ambiente simulado. Foram indicados dados de ocupação, potência instalada em equipamentos, potência instalada em iluminação, número de pessoas, características do sistema de condicionamento de ar e

características físicas do local (posição solar, leiaute da sala, pé direito e materiais construtivos). A Tabela 1 resume as características do modelo computacional.

Tabela 1- Descrição do modelo computacional e cargas instaladas.

<p>Dimensões: 2,8m x 6m x 4m (H x L x P). Área de piso: 24 m². Fachada exposta: Oeste. Dimensões esquadria: 1,6m x 3,6m (H x L). Equipamentos: 21W/m². Iluminação: 15W/m². Número de pessoas: 1. Padrão de uso: dias úteis, 9h às 19h. Sistema de ar-condicionado: Split. COP do ar-condicionado: 3,00. Taxa de renovação de ar: 27m³/h por pessoa. Taxa de infiltração de ar: 0,5 trocas/h (quando ar-condicionado está desligado).</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

A sala simulada dispõe, no total de 24m² e consiste em uma tipologia comercial localizada em Florianópolis-SC.

Para o condicionamento de ar foi assumido o sistema unitário, de expansão direta, representando um modelo do tipo *split*, com eficiência (COP) igual a 3,00 ($W_{\text{térmico}}/W_{\text{elétrico}}$). O dimensionamento do sistema foi calculado automaticamente pelo programa EnergyPlus a partir da simulação do ano climático de referência, identificando-se a carga térmica horária máxima para resfriamento e aquecimento. Adotou-se taxa de renovação de ar de 27m³/h por pessoa, conforme exigência da ANVISA para ambientes de escritórios. Essa taxa foi considerada apenas quando o sistema de condicionamento de ar está em operação. Fora do horário de uso do ambiente considerou-se taxa de 0,5 troca de ar por hora, representando infiltração de ar exterior proveniente das frestas de portas e janelas.

Quanto as características construtivas, adotaram-se os seguintes componentes: parede de tijolo 6 furos com argamassa simples, laje de concreto entre pavimentos e revestimento cerâmico no piso. A transmitância térmica da parede modelada é de 2,382 W/m².K.

Tabela 2- Materiais construtivos

Material	Tijolo 6 furos	Argamassa	Concreto	Piso cerâmico
Espessura (m)	0,20	0,025	0,1	0,01
Condutividade (W/m.K)	0,9	1,15	1,75	0,9
Densidade (kg/m ³)	1232	1800	2200	1600
Calor específico (J/kg.K)	920	1000	1000	920
Absortância térmica	0,9	0,9	0,9	0,9
Absortância solar	0,7	0,5	0,7	0,7

Considerou-se que somente a superfície voltada para oeste, que abriga a janela, possui exposição à radiação solar e aos ventos. As demais superfícies foram designadas adiabáticas, indicando que não possuem fluxo de calor através das mesmas, ou seja, as temperaturas superficiais externas e internas são idênticas. Essa consideração visa representar uma sala de um pavimento intermediário, considerando que as salas vizinhas possuem as mesmas características térmicas.

3.2. Parâmetros alterados

O modelo possui uma única abertura voltada para oeste, que representa 24% da área do piso e 51% da área de fachada. Foram simuladas quatro diferentes amostras de vidro para a mesma sala. As especificações correspondem ao vidro incolor 6 mm, vidro CEBRACE ST120 8 mm, e ambos também em composição dupla com câmara de ar de 12,5 mm e vidro incolor 6 mm na face interna da câmara. Os modelos simulados estão descritos na Tabela 3. As propriedades ópticas dos dois vidros utilizados para montar as composições são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3- Vidros simulados.

Vidro incolor 6mm
Vidro incolor 6mm com câmara de ar
CEBRACE ST120
CEBRACE ST 120 com câmara de ar

Tabela 4- Propriedades ópticas dos vidros.

Propriedade	Incolor	CEBRACE ST120
Espessura (m)	0,006	0,008

Transmissão energética (adimensional)	0,77	0,17
Reflexão energética externa (adimensional)	0,07	0,26
Reflexão energética interna (adimensional)	0,07	0,21
Transmissão luminosa (adimensional)	0,88	0,21
Reflexão luminosa externa (adimensional)	0,08	0,30
Reflexão luminosa interna (adimensional)	0,08	0,22
Emissividade externa (adimensional)	0,84	0,89
Emissividade interna (adimensional)	0,84	0,89
Condutividade térmica (W/m.k)	0,9	0,9

3.2. Métodos para avaliação de conforto térmico

Para a determinação do conforto térmico do usuário foram abordados três diferentes métodos que adotam a variação da posição do ocupante e também a aplicação de zoneamentos diversos por meio da simulação computacional.

A caracterização dos ambientes no EnergyPlus é feita por zonas térmicas que consideram o seu volume de ar com temperatura uniformemente distribuída no ambiente. Na prática, o ambiente pode ter estratificação de temperatura vertical e na horizontal. Para avaliar a imprecisão dessa consideração, três diferentes métodos foram aplicados:

- Método 1: adotou-se apenas uma zona térmica para o ambiente e um usuário posicionado no centro da sala.
- Método 2: o ocupante foi locado próximo à janela e efetuou-se manualmente o cálculo de fator de forma do indivíduo em relação às superfícies circundantes.
- Método 3: dividiu-se a sala em três subzonas iguais e o conforto térmico do usuário foi avaliado no centro de cada subzona.

As figuras 1, 2 e 3 correspondem aos três métodos de conforto avaliados neste artigo. A diferença na posição do ocupante nos três métodos foi representada graficamente para melhor entendimento de cada caso.

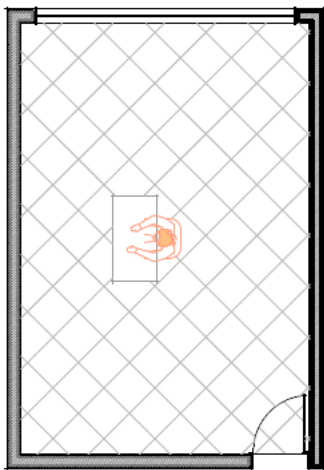


Figura 1- Método 1.

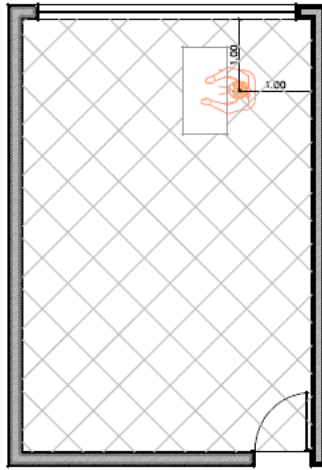


Figura 2- Método 2.

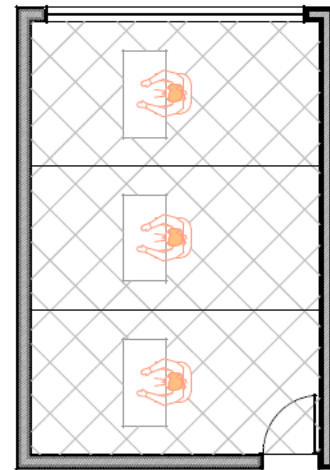


Figura 3- Método 3.

No Método 3, utilizou-se uma superfície transparente (objeto Material:InfraredTransparent) que não possui transmitância térmica e apresenta coeficiente zero de transferência de calor por convecção em ambos os lados, correspondendo a uma face capaz de trocar radiação infravermelha com as outras superfícies das zonas adjacentes.

No total, foram realizadas oito simulações e métodos de cálculo para avaliar o conforto térmico do ocupante em diferentes situações.

Com a finalidade de determinar o índice de conforto térmico, utilizou-se o método de Fanger para definição das condições térmicas aceitáveis em ambientes ocupados climatizados. O método consiste em um indicador de sensação térmica, o voto médio predito (PMV), os valores indicados condizem a escala sétima de conforto e vão de -3 a +3, corresponde a muito frio e muito calor respectivamente. Quando o voto é 0 (zero) entende-se que o indivíduo está com sensação neutra, não apresentando desconforto por calor ou por frio. O índice

PPD, porcentagem predita de insatisfeitos, é proporcional a faixa de desconforto térmico apontada pelo PMV. Quanto maior for a sensação de calor ou frio dos ocupantes, maior será a porcentagem de insatisfeitos.

O Energyplus calcula o voto médio predito além dos valores da escala sétima de conforto térmico. Para esse artigo, os votos menores que -3 foram considerados como -3 e os índices maiores que 3 foram adotados como sendo 3.

Neste estudo, a análise de dados levou em consideração a ASHRAE (2005) para indicação dos parâmetros para um ambiente termicamente aceitável. Foi assumida que a porcentagem predita de insatisfeitos deve ser menor que 10% e que os votos de sensação térmica estejam entre -0,5 e +0,5 para que os usuários estejam em conforto térmico.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para analisar os resultados obtidos foram gerados relatórios de dados de PMV, PPD e temperatura radiante média a partir dos diferentes casos simulados. Avaliaram-se semanas típicas de verão e inverno que apresentam respectivamente as maiores e menores médias de temperatura anuais. As semanas típicas foram apontadas pelo arquivo climático EPW da cidade de Florianópolis-SC. Os dados climáticos de formato EPW foram elaborados pelo Professor Maurício Roriz e coletados no site do Laboratório de Eficiência Energética da UFSC.

A semana típica de verão corresponde a 25 de janeiro até 31 de janeiro. O período de inverno equivale a 11 de agosto a 17 de agosto. Descartaram-se os finais de semana e feriados na análise de dados. As análises possuem como foco principal o período de ocupação da sala e ocorreram somente para os cinco dias úteis da semana de verão e de inverno.

Consideraram-se as 24 horas dos dias selecionados para essa pesquisa. Durante a simulação o condicionamento de ar, assim como o sistema de iluminação e os equipamentos permaneceram ligados somente nos dias úteis e durante o período de ocupação, das 9 horas até as 19 horas.

4.1. Método 1

O Método 1 é caracterizado por uma única zona térmica com um usuário posicionado no centro da sala. O cálculo dos índices PMV e PPD foi feito pelo EnergyPlus.

A figura 5 representa a temperatura média radiante da zona e a temperatura externa durante a semana típica de verão. Os dias típicos correspondem a 1 para o dia 25/01 e 5 para o dia 29/01. As curvas apresentadas nas figuras 6 e 7 correspondem aos dias de verão e todas amostras de vidro simulados. A partir dos gráficos, identifica-se que quando o vidro de controle solar (CEBRACE ST120) foi adotado no modelo o usuário esteve mais próximo da sensação neutra de conforto térmico, não estando com calor, nem frio. O sistema de vidro de controle solar com câmara de ar foi o que mostrou os índices de conforto mais próximos de zero e a menor porcentagem de insatisfeitos. Os dados correspondem somente aos dias típicos de verão e ao período de ocupação determinado.

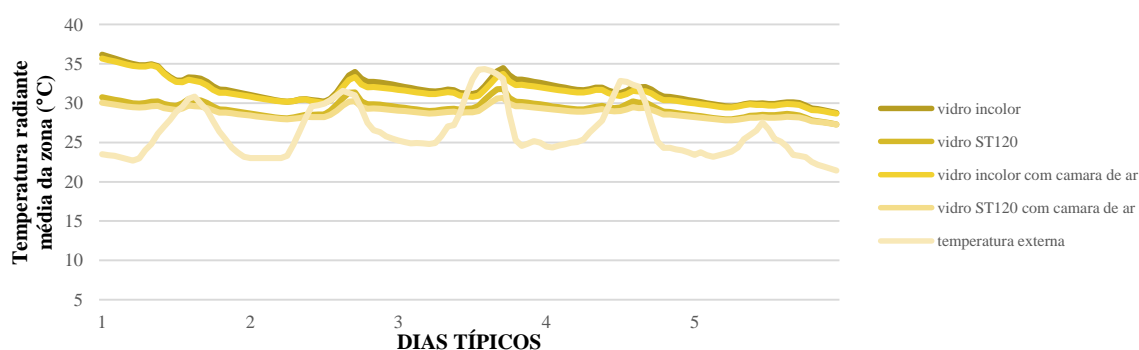


Figura 5- Temperatura radiante na zona e temperatura externa do ar durante a semana típica de verão.

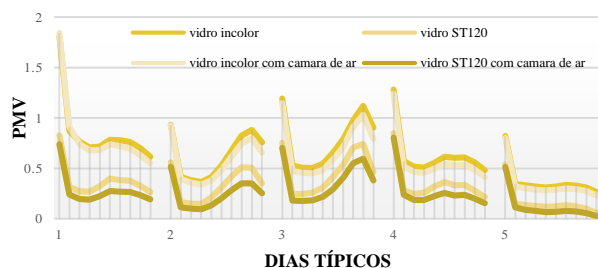


Figura 6- PMV dias típicos de verão.

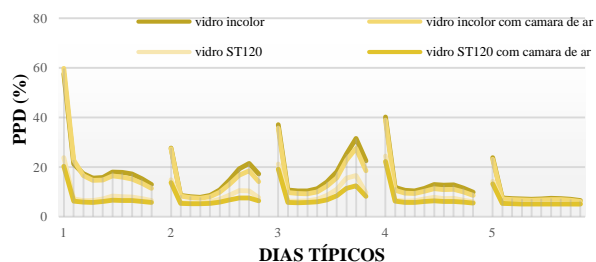


Figura 7- PPD dias típicos de verão.

Nota-se que por meio da redução na temperatura radiante média da zona no período de verão, o vidro de controle solar e as amostras com câmara de ar apresentam melhores índices de PMV e PPD quando comparados com o vidro incolor, evitando o desconforto por radiação.

As simulações no período de inverno correspondem as figuras 08 e 09. Os dias típicos correspondem a 1 para o dia 11/08 e 5 para o dia 15/08. Verifica-se que durante esse intervalo não ocorreu desconforto térmico nos casos simulados, quando estes apresentavam vidro de controle solar. O usuário manteve-se dentro da faixa de conforto. O vidro incolor e o vidro incolor insulado apresentaram índice de desconforto quando o período analisado corresponde aos últimos horários de ocupação.

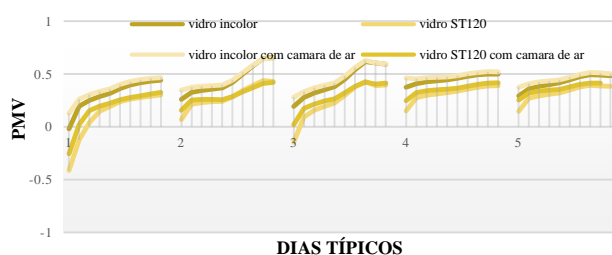


Figura 8- PMV dias típicos de inverno.

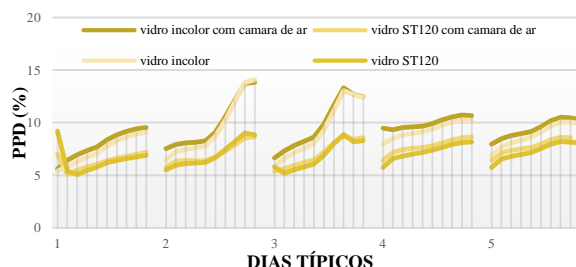


Figura 9- PPD dias típicos de inverno.

4.2. Método 2

O Método 2 consiste na avaliação de conforto térmico por meio de uma única zona com o usuário posicionado a um metro da superfície da janela. A diferença para o Método 1 é que neste caso calculou-se manualmente o fator de forma do usuário em relação às superfícies da sala para a determinação do PMV e PPD considerando sua posição próxima à janela. Uma matriz de dados de fator de forma foi inserida no modelo do EnergyPlus para cálculo do PMV e PPD. A figura 10 exibe o fator de forma do ocupante em relação a todas as faces da sala.

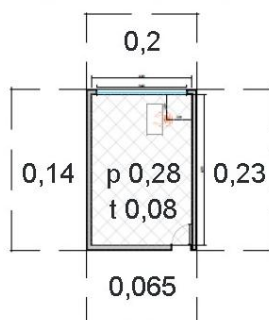


Figura 10- Fator de forma do usuário em relação as superfícies.

As figuras 11 e 12 apresentam os índices de PMV e PPD para o período de verão, sendo 1 para o dia 25/01 e 5 para o dia 29/01. Nota-se que a diferença entre os votos de conforto térmico ocorrem quando o sistema de envidraçamento é modificado para vidro de controle solar. Os vidros com câmara de ar apresentam índices de conforto próximos aos sistemas não insulados. As diferenças nos votos de sensação térmica são significativas com a alteração do fator solar.

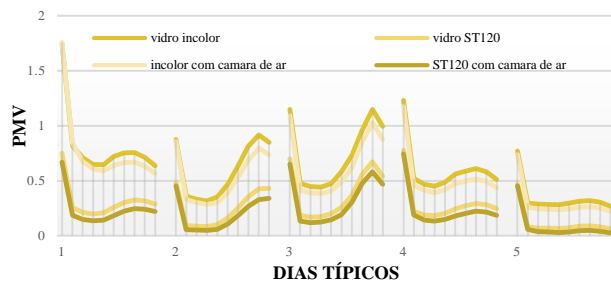


Figura 11- PMV dias típicos de verão.

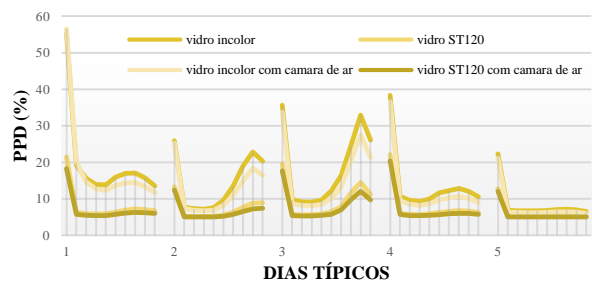


Figura 12- PPD dias típicos de verão.

Os índices de conforto para o inverno estão representados na figura 13, sendo número 1 equivalente ao dia 11/08 e número 5 para o dia 15/08. Percebe-se que não há desconforto por frio e que o índice de conforto inferior a zero ocorre no dia em que a temperatura externa encontra-se menor. A figura 14 demonstra a queda de temperatura externa no dia 13/08 e temperatura radiante média da zona.

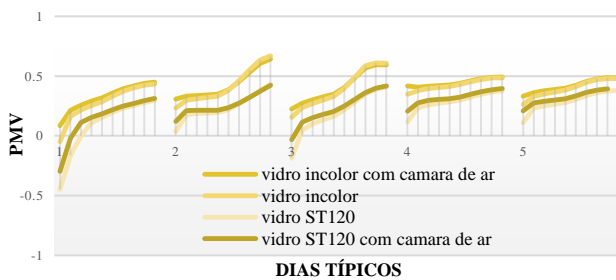


Figura 13- PMV dias de inverno.

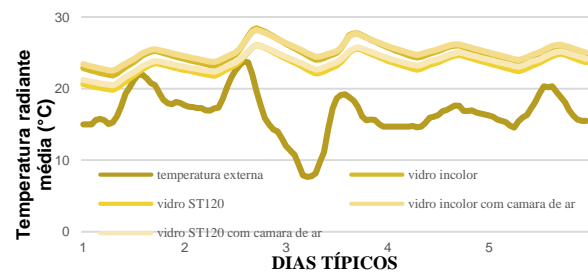


Figura 14- Temperatura radiante média e temperatura externa nos dias de inverno.

As figuras 15 e 16 apresentam a comparação entre o Método 1 e Método 2. Os gráficos foram plotados com as amostras de vidro incolor e CEBRACE ST120 nos dias de verão e de inverno. As curvas demonstram que não houve significativa mudança na sensação térmica quando o ocupante foi posicionado próximo à janela através do cálculo de fator de forma (Método 2). Identificou-se que a maior diferença no voto de sensação térmica não encontra-se no método adotado e sim no modelo de sistema de envidraçamento simulado.

No verão, os casos simulados com o vidro incolor apresentaram o indicador de sensação térmica acima de 0,5 enquanto os modelos com vidro de controle solar mantiveram na maior parte das horas o usuário em conforto térmico. No período de inverno o usuário esteve em conforto na maior parte dos períodos simulados. No intervalo de 11/08 a 15/08, os votos permaneceram entre -0,5 e 0,5.

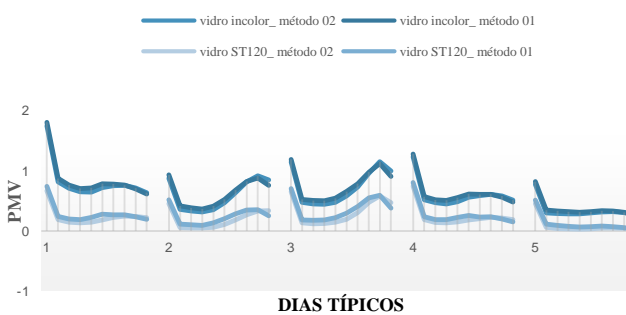


Figura 15- PMV dias típicos de verão Método 01 e Método 02.

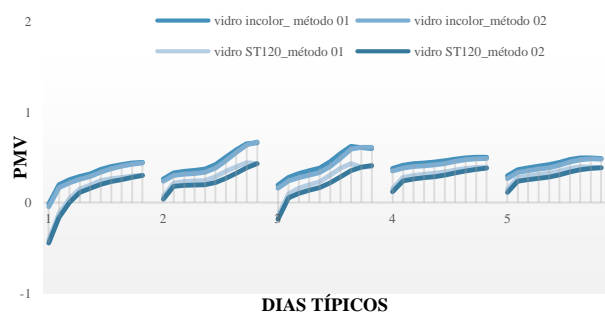


Figura 16- PMV dias típicos de inverno Método 01 e Método 02.

4.3. Método 3

No Método 03 a zona térmica foi subdividida em 03 subzonas e o usuário foi posicionado no centro de cada subzona. Os índices PMV e PPD foram calculados pelo EnergyPlus para cada zona. A figura 17 representa as três diferentes posições do usuário.

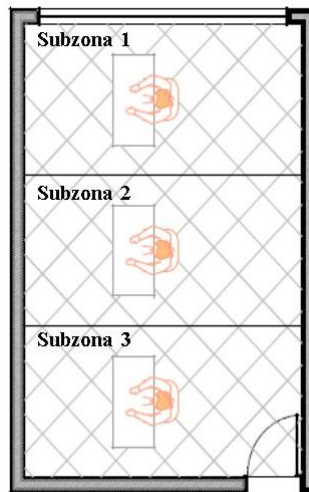


Figura 17- Subzonas Método 3.

As curvas das figuras 18 e 19 são os índices PMV para o verão e para o inverno, respectivamente. Para o período de verão considerou-se número 1 como sendo dia 25/01 e 5 para o dia 29/01. Os dias de inverno equivalem a número 1 para o dia 11/08 e 5 para o dia 15/08. A legenda P01 corresponde à subzona 01, P02 para a subzona 2 e P03 à subzona 3. Com o intuito de melhor apresentar os dados, foram selecionadas as amostras de vidro incolor com câmara de ar e vidro CEBRACE ST120 com câmara de ar para plotagem dos gráficos.

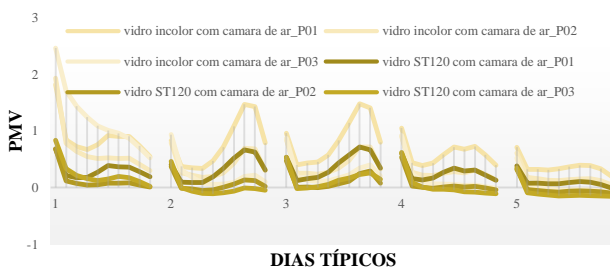


Figura 18- PMV dias de verão.

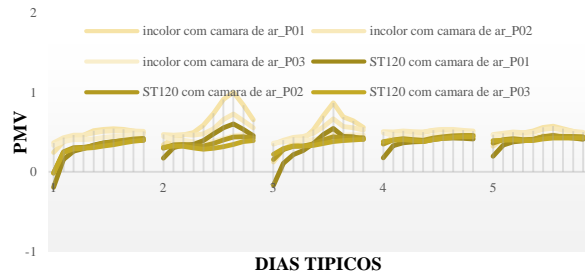


Figura 19- PMV dias de inverno.

Percebe-se no verão e no inverno que os votos de sensação térmica possuem linearidade para todas as subzonas variando somente conforme a zona térmica analisada. Torna-se nítida a divergência entre os votos dos usuários 01, 02 e 03. A relação entre o índice de desconforto e a posição do usuário em relação a janela está comprovada. No verão o ocupante 01 encontra-se em desconforto por calor e mantém seus votos mais elevados em todos os casos analisados em comparação ao ocupante 03, que está mais afastado da janela. Certifica-se que quanto mais próximo da janela, maior é a sensação de frio ou calor pelo usuário e quanto mais distante se está de uma superfície transparente menor é a influência da janela na sensação térmica do indivíduo.

Na maior parte do período de ocupação da sala no inverno o indivíduo encontra-se em estado de conforto nas três subzonas. O vidro incolor manteve os votos do usuário mais baixos em todos os casos devido a menor temperatura radiante média das zonas. O vidro ST120 manteve os votos de sensação térmica mais elevados nos dias em que a temperatura radiante das subzonas estava mais alta.

4.4. Comparação entre os Métodos 1, 2 e 3

As figuras 20 e 21 correspondem à sensação térmica do vidro incolor no verão e no inverno com a abordagem de todos os três métodos e as figuras 22 e 23 condizem ao vidro de controle solar (CEBRACE ST120) no mesmo período. Repara-se que em todos os casos a pessoa 01 do Método 3 tende a apresentar maior desconforto térmico por radiação do que os usuários dos outros métodos. Consta-se que a temperatura radiante média é maior quando a zona se localiza mais próxima da superfície da janela. Afirma-se que a janela contribui para aumentar a sensação de frio ou calor do ocupante que se localiza perto do sistema de envidraçamento.

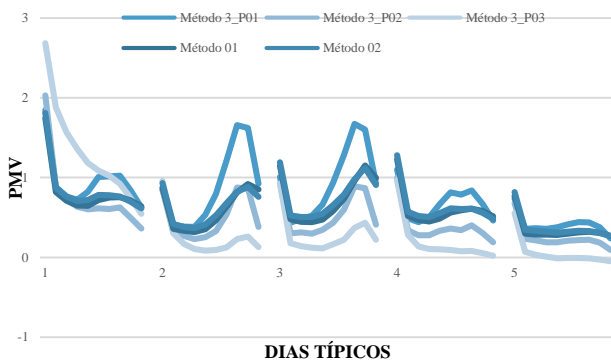


Figura 20- PMV período de verão vidro incolor.

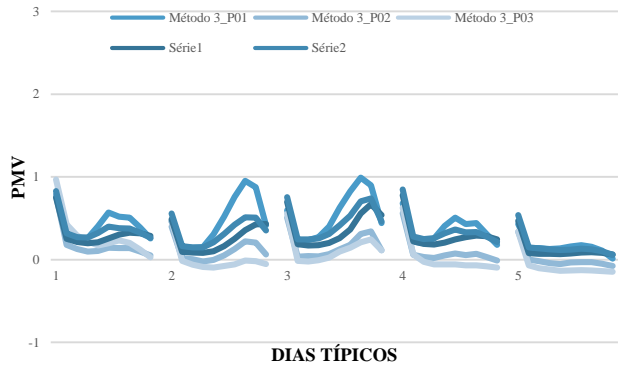


Figura 21- PMV período de verão vidro CEBRACE ST120.

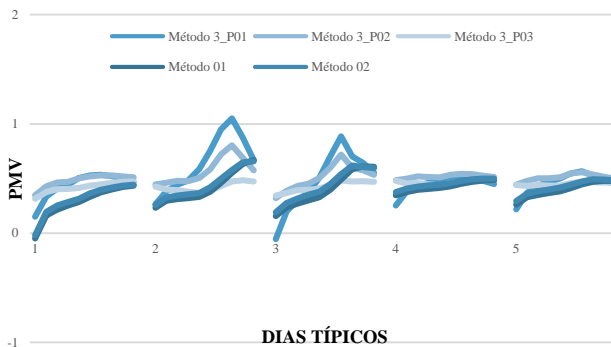


Figura 22- PMV período de inverno vidro incolor.

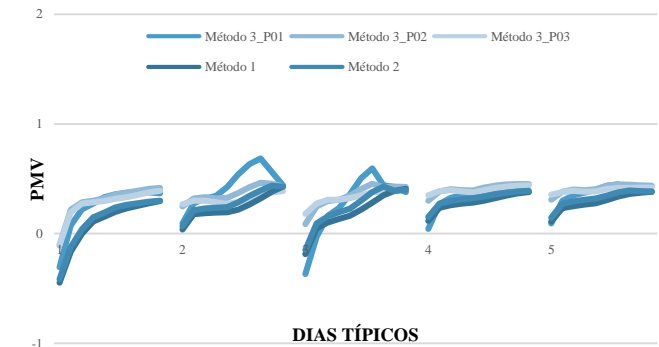


Figura 23- PMV período de inverno vidro CEBRACE ST120.

Quando comparados os Métodos 01, 02 e 03, percebe-se que os sistemas de envidraçamento que apresentam câmara de ar possuem a mesma tendência nos índices PMV e PPD. Essa linearidade nos índices também ocorreu quando as amostras de vidro não contém câmara de ar. A mudança na sensação de conforto térmico ocorre quando o fator solar do vidro é alterado.

O usuário 02 do Método 3 demonstra sensação térmica semelhante ao ocupante do Método 02, que foi locado a 1 metro da janela. Esse fato demonstra a imprecisão da avaliação de conforto térmico quando são modeladas grandes zonas térmicas.

5. CONCLUSÕES

Por meio das simulações energéticas realizadas no EnergyPlus foi possível avaliar diferentes formas de obtenção do índice de conforto térmico. Verificaram-se a existência de incertezas entre as metodologias abordadas. Ao comparar os métodos, nota-se que o Método 1 e o Método 2 revelam a semelhança da sensação térmica do ocupante quando a modelagem do ambiente é feita por meio de uma única zona térmica. O Método 3 demonstra a diferença na percepção de um usuário quando uma zona térmica foi subdividida em três partes iguais. Essa diversidade entre as formas de avaliar conforto térmico demonstra a imprecisão do EnergyPlus.

Embora pesquisas indiquem os benefícios do vidro de controle solar para a redução no consumo de energia, pouco se relata sobre as vantagens desse sistema de envidraçamento na avaliação de conforto térmico. Repara-se que nos três métodos adotados neste estudo, todos os casos simulados apresentaram redução no índice de desconforto térmico por radiação quando abordou-se o vidro de controle solar. Os sistemas de envidraçamento com câmara de ar apresentaram as mesmas tendências nos indicadores PMV e PPD do que aqueles modelos não insulados, mesmo assim, demonstraram índices de conforto térmico mais próximos de zero para o verão e para o inverno. No período de verão, o comportamento térmico do vidro de controle solar revelou a redução no desconforto térmico dos ocupantes, demonstrando os benefícios deste sistema. Constatou-se que, no inverno, existe menor discrepância entre a sensação térmica dos ocupantes quando diferentes amostras de vidro foram analisadas. Os votos de sensação térmica mantiveram-se sempre próximos da zona de conforto. Esse fenômeno tende a ocorrer devido ao fato da cidade de Florianópolis não apresentar temperaturas externas rigorosas no período de inverno.

Nesse estudo, ficou comprovada a relação existente entre os sistemas de envidraçamento e o conforto térmico de usuários em uma sala de escritórios. Constata-se que quando a modelagem das zonas térmicas é

apropriada, torna-se possível quantificar a influência de uma superfície na sensação térmica dos ocupantes de um ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 2001 ASHRAE Handbook – Fundamentals. USA, 2009.
- _____. ASHRAE Handbook – Fundamentals. USA, 2005.
- BESEN, P.; WESTPHAL, F. S. Uso de vidro duplo e vidro laminado no Brasil: avaliação do desempenho energético e conforto térmico por meio de simulação computacional. ENTAC. Anais...Juiz de Fora, MG, 2012.
- CAPPELLETTI, F.; PRADA, A.; ROMAGNONI, P.; GASPARELLA, A. Passive performance of glazed components in heating and cooling of an open-space office under controlled indoor thermal comfort. *Building and Environment*, v.72, p. 131-144, 2014.
- GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura *versus* simulação computacional. *Ambiente construído*, v. 5, n.4, p 81-93, 2005.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Arquivos climáticos em formato EPW. Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina. [citado em Jul 9]. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>.
- NOH-PAT, F.; XAMÁN, J.; ÁLVAREZ, G.; CHÁVEZ, Y. J. ARCE. Thermal analysis for a double glazing unit with and without a solar control film (SnS-CuxS) for using in hot climates. *Energy and Buildings*, v. 43, p. 704–712, 2010.
- TZEMPELIKOS, A.; BESSOU DO, M.; ATHIENITIS, A.K.; ZMEUREANU, R. Indoor thermal environmental conditions near glazed facades with shading devices e Part II: Thermal comfort simulation and impact of glazing and shading properties. *Building and Environment*, v.46, p. 2517-2525, 2010.