TABELAS DE MAHONEY: IMPACTO DO USO DE DIFERENTES CONJUNTOS DE DADOS CLIMÁTICOS

João Roberto Gomes de Faria (1)
(1) Dr., Professor Associado do Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, joao.rg.faria@unesp.br, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru, Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, 17033-360 – Bauru-SP, (014)3103-4710

RESUMO
As Tabelas de Mahoney (TM) têm sido, desde sua publicação, uma das poucas ferramentas para a tomada de decisões *a priori* nos estágios iniciais do projeto arquitetônico. No entanto, a simplicidade das TM, graças a seus limites fixos de parâmetros de cálculos dos indicadores que levam às recomendações, tornam-nas suscetíveis a variações de valores dos dados climáticos de entrada. O presente trabalho teve por objetivo testar se TM alimentadas com dados de normais climatológicas de cidades brasileiras geram recomendações diferentes das obtidas a partir de dados de arquivos climáticos para simulação computacional das mesmas localidades e se há incoerências entre elas e as prescrições de estratégias bioclimáticas da NBR 15220-3. Foram usados nas TM dados das normais climatológicas e de arquivos climáticos EPW do período de 1981 a 2010, comuns a 171 localidades brasileiras, e as recomendações resultantes de morfologia, movimento do ar, tamanho e sombreamento de aberturas, e propriedades térmicas de paredes e coberturas (massa e isolamento térmicos) foram comparadas entre si e com as indicações equivalentes da NBR 15220-3. Os resultados mostram que na maioria das localidades estudadas ocorrem alterações nas recomendações das TM decorrentes de diferenças presentes nos dados de entrada, particularmente da umidade vespertina. No entanto, nenhum dos dois conjuntos de dados climáticos garantiu resultados das TM totalmente compatíveis com as prescrições da NBR 15220-3 nas localidades estudadas.

Palavras-chave: Tabelas de Mahoney, normais climatológicas, ano típico de referência, NBR 15220-3.

ABSTRACT
Mahoney Tables (TM) have been, since their publication, one of the few tools for making *a priori* decisions in the early stages of architectural design. However, the simplicity of TM, thanks to their fixed limits of calculation parameters of the indicators that lead to the recommendations, makes them susceptible to variations in values of climatic input data. This work aimed to test whether TM fed with data from climatic normals of Brazilian cities generate recommendations different from those obtained with data from climatic files for computer simulation of the same locations and if there are inconsistencies between them and the prescriptions of bioclimatic strategies of NBR 15220-3. Data sets from climate normals and from EPW climatic files from 1981 to 2010, common to 171 Brazilian locations, were used in the TM, and recommendations for morphology, air movement, size and shading of openings, and thermal properties of walls and roofs (thermal mass and insulation) were compared with each other and with the equivalent indications of NBR 15220-3. Results show that in most of the studied locations there are changes in the TM recommendations due to differences in the input data, particularly in afternoon relative humidity. However, neither of the two sets of climatic data guaranteed TM results fully compatible with NBR 15220-3 prescriptions in the studied locations.

Keywords: Mahoney Tables, climate normals, typical reference year, NBR 15220-3.

1. INTRODUÇÃO

As Tabelas de Mahoney (TM), publicadas no início dos anos 1970 (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977), são uma das poucas ferramentas de auxílio na tomada de decisões nas fases de concepção do projeto arquitetônico bioclimático. Desenvolvidas a partir de recomendações para projetos de escolas na Nigéria, foram posteriormente ajustadas a partir de testes em 50 diferentes regiões de climas tropicais e compostos e adaptadas para o projeto de residências (EVANS, 1999). É a única ferramenta que considera sensações térmicas diurnas e noturnas separadamente, devido a mudanças de vestimenta e de níveis de atividade física, tendo já àquela época, portanto, uma abordagem adaptativa (EVANS, 2007) que seria recuperada apenas nos anos de 1990 (NICOL; HUMPHREYS, 2002). A estrutura progressiva das TM, envolvendo tabulação dos dados climáticos, diagnóstico e recomendações para concepção geral e detalhamento de elementos do projeto, é didática: permite ao usuário acompanhar o tratamento dos dados climáticos e entender por que as recomendações são indicadas, dando-lhe amplo domínio sobre as possibilidades do projeto. Tal característica possibilita seu uso anteriormente a qualquer hipótese de projeto. Essa estrutura deve, portanto, ser sempre mantida, de forma a evitar sua transformação em "caixa preta" (EVANS, 2007).

Com o tratamento de médias mensais de temperatura do ar máxima e mínima e de umidade relativa do ar matutina e vespertina, complementadas pela pluviosidade, são criados indicadores mensais de umidade e de aridez (Tabela 1).

Tabela 1 – Relação entre indicadores e relação com o projeto

Condição	Indicador	Relação com o projeto
Aridez	A1	Necessidade de capacidade térmica
	A2	Dormitório externo desejável
	A3	Proteção contra o frio
Umidade	U1	Movimento do ar essencial
	U2	Movimento do ar desejável
	U3	Precauções contra a penetração de chuvas

Fonte: Koenigsberger et al. (1977)

A partir de combinações de frequências anuais desses indicadores são propostas recomendações para concepção original e implantação relativas a morfologia da edificação, de tamanho, posição e proteções de aberturas, e de propriedades térmicas de paredes, coberturas e piso (massa e isolamento térmicos). Complementarmente, o volume anual de precipitação condiciona cuidados com drenagem, e a direção e a velocidade dos ventos predominantes auxiliam o controle do movimento do ar nas fases posteriores do projeto (Tabela 2). Essas recomendações são posteriormente refinadas para a definição de projeto de elementos (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977).

Tabela 2 – Recomendações das Tabelas de Mahoney para concepção original e implantação

Item	Recomendação
Morfologia da edificação	Fachadas maiores para norte e sul (eixo leste-oeste), reduzindo a exposição ao sol
	Planificação compacta com pátio
Espaçamento entre prédios	Amplo, para a circulação de brisas
	Como no item anterior, com proteção contra vento quente ou frio
	Implantação compacta
Movimento do ar	Cômodos em fila única; estratégias para ventilação permanente
	Cômodos em fila dupla, controle da ventilação
	Ventilação higiênica
Aberturas	Grandes, 40-80% das superfícies das paredes norte e sul
	Médias, 20-40% das superfícies das paredes norte e sul
	Pequenas, 10-20% das superfícies das paredes norte e sul
Paredes	Leves; pequena defasagem térmica
	Paredes internas e externas pesadas
Coberturas	Leves e isolantes
	Pesadas, com defasagem acima de 8 horas
Dormir ao ar livre	Necessário espaço para dormir ao ar livre
Proteção contra chuva	Necessária proteção contra chuvas intensas

Fonte: Koenigsberger et al. (1977)

Para simplificar as análises, os indicadores mensais de umidade e aridez são determinados a partir de combinações de faixas fixas de umidade relativa média mensal e de amplitude térmica média mensal, do total de precipitação e de sensações térmicas diurnas e noturnas. Estas, por sua vez, derivam de limites de temperaturas do ar nesses períodos, os quais são estabelecidos a partir de faixas de temperatura média anual e de umidade relativa média mensal (EVANS, 2007). Essa característica determinística torna os indicadores de aridez e de umidade, assim como as recomendações deles decorrentes, altamente dependentes dos valores do conjunto de dados climáticos empregados, principalmente em climas de transição, como entre o clima tropical atlântico do litoral e o tropical de altitude do interior (CHAVTAL et al., 2000). Assim, Harris, Cheng e Labaki (2000) propõem uma remodelagem das TM com conceitos de sistema nebuloso (*Fuzzy Systems Theory*), através dos quais os limites determinísticos passam a ser probabilísticos, a partir de votos de especialistas. As TM remodeladas passam a apresentar bom desempenho nos referidos climas, com o custo da perda de simplicidade para uso direto por não especialistas.

Como as TM são uma ferramenta voltada para o usuário final, ou seja, para o arquiteto projetista, é essencial que existam dados de entrada já no formato apropriado. No Brasil existem dois conjuntos de dados climáticos de cidades brasileiras de acesso público que a princípio são representativos para as respectivas localidades: as normais climatológicas (DINIZ; RAMOS; REBELLO, 2018; BRASIL, 2020), que podem ser usadas diretamente, e os anos meteorológicos típicos (*Typical Meteorological Year* – TMY) empregados pelo programa de simulação de desempenho termo-energético *EnergyPlus* (arquivos EPW) (CLIMATE.ONEBUILDING, 2020), que necessitam de um tratamento simples. Os métodos empregados para a obtenção desses conjuntos de dados são bastante distintos: as normais climatológicas são obtidas a partir de tratamentos estatísticos (médias, frequências) de séries históricas de 30 anos de dados, conforme os procedimentos da *Word Meteorological Organization* – WMO (DINIZ; RAMOS; REBELLO, 2018; WMO, 2017), enquanto um ano típico é obtido pela seleção de meses com dados horários representativos a partir da série histórica considerada para o local (WILCOX; MARION, 2008). Cabe lembrar que à época da publicação das TM apenas existiam as normais climatológicas; os arquivos para simulação computacional surgiram na segunda metade dos anos 1970 (CRAWLEY, 1998). Nesse caso, qual seria a resposta das TM a esses dois conjuntos de dados representativos do mesmo período?

Uma importante aplicação brasileira das TM foi feita na indicação de estratégias bioclimáticas da NBR 15220-3: *desempenho térmico de edificações. Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social* (ABNT, 2005), como complemento do zoneamento bioclimático estabelecido a partir da Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992; RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999). Essas estratégias envolvem: tamanho e necessidade de sombreamento de aberturas, a necessidade de ventilação permanente ou seletiva e propriedades térmicas (massa e isolamento térmicos) de vedações externas e internas. A última é um refinamento das recomendações apresentadas nas TM, as quais não consideram as diferenças de posição das paredes na edificação. Considerando que a elaboração da NBR 15220-3 se deu predominantemente nos anos de 1990, cabe indagar quais seriam as consequências em suas prescrições se elas fossem derivadas das TM obtidas a partir de conjuntos de dados climáticos que apresentem diferenças entre si.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi testar se TM alimentadas com dados de normais climatológicas de cidades brasileiras geram recomendações diferentes das obtidas a partir de dados de arquivos EPW das mesmas localidades e se há incoerências entre elas e as prescrições de estratégias bioclimáticas da NBR 15220-3.

3. MÉTODO

O estudo consistiu na comparação dos resultados da aplicação de dois conjuntos de dados às TM, normais climatológicas e arquivos EPW, comuns ao mesmo grupo de municípios brasileiros. As fontes dos dados foram, respectivamente, as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (BRASIL, 2020) e os arquivos EPW da base de dados do Climate.OneBuilding (CLIMATE.ONEBUILDING, 2020).

As normais climatológicas brasileiras, calculadas a partir de procedimentos expostos em WMO (2017), são compostas por um conjunto de arquivos em formato de planilhas eletrônicas. Foram usados os seguintes arquivos, dos quais se extraíram os respectivos dados:

– Arquivo de Temperatura Máxima Mensal e Anual: temperaturas máximas médias mensais (Tmax), correspondentes às médias mensais das temperaturas máximas diárias dos 30 anos;

– Arquivo de Temperatura Mínima Mensal e Anual: temperaturas mínimas médias mensais (Tmin), correspondentes às médias mensais das temperaturas mínimas diárias dos 30 anos;
– Arquivo de Umidade Relativa do Ar Média Horária Mensal e Anual: umidades relativas médias mensais medidas às 12 UTC (*Coordinated Universal Time* = hora oficial – fuso horário) e 18 UTC (UR12, correspondente ao valor matutino, e UR18, correspondente ao valor vespertino, respectivamente), calculadas como as médias mensais dos valores diários dos 30 anos de umidade relativa medidos nesses horários.

Os valores equivalentes obtidos a partir dos arquivos EPW foram:

– Tmax e Tmin: média mensal das temperaturas máximas e mínimas diárias, respectivamente;
– UR12 e UR18: média mensal das umidades relativas diárias observadas às 12 UTC e 18UTC, nessa ordem.

Os horários de leitura dos dados de umidade relativa foram corrigidos pelo fuso horário da localidade, disponível no próprio arquivo EPW.

Os seguintes critérios foram adotados para a compatibilidade dos dois conjuntos de dados:

– Localidades presentes em ambas as bases de dados;
– Normais climatológicas correspondentes ao período de 1981-2010; dados médios mensais de temperaturas máxima e mínima e de umidade relativa do ar medidas nos períodos matutino e vespertino (12 UTC e 18 UTC) da localidade isentos de falha;
– Arquivos EPW compostos por anos contidos no período de 1981 a 2010. Foram usados preferencialmente arquivos INMET, ou, na ausência destes, TMYx ou TRY, nessa ordem.

A aplicação desses critérios resultou num conjunto de 171 localidades (Figura 1) das 437 disponíveis nas normais climatológicas e 516 nos arquivos EPW, que correspondem a 3% das cidades brasileiras (IBGE, 2021). Infelizmente elas são desigualmente distribuídas pelas zonas bioclimáticas (ZB) da NBR 15220-3 (Tabela 3), o que impossibilitou a análise quantitativa de tendências dos resultados em função desse parâmetro; ela foi feita apenas qualitativamente, a título de ilustração.

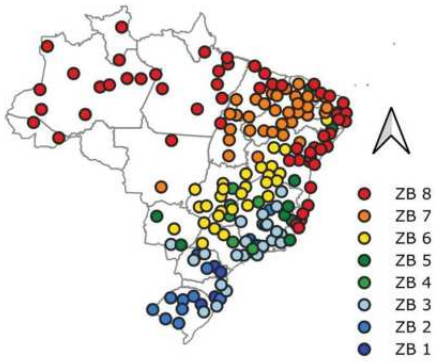


Figura 1 – Distribuição espacial das localidades estudadas
Fonte da base cartográfica: IBGE (2021b)

Tabela 3 – Distribuição das localidades estudadas por zona bioclimática da NBR 15220-3

Zona Bioclimática	Número de cidades
1	5
2	15
3	22
4	6
5	9
6	28
7	30
8	56
Total	**171**

Inicialmente as variáveis climáticas dos dois conjuntos de dados foram comparadas entre si por correlação linear. Adotou-se como critério de qualidade os intervalos sugeridos por Schober et al. (2018) para o coeficiente de correlação linear de Pearson (R), a partir dos quais derivaram-se os intervalos para o coeficiente de determinação linear (R^2) (Tabela 4).

Tabela 4 – Aproximação convencional para interpretar um coeficiente de correlação

Magnitude absoluta de R	Magnitude de R^2	Interpretação
0,00 – 0,10	0,00 – 0,01	Correlação negligenciável
0,10 – 0,39	0,01 – 0,15	Correlação fraca
0,40 – 0,69	0,16 – 0,48	Correlação moderada
0,70 – 0,89	0,49 – 0,80	Correlação forte
0,90 – 1,00	0,81 – 1,00	Correlação muito forte

Fonte: adaptado de Schober et al. (2018)

Foram analisadas somente as recomendações das TM para concepção original e implantação relativas a necessidade de ventilação, tamanho e sombreamento das aberturas e propriedades térmicas de paredes e cobertura (massa e isolamento térmicos), passíveis de comparação com as diretrizes da NBR 15220-3. Não

foram considerados os cuidados com a drenagem e com o posicionamento de aberturas, derivados, respectivamente, de dados pluviométricos e relativos ao vento. As recomendações de morfologia geradas pelos dois conjuntos de dados apenas foram comparadas entre si.

Dada a quantidade de localidades a ser estudada, as sequências de tratamento de dados das TM foram convertidas em algoritmos. Os dados foram extraídos dos arquivos e processados com os algoritmos das TM através de rotinas computacionais elaboradas pelo autor. Ao final do processamento foi gerado uma planilha eletrônica contendo, para cada localidade: as informações de posicionamento geográfico, os valores mensais de Tmax, Tmin, UR12 e UR18 e as recomendações das TM para cada um dos conjuntos de dados.

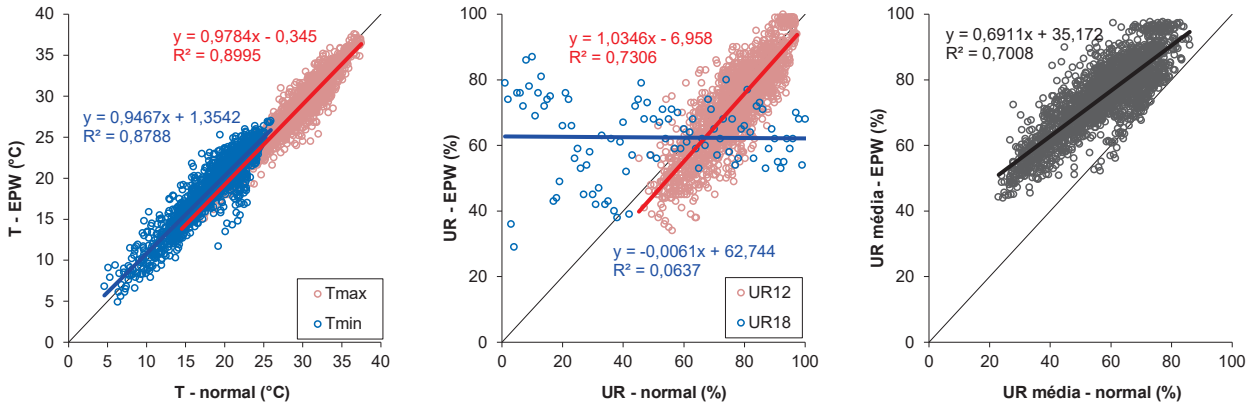
Nesse arquivo foram incluídas posterior e manualmente as Zonas Bioclimáticas da NBR 15220-3 correspondentes às localidades, com o auxílio do programa ZBBR (RORIZ, 2004), assim como as prescrições de dessa norma, as quais foram comparadas, também manualmente, com as recomendações das TM.

4. RESULTADOS

A Figura 2a mostra excelente correspondência entre os dados de Tmax e Tmin presentes nas normais e nos arquivos EPW para as localidades estudadas: coeficiente angular próximo à unidade, interceptação pequena (< 0,5 °C) e $R^2 \geq 0,81$. Por outro lado, se a relação linear entre os valores de UR12 presentes em ambos conjuntos de dados também é boa (coeficiente angular próximo a 1, interceptação < 10% e $0,49 \leq R^2 \leq 0,80$), não há correlação significativa entre os dados de UR18 das bases (Figura 2b). Consequentemente, a média mensal da umidade relativa média diária ((UR12 + UR18) / 2) resultante dos arquivos EPW é significativamente maior do que a das normais (interceptação de 35%), embora ainda com correlação forte ($0,49 \leq R^2 \leq 0,80$) (Figura 2c).

As discrepâncias na umidade relativa se dão basicamente em função da natureza da variável e dos dados dos arquivos climáticos comparados. A umidade relativa matutina é naturalmente elevada e, portanto, pouco alterada pelas condições meteorológicas. Entretanto, a umidade relativa vespertina (UR18), normalmente baixa (aproximadamente inversamente proporcional à temperatura do ar em condições de tempo estável), é altamente dependente das condições meteorológicas, que podem elevá-la próxima ao limite (100%) em períodos chuvosos por elevação da umidade absoluta, sem alterações significativas na temperatura do ar. Como os dados dos arquivos foram obtidos a partir de períodos e processos diferentes, não há sincronismo entre os valores da variável.

Os dois conjuntos de dados da mesma cidade testados por Harris (2000) possuíam relações entre as Tmax e as Tmin com $R^2 = 0,99$, mas com $R^2 = 0,88$ para umidades relativas médias mensais, e houve diferenças significativas nas recomendações das TM. Assim, apesar das elevadas correlações entre as distribuições de Tmax e Tmin dos dois conjuntos de dados do presente estudo, as diferenças dos valores dessas variáveis, juntamente com as da umidade relativa, causaram a geração de indicadores de umidade e aridez também diferentes e, por conseguinte, as recomendações discrepantes das TM, como se verá a seguir.



a) b) c)

Figura 2 – Comparação entre dados das normais climatológicas e resultantes dos arquivos EPW das localidades estudadas: a) Tmax e Tmin; b) UR12 e UR18; c) umidade relativa média mensal

A Tabela 5 apresenta a distribuição de ocorrências de diferenças de recomendações das TM por zona bioclimática da NBR 15220-3.

Verifica-se que a maior quantidade de diferenças de recomendações das TM recaiu nas relativas ao movimento do ar e às propriedades da cobertura. As recomendações sobre o movimento do ar impactam também a morfologia da edificação, ou seja, a forma básica do prédio, enquanto as propriedades da cobertura dizem mais respeito à escolha de elementos construtivos. Assim, causa preocupação a elevada frequência de diferenças na primeira recomendação.

Apesar das prescrições quanto à morfologia da edificação não constarem da NBR 15220-3, as recomendações contraditórias das TM são problemáticas, pois a partir dela se define o traçado original do prédio, a partir do qual serão tomadas todas as demais decisões de projeto.

Tabela 5 – Quantidade de diferenças de recomendações das TM decorrente ao uso de dados de entrada distintos por zona bioclimática da NBR 15220-3

ZB	Total de localidades	Morfologia		Movimento do ar		Tamanho das aberturas		Sombreamento das aberturas		Paredes		Cobertura	
		Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)	Abs.	Rel. (%)
1	5	0	0,0	2	40,0	0	0,0	0	0,0	1	20,0	1	20,0
2	15	0	0,0	7	46,7	0	0,0	0	0,0	5	33,3	8	53,3
3	22	2	9,1	9	40,9	0	0,0	3	13,6	4	18,2	3	13,6
4	6	0	0,0	3	50,0	0	0,0	1	16,7	2	33,3	2	33,3
5	9	1	11,1	3	33,3	0	0,0	2	22,2	2	22,2	4	44,4
6	28	9	32,1	13	46,4	7	25,0	12	42,9	5	17,9	9	32,1
7	30	4	13,3	8	26,7	5	16,7	1	3,3	2	6,7	8	26,7
8	56	1	1,8	2	3,6	7	12,5	8	14,3	3	5,4	10	17,9
Total	**171**	**17**	**9,9**	**47**	**27,5**	**19**	**11,1**	**27**	**15,8**	**24**	**14,0**	**45**	**26,3**

A distribuição espacial das localidades para as quais houve diferenças nas recomendações das TM é mostrada na Figura 3.

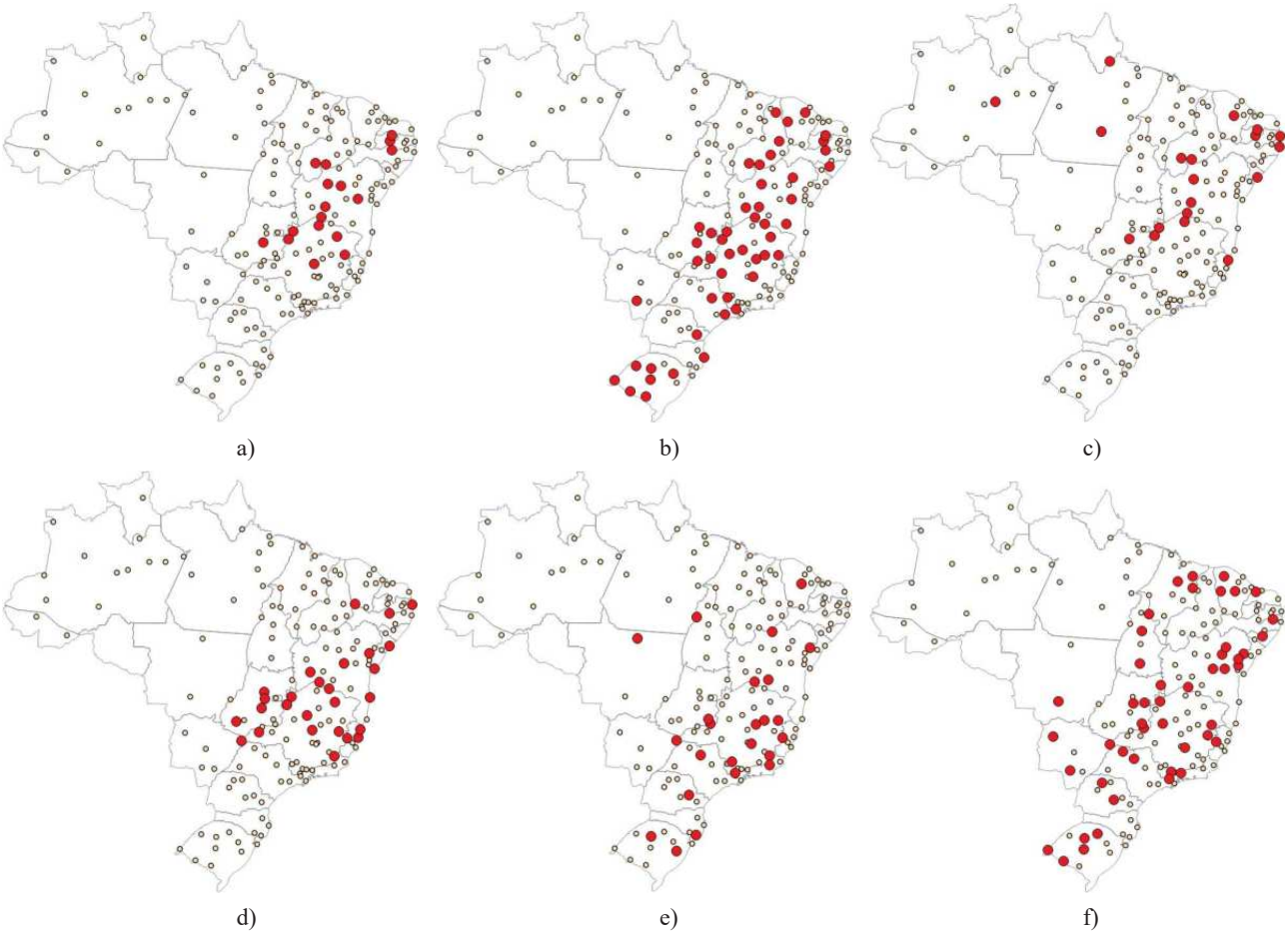


Figura 3 – Espacialização das cidades que tiveram suas recomendações alteradas (em vermelho): a) morfologia; b) movimento do ar; c) tamanho das aberturas; d) sombreamento das aberturas; e) paredes; f) cobertura. Fonte da base cartográfica: IBGE (2021b)

A Tabela 6 apresenta uma lista selecionada de localidades com alterações de recomendações e suas implicações nas indicações da NBR 15220-3.

Tabela 6 – Localidades com alterações significativas de recomendações selecionadas dos resultados

ZB	Município	UF	Recomendações das TM		Prescrições da NBR 15220-3
			Normais climatológicas	Arquivos EPW	
2	Cruz Alta	RS	Ventilação: permanente Cobertura: Leve isolada	Ventilação: controlada Cobertura: pesada	Ventilação: seletiva Cobertura: leve isolada
	Santa Maria				
	Santana do Livramento				
	Uruguaiana				
4	Brasília	DF	Ventilação: controlada Cobertura: leve isolada	Ventilação: permanente Cobertura: pesada	Ventilação: seletiva Cobertura: leve isolada
	Pirapora	MG	Ventilação: permanente	Ventilação: controlada	
	São Carlos	SP			
5	Vitória da Conquista	BA	Ventilação: permanente	Ventilação: controlada	Ventilação: seletiva Paredes: leves refletoras Cobertura: leve isolada Sombreamento aberturas: sim
	Guaramira	CE			
	Aimorés	MG	Cobertura: pesada Sombreamento aberturas: sim	Cobertura: leve isolada Sombreamento aberturas: não	
	Governador Valadares		Cobertura: leve isolada Sombreamento aberturas: sim	Cobertura: pesada Sombreamento aberturas: não	
	Teófilo Otoni		Morfologia: compacta Paredes: pesadas Cobertura: pesada	Morfologia: alongada L-O Paredes: leves Cobertura: leve isolada	
6	Barra	BA	Morfologia: compacta Ventilação: desnecessária Aberturas: pequenas	Morfologia: alongada L-O Ventilação: permanente Aberturas: médias	Ventilação: seletiva Aberturas: médias Cobertura: leve isolada Sombreamento aberturas: sim
	Bom Jesus da Lapa		Morfologia: compacta Ventilação: desnecessária Aberturas: pequenas	Morfologia: alongada L-O Ventilação: controlada Aberturas: médias	
	Carinhanha		Morfologia: compacta Ventilação: desnecessária Aberturas: pequenas Cobertura: pesada Sombreamento aberturas: sim	Morfologia: alongada L-O Ventilação: permanente Aberturas: médias Cobertura: leve isolada Sombreamento aberturas: não	
7	Senhor do Bomfim	BA	Ventilação: controlada Aberturas: médias Cobertura: pesada Sombreamento aberturas: não	Ventilação: permanente Aberturas: médias Cobertura: leve isolada Sombreamento aberturas: não	Ventilação: seletiva Aberturas: pequenas Paredes: pesadas Cobertura: pesada Sombreamento aberturas: sim
	Quixeramobim	CE	Aberturas: médias Paredes: pesadas Cobertura: pesada	Aberturas: grandes Paredes: leves Cobertura: leve isolada	
	Patos	PB	Morfologia: compacta Ventilação: desnecessária Aberturas: pequenas	Morfologia: alongada L-O Ventilação: permanente Aberturas: médias	
	Bom Jesus do Piauí	PI			
	Caracol				
	Caicó	RN			
8	Macapá	AP	Aberturas: grandes	Aberturas: médias	Ventilação: permanente Aberturas: grandes Cobertura: leve refletora
	São Mateus	ES			
	São Félix do Xingu	PA			
	João Pessoa	PB			
	Recife	PE			
	Itaberaba	BA	Morfologia: compacta Ventilação: desnecessária Cobertura: pesada	Morfologia: alongada L-O Ventilação: permanente Cobertura: leve	
	Jacobina	BA	Cobertura: pesada	Cobertura: leve	
	Lençóis	BA	Cobertura: leve	Cobertura: pesada	

Em vermelho: recomendação da TM divergente da NBR 15220-3
As diferenças de recomendação de morfologia são indicadas em azul, mas não foram analisadas

Verifica-se na Figura 3 a grande frequência de diferenças de recomendações em localidades da ZB 6, e a Tabela 6 indica elevadas quantidades dessas diferenças por localidade dessa ZB. Esses resultados confirmam os obtidos por CHVATAL et al. (2000) para a região de Campinas (SP), uma vez que a maioria das localidades da ZB 6 com diferenças nas recomendações ficam em regiões de chapadas e planaltos interiores, após barreiras topográficas ao longo da costa oceânica. Percebe-se também na Figura 3 que não ocorrem diferenças nas recomendações sobre morfologia da edificação e sobre tamanho e sombreamento das aberturas a partir do sul de Minas Gerais em direção ao sul; as demais diferenças estão dispersas pelo país. Os estados das regiões Norte e Centro-Oeste (exceto Goiás e Distrito Federal) apresentam baixa frequência de diferenças nas recomendações.

Além das alterações de recomendações em função da fonte de dados, ocorreram também incompatibilidades de resultados das TM em relação às recomendações da NBR 15220-3 para ambos os conjuntos de dados:

- Na ZB 3, 11 das 22 cidades (50%) tiveram por recomendação paredes pesadas, enquanto a NBR 15220-3 prevê paredes leves isoladas;
- Na ZB 8, 11 das 56 cidades (19,6%) tiveram por recomendação paredes pesadas e a 24 cidades (43%) foram atribuídas aberturas médias, quando a NBR 15220-3 prevê paredes leves isoladas e aberturas grandes, respectivamente.

Verifica-se, assim, a ocorrência de 4 situações envolvendo a mudança de conjunto de dados climáticos de entrada:

- Melhora dos resultados das TM (equivalência com as indicações da NBR 15220-3) quando se usam dados das normais climatológicas;
- Melhora dos resultados das TM quando se usam dados de arquivos EPW;
- Melhora de alguns resultados das TM e piora de outros quando se usa um dos dois conjuntos de dados, sem predominância por conjunto;
- Recomendações das TM incompatíveis com as prescrições da NBR 15220-3, independentemente do conjunto de dados climáticos usado.

Esse conjunto de resultados exige, portanto, tanto uma revisão das TM para adequar suas recomendações ao contexto nacional, quanto uma análise sobre a representatividade das normais climatológicas e dos arquivos EPW no uso daquela ferramenta.

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho mostram que a grande sensibilidade das recomendações das TM a diferenças nos dados de entrada (particularmente a umidade relativa) podem levar a recomendações de concepção de projeto arquitetônico compatíveis ou incompatíveis com a realidade climática da localidade, segundo os parâmetros da NBR 15220-3. Outras diferenças de recomendações são ainda inconclusivas, nas situações em que aquela norma tem tratamento distinto para vedações externas e paredes internas (vedações externas leves e isoladas e paredes internas pesadas). Infelizmente, não há relação aparente entre a compatibilidade entre os resultados com as prescrições da NBR 15220-3 e o tipo de conjunto de dados.

Acende-se, portanto, um alerta aos usuários da ferramenta, cujos resultados devem ser cuidadosamente checados em relação à realidade climática na qual é usada.

O trabalho se encerra com recomendações que podem ser temas de futuros trabalhos:

- Detalhamento dos resultados por localidade, para identificação de padrões de causa e efeito;
- Revisão das TM em relação a seus diversos limites de definição dos indicadores de umidade e aridez, para compatibilização com os climas brasileiros;
- Validação de conjuntos de dados climáticos para que as TM possam ser usadas com segurança;
- Verificação da pertinência das prescrições de estratégias bioclimáticas da NBR 15220-3 para as cidades cujos resultados das TM foram discrepantes para ambos os conjuntos de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações. Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil**. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 10 nov. 2020.

CLIMATE.ONEBUILDING. **Repository of free climate data for building performance simulation**. Disponível em: http://climate.onebuilding.org/. Acesso em: 10 nov. 2020.

CRAWLEY, D. B. Which weather data should you use for energy simulations of commercial buildings? In: ASHRAE 1998 TRANSACTIONS. **Proceedings...** [...]. Toronto, Canada: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, v. 104, Part 2, 1998, p. 1-18.

CHVATAL, K. M. S.; LABAKI, L. C.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Estudo do clima de Campinas: a dificuldade de caracterização e proposição de recomendações de projeto para climas compostos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000. **Anais [...]**. Salvador (BA): ANTAC, 2000. p. 1274–1281.

EVANS, J. M. From meteorological data to bioclimatic design: 30 years of the Mahoney Tables. In: PLEA'99 CONFERENCE, 1999. **Proceedings...** [...]. Brisbane, Australia: PLEA, 1999. p. 161–164.

EVANS, J. M. **The comfort triangles: a new tool for bioclimatic design**. 2007. PhD. Thesis – Technische Universiteit Delft, Delft, The Netherlands, 2007.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.

HARRIS, A. L. N. C. **Metodologias baseadas na Teoria dos Sistemas Nebulosos (Fuzzy Systems Theory) para o tratamento das informações subjetivas do projeto arquitetônico**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

HARRIS, A. L. N. C.; CHENG, L.; LABAKI, L. C. Remodelagem dos grupos climáticos dos "Quadros de Mahoney" utilizando a teoria dos sistemas nebulosos. In: NUTAU: TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO, 3., 2000. **Anais [...]**. São Paulo: NUTAU/USP, 2000. 10 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama**. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama. Acesso em: 17 jun. 2021a.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Downloads**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 17 jun. 2021b.

KOENIGSBERGER, O.; INGERSOLL, T. G.; MAYEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977.

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, jul. 2002.

RORIZ, M. **ZBBR – Classificação bioclimática dos municípios brasileiros**. São Carlos, BR: Universidade Federal de São Carlos, 2004. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr. Acesso em: 19 nov. 2020.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Bioclimatic zoning of Brazil: a proposal based on the Givoni and Mahoney methods. *In*: PLEA 99 - 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, I., 1 jan. 1999. **Proceedings** [...]. Brisbane, Australia: PLEA International/ Department of Architecture, The University of Queensland, 1 jan. 1999. v. I, p. 211–216.

SCHOBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L. A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. **Anesthesia & Analgesia**, v. 126, n. 5, p. 1763–1768, maio 2018.

WILCOX, S.; MARION, W. **Users manual for TMY3 data sets**. Technical Report, n. NREL/TP-581-43156. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2008.

WMO. **WMO guidelines on the calculation of climate normals**. 2017 edition. Geneva: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2017(WMO, 1203). Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166. Acesso em: 23 mar. 2021.