



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

PANORAMA DO USO DE SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES EM METODOLOGIAS DE ZONEAMENTO CLIMÁTICO

* Franklin Puker de Sousa¹
Tássio Luiz dos Santos¹
Arthur Santos Silva¹

OVERVIEW ABOUT THE USE OF BUILDING PERFORMANCE SIMULATION IN CLIMATIC ZONING METHODOLOGIES

Recibido el 30 de abril de 2020. Aceptado el 12 de abril de 2021

Abstract

Several countries are subject to climatic zoning to verify the level of energy efficiency of their buildings, however, there is not still consensus in the literature on the most appropriate methodology to build it. Among the possible techniques, the building performance simulation is a tool with great potential for the definition and validation of climatic zones, however, little is known about the results of its application. For this reason, this article aimed, through a systematic review of the literature, to compile and analyze studies on the use of simulation in climatic zoning methodologies. When analyzing the climatic zoning of 64 nations, it was found that in only 7 the simulation was, in some way, considered in the development of the climatic zoning. Regarding the application modes, simulation is often used to define and validate climatic zones in conjunction with other procedures. Morocco and Spain are the only representatives in which the climatic zoning and the current energy efficiency regulations were defined based on the results of building performance simulation, indicating that the tool is still little explored for this purpose.

Keywords: climatic zoning, building energy efficiency, building performance simulation.

¹ Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande/MS, Brasil.

*Autor correspondente: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Programa de Pós-graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade, Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações. Cidade Universitária, Av. Costa e Silva, s/n, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. CEP 79070-900. Email: franklinpuker@hotmail.com

Resumo

Diversos países estão sujeitos ao zoneamento climático para verificação do nível de eficiência energética de suas edificações, contudo, ainda não há um consenso na literatura sobre a metodologia mais adequada para construí-lo. Dentre as técnicas possíveis, a simulação do desempenho de edificações é uma ferramenta com grande potencial para definição e validação das zonas climáticas, todavia, pouco se sabe sobre os resultados de sua aplicação. Em face do exposto, este artigo objetivou, por meio de uma revisão sistemática da literatura, compilar e analisar os estudos relativos ao uso de simulação em metodologias de zoneamento climático. Ao analisar os zoneamentos climáticos de 64 nações, constatou-se que em apenas 7 a simulação foi, de algum modo, considerada na elaboração do zoneamento climático. Com relação aos modos de aplicação, a simulação é frequentemente utilizada para definição e validação das zonas climáticas em conjunto com outros procedimentos. Marrocos e Espanha são os únicos representantes nos quais o zoneamento climático e os vigentes regulamentos de eficiência energética foram definidos com base nos resultados de simulação computacional termoenergética, indicando que a ferramenta é ainda pouco explorada para essa finalidade.

Palavras chave: zoneamento climático, eficiência energética de edificações, simulação do desempenho de edifícios.

Introdução

Dados da International Energy Agency (IEA, 2019) demonstram que as edificações representam cerca de 30% do consumo de energia primária em escala global. Conforme relatam Olgay (1963); Bouchlaghem e Letherman (1990); Givoni (1991); Hong *et al.* (2013), o clima representa um dos principais impulsionadores do consumo de energia das edificações. A eficiência energética dos edifícios, portanto, está diretamente relacionada às interações entre o clima e o ambiente construído (Prömmel, 1978).

Na tentativa de representar os tipos de clima, os seres humanos constroem modelos, nos quais são agrupadas regiões terrestres em que as condições meteorológicas exibem certo nível de similaridade para os principais parâmetros climáticos, chamadas de zonas climáticas. Após delimitadas, as zonas climáticas são agrupadas e apresentadas em mapas de zoneamento climático (Walsh *et al.*, 2017a).

Os zoneamentos climáticos, por sua vez, podem ser elaborados para vários propósitos, por exemplo, para fins de agricultura (Araya *et al.*, 2010), previsão de expectativas térmicas de turistas (Lin e Matzarakis, 2011) ou para promover a eficiência energética de edifícios (ABNT, 2005; ADEREE, 2011a; MF, 2019). Neste artigo serão abordados os zoneamentos climáticos para fins de eficiência energética das edificações, doravante a serem chamados apenas de zoneamento(s) climático(s) no decorrer da pesquisa.

Evans (2004) cita que os zoneamentos climáticos permitem que recomendações padronizadas sejam aplicadas às edificações, no intuito de se reduzir o consumo de energia e melhorar o

conforto térmico dos indivíduos. Entretanto, a literatura registra diversas metodologias possíveis para realizar o zoneamento climático de um país, evidenciando que ainda não há um consenso entre os autores acerca do método mais adequado.

Os métodos de zoneamento são resultado da aplicação de variáveis climáticas, técnicas para avaliação do desempenho térmico e energético de edifícios e processamento de dados climáticos e, em alguns casos, complementados por outros parâmetros. A Tabela 4 apresenta as principais variáveis, técnicas e parâmetros identificados nas metodologias de zoneamento climático abrangidas por este estudo de revisão.

Ao analisar os métodos de zoneamento climático de 54 países, Walsh *et al.* (2017a) verificaram que a maioria dos países cria uma versão inicial do zoneamento climático com base em uma única variável. Essa versão é então refinada por subdivisão de zonas com base em uma segunda ou terceira variável. Cerca de 80% dos 54 países investigados utilizava até no máximo três variáveis ou técnicas para definição de suas zonas climáticas, com destaque para a temperatura e graus-dia, presentes em 56% e 38% dos casos respectivamente. Desse modo, os referidos autores afirmam que pouquíssimos aspectos são realmente levados em consideração na maior parte das metodologias de zoneamento climático.

Uma possível explicação para esse resultado é a dificuldade de se lidar com grandes conjuntos de dados, com diversas variáveis esparsamente distribuídas no espaço. Por esse motivo, os autores de zoneamento climático tendem a utilizar métodos simplificados. Essa simplicidade pode negligenciar diversos aspectos do clima e do desempenho das edificações, em especial quando avaliadas por programas de certificação, uma vez que o zoneamento climático é um dos parâmetros de entrada para aferição do nível de eficiência energética das edificações em muitos países (Brasil, 2010; ADEREE, 2011a; Brasil, 2012; MF, 2019).

A problemática descrita tem mais um agravante: uma vez concluídos, os zoneamentos climáticos geralmente passam a integrar os documentos de energia sem que sua precisão seja atestada, ou seja, são considerados válidos *per se*. Nesse sentido, Walsh *et al.* (2018) destacam a necessidade de procedimentos que avaliem a qualidade dos zoneamentos climáticos antes de sua inserção em políticas e programas de eficiência energética.

Em meio a este contexto emerge a simulação do desempenho de edificações. Dentre as técnicas para avaliação do consumo de energia, desempenho térmico e processamento de dados climáticos, a simulação é robusta o suficiente para lidar com grandes conjuntos de variáveis distribuídas no espaço, capaz de exprimir as complexas interações entre o clima e o desempenho termoenergético do ambiente construído (Wang *et al.*, 2012) e pode ser aplicada na validação dos zoneamentos climáticos (Walsh *et al.*, 2018; Xiong *et al.*, 2019).

A simulação computacional de edificações é muito utilizada em análises do consumo de energia das edificações e dos fenômenos que regem o desempenho térmico e energético de um edifício, sendo inclusive considerada uma das mais poderosas ferramentas do mundo moderno (Hensen e Lamberts, 2011). Entretanto, Verichev *et al.* (2019) relatam que o uso de simulação do desempenho de edifícios em metodologias de zoneamento climático ainda é uma linha de pesquisa muito nova e raramente explorada. Logo, pouco se sabe acerca dos resultados decorrentes da aplicação desta técnica e dos impactos nos regulamentos térmicos e programas de eficiência energética de um país.

Isso ocorre porque muitos dos zoneamentos climáticos datam do início dos anos 2000. De acordo com Hensen e Lamberts (2011), nesse período a simulação termoenergética de edifícios consistia em uma tecnologia relativamente nova, ainda em fase de entendimento e aprimoramento. Por não estar consolidada à época, é natural que os autores não a considerassem na elaboração dos zoneamentos de seus países, a exemplo do Brasil, cujo zoneamento vigente foi desenvolvido com base nas cartas bioclimáticas de Givoni e tabelas de Mahoney (Roriz *et al.*, 1999).

Quanto à necessidade de procedimentos que avaliem a qualidade dos zoneamentos climáticos, Walsh *et al.* (2018) demonstraram que os resultados de simulação de desempenho de edificações podem ser utilizados para fins de validação dos zoneamentos climáticos, permitindo ao tomador de decisões avaliar se as discordâncias entre a variação climática e o desempenho expresso das edificações são aceitáveis ou não.

Portanto, é razoável supor que os zoneamentos climáticos recentes incorporem em sua metodologia, cada vez mais, o uso de simulação de desempenho de edificações. Contudo, há carência na literatura de publicações que investiguem essa possibilidade. Aliás, pouco se sabe (principalmente nos países lusófonos) sobre o estado da arte quanto ao uso de simulação em métodos de zoneamento climático e qual seu impacto nos regulamentos de energia.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa consiste em revisar a literatura científica de maneira a se determinar o atual panorama do uso de simulação em metodologias de zoneamento climático. O intuito é verificar as tendências atuais e os resultados de sua aplicação em se tratando de programas de eficiência energética das edificações. Para tanto, foram levantadas publicações de diversos países, seguindo a metodologia a seguir aventada.

Materiais e métodos

Esta pesquisa consiste em uma revisão sistemática da literatura. Segundo a hierarquia de evidências, este tipo de estudo consiste na melhor evidência para consulta e tomada de decisões sobre um determinado tema (Cordeiro *et al.*, 2007). A princípio, a metodologia considerada na

realização desta investigação científica obedeceu às diretrizes propostas em Sampaio e Mancini (2007), a saber: definição da questão central; busca da evidência; revisão e seleção de estudos; análise das publicações de interesse; apresentação dos resultados e conclusões.

Embora proveitoso, somente esse procedimento mostrou-se insuficiente para obtenção de uma série de estudos que contivessem descrições detalhadas dos métodos utilizados em zoneamentos climáticos. Essa dificuldade de acesso pode ser explicada pelos seguintes fatores:

- i) A maioria dos métodos de zoneamento climático encontram-se publicados em documentos normativos exclusivos de seus países de origem. Por este motivo, não são atingidos pelas bases de dados convencionais de pesquisa científica;
- ii) Em contrapartida, apenas uma pequena parte dos zoneamentos é representada por produções científicas, das quais muitas ainda não possuem efeito legal;
- iii) Embora o inglês seja considerado uma “língua universal” no meio acadêmico, é muito comum que os documentos encontrados estejam escritos na linguagem própria do país ao qual é aplicado, sendo algumas incomuns no Ocidente e, portanto, de difícil compreensão;
- iv) Esta é uma linha de pesquisa bastante específica e pouco explorada, mesmo entre os autores de zoneamento climático.

Diante do exposto, a amostragem nomeada como “bola de neve” teve de ser aplicada à pesquisa. Segundo Vinuto (2014), apesar de não probabilística, este método é bastante eficaz na localização de publicações de difícil acesso. De fato, por utilizar cadeias de referências, possibilitou-se o acesso a uma grande quantidade de publicações não abrangidas pelo procedimento proposto por Sampaio e Mancini (2007). O fluxograma da Figura 1 resume a metodologia utilizada nesta revisão sistemática.

Com base na estruturação no formato acrônimo “PICO” disposta em Brasil (2012b), este estudo de revisão sistemática busca responder à seguinte questão central: “há evidências de que o uso de simulação do desempenho de edificações resulte em zoneamentos climáticos mais adequados a compor políticas e documentos de eficiência energética das edificações?”

A letra “P” do acrônimo remete à população considerada no estudo, no caso, os métodos de zoneamento climático. Em “I” define-se qual será a intervenção a ser investigada: o uso de simulação do desempenho de edifícios. “C”, por sua vez, refere-se ao “controle” ou comparador, que são os métodos que não consideraram a simulação para definição das zonas climáticas. Por fim, o componente “O” é proveniente do inglês “outcome” e pode ser traduzido por “desfecho”, representado pela melhoria na qualidade de políticas, regulamentos, normativas, programas de certificação das edificações etc.

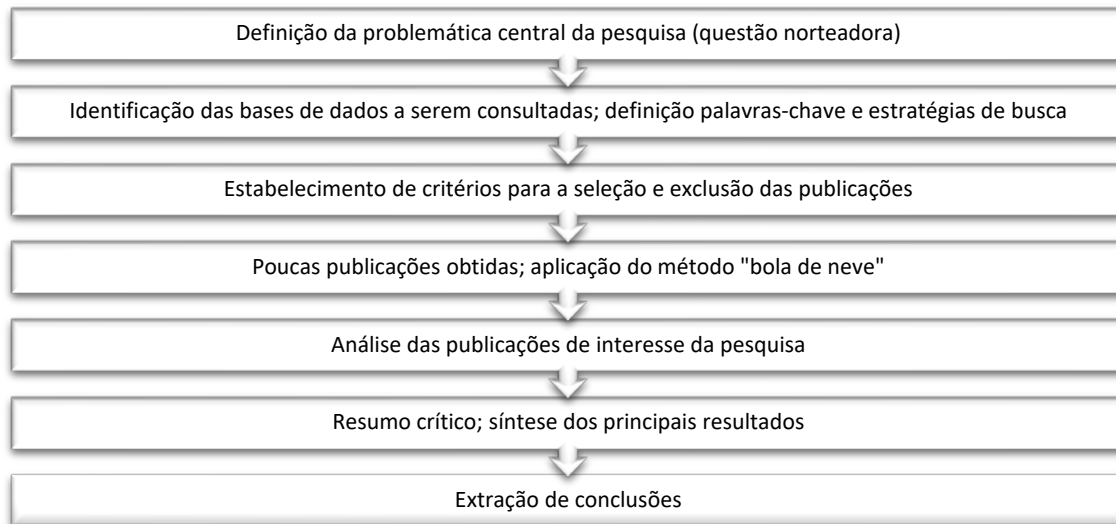


Figura 1. Fluxograma do método adotado na revisão sistemática da literatura.

Para a seleção de artigos, foram realizadas buscas nas bases de dados: *Science Direct*; *Scopus*; *Scielo*; *Google Scholar* e Periódicos Capes. As palavras-chave utilizadas na pesquisa foram: “*climatic zoning*” e “*building performance simulation*”; a princípio em inglês, espanhol e português, sem nenhum tipo de filtro. Além disso, não foram definidos intervalos de tempo específicos para seleção das publicações, pois zoneamentos antigos ainda vigentes em seus países poderiam ser úteis aos propósitos deste trabalho.

Quanto aos critérios de inclusão considerados no estudo, foram selecionadas todas as publicações em que as palavras-chave apareciam pelo menos uma vez no título ou no resumo. Desta amostra inicial, observou-se que alguns artigos não estavam relacionados ao tema da pesquisa, embora apresentassem as palavras-chave, por exemplo: o uso de simulação para correções climáticas, ou para prescrição de recomendações de arquitetura bioclimática, ou para análises do ciclo de vida ou avaliação do impacto de variações climáticas futuras no desempenho de edificações. Ademais, havia estudos repetidos. Todas os arquivos nessas condições foram desconsiderados.

A coleta de dados ocorreu em outubro de 2019. Ao final do levantamento, poucas publicações relevantes à proposta desta revisão sistemática foram obtidas. Apesar disso, verificou-se que muitos dos artigos científicos retornados pelas bases de dados continham em suas referências as fontes oficiais dos zoneamentos climáticos vigentes em vários países. A fim de localizar esses documentos, aplicou-se à amostragem “bola de neve” à pesquisa.

Segundo Vinuto (2014), esse tipo de investigação é realizado da seguinte maneira: busca-se por estudos ligados ao tema da pesquisa, nomeados como “sementes” (os quais já haviam sido levantados por meio das etapas anteriormente descritas). A partir das “sementes”, novas publicações podem ser encontradas pela consulta às referências bibliográficas. Assim, à medida que mais e mais trabalhos relevantes são obtidos, a rede (ou cadeia) de referências vai se expandindo, até atingir-se o ponto de saturação, isto é, as novas fontes não trazem mais informações que já não sejam conhecidas. Esta etapa de busca e seleção, por ser bastante extensa, findou em fevereiro de 2020.

Com isso, documentos oficiais de muitos países alvo de zoneamento climático foram localizados. Também foram incluídas pesquisas acadêmicas que continham metodologias detalhadas de zoneamento climático, em especial publicações científicas que apresentassem propostas acerca do uso de simulação do desempenho de edifícios em métodos de zoneamento climático, mesmo que ainda não possuíssem efeito legal em seus países de origem.

Ao fim, foram abrangidos os métodos utilizados para o zoneamento climático de 63 países e 1 Estado insular (Taiwan), envolvendo um total de 83 publicações analisadas (entre documentos oficiais e propostas), conforme dispostas na Tabela 1.

A partir do levantamento supracitado, constatou-se que apenas 8 das 83 publicações abarcadas na Tabela 1 remetiam ao uso de simulação do desempenho de edifícios em métodos de zoneamento climático, referentes a sete países: África do Sul (Conradie *et al.*, 2018), Chile (Verichev *et al.*, 2019), China (Xiong *et al.*, 2019), Espanha (MF, 2019), Estados Unidos (Walsh *et al.*, 2019), Marrocos (ADEREE, 2011a; ADEREE, 2011b) e Nicarágua (Walsh *et al.*, 2018).

Além disso, verificou-se que as obras de Carpio *et al.* (2015) para a Espanha, Verichev e Carpio (2018) para o Chile e Walsh *et al.* (2017b) para a Nicarágua, remetiam a pesquisas que serviram de base, respectivamente, à norma MF (2019) e aos trabalhos de Verichev *et al.* (2019) e Walsh *et al.* (2018). A fim de contextualizar o leitor quanto aos procedimentos prévios que conduziram os referidos autores ao uso de simulação em metodologias de zoneamento climático, optou-se por acrescentar estes 3 estudos ao rol de publicações a serem sistematizadas neste artigo de revisão. Os modos como a simulação foi aplicada em cada um destes casos e os resultados desta aplicação serão discutidos no capítulo seguinte. Por fim, cabe pontuar que, como o foco desta investigação consiste em analisar especificamente a literatura em que a simulação foi aplicada à metodologia de construção ou validação do zoneamento climático, não foram incluídas na lista de publicações a serem revisadas os casos de países cujas zonas climáticas foram definidas a partir de dados climáticos (ou outros métodos) e, subsequentemente, utilizaram a simulação apenas para definir requisitos de projeto passivo ou de desempenho para cada zona.

Tabela 1. Lista de países abrangidos nesta pesquisa.

País / Estado*	Referências	País / Estado*	Referências
África do Sul	SANS 204 (2011); Conradie <i>et al.</i> (2018)	Japão	Evans <i>et al.</i> (2009)
Albânia	Simaku (2017)	Jordânia	Johansson <i>et al.</i> (2009)
Alemanha	Webs <i>et al.</i> (2004); DIN (2013)	Líbano	UNDP (2005)
Arábia Saudita	Youssef (2016)	Madagascar	Rakoto-Joseph <i>et al.</i> (2009)
Argélia	MH (1997)	Malásia	BSEEP (2013)
Argentina	IRAM (2011)	Marrocos	ADEREE (2011a, 2011b)
Austrália	ABCB (2013)	México	ONNCCCE (2008)
Áustria	ASI (2019)	Montenegro	Novikova <i>et al.</i> (2015)
Bélgica	Kottek <i>et al.</i> (2006)	Nepal	Bodach (2014)
Bolívia	Campos Navarro (2007)	Nicarágua	Walsh <i>et al.</i> (2017b, 2018)
Brasil	Roriz <i>et al.</i> (1999); ABNT (2005); Roriz (2012a, 2012b, 2014)	Nigéria	Ogunsote e Prucnal-Ogunsote (2002)
Brunei Darussalam	David e Sirabaha (2008)	Noruega	Thyholt <i>et al.</i> (2009)
Bulgária	Todorova <i>et al.</i> (2011)	Nova Zelândia	DBH (2011)
Canadá	GC-NRC (2015)	Peru	ME (2008)
Chile	MINVU (2008, 2018); Verichev e Carpio (2018); Verichev <i>et al.</i> (2019)	Polônia	Grudzińska e Jakusik (2017)
China	Lau <i>et al.</i> (2007); Xiong <i>et al.</i> (2019)	Porto Rico	ICC (2011)
Colômbia	MADS (2012)	Portugal	Portugal (2006); Portugal (2013)
Coréia do Sul	Park <i>et al.</i> (2015)	Reino Unido	BRE (2014)
Egito	Mahmoud (2011)	Romênia	Mureşan (2015)
Equador	MIDUVI (2011)	Rússia	SCCR (2012)
Eslováquia	STN (2012)	Singapura	Mughal <i>et al.</i> (2019)
Eslovênia	Pajek e Košir (2018)	Sri Lanka	SLSEA (2009)
Espanha	De la Flor (2008); Carpio <i>et al.</i> (2015); MF (2017, 2019)	Suécia	Hjorth <i>et al.</i> (2011)
Estados Unidos	ICC (2011); ASHRAE (2013a,b); Walsh <i>et al.</i> (2019)	Suíça	SIA (2010)
Finlândia	ME (2007)	Tailândia	Kunchornrat <i>et al.</i> (2009)
França	METL (2013); Molle e Patry (2013)	Taiwan*	Huang e Deringer (2007)
Grécia	Dascalaki <i>et al.</i> (2012)	Tanzânia	Roulet (2013)
Índia	GI-MP (2011)	Tunísia	ANER (2004)
Irã	Eshraghi <i>et al.</i> (2019)	Turquia	Pusat e Ekmekci (2016)
Israel	MEP-SI (2002); Erell <i>et al.</i> (2003)	Ucrânia	Pashynskiy <i>et al.</i> (2019)
Itália	Itália (2005)	Uruguai	UNIT (1999)
Rep.Tcheca	Pejter e Gebauer (2011)	Venezuela	Rosales (2007)

A partir do levantamento supracitado, constatou-se que apenas 8 das 83 publicações abarcadas na Tabela 1 remetiam ao uso de simulação do desempenho de edifícios em métodos de zoneamento climático, referentes a sete países: África do Sul (Conradie *et al.*, 2018), Chile (Verichev *et al.*, 2019), China (Xiong *et al.*, 2019), Espanha (MF, 2019), Estados Unidos (Walsh *et al.*, 2019), Marrocos (ADEREE, 2011a; ADEREE, 2011b) e Nicarágua (Walsh *et al.*, 2018).

Além disso, verificou-se que as obras de Carpio *et al.* (2015) para a Espanha, Verichev e Carpio (2018) para o Chile e Walsh *et al.* (2017b) para a Nicarágua, remetiam a pesquisas que serviram de base, respectivamente, à norma MF (2019) e aos trabalhos de Verichev *et al.* (2019) e Walsh *et al.* (2018). A fim de contextualizar o leitor quanto aos procedimentos prévios que conduziram os referidos autores ao uso de simulação em metodologias de zoneamento climático, optou-se por acrescentar estes 3 estudos ao rol de publicações a serem sistematizadas neste artigo de revisão.

Os modos como a simulação foi aplicada em cada um destes casos e os resultados desta aplicação serão discutidos no capítulo seguinte. Por fim, cabe pontuar que, como o foco desta investigação consiste em analisar especificamente a literatura em que a simulação foi aplicada à metodologia de construção ou validação do zoneamento climático, não foram incluídas na lista de publicações a serem revisadas os casos de países cujas zonas climáticas foram definidas a partir de dados climáticos (ou outros métodos) e, subsequentemente, utilizaram a simulação apenas para definir requisitos de projeto passivo ou de desempenho para cada zona.

Resultados e discussões

A Tabela 2 reúne os 11 trabalhos selecionados para serem sistematizados neste artigo de revisão, contemplando o país a que se referem, a autoria, tipo e aplicação do estudo, as revistas em que foram publicados e a quantidade de citações constantes no banco de dados do *Google Scholar*.

Os trabalhos dispostos na Tabela 2 demonstram que a linha de pesquisa do uso de simulação de edifícios em métodos de zoneamento climático é bastante recente, uma vez que os exemplares mais antigos possuem menos de uma década desde sua publicação (ADEREE, 2011a; ADEREE, 2011b). Aliás, grande parte desses estudos foram publicados a partir de 2017 (6 dos 8 casos da Tabela 2, ou seja, 75%). Em escala global, esse número representa cerca de 40% dos trabalhos publicados desde 2017 (6 dos 16 casos presentes na Tabela 1).

Os dados da bibliometria também mostram que Angélica Walsh detém o maior número de artigos publicados relativos ao tema desta pesquisa, com 4 ao todo, bem como é a mais citada entre os autores investigados na Tabela 2, com 69 citações, incluindo os cálculos do estudo de revisão da autora (Walsh *et al.*, 2017a), o qual consiste em uma referência

muito útil sobre a diversidade de procedimentos possíveis para realizar o zoneamento climático de um país. Acerca dos periódicos, a maior incidência entre os artigos selecionados foi a revista científica *Energy and Buildings*.

Os referidos percentuais podem ser indicativos do surgimento de uma tendência entre os autores com relação ao uso de simulação em metodologias de zoneamento climático. Não obstante, apenas Espanha e Marrocos têm documentos normativos vigentes em que as zonas climáticas foram definidas com base em resultados de simulação do desempenho de edifícios.

Tabela 2. Lista de publicações sistematizadas neste estudo de revisão.

País	Referências	Título da publicação	Tipo de publicação e aplicação	Periódico	Qtd. de citações
África do Sul	Conradie <i>et al.</i> (2018)	Degree-day building energy reference map for South Africa	Pesquisa científica contendo uma proposta de atualização do atual zoneamento climático sul-africano	<i>Building Research & Information</i>	4
Chile	Verichev e Carpio (2018)	Climatic zoning for building construction in a temperate climate of Chile	Pesquisa científica para atualização do atual zoneamento climático em parte do território chileno	<i>Sustainable Cities and Society</i>	12
	Verichev <i>et al.</i> (2019)	Assessing the applicability of various climatic zoning methods for building construction: Case study from the extreme southern part of Chile	Pesquisa científica para: (i) avaliação de métodos de zoneamento climático e (ii) determinação de parâmetros ótimos para elaboração de um zoneamento climático	<i>Building and Environment</i>	7
China	Xiong <i>et al.</i> (2019)	A hierarchical climatic zoning method for energy efficient building design applied in the region with diverse climate characteristics	Pesquisa científica para uma proposta de um novo método de zoneamento climático de maior resolução em uma região da China	<i>Energy and Buildings</i>	9

Continuação da Tabela 2. Lista de publicações sistematizadas neste estudo de revisão.

País	Referências	Título da publicação	Tipo de publicação e aplicação	Periódico	Qtd. de citações
Espanha	Carpio et al. (2015)	A proposed method based on approximation and interpolation for determining climatic zones and its effect on energy demand and CO2 emissions from buildings	Pesquisa científica para: (i) avaliar o zoneamento climático espanhol válido na época; (ii) avaliar sua atualização em curso e (iii) propor um novo método de zoneamento climático	Energy and Buildings	18
	MF (2019)	Documento Básico HE - Ahorro de Energía. Anejo B - Zonas climáticas	Documento em vigência na Espanha, contendo o zoneamento climático e requisitos de eficiência energética das edificações	Não se aplica	0
Estados Unidos	Walsh et al. (2019)	Validation of the climatic zoning defined by ASHRAE standard 169-2013	Pesquisa científica de validação de parte de um zoneamento climático	Energy Policy	0
Marrocos	ADEREE (2011a); ADEREE (2011b)	<i>Règlement Thermique de Construction au Maroc; Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc</i>	Regulamentos oficiais de eficiência energética das edificações atualmente vigentes no Marrocos	Não se aplica	0
Nicarágua	Walsh et al. (2017b)	Comparison of three climatic zoning methodologies for building energy efficiency applications	Pesquisa científica contendo três propostas de zoneamento climático distintas e comparação dos mapas resultantes	Energy and Buildings	21
Nicarágua	Walsh et al. (2018)	Performance-based validation of climatic zoning for building energy efficiency applications	Pesquisa científica de desenvolvimento de um método para validação de zoneamentos climáticos baseado em simulação de desempenho termo-energético de edifícios	Applied Energy	13

Ademais, da análise aos métodos de zoneamento climático elencados na Tabela 2, depreende-se que a simulação do desempenho de edifícios foi aplicada de três maneiras distintas: (i) para validação de zoneamentos climáticos originários a partir de outros métodos, (ii) como técnica para definição das zonas climáticas em conjunto com outras metodologias e (iii) como a principal ferramenta para definição das zonas climáticas. Diante disso, as publicações foram agrupadas e sistematizadas de acordo com o modo de aplicação da simulação computacional de edificações.

Sistematização das publicações selecionadas

Os métodos de zoneamento climático presentes nas publicações selecionadas nesta revisão foram sistematizados na Tabela 3. Também foram incluídas, quando disponíveis, informações relativas: (i) aos programas de simulação do desempenho de edificações utilizados, (ii) aos modelos computacionais simulados, (iii) às variáveis, técnicas ou parâmetros empregados nos métodos de zoneamento climático e (iv) aos resultados obtidos em cada estudo.

Nesta seção são sistematizados os estudos nos quais a simulação do desempenho de edifícios é aplicada para validação de zoneamentos climáticos originários a partir de outras metodologias, a começar pelo caso da Nicarágua.

A Nicarágua não dispõe de documentos oficiais (normativas e regulamentos) de eficiência energética das edificações. De modo pioneiro, Walsh *et al.* (2017b) desenvolveram mapas para o zoneamento climático deste país, com o intuito de fornecer suporte aos projetistas e autores de políticas energéticas. Os mapas foram criados a partir de três metodologias muito utilizadas em zoneamentos climáticos: (i) graus-dia, calculados com base no método da ASHRAE *Standard* 169:2013 (ASHRAE, 2013b); (ii) análise de *cluster* (para dois, três e quatro grupos de zonas climáticas); e (iii) divisões administrativas.

Os zoneamentos derivados desses métodos foram então sobrepostos em um único mapa. Ao compararem os resultados desta sobreposição, os referidos autores verificaram que em 63% do território as zonas climáticas concordavam entre si, enquanto que em 37% a classificação divergia dependendo da metodologia considerada. Assim, Walsh *et al.* (2017b) não conseguiram identificar qual dentre os métodos era o mais adequado para o zoneamento climático do país. Diante dessa impossibilidade, Walsh *et al.* (2018) apresentaram um método para validação de zoneamentos climáticos com base em resultados de simulação do desempenho termoenergético de edificações, procedimento até então inédito na literatura.

A Figura 2 ilustra a abordagem proposta pelos autores para aceite de um zoneamento climático.

Tabela 3. Sistematização das publicações selecionadas neste estudo de revisão.

País	Marrocos	África do Sul	China	Estados Unidos
Referências	ADEREE (2011a,b)	Conradie, <i>et al.</i> (2018)	Xiong <i>et al.</i> (2019)	Walsh <i>et al.</i> (2019)
Metodologias de zoneamento climático abordadas nas publicações sistematizadas	Definição das zonas climáticas a partir do nível de similaridade exibido nos resultados de simulação do consumo de energia anual normalizado do estoque de edificações marroquino, em diversos pontos do território do país.	4 métodos de zoneamento foram avaliados, sendo: i) Classificação de Köppen–Geiger, ii) Temperatura Efetiva Padrão, iii) Graus-dia, iv) Graus-dia combinado com resultados de simulação do consumo de energia de edifícios.	Novo método de zoneamento em duas camadas (sub-zonas climáticas), combinando graus-dia, análise de <i>cluster</i> e validado por simulação termoenergética de edificações.	Validação de zoneamento climático (definido a partir do método de graus-dia da ASHRAE Standard 169:2013) com base nos resultados de simulação do consumo de energia de diversos edifícios para região da costa leste dos Estados Unidos (abrangendo 4 zonas climáticas ao todo).
(1) Programa de simulação utilizado no método (2) Descrição dos modelos de edifícios usados na simulação	(1) TRNSYS. (2) 7 arquétipos, envolvendo 2 edifícios residenciais, 1 comercial, 1 hotel, 1 hospital, 1 escola e 1 edifício público.	(1) ECOTECT. (2) modelo de edifício de escola pública representativa sul-africana.	(1) EnergyPlus. (2) modelo de edifício residencial chinês de 9 pavimentos e 36 apartamentos ao todo.	(1) EnergyPlus. (2) 13 arquétipos típicos do estoque de edifícios do país (multipavimentos, hotéis, escritórios, restaurantes, lojas e escolas) adaptados às 4 ZC, totalizando 52 modelos.
(1) Variáveis climáticas, (2) técnicas para avaliação do desempenho termoenergético / processamento de dados climáticos (3) outros parâmetros considerados nos métodos de zoneamento climático	(1) - (2) graus-dia, simulação do desempenho do estoque de edifícios. (3) -	(1) temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluviométrica. (2) graus-dia, simulação do desempenho de edifícios, cartas psicrométricas. (3) classificação de Köppen-Geiger, índices de conforto térmico, previsão das mudanças climáticas futuras.	(1) temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. (2) graus-dia, simulação do desempenho de edifícios, análise de <i>cluster</i> . (3) divisões administrativas municipais, proximidade com o oceano.	(1) - (2) graus-dia, simulação do desempenho do estoque de edifícios. (3) -
Resultados Legenda: ZC = Zonas Climáticas ZB = Zonas Bioclimáticas	6 ZC definidas para o Marrocos, representadas por sedes administrativas.	7 ZC foram definidas para todo o país com base no método de graus-dia combinado com simulação do desempenho de edifícios.	7 Subzonas climáticas para a região de clima do tipo VQIF - verões quentes e invernos frios da China.	Não foram definidas ZC. Autores identificaram cerca de 10% das áreas do atual zoneamento climático como potencialmente classificadas de maneira incorreta.

Continuação da Tabela 3. Sistematização das publicações selecionadas neste estudo de revisão.

País	Chile		Espanha
Referências	Verichev <i>et al.</i> (2019)	Verichev e Carpio (2018)	MF (2019)
Metodologias de zoneamento climático abordadas nas publicações sistematizadas	3 métodos de zoneamento inicialmente abordados: i) Graus-dia de aquecimento; ii) Análise de <i>cluster</i> ; iii) Classificação de Köppen. Além disso, os autores avaliaram os zoneamentos: chileno vigente; bioclimático de Köppen e da análise de <i>cluster</i> com base nos resultados de simulação do consumo de energia de edifícios. Também determinaram os parâmetros ótimos para desenvolver um novo método de zoneamento climático para o sul do Chile.	Definição do índice de severidade climática para verão e inverno no sul do Chile.	Índice de severidade climática para verão e inverno, combinado aos resultados de múltiplas simulações de energia de diversas tipologias habitacionais para 52 capitais provinciais da Espanha. Os resultados das simulações foram utilizados para definir índices limitantes que reflitam o nível relativo de consumo de energia das residências espanholas.
(1) Programa de simulação utilizado no método (2) Descrição dos modelos de edifícios usados na simulação	(1) Green Building Studio (GBS). (2) modelo de residência unifamiliar modelada conforme os requisitos contidos nos regulamentos técnicos chilenos.	-	(1) e (2) Não informado.
(1) Variáveis climáticas, (2) técnicas para avaliação do desempenho termoenergético / processamento de dados climáticos (3) outros parâmetros considerados nos métodos de zoneamento climático	(1) temperatura do ar, radiação solar, precipitação anual, umidade relativa e velocidade do vento. (2) graus-dia, simulação do desempenho de edifícios, análise de cluster. (3) classificação de Köppen-Geiger.	(1) temperatura do ar, radiação solar. (2) graus-dia. (3) índice de severidade climática, altitude, distância do oceano.	(1) temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa. (2) graus-dia, simulação termoenergética de edifícios. (3) altitude, distância do oceano, divisões administrativas das províncias, índice de severidade climática.
Resultados Legenda: ZC = Zonas Climáticas ZB = Zonas Bioclimáticas	Graus-dia: 5 ZC*. Análise de <i>cluster</i> : 4 ZC*. Mapa de Köppen: 6 ZB*. * Região Sul do Chile. Parâmetros ótimos: (i) simulação do consumo de energia de aquecimento de edifícios. (ii) valores de graus-dia de aquecimento e (iii) de radiação solar direta.	3 Zonas Térmicas para o Sul do Chile (equivalentes às zonas climáticas).	14 possíveis combinações para toda a Espanha. As ZC são identificadas a partir da combinação de letras (correspondentes à ZC de inverno), números (ZC de verão), limite da demanda de energia, localização do município e altitude.

Continuação da Tabela 3. Sistematização das publicações selecionadas neste estudo de revisão.

País	Espanha	Nicarágua	
Referências	Carpio <i>et al.</i> (2015)	Walsh <i>et al.</i> (2018)	Walsh <i>et al.</i> (2017b)
Metodologias de zoneamento climático abordadas nas publicações sistematizadas	Novo método de zoneamento climático baseado em funções de aproximação e interpolação testado na região da Andaluzia. As zonas climáticas foram definidas com base no índice de severidade climática. Resultados das simulações das demandas de energia de edifícios foram utilizados para comparar o zoneamento proposto com os zoneamentos da Espanha vigentes à época.	Validação de zoneamentos climáticos elaborados por Walsh <i>et al.</i> (2017b) para a Nicarágua (métodos: da ASHRAE 169-2013 de graus-dia para 3 ZC, análise de <i>cluster</i> para 3 e 4 ZC e divisões administrativas com 3ZC), com base nos resultados de simulação de desempenho de edificações típicas nicaraguenses.	3 métodos de zoneamento climático, sendo: i) Graus-dia (com base no método <i>ASHRAE Standard 169:2013</i> e suas variantes). ii) Análise de <i>cluster</i> para dois, três e quatro agrupamentos. iii) Divisões administrativas da Nicarágua com base em três regiões geográficas. Sobreposição dos mapas para verificação do nível de similaridade / discordância.
(1) Programa de simulação utilizado no método (2) Descrição dos modelos de edifícios usados na simulação	(1) CERMA. (2) modelo de residência unifamiliar de três pavimentos típica da Andaluzia.	(1) EnergyPlus. (2) 4 arquétipos representados por uma tipologia padrão de residência térrea unifamiliar (i) comumente encontrada na Nicarágua, (ii) com taxa fixa de mudança de ar, (iii) com orientação alternativa e (iv) com o envelope melhorado.	-
(1) Variáveis climáticas, (2) técnicas para avaliação do desempenho termoenergético / processamento de dados climáticos (3) outros parâmetros considerados nos métodos de zoneamento climático	(1) temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa. (2) simulação térmica de edifícios. (3) altitude, distância do oceano, divisões administrativas das províncias, índice de severidade climática.	(1) - (2) graus-hora de desconforto, simulação do desempenho de edifícios. (3) -	(1) temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa, precipitação pluviométrica, velocidade e direção do vento. (2) graus-dia, análise de <i>cluster</i> . (3) divisões administrativas do país, índices de conforto térmico adaptativo.
Resultados Legenda: ZC = Zonas Climáticas ZB = Zonas Bioclimáticas	11 possíveis combinações de ZC para a Andaluzia. Resultados das simulações demonstraram que os zoneamentos da Espanha (vigente à época) poderiam negligenciar o consumo de energia de edifícios e as emissões de CO ₂ .	O mapa de 3ZC da análise de <i>cluster</i> apresentou os melhores resultados, com 18% em média de áreas incorretamente classificadas, seguido pelo método de graus-dia com 20% de imprecisão e as divisões administrativas com cerca de 30% das áreas classificadas incorretamente.	3 ZC pelo método ASHRAE. 2, 3, 4 ZC a partir da análise de <i>cluster</i> . 3 ZC por divisões administrativas. Discordância de até 37% das áreas alvo do zoneamento entre os métodos estudados.

A simulação computacional de edifícios enquanto ferramenta para fins de validação de zoneamentos climáticos – os casos de Nicarágua, Estados Unidos, Chile e China

Nesta seção são sistematizados os estudos nos quais a simulação do desempenho de edifícios é aplicada para validação de zoneamentos climáticos originários a partir de outras metodologias, a começar pelo caso da Nicarágua.

A Nicarágua não dispõe de documentos oficiais (normativas e regulamentos) de eficiência energética das edificações. De modo pioneiro, Walsh *et al.* (2017b) desenvolveram mapas para o zoneamento climático deste país, com o intuito de fornecer suporte aos projetistas e autores de políticas energéticas. Os mapas foram criados a partir de três metodologias muito utilizadas em zoneamentos climáticos: (i) graus-dia, calculados com base no método da ASHRAE *Standard* 169:2013 (ASHRAE, 2013b); (ii) análise de *cluster* (para dois, três e quatro grupos de zonas climáticas); e (iii) divisões administrativas.

Os zoneamentos derivados desses métodos foram então sobrepostos em um único mapa. Ao compararem os resultados desta sobreposição, os referidos autores verificaram que em 63% do território as zonas climáticas concordavam entre si, enquanto que em 37% a classificação divergia dependendo da metodologia considerada. Assim, Walsh *et al.* (2017b) não conseguiram identificar qual dentre os métodos era o mais adequado para o zoneamento climático do país. Diante dessa impossibilidade, Walsh *et al.* (2018) apresentaram um método para validação de zoneamentos climáticos com base em resultados de simulação do desempenho termoenergético de edificações, procedimento até então inédito na literatura. A Figura 2 ilustra a abordagem proposta pelos autores para aceite de um zoneamento climático.

Com base no nível de descompasso entre a variação climática e o desempenho das edificações em cada zona climática, Walsh *et al.* (2018) verificaram a precisão de quatro zoneamentos climáticos, frutos de sua pesquisa anterior, sendo um do método de graus-dia (ASHRAE, 2013b), dois da análise de *cluster* (para três e quatro zonas climáticas) e um de divisões administrativas (Walsh *et al.*, 2017b).

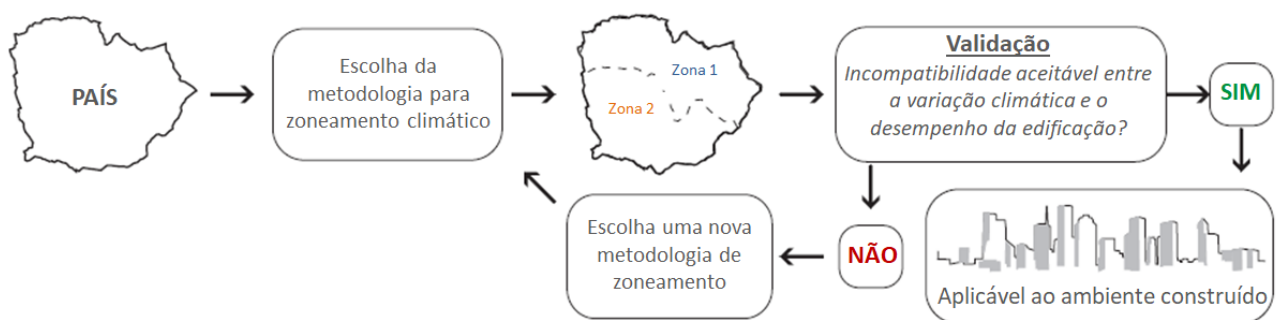


Figura 2. Fluxograma para aceite de uma metodologia de zoneamento climático.

Para realizar as simulações, os autores formularam quatro arquétipos representativos do estoque das edificações nicaraguenses, variando sua localização espacial e orientações em 328 pontos do território do país. O software *EnergyPlus* foi utilizado para condução das simulações do desempenho termoenergético das edificações. Os resultados, expressos em termos de graus-hora de desconforto térmico ao longo de um ano (tido pelos autores como indicadores mais adequados à realidade das edificações nacionais) foram georreferenciados por meio do programa *ArcGIS 10.5* para construção de mapas de desempenho.

Os mapas de desempenho de cada arquétipo foram então utilizados para calcular o percentual de áreas erroneamente classificadas (PAE) em cada um dos quatro zoneamentos. A média dos valores de PAE (chamada de PMAE) representa o índice utilizado por Walsh *et al.* (2018) para avaliar a qualidade do zoneamento climático. Dentre os zoneamentos analisados, a análise de *cluster* para três zonas climáticas apresentou o melhor resultado, com um PMAE de 18%, enquanto o zoneamento climático oriundo de divisões administrativas apresentou, em média, 30% das áreas classificadas incorretamente.

À sequência, Walsh *et al.* (2019) avaliaram a precisão de uma parte do zoneamento climático dos Estados Unidos, desenvolvido com base no método graus-dia definido pela ASHRAE *Standard 169* (ASHRAE, 2013b). A região analisada estendia-se por quatro zonas climáticas, abrangendo os estados da Flórida, Geórgia e Tennessee. Nesse novo estudo, os autores simularam 52 arquétipos (envolvendo edifícios multifamiliares, hotéis, escritórios, escolas, lojas e restaurantes) que atendiam aos requisitos de energia dessas zonas climáticas constantes na ASHRAE *Standard 90.1* (ASHRAE, 2013a).

Diferentemente do que fora considerado para a Nicarágua, Walsh *et al.* (2019) agora adotaram a demanda de energia para refrigeração e aquecimento dos edifícios como indicador de desempenho. Ao quantificarem o nível de discordância entre o zoneamento climático e o desempenho dos arquétipos, os autores verificaram uma forte correlação entre graus-dia e o consumo de energia dos modelos analisados. Ainda assim, o PMAE indicou que 10% das áreas podem ter sido erroneamente classificadas no zoneamento climático norte-americano para as regiões avaliadas (ASHRAE, 2013b).

Outro país abrangido neste estudo de revisão é o Chile, representado pelas pesquisas de Verichev e Carpio (2018) e Verichev *et al.* (2019). A princípio, Verichev e Carpio (2018) aplicaram o método de severidade climática para redefinir as zonas climáticas da parte Sul do território do país e atualizar o vigente zoneamento climático chileno (MINVU, 2008). O método do índice de severidade climática reflete a relação entre as necessidades de energia de um edifício e as características climáticas locais. Os resultados demonstraram que 20% das zonas climáticas da região diferiam do zoneamento climático vigente.

Após isso, Verichev *et al.* (2019) simularam o consumo de energia para aquecimento (expresso em kWh/m²/ano) de uma edificação unifamiliar distribuída em 680 pontos geográficos do sul chileno. O arquétipo simulado preenchia todos os requisitos das normativas nacionais de eficiência energética do país. Os resultados das simulações foram usados para avaliar três métodos de zoneamento climático: (i) bioclimático de Köppen, (ii) da análise de *cluster* para 4 grupos (zonas térmicas) e (iii) graus-dia de aquecimento (MINVU, 2018). Os autores então verificaram que os referidos métodos não eram suficientemente adequados para realizar o zoneamento climático para os edifícios situados nesta região, em especial nos locais mais frios.

Ademais, os autores identificaram possíveis parâmetros ótimos para o desenvolvimento de um novo método de zoneamento climático, combinando: (i) o nível de consumo de energia para aquecimento com base em simulação computacional termoenergética de edificações, uma vez que este mostrou-se o parâmetro mais sensível ao clima frio característico do sul chileno; (ii) os valores climáticos de graus-dia de aquecimento e (iii) os valores climáticos da radiação solar direta. Todavia, o procedimento proposto deverá ainda ser testado em trabalhos futuros.

Paralelamente a Verichev *et al.* (2019), Xiong *et al.* (2019) propuseram um novo método de zoneamento climático testado em parte do território chinês. Trata-se de um procedimento refinado para definição de zonas climáticas menores e mais homogêneas: as subzonas climáticas. Para tanto, os referidos autores utilizaram a análise de *cluster* combinada a estratégias passivas de conforto térmico, em uma abordagem de duas camadas: na primeira etapa do método as zonas climáticas são definidas com base no cálculo de graus-dia para aquecimento e refrigeração. Depois, foram acrescentadas as seguintes variáveis climáticas: radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento para definição do zoneamento climático.

Para validar as novas subzonas climáticas, Xiong *et al.* (2019) efetuaram simulações no *EnergyPlus* das demandas de energia de aquecimento e refrigeração de um tipo de edifício residencial chinês padrão (descrito na Tabela 3), em 17 cidades principais da região estudada (zona de verão quente e inverno frio da China). Os resultados das simulações indicaram forte convergência entre a localização de cada município, o desempenho das edificações e as respectivas subzonas climáticas obtidas pelo novo método.

Por fim, é possível concluir que os métodos de zoneamento climático propostos pelos diferentes autores abordados nesta Seção tornam-se mais precisos e, principalmente, mais adequados para uso em políticas, programas e normativas de eficiência energética das edificações de seus países de origem, quando submetidos a procedimentos de validação de suas zonas climáticas com base nos resultados de simulação computacional termoenergética.

O uso de simulação do desempenho de edificações como técnica complementar em métodos de zoneamento climático – o caso da África do Sul e da Espanha

Nesta Seção são sistematizados os estudos nos quais a simulação é aplicada em conjunto com outros métodos para a construção do zoneamento climático de um país. Nesse sentido, Van Reenen e Bole (2018) identificaram a necessidade de atualização do zoneamento climático SANS 204 (SANS, 2011), presente nos regulamentos normativos de eficiência energética das edificações em vigor na África do Sul.

Em face do exposto, os autores avaliaram mapas de zoneamento climático oriundos de diferentes métodos: (i) classificação de Köppen–Geiger; (ii) Temperatura Efetiva Padrão (TEP) e (iii) graus-dia com mapas distintos para aquecimento e refrigeração (Tabela 3), com o intuito de estabelecer um procedimento em que a realidade climática fosse conciliada às demandas anuais de aquecimento e arrefecimento do estoque de edificações sul-africana.

O *software Ecotect* foi utilizado para simular o desempenho termoenergético de um modelo de edifício típico da África do Sul, previamente calibrado de acordo com um edifício real de escola situado em Pretória, capital administrativa do país. A zona de conforto térmico interno foi modelada para uma faixa de 18 a 26 °C. As saídas remetiam a dados anuais de consumo de energia de aquecimento e resfriamento (em kWh) para 54 localidades distribuídas ao longo do território sul-africano (por disporem de dados climáticos).

Ao correlacionar os resultados de desempenho termoenergético do edifício nos vários pontos simulados com os mapas citados, Conradie *et al.* (2018) verificaram que o zoneamento do SANS 204 e do método de TEP não expressam adequadamente as interações entre o clima e o estoque de edificações em cada local. O mapa de Köppen-Geiger, por sua vez, é preciso do ponto de vista exclusivamente climático, mas negligencia o desempenho térmico e consumo de energia dos edifícios do país, tornando-o inadequado para compor regulamentos de eficiência energética da África do Sul.

Os zoneamentos climáticos derivados dos graus-dia apresentaram forte correlação com as demandas de energia para arrefecimento e aquecimento das edificações. Logo, ambos os mapas foram sobrepostos, resultando em um único zoneamento climático para a África do Sul, cujas zonas climáticas finais derivam dos resultados das simulações computacionais do consumo de energia de edifícios combinado aos indicadores de graus-dia.

Outro exemplo de país em que a simulação termoenergética foi utilizada como técnica complementar na definição das zonas climáticas é a Espanha. Inicialmente, Carpio *et al.* (2015) propuseram um novo método de zoneamento climático baseado em funções de aproximação e interpolação. Além disso, os autores utilizaram os resultados de simulações das demandas de

energia de uma tipologia residencial de três pavimentos típica da região sul do país, para avaliar os zoneamentos (i) da Espanha em vigência na época e (ii) sua atualização em curso, ambos hodiernamente expressos pelo documento MF (2019).

Em suma, os autores verificaram que os zoneamentos climáticos da época negligenciavam o consumo de energia dos edifícios e as emissões de CO₂ em algumas áreas da Andaluzia. Conquanto, os resultados das simulações não foram utilizados para outro propósito além da análise do desempenho da edificação nas zonas climáticas. Ainda assim, este estudo é útil para demonstrar o poder dos mecanismos computacionais de simulação na avaliação da qualidade dos mapas de zoneamento climático, em conjunto com os demais estudos de validação já descritos.

Na atualidade, o zoneamento climático espanhol é baseado em índices que limitam o consumo de energia das edificações de acordo com a zona climática (de verão e inverno), sua localização (província) e a altitude local. Os valores de consumo de energia foram definidos com base nos resultados de simulações do desempenho termoenergético de diversos tipos de edificações em múltiplos pontos do território nacional (Verichev *et al.*, 2019; MF, 2019). Contudo, o documento de eficiência energética da Espanha (MF, 2019) carece de informações mais detalhadas sobre o método empregado para as simulações e definição das zonas climáticas.

Aplicação da simulação termoenergética de edifícios na definição das zonas climáticas e o impacto nos regulamentos de energia – o caso do Marrocos

De todos os países investigados nesta pesquisa (Tabela 1), o Marrocos foi o que apresentou a maior disponibilidade de informações acerca da relação entre o zoneamento climático e ganhos no desempenho termoenergético das edificações. As principais referências do país provêm dos relatórios da Agência para o Desenvolvimento de Energias Renováveis e Eficiência Energética (ADEREE), órgão público pertencente ao Ministério de Minas, Energia, Água e Ambiente do Marrocos (ADEREE, 2011a).

Esses relatórios são parte do programa de eficiência energética marroquino, e versam sobre o Regulamento Térmico para o setor de habitações (ADEREE, 2011a) e os elementos de projeto desse Regulamento (ADEREE, 2011b). O zoneamento climático do Marrocos foi desenvolvido exclusivamente para atender as necessidades dessas regulamentações, com base nos resultados de simulação de desempenho de edificações e análises paramétricas.

De acordo com o relatório ADEREE (2011a), mais de 400 simulações do desempenho de edifícios foram realizadas no *software TRNSYS* para 12 cidades marroquinas e 7 modelos representativos (arquetipos) do estoque de edificações do país, composto por dois edifícios residenciais, um comercial, um hotel, um hospital, uma escola e um edifício público.

Esses modelos de referência foram submetidos a análises paramétricas variando-se os seguintes parâmetros: propriedades termofísicas dos materiais de construção, padrões de ocupação, condições de uso das edificações, presença de isolamento térmico e sombreamento.

Os resultados das simulações foram expressos em termos de consumo de energia anual normalizado (em KWh/m²/ano). As zonas climáticas, então, foram definidas com base nas similaridades exibidas entre os valores simulados das demandas de energia para resfriamento e para aquecimento das edificações, conforme pode ser observado pela Figura 3.

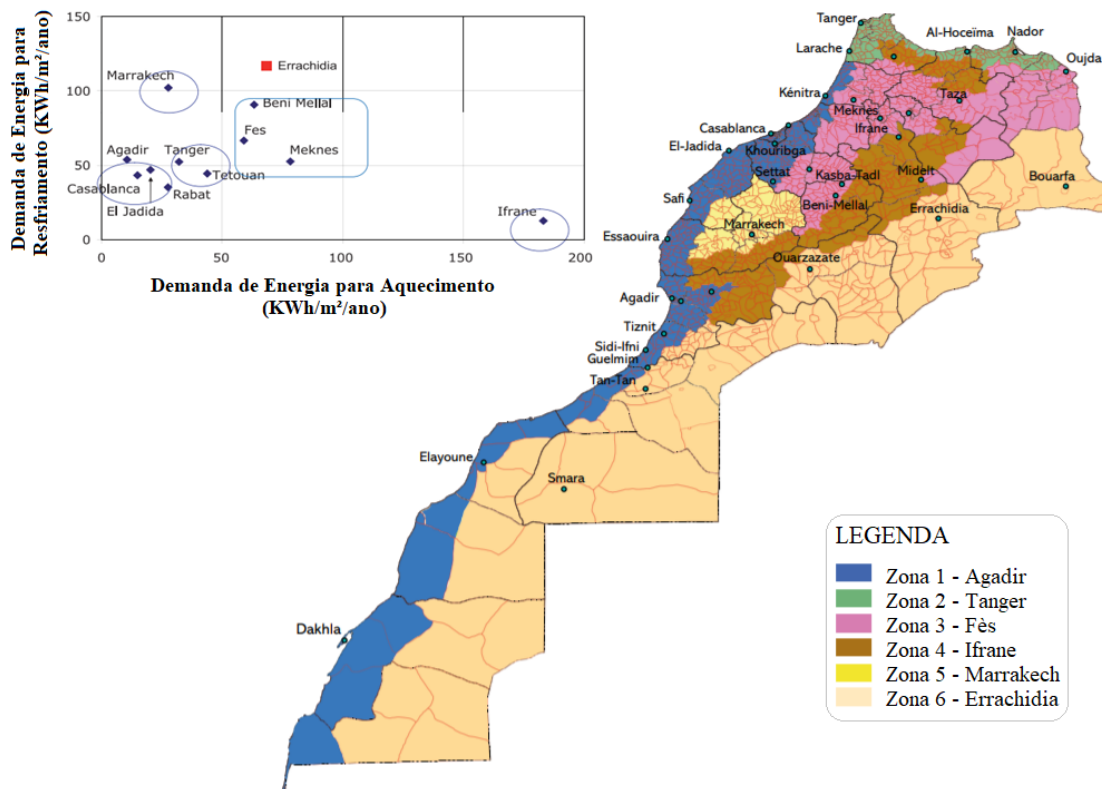


Figura 3. Zoneamento climático do Marrocos.

No intuito de facilitar a aplicação dos regulamentos de energia, as zonas climáticas foram circunscritas dentro das divisões administrativas do país: *Agadir*, *Tanger*, *Fès*, *Ifrane*, *Marrakech* e *Errachidia*, respectivamente. O zoneamento marroquino é relativamente novo quando comparado aos demais analisados por esta revisão, datando o ano de 2009. Esse foi o único caso encontrado na literatura em que os resultados de simulação foram utilizados como o principal parâmetro para definição das zonas climáticas.

Os regulamentos da ADEREE (2011a,b) também avaliaram o impacto de economia de energia para aquecimento e refrigeração das edificações, após a implementação dos requisitos prescritos para os edifícios em cada zona climática. Os resultados apontam uma economia de energia média de 22 KWh/m²/ano para aquecimento e resfriamento das edificações, podendo chegar até 75 KWh/m²/ano dependendo da zona climática considerada.

Considerações finais sobre o panorama do uso de simulação do desempenho de edifícios em métodos de zoneamento climático

A sistematização das publicações abarcadas neste estudo de revisão contribuiu para estabelecer o estado da arte acerca dos modos de uso da simulação do desempenho de edificações em metodologias de zoneamento climático e os resultados decorrentes dessa aplicação. A fim de consolidar o panorama até então apresentado, nesta Seção serão discutidos alguns pontos fundamentais evidenciados neste levantamento.

A princípio, em contexto global, verificou-se que o artigo de Walsh *et al.* (2017a) era o único estudo de revisão disponível na literatura que retratasse a diversidade dos métodos possíveis para realizar o zoneamento climático de um país. Apesar disso, em um contexto restrito, não foi encontrado nenhum outro estudo de revisão que se aprofundasse no uso de simulação em metodologias de zoneamento climático. Tal fato demonstra a carência na literatura de publicações nesse sentido e atesta a novidade desta pesquisa para a comunidade científica.

Ademais, ao analisar os diferentes métodos utilizados para o zoneamento climático de 63 países e 1 nação insular (Tabela 1), verificou-se que:

- Os zoneamentos climáticos podem originar-se de três abordagens distintas: (i) centradas no clima, (ii) baseadas em desempenho ou (iii) fundamentadas em outros critérios;
- Não há consenso entre os autores acerca da metodologia mais adequada para realizar o zoneamento climático de um país.

Com relação às abordagens, o primeiro grupo considera principalmente o tipo de clima atuante em cada região alvo do zoneamento climático, sendo as zonas diferenciadas por padrões climáticos. As abordagens baseadas em desempenho conciliam as influências do clima no desempenho termoenergético do estoque de edificações. Nesse grupo, a definição das zonas climáticas leva em consideração o tipo de edificação característica de cada local, o consumo de energia, o conforto térmico dos ocupantes etc. Há ainda abordagens fundamentadas em outros critérios, as quais não consideram o clima e nem o desempenho das edificações como preponderantes na delimitação das zonas climáticas, mas sim aspectos geográficos ou relacionados a divisões administrativas do território do país.

Logo, do ponto de vista de políticas e programas de eficiência energética das edificações, os métodos cuja abordagem busca conciliar as interações climáticas com o desempenho do ambiente construído mostram-se mais adequados para compor regulamentos de energia. Isto posto, quanto à falta de consenso sobre o procedimento mais apropriado para construir o zoneamento climático de um país, acredita-se que uma padronização da técnica utilizada para processamento de dados climáticos e análise do desempenho de edifícios seria o princípio de uma solução.

Nesse sentido, no rol das ferramentas comumente utilizadas (dispostas na Tabela 4) a simulação computacional termoenergética de edifícios é um mecanismo suficientemente robusto para lidar com as complexas interações entre o clima e o desempenho do estoque de edificações de um país. Aliás, com relação ao uso de simulação em específico, observou-se uma tendência entre os autores em aplicá-la tanto para validação, definição ou ajuste das zonas climáticas, com ótimos resultados obtidos. Aliás, nas pesquisas em que diferentes métodos eram comparados, os autores unanimemente escolhiam aquele em que o zoneamento climático estava condizente com os resultados das simulações do desempenho de edifícios.

Tabela 3. Variáveis, técnicas e demais parâmetros encontrados nas metodologias de zoneamento climático de 63 países e 1 Estado insular.

Classificação	Variável, técnica ou parâmetro utilizado no zoneamento climático
Variáveis climáticas	Temperatura Umidade relativa Radiação solar Precipitação pluviométrica Direção e velocidade do vento Amplitude térmica
Técnicas para avaliação do desempenho termoenergético de edifícios e processamento de dados climáticos	Graus-dia de aquecimento/resfriamento Graus-hora de desconforto térmico Simulação do desempenho de edificações Análise de <i>cluster</i> Carta bioclimática de Givoni Tabelas de Mahoney
Outros parâmetros	Altitude Divisões administrativas Sazonalidade Arquitetura vernacular Classificação de Köppen-Geiger Índices de conforto térmico Impacto / Previsão das mudanças climáticas Inversão térmica Índice de severidade climática Distância em relação ao Oceano Dimensões de aglomeração urbana

Tal fato evidencia que a adoção de simulação conduz às melhores práticas para realizar o zoneamento climático de um país e, portanto, é a ferramenta mais adequada para a padronização da técnica. Ademais, o uso de simulação contribui para minimizar outro grande problema identificado neste artigo: a prática de considerar os zoneamentos válidos *per se* após concluídos, algo bastante comum antes do desenvolvimento dos métodos de validação.

Contudo, também foram identificados alguns fatores limitantes ao uso dessa ferramenta em metodologias de zoneamento climático. O primeiro é que essa é uma linha de pesquisa recente e ainda pouco explorada na literatura. Outro fator que pode restringir seu uso é a necessidade de dados climáticos detalhados, os quais nem sempre estão disponíveis dependendo da região analisada. Além disso, os modelos considerados nos métodos devem ser representativos do estoque de edifícios local, mas em muitos países há carência de dados sobre as tipologias arquitetônicas típicas, bem como das taxas de ocupação das mesmas e dos modos de uso e operação dos sistemas de condicionamento de ar, ventilação, iluminação etc.

Da análise às publicações referentes aos zoneamentos climáticos de 64 nações (Tabela 1), foi encontrada uma ampla gama de parâmetros considerados nos métodos, envolvendo: (i) variáveis climáticas, (ii) técnicas para processamento de dados climáticos e avaliação do consumo de energia e conforto térmico das edificações e (iii) parâmetros complementares, os quais foram compilados na Tabela 4.

Com relação ao uso de simulação do desempenho de edifícios em metodologias de zoneamento climático, da análise às 13 metodologias sistematizadas neste estudo de revisão, constatou-se que esta ferramenta era comumente aplicada em conjunto com os indicadores de graus-dia para arrefecimento / aquecimento ou graus-hora de desconforto por calor/frio, o que ocorreu em cerca de 60% dos casos (Figura 5).

Ainda assim, a análise de *cluster* combinada à simulação do desempenho de edifícios parece fornecer os melhores resultados para realizar o zoneamento climático de um país, embora essa combinação tenha ocorrido em apenas 20% dos casos em que a simulação foi utilizada. Com relação às variáveis climáticas, a temperatura do ar aparece em todas as vezes que a simulação foi aplicada às metodologias de zoneamento climático.

A Figura 4 resume a quantidade de vezes em que cada variável, técnica ou parâmetro foi utilizado nos métodos de zoneamento climático presentes nos estudos sistematizados neste artigo.

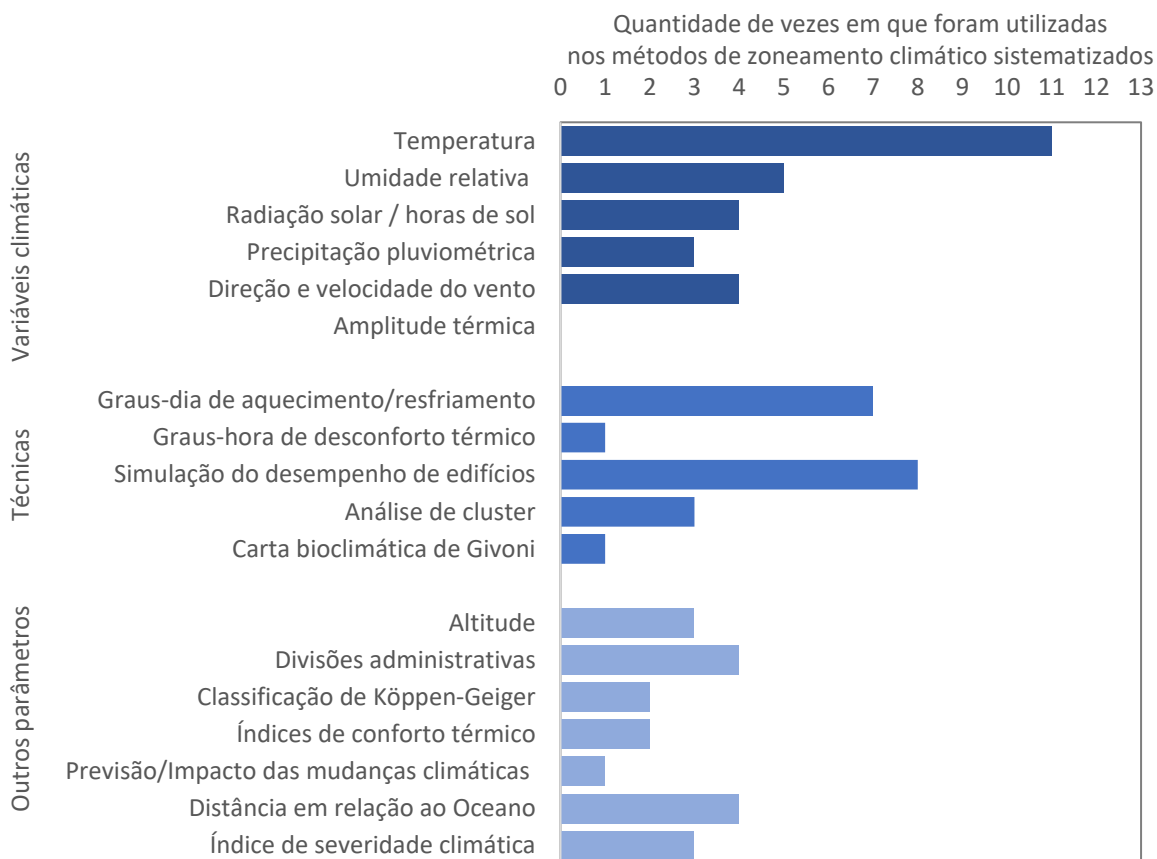


Figura 4. Ocorrência nos métodos de zoneamento climático de: variáveis climáticas, técnicas para avaliação do consumo de energia e outros parâmetros complementares.

Foi detectada também a ocorrência de um novo parâmetro em procedimentos de zoneamentos climáticos: o impacto ou a previsão das mudanças climáticas. De fato, as mudanças climáticas tem ocorrido de forma mais contundente nas últimas décadas (Ferreira da Costa *et al.*, 2018). A avaliação das mudanças climáticas possibilita compatibilizar os dados de clima medidos com previsões das variações de temperatura futuras (Roriz, 2012b). A constatação desse parâmetro é inédita, uma vez que não foi identificado no levantamento de Walsh *et al.* (2017a).

Outrossim, na época em que realizaram seu estudo, Walsh *et al.* (2017a) identificaram quatro ocorrências do uso de simulação em metodologias de zoneamento climático. Agora, esse número subiu para oito, o que pode indicar o possível surgimento de uma tendência entre os formuladores de zoneamento climático. Sem embargo, também é importante salientar que a

maioria dos estudos levantados referem-se a propostas ou pesquisas acadêmicas, de modo que Marrocos e Espanha permanecem como os únicos representantes em que o zoneamento vigente é fruto dos resultados de simulação de edificações, o que corresponde a 3% do total de países investigados. O baixo percentual atesta que a simulação computacional de edifícios ainda é pouco explorada na construção de zoneamentos climáticos.

Ainda assim, o panorama do uso de simulação demonstrou o grande potencial dessa ferramenta para avaliação da precisão dos zoneamentos climáticos criados a partir de outros métodos, uma vez que os autores comumente optavam pelo zoneamento mais próximo do mapa de desempenho e, não raro, ajustavam as zonas climáticas com base nos resultados das simulações ou, ainda, propunham a construção de novos zoneamentos climáticos adequados ao estoque de edificações de cada país. Verichev *et al.* (2019) constataram, inclusive, que a simulação é um dos parâmetros ótimos para a criação de zoneamentos climáticos destinados a regulamentos de eficiência energética das edificações.

Portanto, em resposta à questão central deste estudo de revisão, o consenso entre os autores evidencia que o uso dessa ferramenta resulta em zoneamentos climáticos mais adequados para aplicação em políticas e documentos normativos de eficiência energética. Os formuladores de políticas e regulamentos de energia podem usar as informações contidas nesta pesquisa para ponderar acerca da importância de cada método na definição dos zoneamentos climáticos e direcionar esses documentos conforme os tipos de edificações específicas de cada país.

Conclusões

Este estudo examinou 83 publicações referentes ao zoneamento climático de 64 nações, a fim de estabelecer o panorama do uso de simulação do desempenho de edifícios em metodologias de zoneamento climático. Dessa análise, foram extraídas as seguintes conclusões:

- Há carência na literatura de estudos de revisão que investiguem o uso de simulação em metodologias de zoneamento climático e os resultados dessa aplicação.
- Nos estudos em que a simulação do desempenho de edifícios foi utilizada, verificou-se que os resultados de simulação foram aplicados tanto para validação de zoneamentos climáticos quanto para definição de zonas climáticas.
- Dentre as 64 nações investigadas, apenas em sete foram encontrados estudos em que a simulação foi, de algum modo, usada no método de zoneamento climático, a saber: África do Sul, Chile, China, Espanha, Estados Unidos, Marrocos e Nicarágua.
- Desses, apenas Marrocos e Espanha possuem os zoneamentos climáticos vigentes e regulamentos de eficiência energética construídos com base em resultados de simulação de desempenho de edificações.

- Nos Estados Unidos e Nicarágua, os resultados de simulação foram utilizados para validar os zoneamentos climáticos originários de outras metodologias, identificando as áreas que possivelmente foram incorretamente classificadas em cada procedimento, algo até então inédito na literatura.
- Quanto à África do Sul, Chile e China, os zoneamentos climáticos são representados por propostas de pesquisas acadêmicas, nas quais a simulação foi utilizada em conjunto com outros métodos para definição e validação das zonas climáticas. Ainda que sem valor legal, esses estudos demonstraram a necessidade de atualização dos zoneamentos em vigência nesses países.
- Dentre os métodos que fizeram uso de simulação, constatou-se que a combinação de graus-dia com os resultados de simulação foi o método mais aplicado para definição das zonas climáticas.
- Ainda assim, do ponto de vista de políticas e documentos normativos de eficiência energética, a análise de *cluster* combinada com o uso de simulação parece fornecer os melhores resultados para construção de um zoneamento climático.
- Há evidências na literatura de que o uso de simulação resulta em zoneamentos climáticos mais adequados para fins de políticas e regulamentos normativos de eficiência energética das edificações, apesar de ser uma ferramenta ainda pouco explorada pelos autores de zoneamento climático.
- O estudo sistemático apresentado neste artigo é significativo para os formuladores de políticas e regulamentos de energia ponderarem a importância de cada método na definição dos zoneamentos climáticos e direcionar esses documentos conforme os tipos de edificações específicas de cada país.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências bibliográficas

- ABCB, Australian Building Codes Board (2013) *National Construction Code*, Canberra, Australia, 799 pp.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) *NBR 15.220: Desempenho térmico de edificações*, Rio de Janeiro, Brasil, 66 pp.
- ADEREE, Agence Nationale pour le Développement des Énergies Renouvelables et de l'Éfficacité Énergétique (2011a) *Règlement Thermique de Construction au Maroc*, Rabat, Marrocos, 52 pp.
- ADEREE, Agence Nationale pour le Développement des Énergies Renouvelables et de l'Éfficacité Énergétique (2011b) *Les éléments techniques du projet de la réglementation thermique du bâtiment au Maroc*, Rabat, Marrocos, 36 pp.

- ANER, Agence Nationale des Energies Renouvelables (2004) *Zonage climatique pour la Tunisie*, Tunísia, 16 pp.
- Araya, A., Keesstra, S. D., Stroosnijder, L. (2010) A new agro-climatic classification for crop suitability zoning in northern semi-arid Ethiopia, *Agricultural and Forest Meteorology*, **150**(7-8), 1057-1064.
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2013a) *Standard 90.1-2013: Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings*, Estados Unidos, 174 pp.
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2013b) *Standard 169-2013: Climatic Data for Building Design Standards*, Estados Unidos, 100 pp.
- ASI, Austrian Standards International (2019) *ÖNORM B 8110-5: 2019 03 15: Thermal Insulation in Building Construction Part 5: Model of climate and user profiles*, Áustria, 51 pp.
- Behrendt, B., Christensen, J. E. (2013) Climate classification for the simulation of thermally activated building systems (TABS), *13th Conference of International Building Performance Simulation Association (IBPSA)*, Chambéry, France, 3614-3621.
- Bodach, S. (2014) Developing bioclimatic zones and passive solar design strategies for Nepal. *30th International PLEA Conference*, Ahmedabad, India, 1-8.
- Bouchlaghem, N. M., Letherman, K. M. (1990). Numerical optimization applied to the thermal design of buildings. *Building and environment*, **25**(2), 117-124.
- Brasil, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (2010) *Portaria n° 372, de 17 de Setembro de 2010, Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)*, Brasília, Brasil, 96 pp.
- Brasil, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (2012a) *Portaria n° 18, de 16 de janeiro de 2012, Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)*, Brasília, Brasil, 138 pp.
- Brasil, Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos (2012b) *Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados*, Brasília, Brasil, 96 pp.
- BRE, Building Research Establishment (2014) *SAP 2012: The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings*, Reino Unido, 234 pp.
- BSEEP, Building Sector Energy Efficiency Project (2013) *Building energy efficiency technical guideline for passive design*, 1 ed., Building Sector Energy Efficiency Project, Malásia, 196 pp.
- Campos Navarro, F. E. (2007) *Arquitetura e clima na Bolívia: uma proposta de zoneamento bioclimático*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil I), Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 198 pp.
- Carpio, M., Jódar, J., Rodríguez, M. L., Zamorano, M. (2015) A proposed method based on approximation and interpolation for determining climatic zones and its effect on energy demand and CO₂ emissions from buildings, *Energy and Buildings*, **87**, 253-264.
- Conradie, D, Van Reenen, T, Bole, S. (2018) Degree-day building energy reference map for South Africa, *Building Research & Information*, **46**(2), 191-206, 2018.
- Cordeiro, A. M. Oliveira, G. M. D., Rentería, J. M., Guimarães, C. A. (2007) Revisão sistemática: uma revisão narrativa, *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*, **34**(6), 428-431.
- Dascalaki, E. G., Balaras, C. A., Gaglia, A. G., Droutsas, K. G., Kontoyiannidis, S. (2012) Energy performance of buildings – EPBD in Greece, *Energy Policy*, **45**, 469-477.
- David, A., Sirabaha, S. (2008) *Climate of Brunei Darussalam*, Brunei Meteorological Services, Department of Civil Aviation, Ministry of Communication, Brunei Darussalam, 10 pp.
- De La Flor, F. J. S., Domínguez, S. Á., Félix, J. L. M., Falcón, R. G. (2008) Climatic zoning and its application to Spanish building energy performance regulations. *Energy and Buildings*, **40**(10), 1984-1990.
- DBH, Department of Building and Housing (2011) *Compliance Document for New Zealand Building Code: Clause H1 Energy Efficiency*, 3 ed., Department of Building and Housing, Nova Zelândia, 30 pp.

- DIN, Deutsches Institut für Normung (2013) *Thermal Protection and Energy Economy in Buildings - Part 2: Minimum Requirements to Thermal Insulation*, Alemania, 34 pp.
- Erell, E., Portnov, B. A.; Etzion, Y. (2003) Mapping the potential for climate-conscious design of buildings, *Building and environment*, **38**(2), 271-281.
- Eshraghi, H., Ansari, M., Moshari, S., & Gholami, J. (2019) Climatic zoning and per capita demand forecast of Iran using degree-day method, *Advances in Building Energy Research*, 1-26.
- Evans, J. M. (2004) Zonificación Bioclimática en Latinoamérica para una Arquitectura Sustentable, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **8**(1), 163-168.
- Evans, M., Shui, B., Takagi, T. (2009) *Country report on building energy codes in Japan*, Pacific Northwest National Lab., Richland, WA, Estados Unidos, 32 pp.
- Ferreira da Costa, J. M., Marcos Junior, A. D., Silveira, C. D. S., Vasconcelos Júnior, F. D. C. (2018) Influência das mudanças climáticas, projetadas pelo IPCC, na aridez do Brasil, *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, **11**(3), 429-442.
- GC-NRC, Government of Canada - National Research Council (2015) *National Energy Code of Canada for Buildings*, Ottawa, Canadá, 238 pp.
- Givoni, B. (1991). Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems. *Energy and buildings*, **17**(3), 177-199.
- Givoni, B. (1992). Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. *Energy and Buildings*, **18**(1), 11-23.
- GI-MP, Government of India - Ministry of Power (2011) *Energy Conservation Building Code User Guide*, 2 ed., Bureau of Energy Efficiency, Nova Deli, Índia, 176 pp.
- Grudzińska, M., Jakusik, E. (2017) Energy performance of buildings in Poland on the basis of different climatic data, *Indoor and Built Environment*, **26**(4), 551-566.
- Hensen, J. L. M.; Lamberts, R. (2011) *Building performance simulation for design and operation*, 1 ed., Spon Press, Nova Iorque, Estados Unidos, 511 pp.
- Hjorth, Hans-Ok, Johansson, T., Svensson, O. (2011) *Implementation of the EPBD in Sweden Status in November 2010*, Concerted Action Energy Performance of Buildings, União Europeia (UE), 13pp.
- Hong, T., Chang, W. K., Lin, H. W. (2013). A fresh look at weather impact on peak electricity demand and energy use of buildings using 30-year actual weather data. *Applied Energy*, **111**, 333-350.
- Huang, J., Deringer, J. (2007) *Status of Energy Efficient Building Codes in Asia (China, Hong Kong, Taiwan, Japan, Korea, Malaysia, Philippines, Singapore, Thailand, India)*, Asia Business Council, Hong Kong, 65 pp.
- ICC, International Code Council (2011) *International Energy Conservation Code 2012*, 1 ed., ICC, Illinois, Estados Unidos, 155 pp.
- IEA, International Energy Agency (2020). Acceso em 17 Abril 2020, disponível em: <http://www.iea.org/>
- IRAM, Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2011) *Acondicionamiento térmico de edificios: Clasificación bioambiental de la República Argentina*, Buenos Aires, Argentina, 43 pp.
- Itália, Decreto Legislativo 192 (2005) *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia. Allegato C: Requisiti della prestazione energetica degli edifici*, promulgada oficialmente em 19 de agosto de 2005.
- Johansson, E., Ouahrani, D., Al-Asir, H., Awadallah, T., Blomsterberg, Å., Håkansson, H., Hellström, B., Kvist, H. (2009) *Climate conscious architecture and urban design in Jordan*, 1 ed., Lund University, Lund, Sweden, 118 pp.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006) World map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift*, **15**(3), 259-263.
- Kunchornrat, A., Namprakai, P., Du Pont, P. T. (2009) The impacts of climate zones on the energy performance of existing Thai buildings, *Resources, conservation and recycling*, **53**(10), 545-551.
- Lau, C. C. S., Lam, J. C., Yang, L. (2007) Climate classification and passive solar design implications in China, *Energy Conversion and Management*, **48**(7), 2006-2015.

- Lin, T., Matzarakis, A. (2011) Tourism climate information based on human thermal perception in Taiwan and Eastern China, *Tourism Management*, **32**(3), 492-500.
- MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012) *Criterios Ambientales para el diseño y construcción de vivienda Urbana*, Bogotá, Colombia, 201 pp.
- Mahmoud, A. H. A. (2011) An analysis of bioclimatic zones and implications for design of outdoor built environments in Egypt, *Building and Environment*, **46**, 605-620.
- ME, Ministerio de Educación (2008) *Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos*, Lima, Peru, 114pp.
- ME, Ministry of the Environment (2012) *National Building Code of Finland, Part D5, Calculation of Energy Consumption and Heating Power of Buildings*, Helsinki, Finlandia, 67 pp.
- MEP-SI, Ministry of Environmental Protection - Israeli Standard (2002) *SI 1045 Thermal Insulation of Buildings. Part 10: Classification of Settlements According to Climatological Regions*, Tel Aviv, Israel, 2002.
- METL, Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement (2013) *Réglementation Thermique 2012: RT 2012*, Journal Officiel de la République Française, de 1° de Janeiro de 2013.
- MF, Ministerio de Fomento (2017) *Documento descriptivo climas de referencia*, Espanha, 7 pp.
- MF, Ministerio de Fomento (2019) *Real Decreto 732, de 20 de diciembre de 2019, Documento básico HE Ahorro de energía*, Espanha, 50 pp.
- MH, Ministère de l'habitat (1997) *Document Technique Réglementaire C 3-2: Réglementation thermique des bâtiments d'habitation - règles de calcul des déperditions calorifiques*, Argélia, 1997, 72 pp.
- MIDUVI, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2011) *Norma Ecuatoria de la Construcción NEC-11 Eficiencia Energética en la construcción en Ecuador*, Quito, Ecuador, 51 pp.
- MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2008) *Norma Chilena Oficial NCh1079/2008, Arquitectura y Construcción, Zonificación Climático-Habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*, Santiago de Chile, Chile, 44 pp.
- MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2018) *OGUC – Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*, Santiago de Chile, Chile, 426 pp.
- Molle, D., Patry, P. (2013) *RT 2012 et RT Existant: Réglementation thermique et efficacité énergétique*, 2 ed., Eyrolles Environnement, Paris, França, 211 pp.
- Mughal, M. O., Li, X. X., Yin, T., Martilli, A., Brousse, O., Dissegna, M. A., Norford, L. K. (2019) High-resolution, multilayer modeling of Singapore's urban climate incorporating local climate zones, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **124**(14), 7764-7785.
- Mureşan, A. (2015) *Romanian Standards for Energy Performance in Buildings – Translation of the Romanian Standards for Energy Performance in Buildings*, Sustainable Buildings Design Lab, Universitdade de Liege, Bélgica, 61 pp.
- NEN, Normalisatie-instituut (2011) *NEN 7120:2011: Energy performance of buildings - Determination method*, Holanda, 73 pp.
- Novikova, A., Csoknyai, T., Miljanic, Z., Gligoric, B., Vušanovic, I., Szalay, Z. (2015) *The Typology of the Residential Building Stock in Montenegro and the Modelling of its Low-Carbon Transformation*, Support for Low Emission Development in South East Europe (SLED), December 2015, 124 pp.
- Ogunsote, O. O., Prucnal-Ogunsote, B. (2002) Defining climatic zones for architectural design in Nigeria: a systematic delineation, *Journal of Environmental Technology*, **1**(2), 1-14.
- Olgay, V. (1973). *Design with climate bioclimatic approach to architectural regionalism*, 1 ed., Princeton University Press, Princeton, Nova Jersey, Estados Unidos, 190 pp.
- ONNCCE, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de Construcción y Edificación (2008) *Anteproyecto de Norma Mexicana APROY-NMX-C-460-ONNCCE-2007*, Versión 15 de Julio de 2008, México DF., 53 pp.
- Pajek, L., Košir, M. (2018) Implications of present and upcoming changes in bioclimatic potential for energy performance of residential buildings, *Building and Environment*, **127**, 157-172.

- Park, D. J., Yu, K. H., Yoon, Y. S., Kim, K. H., Kim, S. S. (2015) Analysis of a building energy efficiency certification system in Korea, *Sustainability*, **7**(12), 16086-16107.
- Pashynskiy, V., Pashynskiy, M., Pushkar, N., Skrynnik, I. (2019) Method of administrative-territorial zoning of the design parameters of air temperatura, *E-Gfos*, **10**(19), 50-57.
- Pejter, J., Gebauer, P. (2011) *Implementation of the EPBD in Czech Republic Status in November 2010*, Concerted Action Energy Performance of Buildings, União Européia (EU), 11 pp.
- Pusat, S.; Ekmekci, I. (2016) A study on degree-day regions of Turkey, *Energy Efficiency*, **9**(2), 525-532.
- Rakoto-Joseph, O., Garde, F., David, M., Adelard, L., Randriamanantany, Z. A. (2009) Development of climatic zones and passive solar design in Madagascar, *Energy Conversion and Management*, **50**, 1004-1010.
- Portugal, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações (2006) *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, Aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/1990, de 6 de Fevereiro, Lisboa, Portugal, 164 pp.
- Portugal, Ministério da Economia e do Emprego (2013) *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação*, Aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, Lisboa, Portugal.
- Prömmel, A. (1978). Increased energy efficiency in existing buildings. *Habitat International*, **3**(5-6), 569-575.
- Roriz, M., Ghisi, E., Lamberts, R. (1999) Bioclimatic zoning of Brazil: a proposal based on the Givoni and Mahoney Methods. *PLEA 99' Conference*, 211-216.
- Roriz, M. (2012a) *Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro*, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), São Carlos, Brasil, 22 pp.
- Roriz, M. (2012b) *Segunda proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil*, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), São Carlos, Brasil, 13 pp.
- Roriz, M. (2014) *Classificação de climas do Brasil – Versão 3.0*, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), São Carlos, Brasil, 5 pp.
- Rosales, L. (2007) Zonas climáticas para el diseño de edificaciones y diagramas bioclimáticos para Venezuela, *Tecnología y Construcción*, **23**(1), 45-60.
- Roulet, C. (2013) *Draft rules for energy efficiency in buildings: Proposals for United Republic of Tanzania*, The United Nations Human Settlements Programme, Suíça, 97 pp.
- SANS 204, South African National Standard (2011) *Energy efficiency in buildings, Annexure A: Climatic zones of South Africa*, Pretoria, África do Sul, 19 pp.
- SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2010) *SIA Merkblatt 2028: Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik*, Suíça, 80 pp.
- SCCR, the State Committee for Construction of Russia (2012) *Aktualizirovannaya versiya SNIP 23-01-99: Stroitel'naya klimatologiya*, Rússia, 124 pp.
- Simaku, G. (2017) Albanian building stock typology and energy building code in progress towards national calculation methodology of performance on heating and cooling, *European Journal of Multidisciplinary Studies*, **2**(5), 13-35.
- SLSEA, Sri Lanka Sustainable Energy Authority (2009) *Code of Practice for Energy Efficient Buildings in Sri Lanka-2008*, publicado em 30 Junho 2009, Sri Lanka, 78 pp.
- STN, Slovak Standard (2012) *STN 73 0540-3: Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov, Tepelná ochrana budov, Časť 3: Vlastnosti prostredia a stavebných výrobkov*, Slovakia, publicada em 1 Julho de 2012.
- Thyholt, M. Pettersen, T. D., Haavik, T., Wachenfeldt, B. J. (2009) *Energy analysis of the Norwegian dwelling stock, Subtask A - internal working document*. International Energy Agency, Solar Heating and Cooling Programme (IEA SHC), Trondheim, Noruega, 66 pp.
- Todorova, S., Kaloyanov, N., Angelieva, V. (2011) *Implementation of the EPBD in Bulgaria Status in November 2010*, Concerted Action Energy Performance of Buildings, União Européia (UE), 13 pp.

- UNDP, United Nations Development Programme (2005) *Climatic Zoning for Buildings in Lebanon*, Beirute, Líbano, 43 pp.
- UNIT, Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (1999) *UNIT 1026:99: Aislamiento térmico en edificios, Zonificación climática*, Uruguay, 22 pp.
- Verichev, K., Carpio, M. (2018) Climatic zoning for building construction in a temperate climate of Chile, *Sustainable Cities and Society*, **40**, 352-364.
- Verichev, K., Zamorano, M., Carpio, M. (2019) Assessing the applicability of various climatic zoning methods for building construction: Case study from the extreme southern part of Chile, *Building and Environment*, **160**, 106165.
- Vinuto, J. (2016) A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto, *Temáticas*, **22**(44), 203 – 220.
- Xiong, J., Yao, R., Grimmond, S., Zhang, Q., Li, B. (2019) A hierarchical climatic zoning method for energy efficient building design applied in the region with diverse climate characteristics, *Energy and Buildings*, **186**, 355-367.
- Walsh, A., Cóstola, D., Labaki, L. C. (2017a) Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs, *Building and Environment*, **112**, 337-350.
- Walsh, A., Cóstola, D., Labaki, L. C. (2017b) Comparison of three climatic zoning methodologies for building energy efficiency applications, *Energy and Buildings*, **146**, 111-121.
- Walsh, A., Cóstola, D., Labaki, L. C. (2018) Performance-based validation of climatic zoning for building energy efficiency applications, *Applied Energy*, **212**, 416-427.
- Walsh, A., Cóstola, D., Labaki, L. C. (2019) Validation of the climatic zoning defined by ASHRAE standard 169-2013, *Energy Policy*, **135**.
- Wang, L., Mathew, P., Pang, X. (2012) Uncertainties in energy consumption introduced by building operations and weather for a medium-size office building, *Energy and Buildings*, **53**, 152–158.
- Webs, M., Deutschländer, T., Christoffer, J. (2004) *Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY*, Deutscher Wetterdienst (DWD), Frankfurt am Main, Alemanha, 6 pp.
- Youssef, A. (2016) Climate zone map (CZM) tool for building energy compliance in Saudi Arabia, *ASHRAE Winter Conference*, Orlando, Florida, United States.