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

COMPARAÇÃO ENTRE INDICADORES DE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Tássio Luiz dos Santos (1); Carlos Fernandes da Cunha Júnior (2); Arthur Santos Silva (3)
(1) Engenheiro Civil, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade tassio_cgr@yahoo.com.br
(2) Graduando em Engenharia Civil, carlos.f.junior@outlook.com
(3) Doutor em Engenharia Civil, Professor do Magistério Superior, arthur.silva@ufms.br
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG), Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE), CEP 79070-900, Campo Grande – MS, (67) 3345-7378.

RESUMO
A norma brasileira de desempenho de edificações, NBR 15575 (ABNT, 2013), estabelece métodos de avaliação de desempenho térmico sendo que, dentre estes, o método de simulação é o mais apropriado segundo a comunidade acadêmica. Contudo, o método de simulação não define parâmetros de entrada importantes e seu índice de classificação de desempenho não considera conceitos de conforto térmico para os usuários da edificação. Este trabalho tem como objetivo comparar indicadores de desempenho térmico de habitações de interesse social, com base no método da norma, com indicadores de conforto térmico dos usuários, com base em um método alternativo proposto no trabalho. Foram analisados dois projetos de habitação e interesse social nas quatro zonas bioclimáticas do Mato Grosso do Sul (ZB3, ZB5, ZB6 e ZB8) por meio dos dois métodos de simulação; também foi analisada a sensibilidade das variáveis de entrada no desempenho e no conforto térmico por meio da análise de variância. Os resultados mostraram certa correlação entre desempenho e conforto térmico, o que pode estar relacionado ao fato de que os grupos de variáveis mais influentes são semelhantes nos dois casos. As principais divergências nos resultados são devido à norma considerar apenas o pico de calor, no caso do verão, e esse fator ocorre no período da tarde, sendo que para o método alternativo, no qual é considerada a rotina de ocupação, os quartos são ocupados em sua maior parte no período noturno. Esta análise demonstra a possibilidade de se utilizar indicadores de desempenho de habitações de interesse social baseados em conceitos de conforto térmico do ambiente, porém as informações de ganhos de calor internos, rotinas de ocupação e utilização de equipamentos são fundamentais para aproximar a simulação computacional a um funcionamento real da habitação.
Palavras-chave: desempenho térmico; NBR 15575; simulação computacional; habitação social; conforto térmico.

ABSTRACT
The Brazilian standard of building performance, NBR 15575 (ABNT, 2013), establishes evaluation methods for thermal performance which, among them, the simulation method is the most appropriate according to the academic community. However, the simulation method does not define some essential input parameters and its performance classification indicator does not consider the thermal comfort concepts to the building users. This work aims to compare the thermal performance indicators of social housing, using the normative method, with thermal comfort indicators of the building users, using an alternative approach. Two social housing projects were analyzed in the four different bioclimatic zones from Mato Grosso do Sul (ZB3, ZB5, ZB6 e ZB8) using the two simulation methods; also, the sensitivity of the input variables was examined in the performance and thermal comfort by the analysis of variance. The results showed some level of correlation between performance and thermal comfort, which could be related to the fact that the most influent variables are similar in both cases. The main differences in the results occur because the standard considers only the peak temperature, in the summer's case, and this situation occurs during the afternoon,

and in the alternative method, in which is considered the occupation schedule, the bedrooms are mostly occupied during the night. This analysis shows that is possible to use thermal performance indicators for social housing based in thermal comfort concepts, but the heat gains, occupation schedule and equipment's usage are core information to approximate the computer simulation to actual operation of the house.
Keywords: thermal performance; NBR 15575; computer simulation; social housing; thermal comfort.

1. INTRODUÇÃO

As habitações de interesse social (HIS) no Brasil são geralmente projetadas em grande escala, reproduzindo sistemas construtivos semelhantes em diferentes localidades, independentemente do clima e do contexto local. Tentando se adequar aos baixos valores limites de financiamento habitacional, essas edificações possuem baixo padrão construtivo, resultando em um desempenho térmico insatisfatório e não atendendo ao conforto ambiental dos usuários (FERREIRA; PEREIRA, 2012; PEREIRA; FERREIRA, 2014; SANTOS *et al.*, 2012).

A NBR 15220 (ABNT, 2005) foi o primeiro documento normativo a tratar sobre o tema do desempenho térmico de habitações no Brasil, trazendo diretrizes construtivas para habitações de interesse social conforme o zoneamento bioclimático brasileiro. Mais tarde, surgiu o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012), publicado em 2010 e atualizado em 2012, o qual apresenta requisitos para a avaliação do desempenho energético de residências.

Conforme a perspectiva de aumento de produção na construção de habitações no Brasil, onde o déficit habitacional alcançou a casa de seis milhões de habitações (FUNDAÇÃO..., 2018), as instituições brasileiras responsáveis estabeleceram parâmetros para garantir o desempenho destas edificações, visando a qualidade na construção. Em 2008 a norma de desempenho foi publicada e sob forte pressão do setor da construção civil foi revisada e publicada novamente em 2013. Atualmente, a NBR 15575 (ABNT, 2013) passa por outra revisão visando a melhoria de alguns procedimentos técnicos (AGÊNCIA CBIC, 2018).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece os requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os principais sistemas de uma edificação residencial. A norma apresenta três métodos para a análise de desempenho térmico: simplificada (prescritiva), por medição ou por simulação. Comparado ao método simplificado, a simulação computacional atua de forma mais abrangente, sendo o método mais indicado para a avaliação termo energética de um projeto (SORGATO et al., 2014a). Por este motivo os programas de simulação vêm sendo usados com mais frequência, pois possibilitam a entrada de dados (variáveis da edificação e clima), estimando algumas saídas como consumo energético, desempenho térmico e até mesmo o conforto térmico dos usuários.

Dentre os modelos para análise de conforto térmico em que é possível utilizar a simulação computacional, a ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), prescreve o modelo adaptativo para edificações naturalmente ventiladas, que é o caso das habitações de interesse social no Brasil. Esse modelo considera a relação da temperatura operativa interna no ambiente com a situação recente da temperatura externa do local. Dessa forma, a simulação analisa o desempenho do projeto através das horas ocupadas em conforto térmico, considerando as condições de uso da edificação.

Oliveira, Souza e Da Silva (2017) realizaram uma pesquisa discutindo as normas brasileiras referentes a desempenho térmico de edificações e concluíram que o método de simulação proposto pela NBR 15575 não se mostrou efetivo para garantir o conforto térmico dos usuários. De fato, Oliviera et al. (2015) realizaram uma pesquisa avaliando, para as oito zonas bioclimáticas, um modelo de edificação multifamiliar com paredes de concreto, utilizando simulação computacional. Observaram que algumas unidades habitacionais, mesmo atendendo ao nível mínimo de desempenho térmico segundo a NBR 15575, não proporcionaram condições adequadas de conforto.

Neste momento de revisão da NBR 15575 (ABNT, 2013) é importante apresentar divergências e possíveis contribuições para sua melhoria. Este trabalho apresenta um método alternativo para a avaliação do desempenho térmico de habitações de interesse social baseado no conforto térmico dos usuários da edificação, analisando a interação destes resultados com os índices de desempenho do método de simulação estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é comparar os indicadores de desempenho térmico da NBR 15575 (ABNT, 2013) com um método alternativo, baseado em indicadores de conforto térmico dos usuários, e realizar uma análise de sensibilidade das variáveis de entrada dos dois métodos.

3. MÉTODO

Este item mostra os detalhes sobre o objeto do estudo, sobre o programa de simulação computacional, sobre os métodos aplicados para a avaliação de desempenho térmico e conforto térmico, sobre o experimento computacional de análise de variância e o tratamento dos dados.

3.1. Objeto de estudo

Os objetos de estudo deste trabalho foram duas tipologias de Habitações de Interesse Social, as quais foram disponibilizadas no site da Caixa Econômica Federal[15], provenientes do Programa Minha Casa Minha Vida, já executados no país. A tipologia I é um projeto com área útil de 41,87m²; a tipologia II é um projeto com área útil de 41,16m², sendo que o seu **layout** diverge da tipologia I na disposição dos ambientes e por possuir maior quantidade de elementos para sombreamento das aberturas. A modelagem para a simulação computacional da geometria dos dois projetos é apresentada na Figura 1.



Figura 1 - modelagem da geometria para a simulação computacional dos projetos: (A) tipologia I; (B) tipologia II.

3.2. Modelagem computacional

Utilizou-se o programa **EnergyPlus™** versão 8.9.0 para realizar as simulações. Os modelos foram simulados nas quatro, maiores e mais populosas, cidades do Mato Grosso do Sul, onde cada uma delas representou uma zona bioclimática do Estado. A Figura 2 apresenta as cidades e as zonas bioclimáticas em que cada uma delas se localiza.

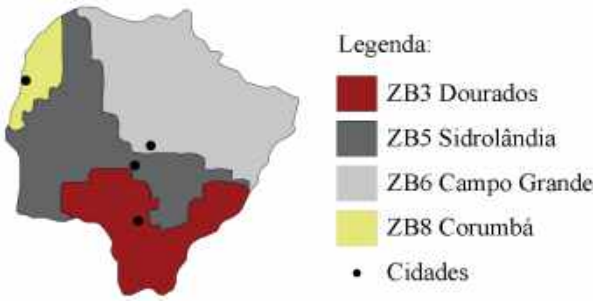


Figura 2 - Cidades selecionadas e suas respectivas zonas bioclimáticas localizadas no mapa do estado de Mato Grosso do Sul

As principais características do clima de cada cidade são apresentadas na Figura 3. Para a realização das simulações pelos dois métodos foram adotadas duas modelagens distintas, o método alternativo e o método estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013). Ambos os métodos foram analisados variando-se os dados de entrada conforme é explicado nos itens seguintes.

[15] A Caixa Econômica Federal disponibiliza um banco de projetos de HIS no site < http://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx> para o público.

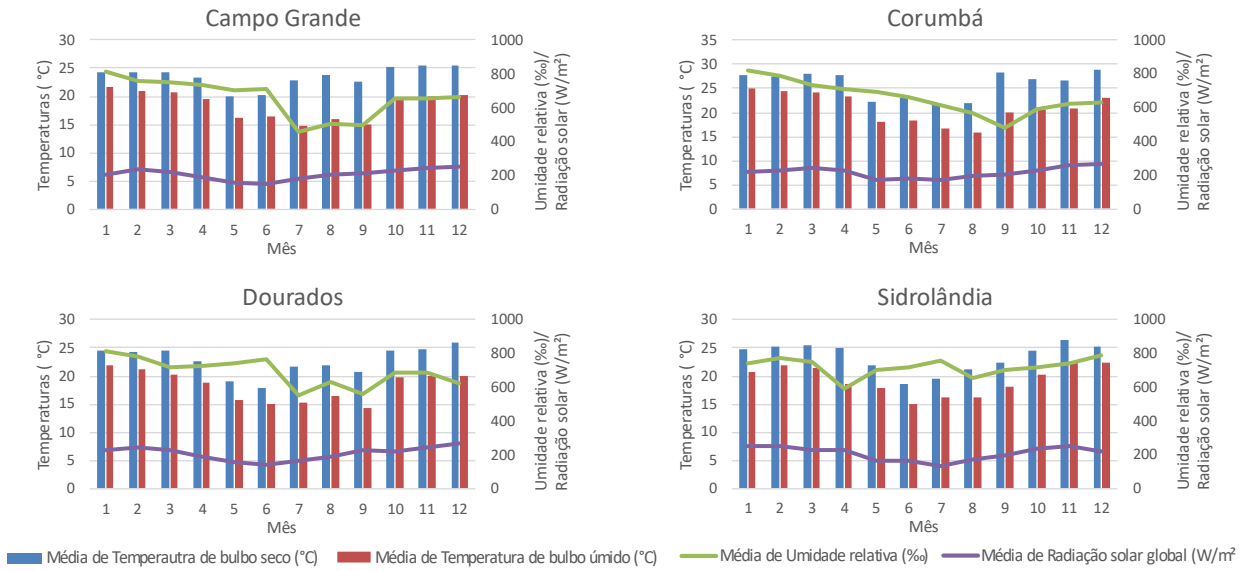


Figura 3 - principais características do clima de cada cidade

3.2.1. Modelagem para a simulação do desempenho térmico da NBR 15575 (ABNT, 2013)

Esta modelagem seguiu todas as recomendações prescritas pela NBR 15575-1 (ANBT, 2013). Os ambientes foram modelados com a ventilação natural configurada com uma troca de ar por hora, desconsiderando as cargas internas dos ambientes, como pessoas, iluminação ou equipamentos, e a simulação é realizada apenas para os dias específicos de projeto, de verão ou inverno.

Os dias de projeto, tratados neste trabalho como dias típicos, foram determinados seguindo os procedimentos estabelecidos pelo **Handbook – Fundamentals** (ASHRAE, 1993 apud GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, 1998), utilizando os arquivos climáticos do INMET de cada cidade, disponibilizados pelo sítio eletrônico do **EnergyPlus**[16]. A frequência de ocorrência das temperaturas extremas adotada para o dia típico de verão foi a mais próxima de 2,5% e para o inverno de 97,5%. A Tabela 1 apresenta os dados climáticos dos dias de projeto adotados.

Tabela 1 - dados climáticos dos dias de projetos adotados no trabalho

	Unidade	Campo Grande	Corumbá	Dourados	Sidrolândia	
Nível de Frequência	%	2,47	2,47	2,47	2,47	**Verão**
Data	-	10/12	10/12	28/10	2/11	
Temp. Máx. B. Seco	°C	36,1	38,5	35,6	33,4	
Amplitude Tér. B. Seco	°C	8,6	10,1	13,4	8,6	
Ponto de Orvalho	°C	23,8	22,1	21,4	21,7	
Pressão At.	Pa	98989	98989	95622	95522	
Vel. do Vento	m/s	1,70	1,70	2,12	2,21	
Dir. do Vento (Az.)	graus	131	131	123	269	
Nível de Frequência	%	97,53	97,53	97,53	97,53	**Inverno**
Data	-	29/5	29/5	3/5	23/7	
Temp. Máx. B. Seco	°C	17,6	17,6	16,3	14,9	
Amplitude Tér. B. Seco	°C	4,0	4,0	7,4	6,2	
Ponto de Orvalho	°C	10,6	10,6	11,9	14,0	
Pressão At.	Pa	100831	100831	96501	96118	
Vel. do Vento	m/s	3,46	3,46	2,28	3,14	
Dir. do Vento (Az.)	graus	198	198	199	164	

A renovação de ar dos ambientes foi configurada no objeto **ZoneVentilation:DesignFlowRate** do programa. Este possibilita a simulação da troca de ar interna por ar externo, porém, não leva em consideração possíveis infiltrações pelas aberturas dos ambientes e trocas de ar entre os ambientes do projeto. O contato com o solo foi simulado utilizando o objeto **GroundDomain**; por meio deste, é possível

[16] EnergyPlus™ Weather Data < https://energyplus.net/weather > .

processar diferentes configurações de pisos, baseando-se no modelo de diferenças finitas para obter as temperaturas do solo (MAZZEFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. 2015).

O critério de avaliação de desempenho da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) é a diferença de temperatura do ar do ambiente externo para o interno (ΔT), podendo ser considerado que quanto maior esta diferença, melhor é o desempenho. As classes estabelecidas por este critério são apresentadas na Tabela 2. Para possibilitar a análise de correlação, foram feitas as avaliações de inverno para as zonas bioclimáticas ZB6 e ZB8, baseando-se nos mesmos critérios de inverno da ZB1 a ZB5.

Tabela 2 - classes e critérios de desempenho da NBR 15575-1 (ABNT, 2013)

Níveis	Verão (ZB1 ZB7)	Verão (ZB8)	Inverno (ZB1 a ZB5)
Mínimo	$T_{i,\,máx.} \leq T_{e,\,máx.}$		$T_{i,\,mín.} \geq (T_{e,\,mín.}+3°C)$
Intermediário	$T_{i,\,máx.} \leq (T_{e,\,máx.}-2°C)$	$T_{i,\,máx.} \leq (T_{e,\,máx.}-1°C)$	$T_{i,\,mín.} \geq (T_{e,\,mín.}+5°C)$
Superior	$T_{i,\,máx.} \leq (T_{e,\,máx.}-4°C)$	$T_{i,\,máx.} \leq (T_{e,\,máx.}-2°C)$	$T_{i,\,mín.} \geq (T_{e,\,mín.}+7°C)$
$T_{i,\,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,\,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,\,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,\,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. Obs.: Nas zonas ZB6 a ZB8 nenhum critério de inverno precisa ser verificado.			

3.2.2. Modelagem para a simulação do desempenho térmico do método alternativo

A configuração desta modelagem foi similar ao método de simulação proposto pelo RTQ-R (INMETRO, 2012). A ventilação foi modelada considerando as infiltrações das aberturas e trocas de ar entre os ambientes, utilizando o objeto **AirFlowNetwork**, sendo as janelas configuradas para abrirem quando a temperatura interna fosse maior que 22°C no inverno e 20°C nas outras estações, apenas no momento que o ambiente estiver ocupado. Para este caso foram considerados os ganhos internos estabelecidos pelo Regulamento, sendo: duas pessoas por quarto, totalizando quatro pessoas na habitação; carga de iluminação de 6W/m² nos quartos e 5W/m² na sala; carga de equipamentos de 1,5W/m² nos ambientes. Devido à demanda de espaço, não foram detalhadas as rotinas horárias de ocupação, iluminação e uso de equipamentos neste trabalho, estando disponíveis no Item 3.1.3.3 do RTQ-R.

O contato com o solo foi configurado assim como no método anterior, utilizando o objeto **GroundDomain**. A configuração da ventilação dos ambientes foi feita no grupo de objetos **AirFlowNetwork** do programa. Este grupo de objetos avalia de forma conjunta a ventilação dos ambientes, considerando o fluxo de ar entre os mesmos e o ar do ambiente externo, levando em consideração tanto as aberturas das janelas quanto suas frestas e das portas internas e externas (PEREIRA *et al*, 2013). No caso deste método, a avaliação foi feita para um ano inteiro (8.760 horas), utilizando os arquivos climáticos com os anos de referência de cada cidade, disponibilizados pelo INMET.

Este método, citado como alternativo, analisa o desempenho dos ambientes baseando-se no conforto proporcionado aos usuários. Neste caso, o conforto é avaliado de acordo com o modelo adaptativo estabelecido pela ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017). Este modelo considera a relação de temperatura operativa de cada ambiente com a temperatura externa local. Os limites de 80% de aceitabilidade estabelecidos pela norma são: Eq. 1, para o limite superior e Eq. 2, para o limite inferior.

$$LS = 0{,}31 \times t_{pma(out)} + 21{,}3 \qquad \text{Eq. 1}$$

$$LI = 0{,}31 \times t_{pma(out)} + 14{,}3 \qquad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$t_{pma(out)}$: Temperatura média mensal;

LS: Limite de aceitabilidade superior a 80% (°C);

LI: Limite de aceitabilidade inferior a 80% (°C).

Entre os vários indicadores de conforto térmico a longo prazo apresentados no apêndice L da ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), foi adotado o POD – Porcentagem de horas Ocupadas em Desconforto, sendo o PODc no caso da análise de conforto no calor e PODf para a análise de conforto no frio. Como o próprio nome já descreve, as porcentagens de horas de desconforto são calculadas apenas nas horas do ano em que o usuário está ocupando efetivamente o ambiente e em situação de desconforto térmico. Sabe-se, contudo, que o indicador escolhido não informa a severidade do desconforto, como por exemplo o **Weighted Exceedance Hours** (equivalente ao indicador de graus-horas de desconforto).

3.3. Variáveis do experimento e tratamento dos dados estatísticos

Para simular várias possibilidades de implantação dos projetos, além das tipologias e zonas bioclimáticas, outras características da edificação foram variadas. A Tabela apresenta todas as variáveis independentes e seus respectivos níveis. O espaço amostral deste experimento foi de 23.040 simulações para a avaliação do desempenho pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e 23.040 simulações para a avaliação pelo método alternativo, totalizando 46.080 simulações.

Tabela 3 - variáveis independentes e seus respectivos valores

Variável	Unidade	Variável	Níveis
Absortância solar das coberturas	-	AbCob	0,3; 0,5; 0,7
Absortância solar das paredes externas	-	AbPar	0,3; 0,5; 0,7
Arquivo climático	-	-	ZB3; ZB5; ZB6; ZB8
Orientação	graus	Ori	0; 90; 180; 270
Tipologias (geometria)	-	Tp	I; II
Tipos de coberturas	-	VarCob	C1 ;C2; C3; C4; C5
Tipos de paredes externas	-	VarPar	P1; P2; P3; P4
Fração de abertura	-	FrAb	Máx; Mín (NBR 15220-3)
Sombreamento	%	Somb	0,5; 1,0

Para a manipulação de todos estes dados foram utilizados **scripts** em linguagem de programação R. Nesta mesma linguagem foi realizada a análise de variância (ANOVA) para identificar a influência das variáveis de entrada nos resultados. O índice utilizado para esta análise foi a razão entre a soma dos quadrados de cada variável e a soma dos quadrados de todas as variáveis. A análise de correlação foi feita por gráficos de dispersão, comparando os resultados dos dois métodos, e calculado também o coeficiente de Pearson de cada uma das análises realizadas.

As variações dos componentes das envoltórias foram definidas com base no Anexo V do RAC (INMETRO, 2013); porém, as características térmicas foram determinadas de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Como alguns dos componentes apresentavam fluxo de calor em paralelo (e.g. blocos cerâmicos e de concreto), adotou-se o método apresentado no relatório de Ordenes et al. (2003) para a disposição das camadas em série, possibilitando a utilização dos componentes no programa de simulação. A Tabela apresenta os componentes das paredes e coberturas utilizados na modelagem das tipologias.

Tabela 4 - Componentes das paredes e coberturas utilizados na modelagem das tipologias

Parede	Anexo V RAC	Descrição	U [W/(m²K)]	CT [kJ/m²K]
P1	21	-Concreto(12cm)	4,19	288
P2	34	-Placa de gesso(1,25cm); -Lã de rocha(9cm); -Placa cimentícia(1cm)	0,45	33
P3	39	-Argamassa interna (2,5cm); -Bloco de concreto (14cmX19cmX39cm); -Lã de rocha (4cm); -Bloco de concreto (14cmX19cmX39cm); -Argamassa externa (2,5cm)	3,65	158
P4	41	-Argamassa interna(2,5cm); -Bloco cerâmico(9X19x19cm); -Argamassa externa(2,5cm)	2,39	151
C1	1	-Laje maciça(10cm)	3,73	220
C2	2	-Laje pré-moldada 12cm(concreto 4cm + lajota cerâmica 7cm + argamassa 1cm)	2,95	167
C3	4	-Laje maciça(10cm); -Câmara de ar(>5cm); -Telha cerâmica	2,05	238
C4	6	-Forro PVC(1cm); -Câmara de ar(>5cm); Telha cerâmica	1,75	21
C5	X	-Telha cerâmica	4,41	20,01

4. RESULTADOS

4.1. Análise de sensibilidade das variáveis de entrada

A Figura 4 apresenta os resultados da análise de sensibilidade realizada com as variáveis independentes. Para o método da NBR 15575 se aplicam os indicadores de desempenho térmico; para o método alternativo, os indicadores de desconforto térmico. As cidades são representadas por siglas: Campo Grande – CGR; Corumbá – COR; Dourados – DDS; e Sidrolândia – SDR.

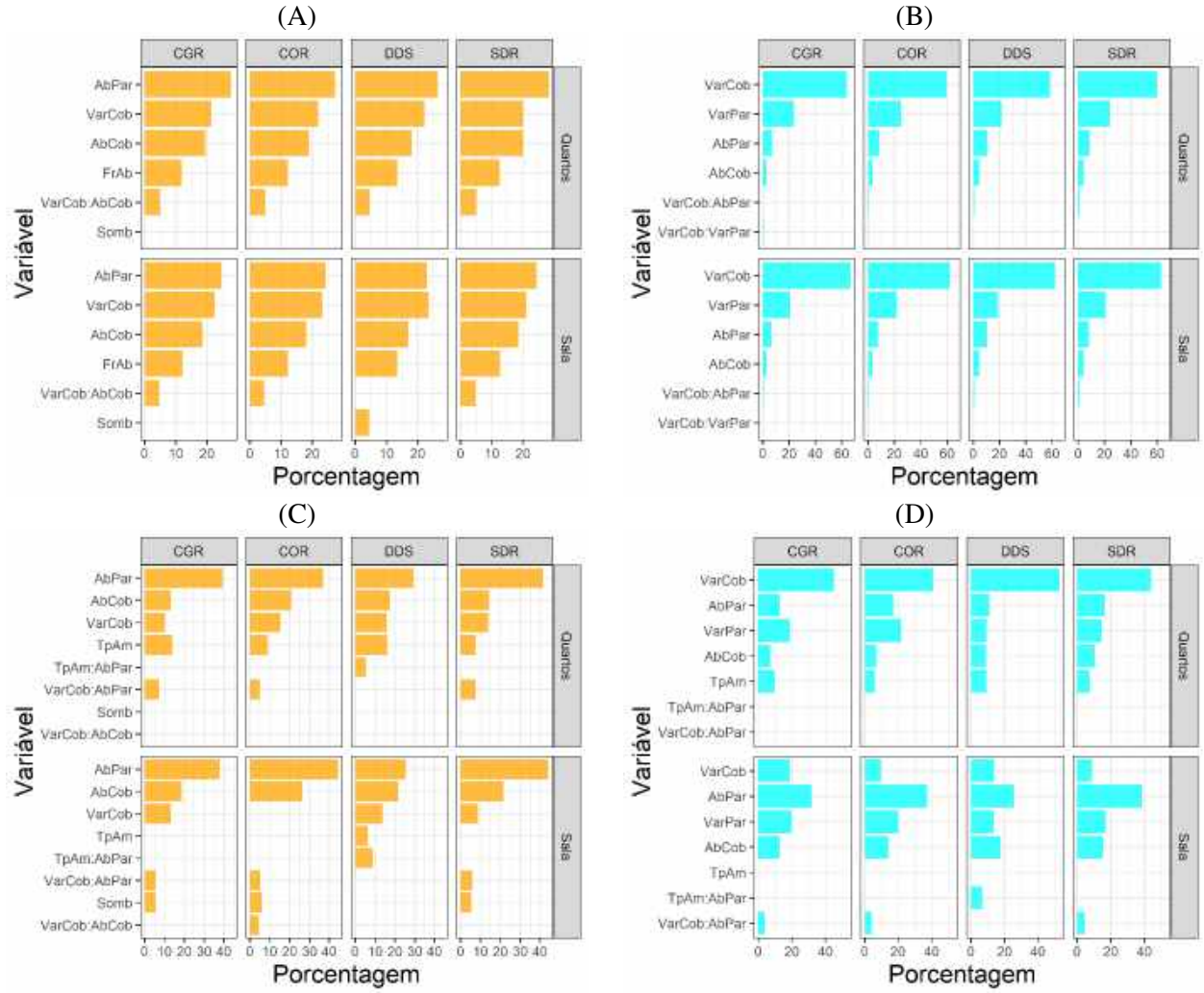


Figura 4 - análise de sensibilidade dos resultados: (A) desempenho no verão; (B) desempenho no inverno; (C) desconforto no calor; (D) desconforto no frio

A absortância das paredes (AbPar) foi a variável independente que mais influenciou nos resultados para o verão/calor, tanto no quesito desempenho térmico quanto conforto térmico dos usuários. Para o caso do inverno/frio, as variações do tipo das coberturas (VarCob) e das absortâncias das paredes (AbPar), no caso de desempenho para as salas, foram as mais influentes nos resultados. Esse comportamento demonstra uma certa relação entre os dois índices, desempenho e conforto, pelo fato de uma mesma variável ser a mais influente para os dois casos. Como o índice de sensibilidade pode ser interpretado como um "percentual da variância", pode-se dizer que a absortância das paredes representou a maior parte da variância do experimento no caso do verão/calor, ou seja, o valor desta variável acabará definindo o desempenho/conforto da edificação.

4.2. Correlação entre métodos

Como o índice de conforto adotado foi o POD, para melhor visualização gráfica, o ΔT foi transformado em ΔT', multiplicando todos os valores de desempenho por (-1); desta forma, quanto maior o valor de ΔT', pior é o desempenho neste ambiente. A Figura 5 apresenta as análises de correlação para cada uma das cidades.

Por meio da tendência dos pontos, pode-se observar que há certa correlação entre os índices; porém as salas (no verão) e quartos (no inverno) demonstram uma concentração de pontos maior na ascendente, comparada aos outros casos. Este comportamento, que ocorre para todas as cidades, pode estar associado ao momento em que o desempenho é analisado, já que no caso da análise de desempenho térmico no verão, pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), o horário com maior pico de temperatura está no período da tarde, e o conforto é analisado no horário em que o usuário está no ambiente, o que ocorre apenas no período noturno no caso do quarto, e de tarde, no caso das salas.

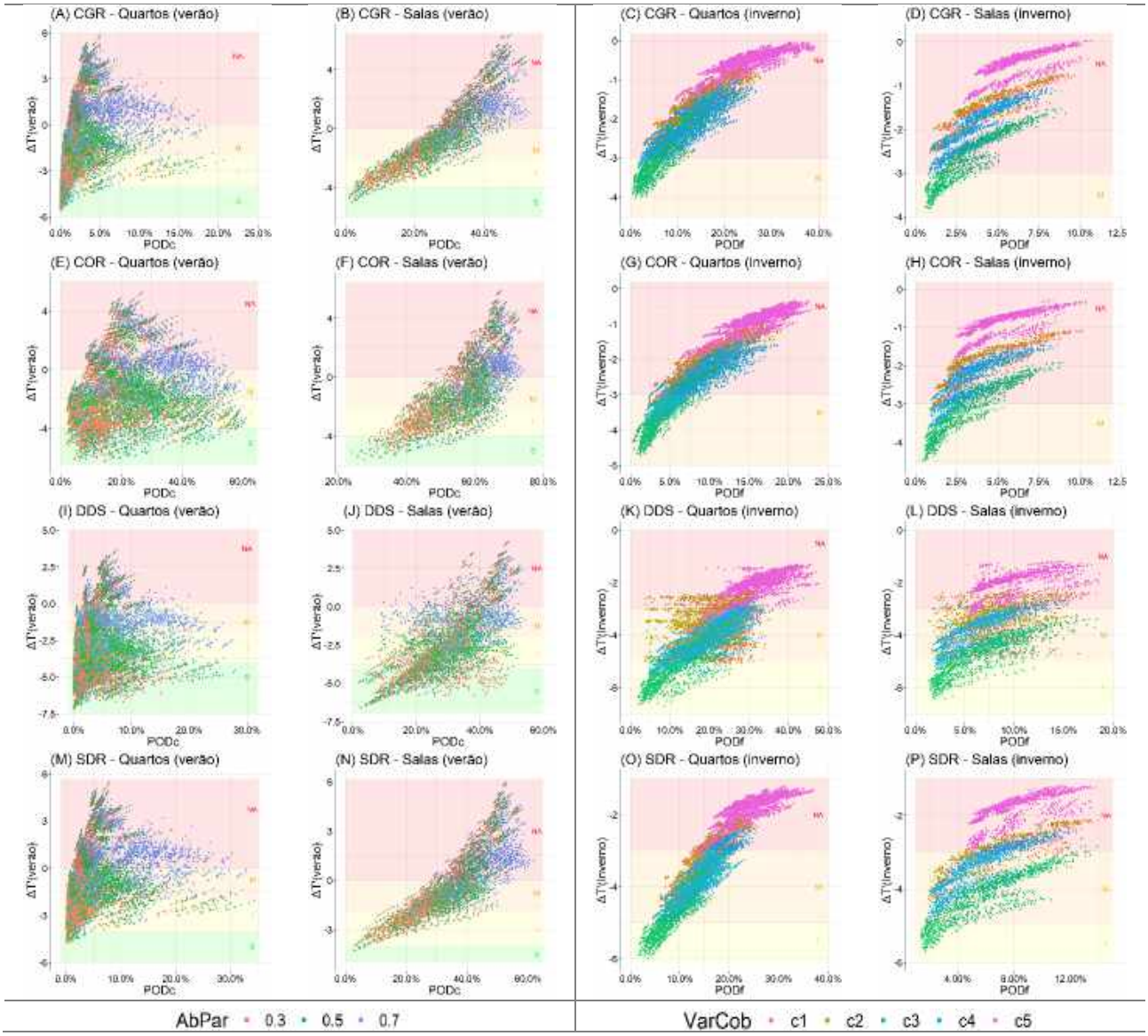


Figura 5 - análise de correlação dos métodos (por cidade e caso)

Essa correlação notada pode estar ligada diretamente com o fato de que as variáveis independentes mais influentes são praticamente as mesmas nos dois métodos, da NBR 15575 e o alternativo, conforme destacado nos gráficos (AbPar/VarCob). Dessa maneira é possível afirmar que os dois métodos são semelhantes, mesmo com índices de desempenho diferentes. Entretanto, também pode-se observar algumas divergências de classificação. No caso dos quartos no verão, para todas as cidades, percebe-se grande quantidade de pontos com baixo POD (i.e., bons níveis de conforto térmico) nas regiões de desempenho superior, intermediário, mínimo e também de não atendido. Assim, há certas combinações das variáveis de entrada que são classificadas de maneira muito distinta por ambos os métodos. Tal divergência é menor no caso dos quartos no inverno em que os pontos estão mais próximos da tendência esperada; entretanto, nenhum caso obteve o nível superior conforme a norma preconiza.

Observa-se, também, o agrupamento dos pontos pelas variáveis mais influentes. No caso do verão, os pontos foram agrupados pela absortância da parede (AbPar), onde se verifica que os valores de menor POD possuem o menor valor de AbPar (0,3) e os valores de maior POD tendem a possuir o maior valor de AbPar (0,7). No caso do ΔT', foram obtidos valores mais dispersos em relação ao agrupamento pela variável AbPar.

No caso do inverno, os pontos foram agrupados pela variável VarCob (tipo de cobertura). Percebe-se que os pontos com menores valores de transmitância térmica estão classificados com baixo POD e baixo ΔT' (bons níveis de conforto e desempenho), enquanto o oposto é observado para os pontos com altos valores de transmitância térmica.

A Tabela 5 apresenta o índice de correlação de Pearson entre POD e ΔT dos ambientes analisados. O maior valor para o coeficiente de Pearson alcançado foi de 0,93 em Sidrolândia nos quartos na condição de frio (inverno). O menor coeficiente obtido foi de 0,24, na cidade de Dourados nos quartos na condição de

calor (verão). Os valores destes coeficientes calculados corroboram com os valores apresentados nos gráficos de correlação da Figura .

Ambiente	Variável {x × y}	Coeficiente de Pearson			
		CGR	COR	DDS	SDR
Quartos	PODc × ΔT (verão)	0,42	0,29	0,24	0,38
Salas	PODc × ΔT (verão)	0,89	0,77	0,67	0,85
Quartos	PODf × ΔT (inverno)	0,92	0,92	0,85	0,93
Salas	PODf × ΔT (inverno)	0,77	0,72	0,62	0,69

Tabela 5: Coeficientes de correlação de Pearson entre o índice de conforto e de desempenho térmico dos ambientes analisados

5. CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi comparar o método de avaliação de desempenho térmico da NBR 15575 (ABNT, 2013) e um método alternativo, baseado no conforto térmico dos usuários pelo modelo adaptativo, e realizar uma análise de sensibilidade das variáveis de entrada dos dois métodos. Os resultados demonstraram uma correlação entre estes dois índices, o que indica uma possível adoção de um método baseado em conforto para se avaliar o desempenho térmico da edificação.

Constatou-se que as variáveis mais influentes são praticamente as mesmas pelos dois métodos de simulação, o que corrobora com a correlação entre os indicadores de desempenho notada. Entretanto, algumas divergências foram observadas e pontos com bons níveis de conforto (principalmente no caso do verão/calor) são classificados como insatisfatórios pela norma. Tal comportamento pode ser explicado pelo momento em que os indicadores são calculados, sendo que os picos de temperatura do ar ocorrem pela tarde (para o indicador de desempenho da norma) mas a ocupação ocorre no período noturno para os quartos (para o indicador de conforto térmico do método alternativo).

Deve-se ressaltar a importância de se considerar o conforto térmico dos usuários da edificação no desempenho térmico. Assim, as informações de entrada como ganhos de calor internos, rotinas de ocupação dos ambientes e utilização de equipamentos, são fatores fundamentais para aproximar a simulação computacional a um funcionamento real da habitação (SILVA; GHISI, 2014; SORGATO *et al.*, 2014). Da mesma maneira, é importante considerar um modelo mais adequado de estimativa do fluxo de ar nos ambientes como o **AirflowNetwork** do **EnergyPlus™**, por considerar muitas variáveis da edificação, das aberturas, do clima e do entorno, ao contrário do valor constante de trocas de ar estipulado pela norma de desempenho. Podendo esta ser outra variável com grande influência na discordância entre os resultados dos métodos.

Outra possível análise a ser realizada, pelo número de simulações feitas para a pesquisa, é o comportamento dos resultados de acordo com as variáveis independentes adotadas. Para estas análises seria necessário um maior número de gráficos e tabelas, o que não foi possível devido aos limites desta publicação. Este trabalho limitou-se também a avaliar projetos apenas no Estado de Mato Grosso do Sul, abrangendo apenas as quatro zonas bioclimáticas presentes neste, bem como a avaliação de apenas duas tipologias de projetos, de maneira a viabilizar a realização das simulações devido ao seu grande número e demanda computacional. Trabalhos futuros podem contribuir aumentando a quantidade de projetos e zonas bioclimáticas, utilizando métodos estatísticos de seleção de amostras ou computadores com maior capacidade de processamento de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais - Desempenho - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

AGÊNCIA CBIC. **Revisão da norma de desempenho: grupos de trabalhos iniciarão as reuniões na segunda quinzena de outubro.** Disponível em: <https://cbic.org.br/revisao-da-norma-de-desempenho-grupos-de-trabalhos-iniciarao-as-reunioes-na-segunda-quinzena-de-outubro/>. Acesso em: 14 mar. 2019.

ASHRAE. **Standard 55:** thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2017.

FERREIRA, C. C.; PEREIRA, I. M. Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a NBR 15575, para as diversas zonas bioclimáticas. **XIV ENTAC, Juiz de Fora**, n. 1, p. 3590–3595, 2012.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, Diretoria de Estatística e Informações (DIREI). **Déficit habitacional no Brasil 2015**. Belo Horizonte: [s.n.], 2018.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos de 14 cidades brasileiras**. 1º ed. São Paulo: ABRAVA, 1998.

INMETRO. **Portaria n° 18, de 16 de janeiro de 2012.** Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012.

MAZZEFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto ground domain no programa Energyplus.** Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética de Edificações do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, 2015.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G. DE; DA SILVA, R. M. Issues to be Improved on the Thermal Performance Standards for Sustainable Buildings Consolidation: An Overview of Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABILITY IN ENERGY AND BUILDINGS, 8. 2016, Turin - Italy. **Annals...** Turin: Elsiever Procedia, 2017 v. 111, p. 71-80.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LABERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1.** UFSC. Florianópolis, 2003.

PEREIRA, H. A. C; MELO, A. P.; VERSAGE, R.; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa Energyplus – versão 8.0.** Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética de Edificações do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, 2013.

PEREIRA, I.; FERREIRA, C. Avaliação dos impactos da ABNT NBR 15575 no conforto térmico e no consumo de energias nas novas edificações habitacionais brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: Marketing Aumentado, 2014. p. 518-527.

SANTOS, L. D. DOS *et al.* Avaliação do desempenho térmico e condições de conforto de um conjunto habitacional horizontal na cidade de João Pessoa-PB. **XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 1, p. 1217–1224, 2012.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 215–230, 2014.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 83–101, 2014.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001.