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

A ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO POC EM EDIFICAÇÕES NATURALMENTE VENTILADAS

Tiffany Nicoli Faria Latalisa França (1); Mario Alves da Silva (2); Joyce Correna Carlo (3)
(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Viçosa, tiffany.franca@ufv.br
(2) Graduando em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Viçosa, silvalves.mario@gmail.com
(3) Doutora Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, joycecarlo@ufv.br
Universidade Federal de Viçosa Avenida Peter Henry Rolfs, s/n Viçosa – MG - Brasil CEP 36570-000
Tel.: (31) 3899-1982

RESUMO

O desempenho térmico de edificações com condicionamento passivo, isto é, que não consomem energia para modificar as condições ambientais internas de uma edificação, emprega variáveis ambientais de conforto térmico, que podem ser estimadas por meio de simulações de desempenho de edificações. A metodologia do conforto adaptativo proposta pela norma ASHRAE 55, considera a temperatura como fator primordial para a determinação da aceitabilidade de conforto térmico do usuário para um determinado clima e edifício, permitindo assim que os projetistas verifiquem se um projeto é capaz de proporcionar conforto térmico durante as diferentes estações do ano. Diante do exposto, para uma edificação previamente modelada na qual as características dos sistemas construtivos poderiam variar, propôs-se a simulação de desempenho térmico utilizando a ventilação natural e partindo-se de arquivos climáticos previamente desenvolvidos para a cidade de Viçosa-MG. A partir disso, propôs-se uma análise comparativa entre os métodos de seleção do ano climático representativo para condições de conforto térmico, para verificar o mais confiável para o clima brasileiro. Utilizou-se o Energyplus para modelar e simular as características dos sistemas construtivos e dos sistemas de condicionamento natural propostos. Foram comparados arquivos climáticos desenvolvidos a partir de uma mesma base de dados, usando alguns dos métodos que o autor citado utilizou: os dois principais métodos utilizados no Brasil, o TRY e o TMY brasileiro; um método utilizado nos EUA, o TMY3; o método mais utilizado na Europa, o TRY europeu; o método multianual 3 anos, em que foi identificado um ano de referência com os valores mais baixos de temperatura e radiação, um outro ano com os valores mais altos de temperaturas e radiação, e um ano com valores médios para os mesmos parâmetros; e, por fim, o multianual 10 anos, no qual foram analisados os dados para cada um dos 10 anos de dados climáticos coletados para a cidade de Viçosa-MG. Assim como como foi indicado em estudos anteriores, em que o TMY3 foi o formato sintético mais apropriado para edifícios condicionados, este estudo confirma seu uso para edifícios naturalmente ventilados, pois mostra como o TMY3 descreve melhor a série temporal com um único formato.

Palavras-chave: simulação computacional, conforto térmico, arquivos climáticos.

ABSTRACT

The thermal performance of buildings with natural conditioning -or that do not consume energy to modify the internal thermal conditions of a building - employs environmental variables of thermal comfort, that can be estimated by building performance simulation. The adaptive comfort methodology proposed by the ASHRAE 55 standard considers temperature as a prime factor for determining the acceptability of the user's thermal comfort for a given climate and building, thus allowing designers to verify that a design is capable of providing thermal comfort during the different seasons of the year. Therefore, for a previously modeled building in which the characteristics of the construction systems could vary, it was proposed a simulation of the thermal performance using the natural ventilation using weather files previously developed for the city of Viçosa-MG, Brazil. Then, an analysis compared methods of selection of the representative climatic year for thermal comfort conditions, in order to point out the most reliable for the Brazilian climate. Energyplus was

used to describe ad simulate the characteristics of the construction systems and the proposed natural conditioning systems. Weather files developed from the same database were compared using some of the methods used by the cited author: the two main methods used in Brazil, TRY and the Brazilian TMY; a method used in the USA, TMY3; the most widely used method in Europe, the European TRY; the 3 multiyear method, in which a reference year was identified with the lowest values of temperature and radiation, another year with the highest values of temperatures and radiation, and one year with mean values for the same parameters; and lastly the 10 multiyear, in which the data for each of the 10 years of climate data, collected for the city of Viçosa-MG, were analyzed. As indicated by previous studies that TMY3 was the most suitable synthetic format for conditioned buildings, this study confirms its use for naturally ventilated buildings, as it shows how TMY3 best describes the time series with a single format.

Keywords: computational simulation, thermal comfort, climatic archives.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Corbella e Yannas (2009) o objetivo da arquitetura bioclimática é proporcionar um ambiente construído com conforto físico, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e que proporcione uma permanência sadia e agradável a seus ocupantes. Na busca por uma arquitetura que atenda a esses requisitos, informações sobre variáveis ambientais e conforto térmico, podem prever melhorias e possíveis ajustes ainda na fase de projeto. Nesse contexto, a simulação apresenta-se como importante ferramenta de aproximação entre o virtual e a realidade projetual.

Na contemporaneidade, o debate acerca de alternativas construtivas eficientes energeticamente tem ganhado espaço. Entre os recursos adotados para esse fim, destaca-se a ventilação natural, vista como importante alternativa ao condicionamento artificial e na obtenção de conforto térmico. Nesse sentido, um dos primeiros estudos data da década de 70 e foi feito pelo pesquisador dinamarquês Ole Fanger, através de pesquisas realizadas em câmaras climatizadas, onde ele desenvolveu um método para avaliar o conforto térmico nos ambientes.

> Atualmente, tal modelo representa um dos principais métodos de avaliação de conforto térmico nas normas internacionais da área, como a ISO 7730 (INTERNATIONAL..., 2005) e a ASHRAE 55 (AMERICAN..., 2013), e é essencialmente indicado para avaliações gerais de conforto térmico em que a velocidade do ar não ultrapassa 0,20 m/s (o que comumente é observado em espaços condicionados artificialmente). (RUPP et al., 2017, p.112).

Ao longo dos anos, pesquisas foram intensificadas e direcionadas aos ambientes construídos naturalmente ventilados, com a finalidade de desenvolver métodos mais eficientes de avaliação e melhorar seu desempenho. Como é o caso do método de avaliação chamado de conforto adaptativo (DE DEAR; BRAGER, 1998; HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013; NICOL; HUMPHREYS, 2010, 2002), o qual evidenciou limitações no modelo de Fanger quando em se tratando de ventilação natural.

Para Humphreys, Rijal e Nicol (2013), o modelo adaptativo de conforto térmico é uma abordagem que parte das adaptações comportamentais que os ocupantes realizam para ficarem confortáveis. A metodologia do conforto adaptativo proposta pela norma ASHRAE 55, considera a temperatura como fator primordial para a determinação da aceitabilidade de conforto térmico do usuário para um determinado clima e edifício. Esta relação é especialmente útil ao ser aplicada quando um edifício está operando sem qualquer sistema de climatização artificial e permite que os projetistas verifiquem, por meio de simulação térmica ou medição, se um projeto é capaz de proporcionar conforto térmico durante uma estação quente, sem refrigeração mecânica (HUMPHREYS, RIJAL e NICOL, 2013). Por isso, o conforto adaptativo tem sido amplamente referenciado como modelo de conforto para estes tipos de edifícios.

O componente adaptativo da norma é aplicável para a determinação dos índices de conforto em ambientes naturalmente ventilados em que a atividade física dos usuários é equivalente a atividades típicas de escritórios, entre 1,0 e 1,3 met. O método também especifica que os ocupantes podem adaptar livremente suas roupas às condições térmicas internas e/ou externas, dentro de uma faixa entre 0,5 a 1,0 clo, e que a temperatura média do ar esteja entre 10°C e 33,5°C (ASHRAE, 2013).

O projeto arquitetônico exerce significativa influência tanto sobre a ventilação natural, quanto na sensação de conforto térmico dentro da edificação. Este último definido pela norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013) como uma condição mental do ser humano que expressa a satisfação com as condições térmicas ambientais. Por isso, estudos realizados sobre o conforto térmico visam à análise e estabelecem condições

necessárias para um ambiente com atividades e ocupação humana, a exemplo de Barbosa (2015) e Oliveira (2017).

O uso de softwares de simulação tem contribuído muito na busca de soluções construtivas mais eficientes energeticamente. A inserção de dados meteorológicos nesses softwares é realizada com o uso de um arquivo climático para a estimativa do balanço térmico da edificação em uma determinada localidade. Segundo Guimarães (2016, p.1 Crawley, 1998; Hensen, 1999; Barnaby e Crawley, 2011), são compostos de diversos elementos do clima como: temperatura, umidade relativa, irradiação, iluminância, velocidade e direção dos ventos, dentre outros. Estes dados são dispostos em frequência horária nos arquivos, resultando em 8760 horas de dados, para cada um dos parâmetros.

Tais dados, entretanto, apresentam certo grau de incerteza, já que lidam com simplificações da realidade. O que implica diretamente nas previsões feitas a partir de programas de simulação computacional, provocando então limitações.

> O modelo virtual de uma edificação pode gerar diversas dúvidas quanto à caracterização de seus dados de entrada. Refere-se a "dados de entrada" os valores que representam, por exemplo, a geometria da edificação, as propriedades térmicas de seus materiais construtivos, a eficiência energética de equipamentos elétricos, a capacidade do sistema de condicionamento de ar, os padrões de uso e ocupação do prédio, etc. Esse tipo de informação é utilizado pelos algoritmos do programa para estimar as trocas de calor do edifício com o meio externo, os ganhos de calor interno, a temperatura interna resultante em cada zona térmica e o consumo de energia elétrica de cada sistema do edifício, incluindo o condicionamento de ar, que depende de todos os parâmetros anteriores. Raramente, o analista que está realizando a simulação terá acesso, com absoluta certeza, a todos esses parâmetros que caracterizam o modelo. (WESTPHAL, 2007, pg.3)

Apesar disso, são esses programas a principal ferramenta para realização de previsões acerca do desempenho de uma edificação, os quais ajudam a melhorar a qualidade construtiva dos projetos antes mesmo de se constituírem fisicamente.

Guimarães (2016) analisou as incertezas na carga térmica de edificações simuladas com diferentes métodos de desenvolvimento de arquivos climáticos para a cidade de Viçosa-MG, posteriormente indicou-se os métodos mais adequados para simulações nas condições locais. O procedimento consistiu em analisar um arquivo climático para cada um dos 10 anos de dados climáticos coletados para a cidade de Viçosa. "Este método multianual consiste em realizar uma simulação com um arquivo climático composto de todos os dados climáticos coletados que estejam aptos a serem processados. Neste estudo, foram coletados dados entre novembro de 2005 a dezembro de 2015, da cidade de Viçosa-MG." (GUIMARÃES, pg.51, 2016). Em seguida o autor comparou esses dados com outros desenvolvidos a partir de métodos tradicionais usados nacional e internacionalmente, que são: o TMY 3 (WILCOX e MARION, 2008), o TRY Europeu (CEN, 2005), o TRY original (NCDC, 1976), e o TMY brasileiro (CARLO; LAMBERTS, 2005 e RORIZ, 2012).

Explicando um pouco mais sobre esses métodos, o TRY, *Test Reference Year*, consiste na análise das médias mensais de temperatura de bulbo seco da série de anos de dados climáticos coletados e na seleção de um desses como o ano de referência do clima. Este ano é um ano típico de dados climáticos do local, ele é selecionado entre vários anos de medições climáticas, eliminando os anos de dados com temperaturas médias mensais extremas (GOULART et al, 1998).

O método TMY, adaptado para o Brasil, se assemelha ao método TRY, porém a diferença entre os métodos é que as análises são feitas para cada mês independentemente, assim, os meses selecionados podem ser de anos distintos, e posteriormente é feita a montagem de um ano climático artificial, com a junção dos meses climáticos de referência selecionados (GUIMARÃES, 2016).

Ainda segundo Guimarães (2016), o conceito do método internacional TRY_eu , que é bastante semelhante ao método TMY3, consiste em identificar a distribuição de probabilidade acumulada (DPA) de todos os parâmetros, para assim, selecionar um ano de referência que tenha a DPA mais semelhante com a DPA de toda a série de dados coletados.

Quantos aos métodos multianuais, estes consistem em realizar uma simulação com um arquivo climático composto de todos os dados meteorológicos coletados que estejam aptos a serem processados 3 anos ou 10 anos, neste caso.

Neste trabalho foi feito o uso de simulação computacional para estimar o conforto térmico do usuário em ambientes internos, utilizando como modelo preditivo o conforto adaptativo proposto pela ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013). Os resultados das análises do autor apontaram o método Multianual 3 anos como o mais

confiável, com destaque também para o TMY3, que foi o melhor entre os métodos tradicionais e, portanto, utilizado como base comparativa para as análises do presente trabalho.

2. OBJETIVO

Avaliar as incertezas nos formatos de arquivos climáticos usados para simulações de conforto térmico em uma zona térmica de edificação em Viçosa-MG.

3. MÉTODO

A proposta se iniciou, com a seleção de uma tipologia arquitetônica de um edifício empresarial de escritórios de baixa altura, com perímetro intermediário representando um pavimento tipo. Essa abordagem exclui a análise do gradiente de velocidade dos ventos devido à altura.

A partir disso, propôs-se características distintas (Tabela 1), para geração de modelos de edificações diferentes (Tabela 2) cujo desempenho foi analisado a partir de diferentes arquivos climáticos. A ordem proposta nessa tabela seguiu a ordem crescente de temperaturas geradas pela simulação do arquivo climático TMY3, dessa maneira, todos os demais arquivos climáticos foram organizados de forma que itens de determinadas características no formato TMY3 fossem indicados sempre com um mesmo número nos outros arquivos climáticos.

A presente pesquisa usou os seguintes arquivos climáticos elaborados para a cidade de Viçosa - MG (-20°76', -42°86') previamente desenvolvidos por Guimarães (2016):

- TMY3;
- TRY europeu;
- TRY original;
- TMY brasileiro;
- Multianual 3 anos;
- Multianual 10 anos;

Logo, 24 modelos de edificações, naturalmente ventiladas e de características distintas, foram simuladas com o EnergyPlus versão 8.7, com recursos de ventilação do Modelo de Rede (*Airflow Network*).

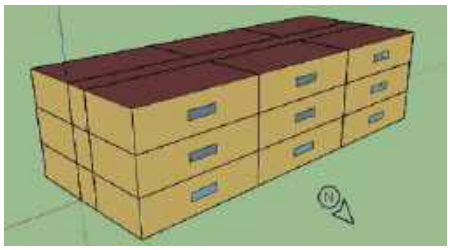

Figura 1 – Representação dos modelos com percentual com abertura nas fachadas de 5%

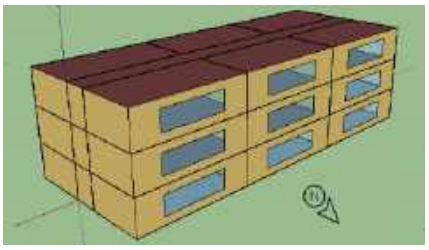

Figura 2 – Representação dos modelos com percentual com abertura nas fachadas de 30%

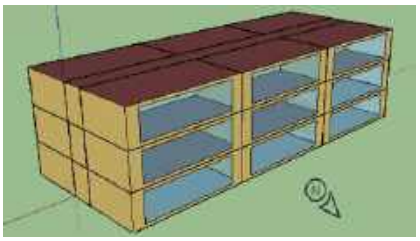

Figura 3 – Representação dos modelos com percentual com abertura nas fachadas de 65%

Tabela 1 – Características construtivas dos modelos simulados.

Características Formais			
Razão entre fachadas	10 : 3		
Dimensões das Fachadas Laterais	(30 x 9) m		
Número de Pavimentos	3		
Pé direito de Pavimento	3		
Características das aberturas			
Percentuais de abertura (PAF)	5%	30%	65%
Fator Solar do vidro (FS)	0,25		0,67
Características das Paredes, Pisos e Coberturas			
Transmitância Térmica (U)	0,5		4,0
Absortância (A)	0,3		0,7
Capacidade Térmica	200		

Tabela 2 – Descrição das características das variáveis de cada um dos 24 modelos.

Nome	% Aberturas na Fachada	Fator Solar do Vidro	Transmitância (W/m².°C)	Absortância
Mod 1	65%	0,25	4,0	0,7
Mod 2	65%	0,67	4,0	0,7
Mod 3	30%	0,67	4,0	0,7
Mod 4	30%	0,25	4,0	0,7
Mod 5	5%	0,67	4,0	0,7
Mod 6	5%	0,25	4,0	0,7
Mod 7	5%	0,25	4,0	0,3
Mod 8	5%	0,67	4,0	0,3
Mod 9	30%	0,25	4,0	0,3
Mod 10	30%	0,67	4,0	0,3
Mod 11	5%	0,25	0,5	0,3
Mod 12	5%	0,67	0,5	0,3
Mod 13	5%	0,25	0,5	0,7
Mod 14	5%	0,67	0,5	0,7
Mod 15	65%	0,67	0,5	0,7
Mod 16	65%	0,25	0,5	0,7
Mod 17	30%	0,25	0,5	0,3
Mod 18	65%	0,67	0,5	0,3
Mod 19	65%	0,67	4,0	0,3
Mod 20	65%	0,25	0,5	0,3
Mod 21	65%	0,25	4,0	0,3
Mod 22	30%	0,67	0,5	0,3
Mod 23	30%	0,25	0,5	0,7
Mod 24	30%	0,67	0,5	0,7

Como se pode verificar na Tabela 2, as características das edificações foram parametrizadas de maneira que se tenha edificações mais e menos sensitivas às condições climáticas. As figuras 1, 2 e 3 mostram essas variações para a área de abertura das janelas válidas para as fachadas norte e sul.

A norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013) "*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*" apresenta um índice baseado na teoria adaptativa de conforto térmico proposta por e De Dear e Brager (1998), com os benefícios de se oferecer o controle de abertura das janelas aos usuários e aumentar os limites de velocidades internas do ar. Logo, o conforto adaptativo defende padrões variáveis de temperatura interna, permitindo adaptações dos usuários no edifício às condições ambientais, ou seja, possam abrir e fechar as janelas e alterar a sua vestimenta de acordo com a sua preferência.

Quanto ao tipo de esquadria considerado, optou-se pela de correr, com fator de ventilação de 45% com *setpoint* de 20ºC para a sua abertura.

Da mesma forma feita por Guimarães (2016), para analisar as diferenças nos resultados da simulação causadas pela escolha entre os diferentes arquivos climáticos, os mesmos foram usados em simulações termo energéticas idênticas.

- 24 Modelos;
- 17 Formatos;
- 6 Arquivos Climáticos;

A análise do percentual de horas em conforto (POC) foi feita considerando as 8760 horas anuais. Os dados foram processados considerando as médias de temperatura externa de cada arquivo climático, além da temperatura operativa interna dos ambientes. A média do POC (percentual de horas em conforto) dos 18 ambientes de permanência prolongada foi calculada para cada modelo com seu respectivo arquivo climático. Em seguida, os POCs médios do Multianual 10 anos a zona 21 de cada modelo foram usados como referência para obtenção de medidas estatísticas que possibilitaram comparar os resultados do Multi 10 com os demais arquivos. Assim, foi possível quantificar as incertezas na simulação do conforto com uso de diferentes formatos dos arquivos climáticos ao considerar diversos modelos de edificações, porém com uso de uma zona térmica somente.

4. RESULTADOS

Os resultados das análises de Guimarães (2016) apontaram o método Multianual 3 anos como o mais confiável, entretanto, devido a um maior custo de tempo para se realizar a simulação com três arquivos climáticos, o TMY3, foi elegido pelo autor como sendo o melhor entre os métodos tradicionais. Assim, ele

foi utilizado como base comparativa para as análises do presente trabalho, e orientou a ordem da nomenclatura dos modelos computacionais dos edifícios com seus respectivos parâmetros. Ainda, com base nos resultados encontrados por Guimarães (2016), a análise estatística desenvolvida pelo autor indicou que a cidade de Viçosa apresenta principalmente, taxas de desconforto por frio nos meses de inverno.

Para analisar os efeitos da ventilação natural sobre a edificação, optou-se por trabalhar apenas com a Zona 21 de cada modelo, que em comparação com as demais zonas térmicas, mostrou-se a mais sensível termicamente às mudanças de parâmetros. Esta zona encontra-se no último pavimento e está voltada para as orientações Sul e Leste. É importante lembrar que fachadas com orientação sul recebem insolação no verão e não recebem no inverno. Assim, as variações de temperatura operativa podem ser maiores nessa orientação. Além disso, as variações de transmitância térmica e absortância solar da cobertura podem ser mais impactantes que o contato com o solo, já que este último não foi parametrizado nos modelos.

A amplitude máxima do percentual de horas em conforto (POC) entre os casos simulados com arquivos climáticos do formato Multianual 10 anos foi de 15% no modelo 1, e a amplitude mínima foi 4% no modelo 17 (Figura 4). Entre os casos com formatos sintéticos, a maior amplitude foi no modelo 7 de 15%, e média de 5% no modelo 17 (Figura 5).

Na Figura 4, o POC mínimo foi de 54% para o modelo 1, simulado com o Multi 10: ano 2010, enquanto o POC máximo foi de 96% para o modelo 24, simulado com os Multi 10: anos 2008 e 2013. Os POCs alcançados com os modelos sintéticos da Figura 5 são próximos aos da Figura 4: o modelo 1 alcançou máximo de 96% com o TRY_Br e Multianual 3 anos baixo.

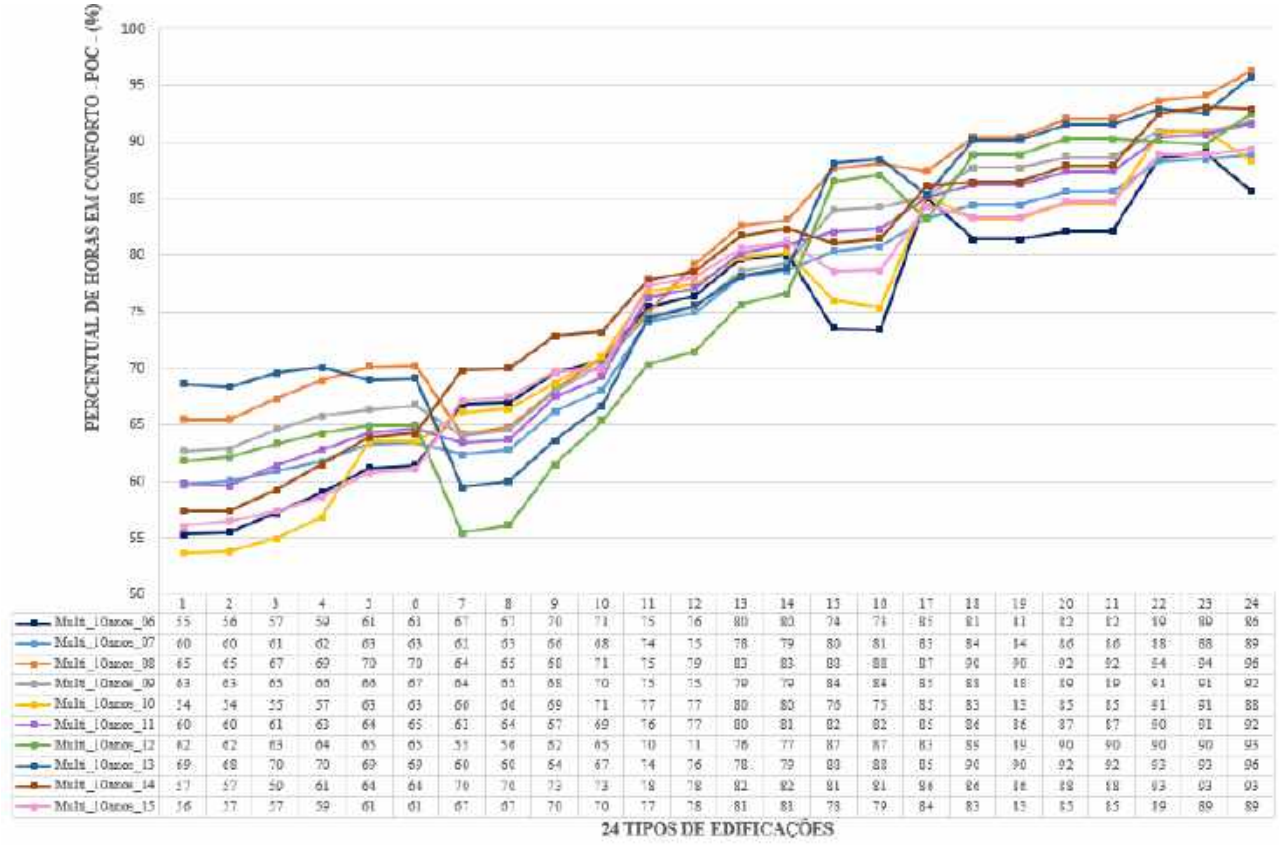

Figura 4 –POC da zona 21 cujos modelos de edificação foram simulados com formatos Multianual 10 anos

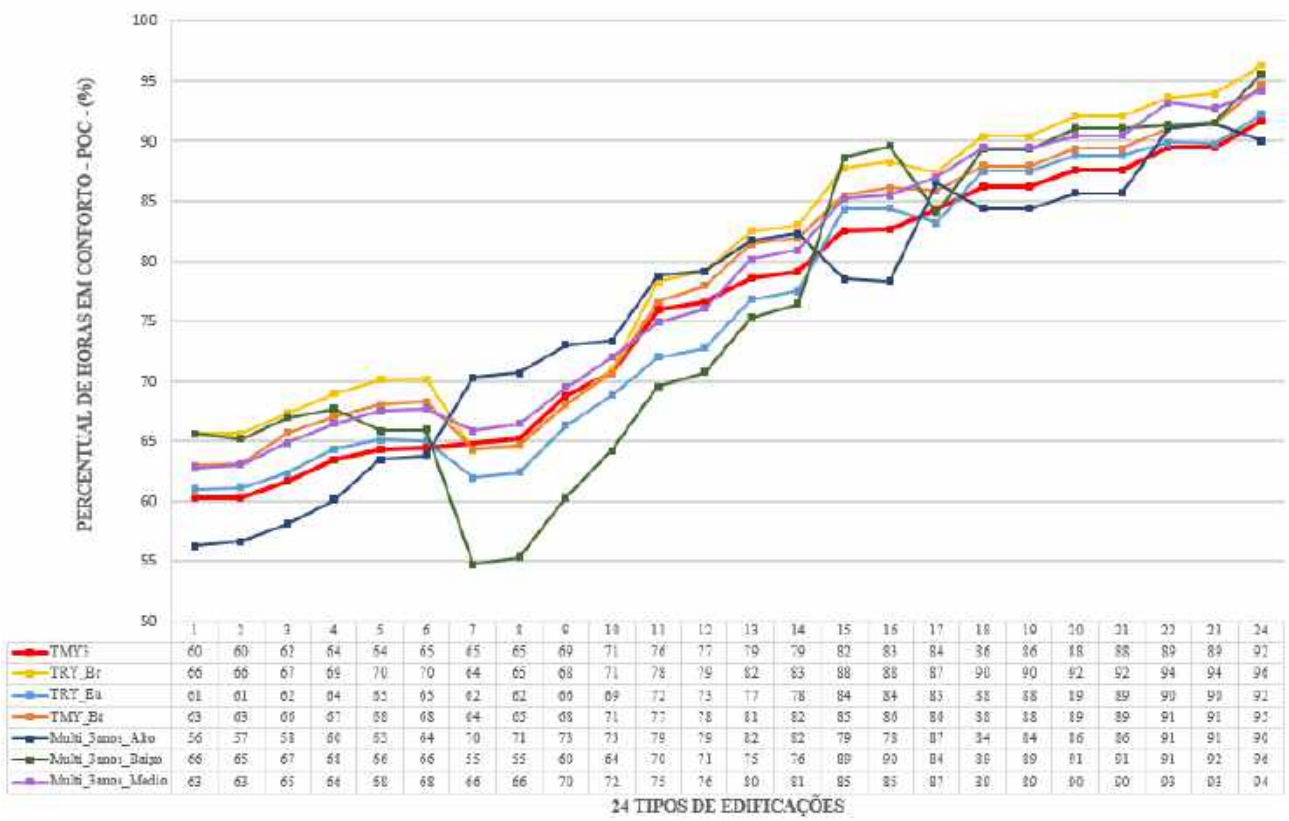

Figura 5 –POC da zona 21 cujos modelos de edificação foram simulados com formatos sintéticos

No entanto, as variações entre os parâmetros é que chamam a atenção. Na Figura 5, a maior amplitude entre os formatos sintéticos de arquivos climáticos ocorreu no modelo 7, onde os POCs mais se afastaram dos valores de 65% gerados pelo TMY3. Eles são causados pelos Multianuail 3 anos baixo (55%), com temperaturas e intensidade de radiação mais baixos, Multianual 3 anos alto (70%), com temperaturas e intensidade de radiação mais altos. Ora, o modelo 7 contém apenas a transmitância térmica das paredes e coberturas de valor alto, de 4 W/m²K (Tabela 2); o restante das características isola mais o edifício das influências meteorológicas. Assim, as elevadas perdas de calor do Multi 3 anos baixo o levaram a apresentar menos horas em conforto, enquanto os elevados ganhos de calor do Multi 3 anos alto e baixas perdas devido à pequena diferença de temperatura interno/exterior, garantiram maiores horas em conforto em um clima que, como mencionado anteriormente, o desconforto por frio é mais relevante que por calor. Ainda, o modelo 6 é idêntico ao modelo 7, exceto pela absortância da cobertura e paredes externas, que passou de 0,7 para 0,3. Somente a redução da absorção da radiação solar em um ambiente de com uma janela de PAF 5% gerou uma alteração no percentual de horas em conforto em relação ao modelo 7 que inverteu os POCs de 66% do modelo 6 para 55% no modelo 7 e 64% no modelo 6 para 70% no modelo 7, simulados com o Multianual 3 anos baixo e Multianual 3 anos alto, respectivamente. Nota-se, portanto, a participação da absortância solar integrada à transmitância térmica no conforto dos ocupantes. Outros casos como estes podem ser identificados na elevada amplitude dos modelos 1 a 4 e modelos 15 e 16. Nos modelos 15 e 16, a transmitância é mais baixa (0,5 W/m²K), mas eles apresentam maior PAF (65%) e maior absortância (0,7). A redução nos valores de POC entre os modelos 5 e 6, onde o segundo apresenta menor ganho de calor interno, e também entre os modelos 14 e 15, onde há aumento do fluxo de ar frio para o interior pode ainda ser explicado pelas constatações já feitas por Guimarães e Carlo (2011), que identificaram maior desconforto por frio em Viçosa-MG. Os demais modelos 1 a 4 e 7 apresentam elevada transmitância térmica.

A Tabela 3 apresenta as medidas estatísticas observadas para as diferenças entre cada arquivo climático em uma amostra composta dos 24 modelos, que são, respectivamente: Desvio Absoluto Médio, MAD (*Mean Absolute Deviation*), Desvio Padrão Quadrático da Média, MSD (*Mean Squared Deviation*) e Erro quadrático médio, RMSE (*Root Mean Square Error*).

Tabela 3 – Erros e desvios do POC dos 24 modelos em relação àqueles da série de 10 anos para cada formato de arquivo climático.

	TMY3	**TRY_br**	**TRY_eu**	**TMY_br**	**Multi-3-alto**	**Multi-3-médio**	**Multi-3-baixo**
MAD	0,60	3,81	1,55	2,09	2,79	2,39	4,46
MSE	0,54	17,83	3,16	5,93	10,34	6,65	25,73
RMSE	0,73	4,22	1,78	2,44	3,22	2,58	5,07

O Multianual 3 anos extremo alto e extremo baixo apresentaram MAD mais baixos em relação ao MSD, que chegou a MAD de 4,46 para MSD de 25,73 para o Multi-3 baixo, o que indica como há soluções fora do grupo (*outliers*) e, portanto, que abrangem o espectro amplo de soluções ótimas para o clima. Por sua vez, a coesão entre o MAD de 0,60 para o MSE de 0,54 do TMY3 mostra como seus resultados foram coesos com a série de 10 anos simulada individualmente.

Além disso, é possível perceber como TMY3 apresentou todos os indicadores estatísticos, sejam erros ou desvios, mais baixos em relação aos demais formatos sintéticos. Seu RMSE de 0,73 é o mais baixo, seguido de 1,78 do TRY europeu, seguido de RMSE de 2,44 do TMY brasileiro. Por outro lado, os anos extremos naturalmente apresentaram erros maiores em relação à série temporal, visto que cada formato baixo, médio ou alto foi comparado à toda a séria de 10 anos. O RMSE mínimo foi identificado com o Multi 3 – médio de 2,58, o que está de acordo com o esperado, e o RMSE máximo de 5,07 foi identificado com a soluções do Multi 3 – baixo.

Assim como Guimarães (2016) indicou, o TMY3 como o formato sintético mais apropriado para edifícios condicionados, este estudo confirma seu uso para edifícios naturalmente ventilados, pois mostra como o TMY3 descreve melhor a série temporal com um único formato.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho comparou os métodos de seleção do ano climático representativo para condições de conforto térmico em edificações sujeitas a condicionamento passivo e em uma zona térmica específica, em Viçosa-MG. Os resultados das simulações e análises, puderam gerar algumas considerações sobre os modelos analisados.

Foi possível concluir que em relação ao modelo 7, observou-se que os seguintes arquivos de casos com formatos sintéticos: TMY3, TMY_Br, TRY_Br e Multianual 3 anos para valores médios de temperatura e radiação, apresentam POC próximo de 64%. Os outros formatos se distanciaram desse valor, e aparentemente o TRY_Eu seria um ano real que gerou POCs menores em alguns modelos e portanto, seria considerado pouco representativo. No entanto, ao comparar os POCs da série de 10 anos com os POCs dos modelos simulados com os arquivos climáticos, o TRY_Eu teve RMSE mais baixo, 1, 78, exceto pelo TMY3, que apresentou RMSE de 0,78. Portanto, o TMY3 foi identificado como melhor formato para representar a série temporal para edificações naturalmente ventiladas. Este resultado reforçou a recomendação de uso deste formato, que até então era indicado para edificações condicionadas artificialmente.

Os resultados também mostraram como o formato Multianual 3 anos pode ser usado para abranger um espectro de soluções que mostram o desempenho de uma mesma edificação em condições climáticas extremas.

Acerca da análise de sensibilidade dessas edificações, foi visto que os modelos com altos valores de transmitância térmica e de absortância, as quais relacionam-se às paredes e cobertura, se mostraram mais sensíveis às mudanças climáticas para um ambiente orientado a sul, quando o impacto da janela é mais significativo no verão somente. Considerando um clima com maior desconforto no inverno, esta orientação foi a mais apropriada para análise.

A análise da zona 21 exclusivamente é a maior limitação deste trabalho, cujos indicadores estatísticos RMSE, MAD e MSD podem ser diferentes em outras zonas térmicas menos sensíveis às variações dos arquivos climáticos. Outra limitação é que o estudo considera apenas as condições climáticas de Viçosa – MG, sendo necessário que outras condições com maior desconforto por calor seja consideras para confirmar a relevância dos formatos para os climas tipicamente brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS). **Weather Year for Energy Calculations 2 – Toolkit and Data**. Atlanta, EUA: 1997

ASHRAE (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS). a. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. USA, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2013.

ASHRAE Standard 55-1992. **Thermal environment conditions for human occupancy**. ASHRAE, Atlanta. 2004

BARBOSA, S. **Thermal performance of naturally ventilated office buildings with double skin façade under Brazilian climate conditions**. Tese de Doutorado, University of Brighton, Brighton, Reino Unido, 2015.

CARLO, J; LAMBERTS, R. **Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificações. Florianópolis**. SC: Departamento de Engenharia Civil, UFSC, 2005. Relatório.

CEN (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION). **EN ISO 15927-4: Hygrothermal Performance of Buildings - Calculation and Presentation of Climatic Data - Part 4: Hourly Data for Assessing the Annual Energy Use for Heating and Cooling**. Brussels, Belgium: 2005.
CORBELLAS, O; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. 2 ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009.
CRAWLEY, D. Creating Weather Files for Climate Change and Urbanization Impacts Analysis. In: 9th International IBPSA Conference Building Simulation, Beijin, 2007. **Anais…** Beijin, China: IBPSA, 2007. p 1075-1082.
CRAWLEY, D. Which weather data should you use for energy simulations of commercial buildings? **ASHRAE Transactions**, v104: 1998. p 498-515.
CRAWLEY, D.; HAND, J.; KUMMERT, M.; GRIFFITH, B. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. In: **Building and Environment**. Oxford: Elsevier, 2008 V. 43. p. 661-673
DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. **ASHRAE Transactions**, v. 104, p. 145–167, 1998.
ENERGYPLUS. **AuxiliaryPrograms - Weather Converter Program**. 1ª edição. University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, 2015.
FANGER, P. O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.
GOULART, S. V. G. LAMBERTS, R. FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.
GUIMARÃES, Í. B. B. **Análises de incertezas e sensibilidade de arquivos climáticos e seus impactos em simulações computacionais termo energéticas**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFV, Viçosa, 2016. Disponível em: http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/20623. Acessado em: 29 mar. 2019.
GUIMARÃES, I.; CARLO, J. Caracterização bioclimática da cidade de Viçosa-MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2011, Armação de Búzios. **Anais...** Armação de Búzios: ENCAC, 2011.
HENSEN, J. **Simulation of building energy and indoor environmental quality** - some weather data issues. In: Internation Workshop on Climate Data and their Applications in Engineering, Praga, 1999. **Anais...** Praga, Workshop, 1999.
HENSEN, J.; LAMBERTS, R. Introduction to building performance simulation. In: HENSEN, J.; LAMBERTS, R. (Org.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Abingdon: SponPress, 2011, cap.1, p.1-14.
http://www.infohab.org.br/encac/files/2011/Top4art29.pdf. Acesso em: Acesso em: 27.03.2019.
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
NCDC. **Test Reference Year (TRY): tape reference manual, TD-9706**. Asheville. North Carolina: National Climatic Data Centre, US Department of Commerce, 1976. Manual.
NICOL, F.; HUMPHREYS, M. Derivation of the Adaptive Equations for Thermal Comfort in FreeRunning Buildings in European Standard EN15251. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 11–17, 2010.
NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563–572, 2002.
OLIVEIRA, M. M. **Análise da influência de chaminés solares no conforto e na renovação de ar de ambientes internos**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFV, Viçosa, 2017. Disponível em: http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/19366. Acessado em: 29 mar. 2019.
RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. 2012. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos. Acesso em: 29 mar. 2019.
RUPP, R. F. et al. Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. abordagem analítica. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.111-123, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100127.
WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2007. 2007.. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Fernando_Simon_Westphal.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.
WILCOX, S; MARION, W. **User's Manual for TMY3 Data Sets**. National Renewable Energy Laboratory, 2008.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à professora Joyce pela paciência e boa vontade em nos auxiliar e nos permitir trabalhar voluntariamente nessa pesquisa e também ao evento pela oportunidade.