ESTUDO DO CLIMA BRASILEIRO: REFLEXÃO SOBRE A ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA E RECOMENDAÇÕES ARQUITETÔNICAS A PARTIR DAS TABELAS DE MAHONEY

Camila Carvalho Ferreira (1); Henor Artur de Souza (2)
(1) Doutora, Arquiteta e Urbanista, camilaccferreira@yahoo.com.br, UFOP
(2) Doutor, Engenheiro Mecânico, henorster@gmail.com, UFOP.

RESUMO
Ferramentas de auxílio das recomendações arquitetônicas vinculadas ao clima são de grande utilidade na fase inicial de projeto, contribuindo com as decisões do projetista e com a análise de diferentes soluções comparativamente. Dentre estas ferramentas, destaca-se as Tabelas de Mahoney de fácil uso, desenvolvida para climas quentes e secos, pretendendo o conforto térmico e o baixo custo das soluções. Uma das limitações observadas nas Tabelas de Mahoney refere-se à análise em regiões com características climáticas transitórias entre dois climas diferentes. Com o intuito de solucionar esta limitação, uma nova metodologia com base nas Tabelas de Mahoney Tradicional: as Tabelas de Mahoney Nebulosas, baseadas em valores subjetivos da lógica fuzzy tem sido proposta na literatura. Assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma comparação entre as metodologias propostas das Tabelas de Mahoney Tradicional (TMT) e das Tabelas de Mahoney Nebulosas (TMN), utilizando a base de dados climáticos das Normais Climatológicas de 1961 -1990 e 1981 – 2010. Adotou-se os dois períodos de dados climáticos de forma a verificar a capacidade de adaptação climática das duas metodologias. Os resultados obtidos apontaram que as Tabelas de Mahoney Nebulosas apresentam maior sensibilidade e adaptabilidade ao clima brasileiro.

Palavras-chave: Tabelas de Mahoney Tradicional, Tabelas de Mahoney Nebulosas, adaptação climática.

ABSTRACT
Support tools for architectural recommendations linked to the climate are of great use in the initial design phase, contributing to the designer's decisions and the analysis of different solutions comparatively. Among these tools, the easy-to-use Mahoney Tables stand out were developed for hot and dry climates and aiming at the thermal comfort and low cost of the solutions. One of the observed limitations of the Mahoney Tables refers to the analysis in regions with transitional climatic characteristics between two different climates. In order to overcome this limitation, a new methodology based on the Traditional Mahoney Tables: the Nebulous Mahoney Tables, based on subjective values of fuzzy logic, has been proposed in the literature. Thus, the objective of this work is to compare the proposed methodologies of the Mahoney Traditional Tables (TMT) and the Nebulous Mahoney Tables (TMN), using the climatic database of the Climatic Norms of 1961 -1990 and 1981 - 2010. Adopted the two periods of climatic data are analyzed in order to verify the climatic adaptation capacity of the two methodologies. The results obtained showed that the Mahoney Nebulae Tables show greater sensitivity and adaptability to the Brazilian climate.

Keywords: Traditional Mahoney Tables, Mahoney Nebula Tables, climatic adaptation.

1. INTRODUÇÃO

Projeções realizadas com base na situação demográfica do país, apontam que o Brasil deve apresentar um aumento na demanda por habitações nas próximas duas décadas estimando em aproximadamente 9 milhões de novos domicílios (IBGE, 2020). O novo número de unidades habitacionais terá impacto no consumo de energia do país. Atualmente o setor residencial representa 25,4% do consumo final de energia e apresentou uma expansão no consumo de 1,3%, a mais significativa entre os setores (EPE, 2019). Além do impacto no consumo de energia, é preciso atentar para a resiliência das edificações às mudanças climáticas (ROAF, CRICHTON e NICOL; 2009). A arquitetura passiva, que se adapta ao clima, é capaz de economizar energia, mas deve também apresentar resiliência frente às mudanças climáticas em virtude da durabilidade da edificação. Ferramentas que auxiliem as decisões de projeto ainda em sua fase inicial, vinculando recomendações de projeto ao clima, são de grande importância. Entre estas ferramentas é de amplo conhecimento as Tabelas de Mahoney.

As Tabelas de Mahoney foram desenvolvidas por Carl Mahoney em conjunto com Evans e Koenigsberger para climas com pouca oscilação de umidade e com poucos recursos para a avaliação climática, oferecendo assim um método simplificado de análise climática associada a faixas de conforto, que dependem do período do dia e da relação entre a temperatura média do ar e a umidade relativa do ar. A proposta de Mahoney começa analisando os dados climáticos mensais de temperatura, umidade relativa e precipitação, para, ao final, gerar uma série de recomendações básicas de projeto. As Tabelas de Mahoney caracterizam o impacto climático geral em relação ao clima usando os indicadores de aridez e umidade (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971).

Conhecendo-se os dados de amplitude térmica anual (AMR) e de temperatura média anual (AMT), uma zona de conforto pode ser estabelecida com base em um conceito inicial de conforto adaptativo. Na aplicação das Tabelas de Mahoney, a amplitude térmica superior a 10°C foi considerada como um indicador da necessidade de uso da inércia térmica na edificação, enquanto uma amplitude inferior a esse valor aponta para o uso da ventilação cruzada como estratégia eficiente.

A amplitude térmica mensal inferior a 10°C foi considerado o limite para identificar o número de meses com condições quente e úmido, considerando que oscilações grandes indicam condições quente e seca. É notável que para Mahoney (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971) a variável de principal influência nas condições de desempenho da edificação é a capacidade térmica das superfícies, uma vez que o autor trabalhou em regiões áridas.

As Tabelas de Mahoney Tradicional foram elaboradas para serem uma ferramenta de fácil uso, para adequar as características de construção da edificação às condições do clima local, pretendendo o conforto térmico e o baixo custo das soluções (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971). Uma das limitações das Tabelas de Mahoney Tradicional ocorre na análise de regiões com características climáticas transitórias entre dois climas diferentes. Isso porque o método tradicional se baseia em uma análise de valores discretos, alterando a classificação e, assim, resultando em recomendações controversas em função de uma pequena diferença de temperatura média entre as cidades. Buscando solucionar esta limitação, Harris (1999) propõe uma nova metodologia com base nas Tabelas de Mahoney Tradicional: as Tabelas de Mahoney Nebulosas. As Tabelas de Mahoney Nebulosas são baseadas em valores subjetivos da lógica fuzzy e assim resultam em uma análise mais adequada dos dados climáticos (HARRIS, 1999; SENA, 2004). Sena (2004) comparou o desempenho das Tabelas de Mahoney Tradicional com as Tabelas de Mahoney Nebulosa e concluiu que, esta última possui um bom desempenho em condições de transição climática. Tal resultado se deve à consideração da parcela subjetiva da definição dos conceitos, parcela esta não contabilizada em modelos determinísticos (SENA, 2004).

Por serem métodos simples de análise climática que incorporam índices de conforto, as Tabelas de Mahoney são amplamente utilizados no Brasil para a obtenção de orientações nas etapas iniciais do projeto arquitetônico. Contudo, o território brasileiro apresenta uma grande variabilidade climática e, na maior parte do seu território, climas distintos ao clima quente e seco, clima para o qual as Tabelas de Mahoney foram desenvolvidas. Predomina no Brasil climas de transição, com duas estações distintas. Assim sendo, é preciso verificar a capacidade de adaptação climática das Tabelas de Mahoney ao clima brasileiro.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é verificar a capacidade de adaptação climática das Tabelas de Mahoney Tradicional (TMT) e das Tabelas de Mahoney Nebulosas (TMN) para duas bases de dados com diferentes cortes temporais (Normais Climatológicas de 1961 -1990 e 1981 – 2010) e verificar os impactos nas estratégias de projeto de edificações.

3. MÉTODO

Para a realização das análises propostas, foram utilizadas duas planilhas eletrônicas: uma para a análise das Tabelas de Mahoney Tradicional (TMT) e outra para a análise das Tabelas de Mahoney Nebulosas (TMN). Na planilha eletrônica das TMT foi aplicada as regras de classificação climática e de conforto térmico conforme a metodologia desenvolvida por Koenigsberger, Mahoney e Evans (1971). Já na planilha eletrônica das TMN foi aplicada as regras de classificação climática e de conforto térmico conforme a metodologia desenvolvida por Harris (1999). A partir das recomendações obtidas pelas duas metodologias, as cidades foram agrupadas de acordo com as características da envoltória. No presente trabalho focou-se nas características da envoltória (paredes, coberturas e dimensões das aberturas) em razão do volume de informação resultante. Os agrupamentos gerados são apresentados em mapas, auxiliando na visualização espacial das recomendações.

Para alimentação das planilhas com dados climáticos foram utilizados dois períodos de dados climáticos, utilizando-se as Normais Climatológicas dos períodos de 1961 -1990 (BRASIL, 2009) e 1981 – 2010 (BRASIL, 2018). Desse modo pode-se verificar também a capacidade de adaptação climática destas duas metodologias.

3.1. Tabelas de Mahoney Tradicional

As Tabelas de Mahoney Tradicional são divididas em três partes de análise: a análise climática, a classificação de indicadores e as recomendações arquitetônicas.

A análise climática é realizada utilizando-se os dados de temperatura máxima do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C), amplitude térmica mensal (°C), amplitude térmica anual (°C), umidade relativa mensal (%) e precipitação mensal (mm).

Mahoney classifica a umidade média do ar em faixas, que combinadas com a temperatura média do ar irão resultar em diferentes faixas de conforto. As faixas da umidade do ar são denominadas de grupos hidrotérmicos conforme apresentadas na Tabela 1 (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971).

Tabela 1 - Grupos higrotérmicos das Tabelas de Mahoney (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971)

Grupos higrométricos	Intervalos de valores médios mensais	Observações
Grupo 1	Entre 0 e 30%	Umidade muito baixa
Grupo 2	Entre 30 e 50%	Baixa, condições de deserto
Grupo 3	Entre 50 e 70%	Média, condições intermediárias
Grupo 4	Acima de 70%	Alta, zonas equatoriais

Os dados de amplitude térmica mensal (ATM) definem as faixas de conforto diurno e noturno para cada grupo higrotérmico (Tabela 2). Para a avaliação do conforto no ambiente diurno, comparam-se os valores da temperatura média mensal máxima com os limites de conforto estabelecidos para este período do dia, averiguando se há condições de conforto ou estresse térmico, classificando em “quente”, “frio” ou “confortável”. De forma análoga, a avaliação é realizada para o período da noite, comparando-se os limites de conforto para esse período com a temperatura média mensal mínima. A amplitude térmica é determinada como a diferença entre a temperatura média mensal máxima e a mínima, enquanto as condições de umidade são comparadas entre a umidade média mensal com os intervalos simplificados de umidade para cada mês (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971).

Tabela 2 - Limites de conforto estabelecidos na Tabela de Mahoney (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971)

Grupo higrométrico	ATM acima de 20°C		ATM entre 15 – 20 °C		ATM abaixo de 15°C	
	Dia [°C]	Noite [°C]	Dia [°C]	Noite [°C]	Dia [°C]	Noite [°C]
Grupo 1	26 – 34	17 – 25	23 - 32	14 – 23	21 – 30	12 – 21
Grupo 2	25 – 31	17 – 24	22 - 30	14 – 22	20 – 27	12 – 20
Grupo 3	23 – 29	17 – 23	21 - 28	14 – 21	19 – 26	12 – 19
Grupo 4	22 - 27	17 - 21	20 - 25	14 - 20	18 - 24	12 - 18

Os indicadores de aridez e umidade, que irão caracterizar o clima e as correspondentes estratégias a serem adotadas, são função das condições de conforto, da amplitude térmica e dos grupos higrotérmicos, assim como da pluviosidade média mensal (Quadro 1) (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971).

Quadro 1 - Indicadores definidos nas Tabelas de Mahoney (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971)

Indicador	Condições	Relação com o projeto
A1: Árido 1	Grupo higrométrico 1, 2 ou 3 e amplitude mensal > 10°C	Capacidade térmica necessária
A2: Árido 2	Estresse térmico noturno por calor e grupo higrométrico 1 ou 2 ou estresse térmico diurno por calor e conforto à noite e grupo higrométrico 1 ou 2	Dormir ao ar livre é desejável
A3: Árido 3	Estresse térmico diurno por frio	Proteção contra o frio
H1: Úmido 1	Estresse térmico diurno por calor e grupo higrométrico 4 ou estresse térmico diurno por calor e grupo higrométrico 2 ou 3 e amplitude mensal < 10°C	Movimento do ar é essencial
H2: Úmido 2	Conforto no período diurno e grupo higrométrico 4	Movimento do ar é desejável
H3: Úmido 3	Pluviosidade mensal > 200 mm	Proteção contra as chuvas nas áreas de circulação

A etapa final do processo se dá com a seleção das recomendações de projeto de acordo com o número ocorrências de meses nos diferentes indicadores. As recomendações de projeto propostas por Mahoney são apresentadas no Quadro 2 e dependem do rigor calculado pelos indicadores (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971).

Quadro 2 - Resumo das recomendações de projeto por Mahoney (KOENIGSBERGER; MAHONEY; EVANS, 1971)

U1	U2	U3	A1	A2	A3	
A - IMPLANTAÇÃO						
			0-10 0-10			EDIFÍCIOS ALONGADOS, COM FACHADAS MAIORES VOLTADAS PARA NORTE E SUL, PARA REDUZIR A EXPOSIÇÃO AO SOL.
			11-12 11-12		5-12 5-12	
			11-12 11-12		0-4 0-4	EDIFÍCIOS COMPACTOS, COM PÁTIO INTERNO
B - ESPAÇAMENTOS ENTRE AS EDIFICAÇÕES						
11-12						AUMENTAR DISTANCIAS ENTRE EDIFICAÇÕES PARA MELHOR VENTILAÇÃO
2-10						COMO 3, MAS COM POSSIBILIDADE DE CONTROLAR VENTILAÇÃO
0-1						APROXIMAR AS EDIFICAÇÕES PARA AUMENTAR A INÉRCIA
C - VENTILAÇÃO						
3-12						PARA OBTER UMA VENTILAÇÃO CRUZADA PERMANENTE, AS HABITAÇÕES DEVEM SER DISPOSTAS EM FILA SIMPLES AO LONGO DO EDIFÍCIO.
1-2			0-5			
			6-12			FILA DUPLA DE HABITAÇÕES AO LONGO DO EDIFÍCIO, COM DISPOSITIVOS QUE PERMITAM CONTROLAR A VENTILAÇÃO.
0	2-12					
	0-1					VENTILAÇÃO MÍNIMA, APENAS PARA RENOVAÇÃO DO AR.
D - TAMANHO DAS ABERTURAS						
			0-1		0	40 A 80 % DAS FACHADAS NORTE E SUL (AO NÍVEL CORPOS DAS PESSOAS)
					1-12	25 A 40 % DAS FACHADAS NORTE E SUL E/OU LESTE E OESTE QUANDO O PERÍODO FRIO FOR PREDOMINANTE.
			2-5			
			6-10			15 A 25 % DAS FACHADAS.
			11-12		0-3	10 A 20 % DAS FACHADAS, COM CONTROLE DE RADIAÇÃO SOLAR.
					4-12	25 A 40 % DAS FACHADAS, PERMITINDO SOL NO PERÍODO FRIO.
E - POSIÇÃO DAS ABERTURAS						
3-12						NAS FACHADAS NORTE E SUL, PERMITINDO VENTILAÇÃO AO NÍVEL DOS CORPOS DOS OCUPANTES.
1-2			0-5			
			6-12			COMO 14, MAS COM ABERTURAS NAS PAREDES INTERNAS.
0						
F- PROTEÇÃO DAS ABERTURAS						
					0 - 2	EVITAR RADIAÇÃO SOLAR DIRETA NOS INTERIORES DA EDIFICAÇÃO.
		2-12				PROTEGER DA CHUVA, PERMITINDO VENTILAÇÃO.
G - PAREDES E PISOS						
			0-2			EVITAR RADIAÇÃO SOLAR DIRETA NOS INTERIORES DA EDIFICAÇÃO.
			3-12			PESADAS. U ≤ 2,0 W/(m2 oC), RETARD. ≥ 8 HORAS, FATOR SOL < 4 %
H - COBERTURAS						
10-12			0-2 0-2			LEVES, REFLETORAS. U ≤ 1,1 W/(m2 oC), RETARD. ≤ 3 HORAS, FATOR SOL ≤ 4 %
			3-12 3-12			LEVES, ISOLANTES. U ≤ 0,85 W/(m2 oC), RETARD. ≤ 3 HORAS, FATOR SOL ≤ 3 %
0-9			0-5 0-5			
			6-12 6-12			PESADAS. U ≤ 0,85 W/(m2 oC), RETARD. ≥ 8 HORAS, FATOR SOL < 3 %
I - EXTERIOR DA EDIFICAÇÃO						
				1-12		PREVER ESPAÇO AO AR LIVRE PARA DORMIR
		1-12				PROTEGER CONTRA AS CHUVAS

3.2. Tabelas de Mahoney Nebulosas

As tabelas de Mahoney Nebulosas seguem as mesmas etapas de análise que as Tabelas de Mahoney Tradicional. A diferenciação da metodologia está na utilização de valores nebulosos, ao invés de valores discretos, para a faixa da amplitude térmica mensal e pluviosidade em baixa e alta, para os grupos higrotérmicos, para as faixas de conforto, para o rigor térmico diurno e noturno, assim como para os indicadores e recomendações arquitetônicas. Ou seja, as faixas utilizadas para classificação são valores nebulosos. Já os dados climáticos (temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, amplitude térmica mensal, amplitude térmica anual, umidade relativa mensal e precipitação mensal) utilizados são valores discretos (HARRIS, 1999).

A partir dos parâmetros que apresentam características nebulosas, os conjuntos nebulosos foram modelados para cada parâmetro analisado. Já os indicadores foram definidos segundo as inferências de regras nebulosas estruturadas com base na metodologia tradicional (HARRIS, 1999).

3.3. Caracterização climática do Brasil

Os principais domínios climáticos encontrados em território brasileiro são apresentados na Figura 1.



Figura 1 Principais domínios climáticos do Brasil (autoria própria)

4. RESULTADOS

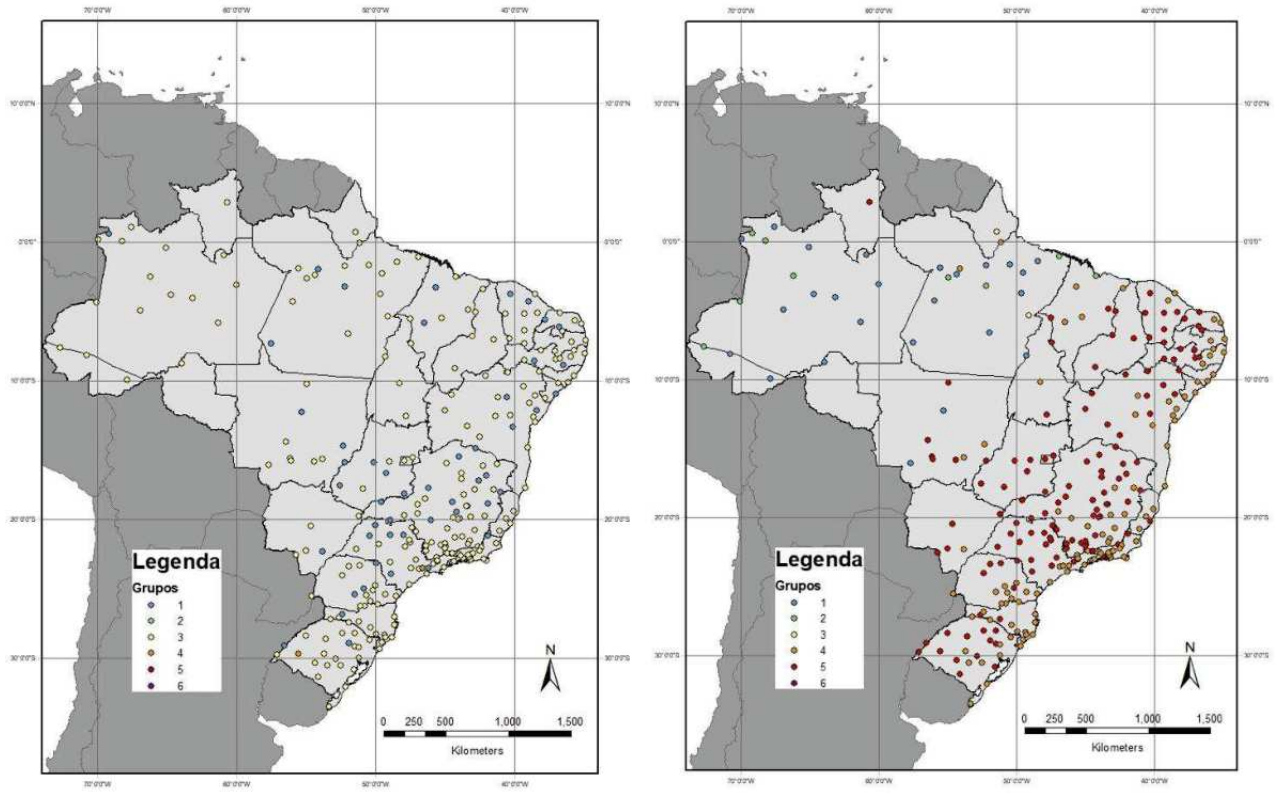
Ao aplicar as TMT e TMN aos dados das bases climáticas das Normais Climatológicas de 1961 -1990 e 1981 -2010, foram identificados seis grupos de localidades conforme a similaridade das recomendações para paredes, coberturas e dimensões das aberturas. Estes grupos e suas respectivas recomendações são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Grupos propostos conforme as recomendações arquitetônicas resultantes (autoria própria)

Coberturas	Paredes	Aberturas	Grupo
Cobertura leve e refletora	Parede leve	Aberturas grandes	1
		Aberturas médias	2
Cobertura leve e isolante	Parede leve	Aberturas grandes	3
		Aberturas médias	4
	Parede pesada	Aberturas médias	5
Cobertura pesada	Parede pesada	Aberturas intermediárias	6

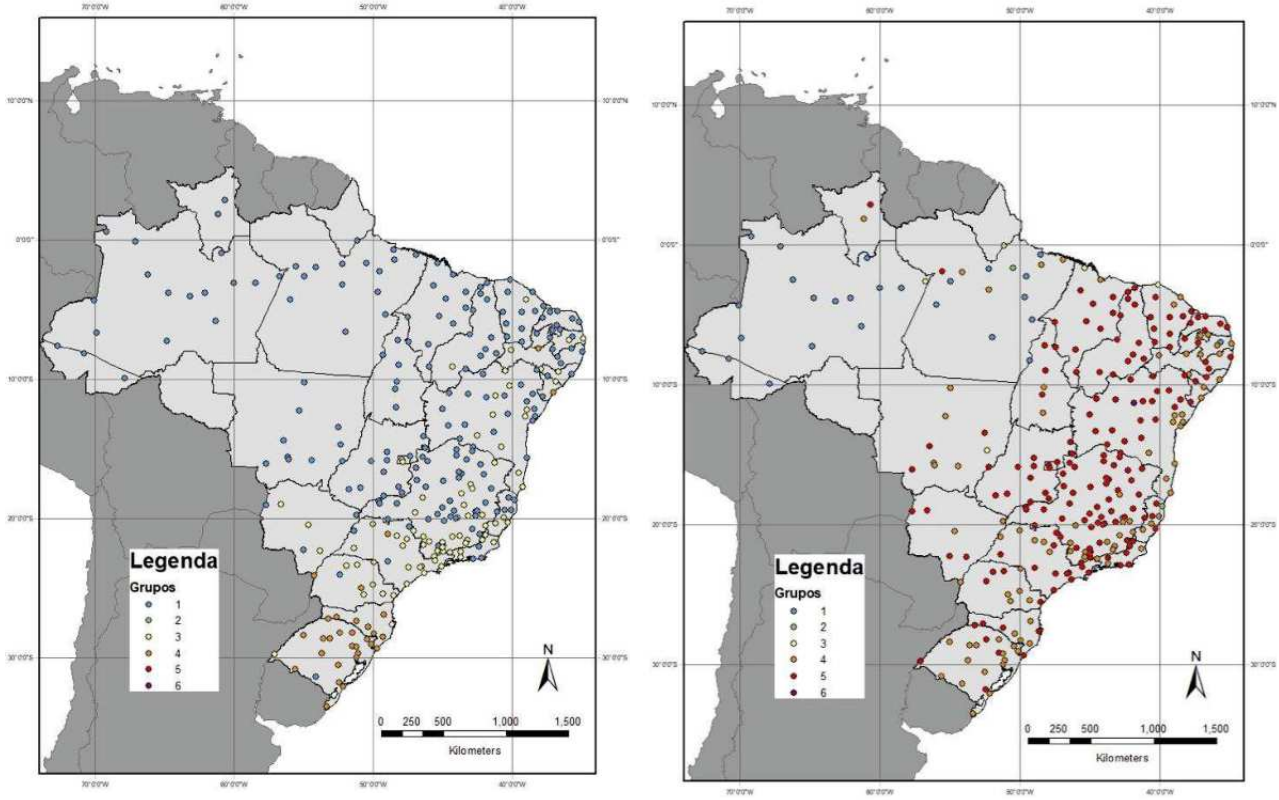
Foram identificados apenas localidades com as recomendações explicitadas no Quadro 3, sendo por isso trabalhado apenas seis grupos no presente trabalho. A partir do agrupamento por similaridade de recomendações arquitetônicas, foram gerados mapas para as TMT e TMN tanto para os dados de 1961 – 1990 e 1981 – 2010. Os mapas foram utilizados para a comparação entre as metodologias utilizadas e os períodos de dados climáticos. Os mapas são apresentados nas Figura 22 e Figura 33.

Aplicando a TMT para os dados climáticos das Normais Climatológicas de 1961 – 1990 foram obtidas apenas localidades classificadas nos grupos 1, 3 e 4. Ou seja, as recomendações são invariavelmente para superfícies (paredes e coberturas) leves e aberturas grandes (em sua grande maioria) ou médias. Ao se aplicar a TMN aos dados climáticos das Normais Climatológicas de 1961 – 1990, além dos grupos 1, 3 e 4, são encontrados os grupos 2 e 5. O grupo 2 é caracterizado por cobertura leve e refletora, paredes leves e aberturas médias. Já o grupo 5 é caracterizado por cobertura leve e isolante, paredes pesadas e aberturas médias. Atenta-se ao fato de que as localidades do grupo 5, que não foi encontrado na TMT, são em número significativo. A concentração das cidades deste grupo é no clima tropical, clima este com duas estações bem definidas, podendo ser dito como de transição. Outro ponto a ser destacado, é a redução de localidades no grupo 3 no mapa de TMN em relação a TMT. No caso de TMN, as poucas localidades no grupo 3 encontram-se no clima quente e úmido.



(a) (b)

Figura 2 - Mapas dos agrupamentos para o período de 1961 -1990: (a) TMT e (b) TMN (autoria própria)



(a) (b)

Figura 3 - Mapas dos agrupamentos para o período de 1981 -2010: (a) TMT e (b) TMN (autoria própria)

Para os dados das Normais Climatológicas de 1981 – 2010, a aplicação da TMT resultou nos mesmos grupos que para os dados das Normais Climatológicas de 1961 – 1990 (grupos 1, 3 e 4). Já o agrupamento resultante do emprego das TMN apresentou todos os agrupamentos propostos. O grupo 6, caracterizado por paredes e cobertura pesadas, foi representado por duas localidades que não constavam na base de dados climáticos de 1961 – 1990. Novamente o grupo 5 apresentou boa representatividade ao longo do território brasileiro. Para as duas bases de dados climáticos, as TMN apresentaram maior diferenciação de grupos, aparentando maior sensibilidade à variação climática.

Para uma análise mais detalhada das diferenciações de agrupamento entre as metodologias, apresenta-se a contagem de localidades para cada grupo. Para tal comparação, foram consideradas apenas as localidades constantes nas duas bases de dados climáticos, permitindo assim a comparação e observação de aumento ou diminuição dos grupos. Um total de 192 localidades foram analisadas e os resultados são expostos na Tabela 3. Os valores percentuais foram também representados em barras para facilitar a visualização de proporcionalidade dos registros nos grupos.

Tabela 3 - Resumo do número de localidades em cada grupo para todas as condições analisadas (autoria própria)

Grupo	1961-1990				1981-2010			
	TMT		*TMN*		*TMT*		*TMN*	
1	105	*54.7%*	17	*8.9%*	110	*57.3%*	21	*10.9%*
2	0	*0.0%*	8	*4.2%*	0	*0.0%*	1	*0.5%*
3	60	*31.3%*	1	*0.5%*	58	*30.2%*	2	*1.0%*
4	27	*14.1%*	62	*32.3%*	24	*12.5%*	58	*30.2%*
5	0	*0.0%*	104	*54.2%*	0	*0.0%*	109	*56.8%*
6	0	*0.0%*	0	*0.0%*	0	*0.0%*	1	*0.5%*

Examinando a ocorrência de cidades nos grupos para as Normais Climatológicas de 1961-1990, é observado que no caso de TMT o grupo 1 é o grupo predominante, enquanto no caso de TMN é o grupo 5 quem possui este papel. O grupo 4 torna-se também representativo em TMN, enquanto o grupo 3 é pouco representativo. Comportamento similar é observado na ocorrência de cidades para as Normais Climatológicas de 1981-2010. Os resultados assim corroboram para a melhor aplicabilidade das TMN para climas de transição.

Comparando agora os dois períodos, a metodologia de TMT para o período de 1961-1990 apresenta um predomínio no grupo 1, seguido pelo grupo 3 e uma pequena representatividade do grupo 4. O mesmo ocorre para o período de 1981-2010. Ao se aplicar TMN, para ambos os períodos considerados, o grupo 5 é o mais representativo, seguido pelos grupos 4 e 1. Confrontando os resultados para os dois períodos, é observado uma tendência de aumento do grupo 1 e redução do grupo 4 tanto para TMT e TMN. A cobertura e tamanho das aberturas são pontos de diferenciação entre o grupo 1 (cobertura leve e refletora e aberturas grandes) e o grupo 4 (cobertura leve e isolante e aberturas médias). A definição da recomendação da cobertura é embasada nos indicadores H1 (estresse térmico diurno e umidade mais alta) e A1 (umidades mais baixas e amplitude mensal superior a 10°C). Já a definição do tamanho das aberturas ocorre em função de A1 e A3 (estresse térmico diurno por frio). O aumento do grupo 1 no período de 1981-2010 é justificado pelo aumento de H1 e redução de A3, indicando um aumento de temperatura máxima.

Quanto à redução do número de localidades no grupo 4 de 1961-1990 para 1981-2010, esta alteração apresentou comportamentos distintos para TMT e TMN. No caso de TMT, a alteração se deu em função da alteração do tamanho das aberturas de médias para grandes, uma vez que houve a redução do indicador A3. Este fato também demonstra um aumento de temperatura máxima. E no caso de TMN, a alteração foi decorrente do aumento do grupo 5, consequência do aumento de A1, podendo ser consoante com o aumento das temperaturas máximas. Uma análise estatística dos dados climáticos se faz necessária para maiores elucidações.

Uma redução do grupo 2 e aumento dos grupos 5 e 6 são observados apenas em TMN. A redução do grupo 2 entre os dois períodos e aumento do grupo 1 para o período de 1981-2010, ocorre pela redução de A3, conforme já colocado. O aumento dos grupos 5 e 4 para o período de 1981-2010 são resultantes da redução do grupo 4, proveniente do aumento de A1. Por fim, o grupo 3 apresentou uma redução pelas TMT (aumento de H1) e um aumento pelas TMN (redução de A3). Em resumo, comparando os períodos de 1961 - 1990 e 1981 – 2010, houve um aumento dos indicadores H1, A2 e A1, enquanto o indicado A3 sofreu uma redução.

A partir dos resultados obtidos, constata-se que as TMN apresentam maior sensibilidade para a diferenciação climática do país. No caso das TMT pequenas alterações nos dados climáticos podem ocasionar grandes alterações nas recomendações, como ocorreu com o aumento do indicador H1.

5. CONCLUSÕES

O objetivo proposto foi uma comparação na capacidade de adaptação climática entre as metodologias propostas das Tabelas de Mahoney Tradicional (TMT) e das Tabelas de Mahoney Nebulosas (TMN), utilizando a base de dados climáticos das Normais Climatológicas de 1961 -1990 e 1981 – 2010.

Os resultados obtidos indicaram que, conforme exposto por Harris (1999) e Sena (2004), as Tabelas de Mahoney Nebulosas apresentam maior sensibilidade em condições de transição climática, sendo capaz de diferenciações nas recomendações, as quais as Tabelas de Mahoney Tradicional não foram sensíveis. Ao se aplicar os dados climáticos brasileiros às Tabelas de Mahoney Tradicional foram identificados apenas 3 grupos de localidades com recomendações de projeto arquitetônico similares. No entanto, ao se aplicar a mesma base de dados climáticos às Tabelas de Mahoney Nebulosas foram identificados 6 grupos de localidades com recomendações similares. Foram observadas diferentes distribuições das cidades entre os grupos de acordo com as Tabelas de Mahoney Tradicional (TMT) e das Tabelas de Mahoney Nebulosas (TMN). Ressalta-se que no caso das Tabelas de Mahoney Tradicional (TMT) não foram observadas cidades contempladas com as recomendações do grupo 5 ou 6. Estes grupos apresentam como ponto comum as paredes pesadas, utilizadas em climas com amplitudes térmicas diárias consideráveis, recorrentes em climas de transição continentais, como o clima tropical e tropical de altitude.

Os resultados também apresentaram um aumento dos indicadores H1, A2 e A1, enquanto o indicado A3 sofreu uma redução. Esta tendência de alteração de indicadores pode ser procedente de um aumento da temperatura máxima entre os períodos de 1961 - 1990 e 1981 – 2010. Para maiores conclusões faz-se necessário um estudo estatístico das bases de dados climáticos utilizadas, próxima etapa do trabalho.

E, por fim, os resultados obtidos apontam que as Tabelas de Mahoney Nebulosas possuem melhor capacidade de adaptação climática considerando a variabilidade climática brasileira do que as Tabelas de Mahoney Tradicional, desenvolvidas para o clima quente e seco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil: 1961 - 1990.** Ed. rev. ampl. INMET. Brasília, p. 465. 2009.

_____. **Normais climatológicas do Brasil: 1981 - 2010**. INMET. Brasília. 2018.

HARRIS, A. L. N. C. Metodologias baseadas na Teoria dos Sistemas Nebulosos (Fuzzy Systems Theory) para o Tratamento das Informações Subjetivas do Projeto Arquitetônico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 160p. 1999.

EPE.EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018. Rio de Janeiro, EPE, 2019. Disponível em <http://www.epe.gov.br>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. [Site] IBGE. 2020

KOENIGSBERGER, O. H.; MAHONEY, C.; EVANS, J. M. **Climate and House Design**. New York: United Nations, 1971.

SENA, C. B. **Análise comparativa entre o Método de Mahoney Tradicional e o Método de Mahoney Nebuloso para caracterização do clima no projeto arquitetônico**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 132. 2004.

ROAF, S,; CRICHTON, D.; NICOL, F. **A Adaptação de Edificações e cidades às Mudanças Climáticas**: **um guia de sobrevivência para o século XXI.** Porto Alegre: Bookman, 2009. 384 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados para desenvolvimento da pesquisa. Agradecemos também à Rosiane Bonatti Ribeiro por gentilmente ter cedido a planilha de sua autoria para análises pelo Método de Mahoney Nebuloso.