

BIBLIOMETRIA APLICADA AO USO DE CÂMARAS CLIMÁTICAS EM ESTUDOS DE CONFORTO AMBIENTAL¹

TAMURA, C. A., Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e-mail: cintiatamura@gmail.com; RIBEIRO, D. A., UTFPR, danielaerberibeiro@gmail.com; TREVISAN, L. Y. I., UTFPR, e-mail: livia.iwamura@gmail.com; KRÜGER, E., UTFPR, e-mail: ekruger@utfpr.edu.br

ABSTRACT

Climate chambers (CC) allow experimenters to control environmental variables, making it possible to carry out studies on occupant behavior and perception, the built environment and the interrelations between these areas. Considering the scope and multidisciplinary nature of the area, a bibliometric survey was carried out on CC, aiming to classify dominant fields of study and the main terms associated to it. In this paper, bibliometric techniques are used from a sample of 3909 articles obtained from the Web of Science repository in November 2017, for the time period 2012-2017. Four terms usually associated with CC were identified: "Climate + chamber"; "Climatic + chamber"; "Environmental + chamber" and "Test + chamber". The most representative research topics were identified and Keyword Maps generated with VOSviewer, from which interactions between terminologies and study areas could be observed.

Keywords: *Climate Chamber. Environmental Comfort. Bibliometry.*

1 INTRODUÇÃO

Conceitua-se eficiência energética como a melhoria do desempenho de um sistema complexo, projetado para atender às necessidades de conforto, segurança e bem-estar de ambientes de moradia e trabalho (DOE, 2015). No Brasil, o consumo de energia para condicionamento de edificações é relevante, considerando-se que em 2011, 46,7% do consumo total de energia elétrica era associado a edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Entre os fatores que influem no consumo energético, destacam-se o padrão de vida da população e as condições meteorológicas como principais fatores que influenciam no consumo energético. Entretanto, há grande complexidade envolvida na dinâmica das edificações: (1) seu uso, ocupação e operação; (2) a percepção dos usuários quanto ao conforto ambiental proporcionado; (3) o comportamento físico da envoltória das edificações, e (4) sua relação com as condições climáticas. Ademais, são também fatores de influência parâmetros associados ao design e aos sistemas de climatização (DONAISKY; OLIVEIRA; MENDES, 2010).

Nesse contexto, a utilização de câmaras climáticas (CC) como suporte a estudos de conforto ambiental pode contribuir significativamente na incorporação de mecanismos ativos e passivos de climatização em ambientes internos. CC possibilitam o monitoramento de variáveis ambientais, oportunizando realizar estudos em um âmbito sistêmico,

¹ TAMURA, C. A.; RIBEIRO, D. A.; TREVISAN, L. Y. I.; KRÜGER, E. L. Bibliometria aplicada à análise da utilização de câmaras climáticas em estudos de conforto ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

abrangendo desde relações entre humanos e o ambiente construído, passando pela dinâmica da eficiência energética em edificações, pela avaliação de desempenho de materiais construtivos, entre outros.

O trabalho propõe-se a explorar o tema CC, as principais terminologias utilizadas, a evolução da produção científica acerca do tema, quais áreas do conhecimento mais se utilizam deste recurso em pesquisas, além da identificação de tendências dentro desse escopo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção contextualiza as CC voltadas a estudos de conforto ambiental e eficiência energética, e conceitua a técnica de análise de dados utilizada no trabalho, a bibliometria.

2.1 Câmaras climáticas

Uma câmara climática é configurada por um volume fechado com controle de temperatura e umidade interna, dentro de uma faixa pré-definida (CGCRE/INMETRO, 2013). Na área do conforto ambiental, permitem controlar variáveis ambientais e pessoais, além de simular a exposição humana a situações de conforto ou stress térmico (CARVALHAIS, 2011). Para tal, devem apresentar dimensões suficientes para a permanência do usuário (*walk-in*). Além disso, CC podem ser construídas no interior de edificações ou expostas ao ambiente externo. Neste caso, é possível realizar estudos de orientação solar, ventilação e precipitação, entre outros agentes naturais.

CC podem ser empregadas nas mais diversas áreas de pesquisa sobre conforto (térmico, acústico, visual, lumínico, etc). No âmbito da arquitetura bioclimática, são objetos de estudo o desempenho térmico de sistemas e componentes construtivos, sistemas de condicionamento passivo e eficiência energética de edificações. CC também são utilizadas em pesquisas de saúde e segurança ocupacional, nas áreas de ergonomia, antropometria, psicologia ambiental e aspectos fisiológicos do usuário.

2.2 Análise bibliométrica

A bibliometria avalia aspectos quantitativos da produção, disseminação e utilização de informações registradas. Ademais, permite a observação do panorama do estado da arte de um campo de pesquisa, a evolução do tema, e a visualização da interconexão de suas subáreas, favorecendo a identificação de oportunidades de conexão entre estudos (RANJBAR-SAHRAEI; NEGENBORN, 2017).

Resultados bibliométricos podem ser apresentados numericamente, ou sob a forma de imagens, formatação útil na avaliação de grandes volumes de dados. Dentre os tipos de visualização mais utilizados está o mapa de palavras-chave (MPC), produzido a partir da identificação da coocorrência de três palavras ou termos (VAN ECK; WALTMAN, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODO

Obtiveram-se os artigos científicos na plataforma *Web of Science*, sendo esta o maior banco de citações disponível atualmente (CLARIVATE ANALYTICS, 2018). Realizou-se busca em 23.11.2017, adotando-se os seguintes critérios de inclusão: (a) apenas artigos científicos; (b) recorte temporal de 2012 a 2017; (c) busca realizada nos campos *Title*, *Abstract* e *Keywords*², (d) utilizando os termos "*climate+chamber*", "*climatic+chamber*", "*environmental+chamber*" e "*test+chamber*"³. Estes foram definidos após realização de combinações entre termos indicados na literatura como palavras chave dentro do escopo da pesquisa. Também foram os que ofereceram maior número de retornos em buscas preliminares. Os resultados foram exportados na extensão compatível com o gerenciador de referências EndNote® X6, programa que permitiu extrair dados utilizados nas duas etapas subsequentes da pesquisa.

Passou-se a seguir à segunda etapa bibliométrica, o levantamento da evolução quantitativa de produções ao longo do período avaliado. Na terceira etapa, realizou-se a categorização das coleções de artigos por tema de pesquisa. Levantou-se esta informação a partir da leitura do resumo de todos os trabalhos que compuseram a amostra.

Por fim, para a geração dos MPC com palavras-chave ou termos contidos nos títulos e resumos dos artigos selecionados, utilizou-se o programa VOSviewer® v.1.6.5. Este processo ocorreu em 6 etapas: (a) importação dos dados bibliométricos; (b) quantificação das palavras-chave ou termos; (c) determinação da frequência de coocorrência; (d) filtragem de 60% dos termos mais relevantes a partir de sua recorrência e do sistema de pesos atribuído pelo programa; (e) exclusão manual de termos não relevantes, como: "*et al.*", "*journal*", "*total*", entre outros e (f) geração do mapa. Estes apresentam os agrupamentos formados, representados por diferentes cores, indicando a proximidade da relação entre os termos.

As etapas da pesquisa são resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 – Protocolo de pesquisa - bibliometria

Etapa	Objetivo	Materiais
1 - Levantamento	Formar coleção de artigos a serem avaliados a partir da busca pelos termos " <i>Climate+chamber</i> ", " <i>Climatic+chamber</i> ", " <i>Environmental+chamber</i> " e " <i>Test+chamber</i> " nos campos <i>Title</i> , <i>Abstract</i> e <i>Keywords</i>	Base de dados Web of Science
2 - Produção anual por termo	Identificar evolução anual da produção científica para cada termo analisado	EndNote® X6
3 - Categorização	Identificar o objeto de estudo de cada trabalho que compõe a coleção	
4 - Associações com redes de palavras-chave	Identificar associações entre termos e áreas de estudo	Vosviewer® v.1.6.5

Fonte: os autores

2 Título, Resumo e Palavras chave.

3 "Câmara+climática", "Câmara+de clima", "Câmara+ambiental", "Câmara+de teste".

4 RESULTADOS

O levantamento realizado no *Web of Science* resultou em 3909 artigos, distribuídos por termos de busca (Tabela 1).

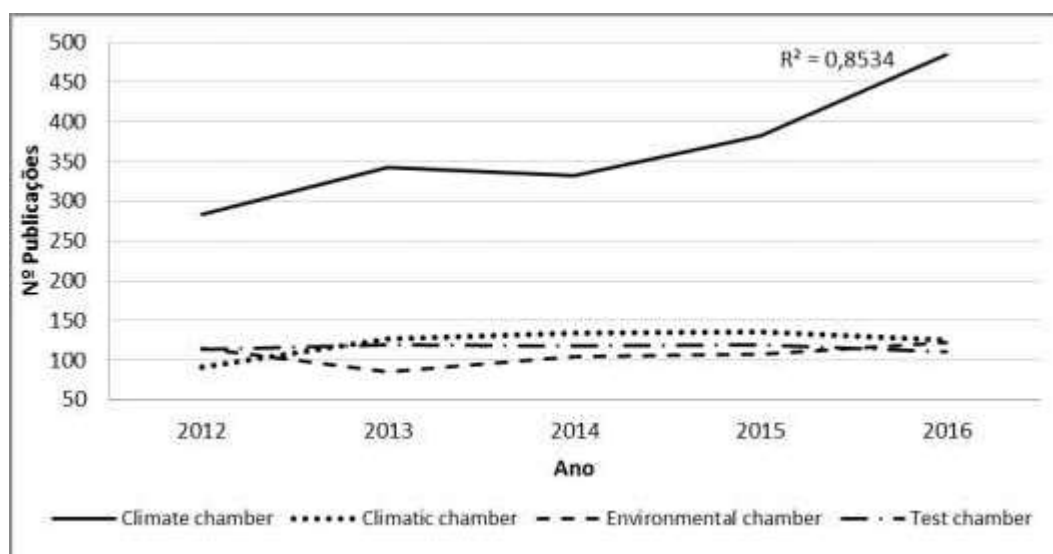
Tabela 1 – Quantidade e porcentagem (%) de artigos por termo consultado

Termos	Qtde.	%	Classificação
"Climate+chamber"	2001	51	1°
"Climatic+chamber"	659	17	3°
"Environmental+chamber"	621	16	4°
"Test+chamber"	628	16	2°
Total	3909	100	

Fonte: os autores

O termo "*climate+chamber*" apresentou o maior número de resultados (51%), enquanto que a frequência para os três demais termos manteve-se equivalente, representando individualmente 16% a 17% do total. A distribuição da produção para cada termo por ano avaliado, por sua vez, é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição de artigos por termo pesquisado no período avaliado



Fonte: os autores

O número de publicações para o termo “*climate chamber*” cresceu proporcionalmente no período avaliado com $R^2=0,85$, sendo a produção 331% maior, quando comparada à média conjunta dos três outros termos. Estes, por sua vez, apresentam individualmente produção equivalente, com média anual de 110($dp=\pm 6$) e tendência de evolução estanque.

A próxima etapa consistiu na categorização dos artigos que compuseram a amostra avaliada em temas, tendo por referência seu objeto de estudo. Identificaram-se cinco grandes grupos:

1. Desempenho de materiais: subdivididos em construção civil e outras áreas;
2. Sentidos: avaliação da audição, conforto térmico, olfato e visão;
3. Câmara climática: CC como objeto de estudo em si;
4. Humanos: resposta humana a estímulos ambientais;
5. Outros seres: estudos focados em organismos unicelulares a ecossistemas.

Os resultados desta caracterização são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Categorização dos artigos de cada termo por tema de pesquisa

TERMOS	"Climate +chamber"			"Climatic +chamber"			"Environmental +chamber"			"Test +chamber"			Σ por Tema		
	Qtd. (*)	% (**)	Pos. (***)	Qtd. (*)	% (**)	Pos. (***)	Qtd. (*)	% (**)	Pos. (***)	Qtd. (*)	% (**)	Pos. (***)	Qtd. (*)	% (**)	Pos. (***)
1 -MATERIAIS															
1.1 – Materiais e sistemas - construção civil	81	4,0	4°	72	10,9	3°	66	10,6	3°	37	5,9	3°	256	6,5	4°
1.2 - Outros materiais	462	23,1	2°	206	31,3	2°	353	56,8	1°	474	75,5	1°	1495	38,2	2°
2 - SENTIDOS															
2.1 - Audição	1	0,0	8°	2	0,3	7°	1	0,2	9°	1	0,2	8°	5	0,1	8°
2.2 - Conforto térmico	27	1,3	5°	15	2,3	5°	18	2,9	5°	9	1,4	6°	69	1,8	5°
2.3 - Olfato	0	0,0	9°	0	0,0	9°	5	0,8	8°	13	2,1	3°	18	0,5	7°
2.4 - Visão	2	0,1	7°	1	0,2	8°	13	2,1	7°	4	0,6	7°	20	0,5	7°
3 - CÂMARA CLIMÁTICA	16	0,8	6°	13	2,0	6°	14	2,3	6°	11	1,8	4°	54	1,4	6°
4 - HUMANOS	122	6,1	3°	71	10,8	4°	65	10,5	4°	10	1,6	5°	268	6,9	3°
5 - OUTROS SERES	1290	64,5	1°	279	42,3	1°	86	13,8	2°	69	11,0	2°	1724	44,1	1°
TOTAL	2001	100		659	100		621	100		628	100		3909	100	

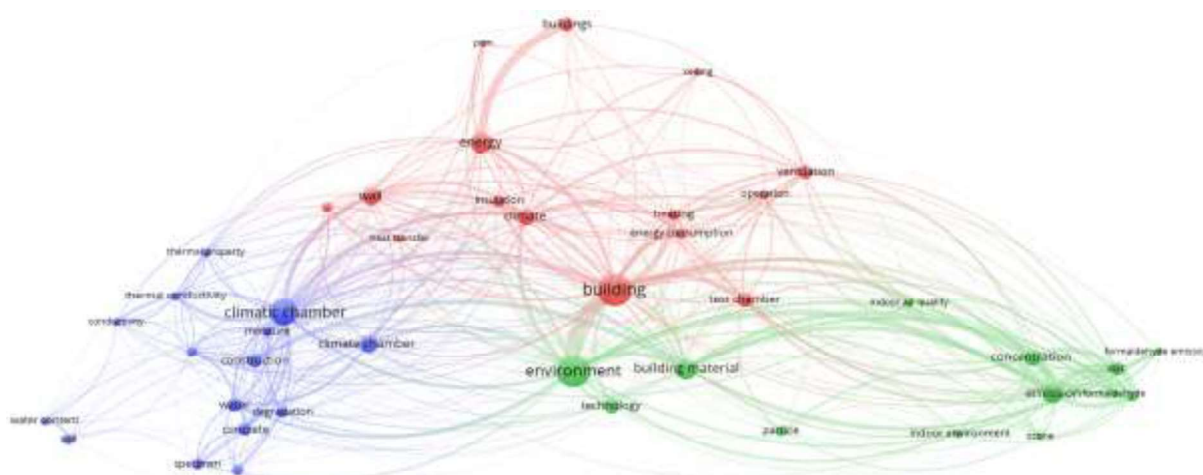
(*) = quantidade; (**) = porcentagem; (***) = posição entre as categorias; 1° lugar para cada termo

Fonte: os autores

A distribuição dos artigos por tema variou entre cada termo pesquisado. "Climate+chamber" e "climatic+chamber" tiveram a maioria dos trabalhos relacionados à categoria 5 (Outros seres). Para "environmental+chamber" e "test+chamber", houve predominância de trabalhos que tratavam de materiais e técnicas não relacionadas à construção.

Considerando-se o somatório dos resultados, duas categorias representam a quase totalidade da amostra avaliada: *Outros seres*, com 1724 artigos e *Outros materiais*, com 1496 artigos, representando 82,3% da amostra.

Na etapa final da bibliometria, criaram-se os MPC, conforme metodologia previamente descrita. Apenas o somatório para todos os termos procurados nas categorias *Materiais e sistemas construtivos* e *Humanos* resultaram em MPC com quantidade significativa de palavras chave e termos. A Figura 2 refere-se à categoria *Materiais e sistemas construtivos* e o Quadro 2 sintetiza os principais termos encontrados.

Figura 2 – MPC, categoria *Materiais e sistemas construtivos*

Fonte: os autores

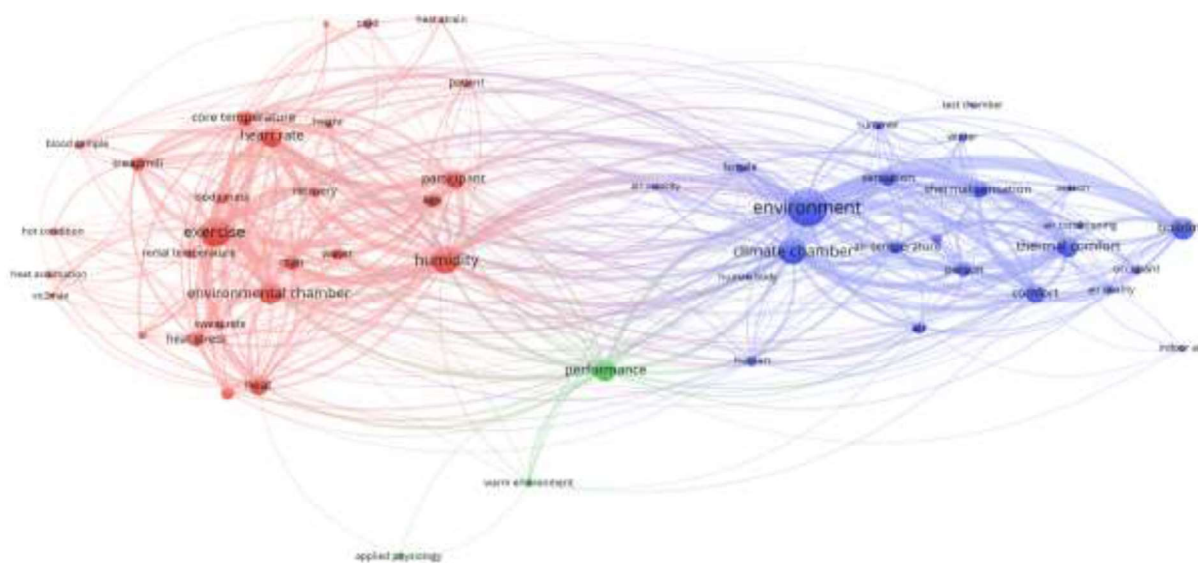
Quadro 2 – Síntese de termos recorrentes, categoria *Materiais e sistemas construtivos*

Agrupamento 1 (Vermelho)		
Variáveis	Termo original	Tradução
Termo(s) de busca	<i>test chamber</i>	câmara de teste
Principal(is) palavra(s) chave	<i>building; energy;</i>	edificação; energia
Outras palavras chave	<i>buildings; ceiling; climate;</i> <i>energy consumption; heat transfer;</i> <i>heating; insulation; operation; pcm;</i> <i>thermal performance; ventilation; wall</i>	edificação; teto; clima consumo de energia; transferência de calor; aquecimento; isolamento; operação; pcm; desempenho térmico; ventilação; parede
Agrupamento 2 (Azul)		
Variáveis	Termo original	Tradução
Termo(s) de busca	<i>climate chamber; climatic chamber</i>	câmara climática
Principal(is) palavra(s) chave	<i>construction</i>	construção
Outras palavras chave	<i>concrete; conductivity;</i> <i>degradation; durability; moisture;</i> <i>soil; specimen; thermal conductivity;</i> <i>thermal property; water; water content</i>	concreto; condutividade; degradação; durabilidade; umidade; solo; espécie; condutividade térmica; propriedade térmica; água; teor de água
Agrupamento 3 (Verde)		
Variáveis	Termo original	Tradução
Termo(s) de busca	---	—
Principal(is) palavra(s) chave	<i>environment; building material</i>	ambiente; materiais de construção
Outras palavras chave	<i>formaldehyde; formaldehyde emission;</i> <i>indoor air quality; indoor environment;</i> <i>ozone; particle; technology;</i> <i>voc; volatile organic compound</i>	formaldeído; emissão de formaldeído; qualidade interna do ar; ambiente interno; ozônio; partícula; tecnologia; cov; composto orgânico volátil

Fonte: os autores

Notam-se três agrupamentos na Figura 2: em vermelho, associado ao termo “*test chamber*”, trata da construção e operação de edificações; em azul, associado a “*climate chamber*” e “*climatic chamber*”, relaciona propriedades físicas de materiais; e em verde, sem termo associado, trata do meio ambiente e materiais de construção.

Na categoria *Humanos*, o MPC (Figura 3) também gerou três agrupamentos. O Quadro 3 contém o descritivo destes achados.

Figura 3 - MPC, categoria *Humanos*

Fonte: os autores

Quadro 3 – Síntese de termos recorrentes, categoria *Humanos*

Agrupamento 1 (Vermelho)		
Variáveis	Termo original	Tradução
Termo(s) de busca	<i>environmental chamber;</i>	câmara ambiental
Principal(is) palavra(s) chave	<i>core temperature; exercise; umidade;</i>	temperatura corporal; exercício; umidade;
Outras palavras chave	<i>age; blood sample; body mass; cold; exhaustion; heat rate; heat acclimation; heat strain; heat stress; height; hot condition; hot environment; man; participant; patient; physiological strain index; recovery; rectal temperature; sweat rate; treadmill; vo2max</i>	idade; amostra de sangue; massa corporal; frio; exaustão; taxa de aquecimento; aclimação térmica; tensão térmica; estresse térmico; altura; condição quente; ambiente aquecido; homem; participante; paciente; índice de estresse fisiológico; recuperação; temperatura retal; taxa de sudorese; esteira; vo2máximo
Agrupamento 2 (Azul)		
Variáveis	Termo original	Tradução
Termo(s) de busca	<i>climate chamber; test chamber</i>	câmara climática; câmara de teste
Principal(is) palavra(s) chave	<i>thermal comfort; thermal sensation</i>	conforto térmico; sensação térmica;
Outras palavras chave	<i>air; air conditioning; air quality; air temperature; air velocity; comfort; female; human; human body; indoor air; occupant; person; season; sensation; summer; winter</i>	ar; ar condicionado; qualidade do ar; temperatura do ar; velocidade do ar; conforto; mulher; humano; corpo humano; ar interno; ocupante; pessoa; estação; sensação; verão; inverno
Agrupamento 3 (Verde)		
Variáveis	Termo original	Tradução
Termo(s) de busca	---	—
Principal(is) palavra(s) chave	<i>performance</i>	desempenho
Outras palavras chave	<i>applied physiology; warm environment</i>	fisiologia aplicada; ambiente aquecido

Fonte: os autores

Na Figura 3 há três agrupamentos: em vermelho, associado a “*environmental chamber*”, relaciona variáveis fisiológicas a parâmetros ambientais; em azul, associado a “*climate chamber*” e “*test chamber*”, trata do conforto térmico no meio construído e da percepção relacionada a alterações sazonais; e em verde, o menor dos três, associa o desempenho a estudos em fisiologia

aplicada e temperatura de ambientes.

5 CONCLUSÕES

A bibliometria demonstrou-se válida na análise de dados, cujo grande volume inviabilizaria sua leitura na íntegra, oferecendo resultados sintéticos, porém relevantes, particularmente em uma fase de aproximação ao objeto de pesquisa. Ademais, a visualização dos MPC possibilitou identificar inter-relações entre as terminologias e as áreas de estudo.

“*Climate chamber*” foi a terminologia mais utilizada para denominar CC; foi também a única que apresentou evolução ascendente ao longo do período avaliado.

Nos estudos com foco no conforto ambiental (materiais e sistemas construtivos) as terminologias em destaque no MPC foram “*climatic chamber*”, “*climate chamber*” e “*test chamber*”. Os agrupamentos apresentaram como principais focos a avaliação de propriedades físicas de materiais construtivos, relações entre a operação de edificações e seu gasto energético, e a análise da qualidade do ar de ambientes, com destaque à emissão de compostos orgânicos voláteis.

Para estudos com foco em humanos, as terminologias que apareceram no MPC foram “*climate chamber*”, “*test chamber*” e “*environmental chamber*”. Os principais temas explorados neste segmento foram a análise de variáveis ambientais relacionadas ao conforto térmico e à percepção individual frente a mudanças sazonais.

Ressalta-se que os resultados obtidos aplicam-se somente à amostra objeto e metodologia adotada, cabendo cautela ao se promover generalizações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas de mestrado e Pós-Doutorado Júnior.

REFERÊNCIAS

CARVALHAIS, C. A. A. **Contribuição para o estudo da tolerância humana a ambientes térmicos extremos**: ensaios de validação de câmara climática. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

CLARIVATE ANALYTICS. **Web of science**. Disponível em: <<https://clarivate.com/products/web-of-science/>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

COORDENAÇÃO GERAL DE ACREDITAÇÃO DO INMETRO (CGCRE/INMETRO). DOQ-CGCRE-028: **Orientação para calibração de câmaras térmicas sem carga**. Revisão 01, Mar/2013. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013.

DOE – U.S. Department of Energy. **Quadrennial Technology Review: An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities**. Chapter 5 - Increasing Efficiency of Building Systems and Technologies, 2015. Disponível em: < <https://energy.gov/sites/prod/files/2017/03/f34/qtr-2015-chapter5.pdf> > Acesso em: 20 mar. 2018.

DONAIKY, E.; OLIVEIRA, G. H. C.; MENDES, N. Algoritmos PMV-MBPC para conforto térmico em edificações e aplicação em uma célula-teste. **Sba Controle & Automação**, v. 21, n. 1, p. 01-13, 2010.

LAMBERTS R.; DUTRA L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. Eletrobras Procel, 2014.

RANJBAR-SAHRAEI, B.; NEGENBORN, R. **Research Positioning & Trend Identification: a data-analytics toolbox**. Delft University of Technology, 2017.

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. Visualizing bibliometric networks. In: Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram (Eds.), **Measuring scholarly impact: Methods and practice**. Springer, p. 285–320, 2014.