ABORDAGENS METODOLÓGICAS DE ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Izabele Pizzo Ferreira (1); Thaís Ramos Leite (2); João R. Gomes de Faria (3); Maria Solange Gurgel de Castro Fontes (4)
(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNESP izabele.ferreira@unesp.br
(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNESP, tr.leite@unesp.br
(3) Prof. Assoc. (aposentado), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNESP, joao.rg.faria@unesp.br
(4) Profa. Dra., Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNESP, sgfontes@faac.unesp.br

RESUMO
O Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), evento bianual, vem sendo o espaço de apresentação da maioria das pesquisas nacionais e latino-americanas sobre o tema desde 1990. Assim, ao se realizar este estudo com o objetivo de elaborar um panorama sobre as abordagens das pesquisas nacionais e latino-americanas sobre conforto térmico em habitação de interesse social, adotou-se como base de dados os anais desse evento. O método usado foi o de revisão sistemática da literatura, utilizando os passos do Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA). Foram aplicados critérios de busca, inclusão e exclusão aos 3.027 artigos dos anais do ENCAC, sendo selecionados 45 para as análises. O estudo mostra que houve um aumento no número de artigos do tema entre 2003 e 2011, sendo grande parte dos artigos produzidos pela UFAL e UFMS. Nota-se um predomínio da metodologia usando simulação computacional, porém há um grande uso de métodos conjuntos (medições in loco com percepção dos usuários ou medições in loco com simulação computacional), porém isoladamente a simulação computacional foi o método mais utilizado, seguido do uso do software EnergyPlus e Arquitrop.

Palavras-chave: conforto térmico; habitação de interesse social; revisão sistemática.

ABSTRACT
The National Meeting of Comfort in the Built Environment (ENCAC) promotes the dissemination of scientific content since 1990 on various topics, including thermal comfort. This research aims to bring together ENCAC articles from 1990 to 2021 on thermal comfort studies applied to social housing, seeking to understand the methodological approaches of these studies, the instruments, software and analysis parameters commonly used. The methodology used in this article is a literature review using the steps of Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA). Of the total of 3,027 ENCAC articles, 45 were selected and these were analyzed. The study shows that there was an increase in the number of articles on the subject between 2003 and 2011, with a large part of the articles produced by UFAL and UFMS. There is a predominance of methodology using computer simulation, but there is a great use of joint methods (measurements in loco with user perception or measurements in loco with computer simulation), but computer simulation alone was the most used method, followed by the use of EnergyPlus and Arquitrop software.

Keywords: thermal comfort; social interest housing; systematic review.

1. INTRODUÇÃO

O direito à moradia adequada significa, entre outras coisas, que ela prover os usuários de saúde, segurança, conforto e nutrição (UNITED NATIONS, 2014). Entretanto, a qualidade da habitação de interesse social (HIS) produzida a partir de programas institucionais deixa a desejar, sob a alegação da necessidade de redução de custos. Pela importância que a qualidade da HIS representa e, em particular, para o presente trabalho, sua qualidade térmica, ela é tema frequente de pesquisas e ações.

Assim, um dos motivadores para a elaboração de normas nacionais de desempenho foi garantir uma qualidade térmica mínima para HIS: a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) cria o zoneamento bioclimático brasileiro e prescreve diretrizes construtivas o bom desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, enquanto a NBR 15575 (ABNT, 2021a) estabelece critérios e métodos para a determinação de níveis de desempenho habitacional, incluso o desempenho térmico. O atendimento à NBR 15575 é obrigatório para habitações financiadas por programas governamentais a partir de 2013, quando foi publicada sua primeira edição.

Da mesma forma, o tema da qualidade térmica de HIS é presente em eventos científicos, dentre eles Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), promovido pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) desde 1990 (bianualmente a partir de 1991), o evento nacional mais longevo na área de conforto ambiental. Assim, viu-se, ao longo do período de sua realização, uma série de avanços científicos, tecnológicos e metodológicos com impacto potencial sobre as abordagens e a complexidade das análises de comportamento térmico das edificações, como mostrado a seguir.

Com a popularização dos computadores pessoais nos anos de 1980, vários programas de simulação em conforto térmico se tornaram disponíveis a partir da década seguinte. No Brasil, o destaque fica para o Arquitrop (RORIZ; BASSO, 1989), usado em uma série de pesquisas nacionais. No cenário internacional, o programa EnergyPlus (CRAWLEY et al, 2001), desenvolvido no U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO), tornou-se, com o passar do tempo, uma referência na área.

O desenvolvimento de um modelo de análise de conforto térmico adaptativo para estudos envolvendo edificações naturalmente ventiladas foi iniciado nos anos de 1990 (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997). Incorporado pela norma ASHRAE-55 a partir de 2010 e aperfeiçoado nas versões seguintes (ANSI/ASHRAE, 2017), rompeu o que era praticamente um paradigma, o uso universal do modelo de Fanger (1970), mais apropriado a estudos de ambientes com ar-condicionado.

Várias práticas e métodos foram padronizados, como os questionários sobre sensação, percepção e preferência térmica, pela ASHRAE-55, e os parâmetros da instrumentação envolvida (faixa de valores, acurácia e posicionamento, entre outros), por uma série de normas internacionais (JOHANSSON *et al.*, 2014), o que facilita a comparação de resultados de trabalhos diversos.

No cenário acadêmico nacional, duas iniciativas da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) melhoraram consideravelmente a visibilidade e a qualidade dos recursos para a pesquisa: a criação do Portal de Periódicos da CAPES, em 2000, e a obrigatoriedade da divulgação, na internet, das teses e dissertações pelos programas de pós-graduação a partir de 2006.

A questão de partida para o presente trabalho é saber como esses avanços foram incorporados às pesquisas nacionais na área de comportamento térmico das HIS e, nesse aspecto, as publicações dos anais dos ENCACs são uma base de dados representativa. A recuperação da história das pesquisas nacionais sobre HIS apresentadas nos ENCACs pode gerar, portanto, um quadro interessante sobre o tema, a partir do qual se possa analisar evoluções, tendências e lacunas, como referências para futuros trabalhos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar um panorama das abordagens metodológicas e ferramentas empregadas nas pesquisas nacionais sobre conforto térmico em HIS nos trabalhos do ENCAC de 1990 a 2021.

3. MÉTODO

3.1. Abordagem metodológica

O presente trabalho usa uma revisão sistemática da bibliografia no levantamento de dados para traçar o panorama das pesquisas nacionais sobre comportamento térmico das HIS. Suas etapas foram adaptadas do método *Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA), que combina buscas com palavras-chave em bases de dados de informações científicas, possibilitando a redução do número de artigos para análise que respondem

a um critério de pesquisa específico (MOHER *et al.*, 2015). Tal abordagem tem sido empregada em vários estudos sobre conforto térmico ao longo dos últimos anos (PEREIRA; BRODAT; XAVIER, 2020).

De acordo com o método, foram definidos os seguintes parâmetros e procedimentos:

(a) Base de dados: trabalhos publicados nos anais dos Encontros Nacionais de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), desde sua primeira edição, em 1990, até 2021 (ANTAC, 2017; ENCAC 2019 e 2021). Tal escolha se justifica por ser o ENCAC o evento científico nacional mais importante na área de conforto ambiental, no qual são apresentados trabalhos resultantes das pesquisas dos cursos de pós-graduação do país, entre outras.
(b) Termos de busca: "conforto térmico" AND "habitação de interesse social"
(c) Linguagem de busca: português, espanhol e inglês.
(d) Critérios de exclusão: resumos expandidos; trabalhos com resultados parciais; edificações autoconstruídas como estudo de caso.

Essa sequência teve por objetivo responder às seguintes questões de pesquisa (QP):

(a) Segundo os Anais XVI ENCAC (2021) as edições do evento buscam contribuir para sensibilizar a sociedade civil, governos e empresas e provocar a reflexão em relação à urgente necessidade de incorporação de princípios de sustentabilidade e resiliência no ambiente construído. **QP1: Considerando os artigos publicados no ENCAC nos anos de 1990 a 2021, quais destes analisam conforto térmico em habitações de interesse social?**
(b) Dado o quadro de evoluções apresentados na introdução deste trabalho, é de se esperar que tenha havido um processo de sua incorporação às pesquisas ao longo dos anos. **QP2; Nos artigos que responderam à QP1, como foi a incorporação dos avanços de conhecimento, metodológicos e tecnológicos?**

De um universo de 3.027 artigos, 56 analisam especificamente conforto térmico em HIS. Desses, 11 caíram nos critérios de exclusão e, portanto, a amostra final foi de 45 artigos, a partir da edição de 1993.

Inicialmente foram listadas abordagens de levantamento e de tratamento de dados, indistintamente; posteriormente, elas são analisadas individualmente.

4. RESULTADOS

Os artigos selecionados foram classificados quanto às abordagens empregadas (Tabela 1).

Tabela 1: Métodos de pesquisa empregados nos trabalhos selecionados: 1) Simulação computacional; 2) Medição *in loco*; 3) Questionário/entrevista de percepção dos usuários; 4) Análise climática; 5) Cálculos de parâmetros; 6) Proposta projetual; 7) Estudo com maquetes

Nº	Autor	Ano	Título	Abordagem						
				1	2	3	4	5	6	7
1	FERNANDES, A. M. C.; AZEVEDO, M. G	1993	Casa Embrião: resgate da habitabilidade térmica	■					■	
2	CHVATAL, K. M.; LABAKI, L. C.; KOWALTOWSKI, D. C. K.	1995	Casas populares de Campinas: estudo de sua adequação ao conforto térmico	■	■	■				
3	FONTANA, A.	1999	A influência da tecnologia construtiva no conforto térmico: o caso da Vila Tecnológica de Bauru – SP				■			■
4	KUCHENBECKER, L. C.; SZÜCS, C. P.; PEREIRA, F. O. R.	1999	Habitabilidade e conforto ambiental no projeto da habitação de interesse social				■		■	
5	KRÜGER, E. L.; DUMKE, E. M. S; MICHALOSKI, A. O.	2001	Sensação de conforto térmico: respostas dos moradores da vila tecnológica de Curitiba		■	■				
6	TREBILCOCK, M.; BURDILES, R.; FISSORE, A.	2001	Análisis comparativo del confort térmico de la vivienda social en Chile	■						
7	FARIA, F.; UMETSU, C. M.; FROTA, A. B.	2003	O conforto térmico nas habitações populares da cidade de São Paulo			■	■	■		
8	MAIA, M. A. L; MANFREDINI, C.; BEVILACQUA, D.; SCUSSEL, M. C. B; SATTLER, M. A.	2003	Conforto térmico nas habitações da vila tecnológica de Porto Alegre: uma avaliação a partir da percepção de seus moradores			■				

Nº	Autor	Ano	Título	Abordagem						
				1	2	3	4	5	6	7
9	MARROQUIM, F. M. G; BARBIRATO, G. M.	2003	Avaliação do desempenho térmico e condições de conforto de um conjunto habitacional horizontal na cidade de Maceió-AL	■	■					
10	COMPAGNONI, A. M.; SCHILLER, S.; EVANS, J. M.	2003	Comportamiento térmico en vivienda de interés social: Mediciones Pos-Ocupación y simulaciones como herramientas de evaluación de variables de diseño	■	■					
11	WALLAUER, M. D.; BEYER, P. O.	2003	Utilização do programa Energyplus para a simulação do conforto térmico em edificações populares em quatro capitais brasileiras	■						
12	ALMEIDA, J. E. C.; CABÚS, R. C.	2005	Conforto térmico em apartamento de um conjunto habitacional em Maceió/AL	■						
13	ALVES, S. A.; SANTOS, A. O.	2005	Análise de implantação em conjunto habitacional – estudo de caso: Nobuji-Nagasawa				■			■
14	FRANCISCO, M. L.; FRICKE, G. T.	2005	Metodologia de avaliação de desempenho térmico de protótipos de unidades habitacionais de interesse social	■	■					
15	PAULA, R. Z. R; LABAKI, L. C.	2005	A vegetação e o conforto térmico do ambiente construído: um estudo sobre a avaliação de conforto		■					
16	CRUZ, J. P; CORREAS, A. M; MELLIMACI, M.	2007	Propuesta de inclusion de normas de acondicionamiento termico en los codigos de edificacion municipales	■						
17	CUNHA, L.; TINÔCO, M.; PEDRINI, A.	2007	Anteprojeto de uma habitação de interesse social segundo as recomendações de conforto térmico	■						
18	GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M.A.	2007	Análise de desempenho térmico de quatro habitações de interesse social construídas em Porto Alegre					■		
19	ORDENES, M.; CARLO, J.; MACIEL, A.	2007	Estratégias bioclimáticas com limitações de orçamento para habitação social no Chile	■						
20	REIS, A. T; BECKER, S.; LAY, M. C. D.	2007	Conforto térmico em conjuntos habitacionais: uma análise através de SIG, níveis de satisfação e uso dos espaços abertos			■				
21	TORRES, S. C.; BARBIRATO, G. M.	2007	A influência dos arranjos construtivos urbanos no conforto térmico de espaços internos: uma avaliação de conjuntos habitacionais verticais em Maceió-AL		■		■			
22	GRIGOLETTI, G. C.; ROTTA, R.; MULLER, S.	2009	Avaliação de desempenho térmico de edificação de interesse social unifamiliar em Santa Maria – RS		■	■				
23	CURCIO, D. R.; SILVA, A. C. B.	2009	Análise qualitativa do desempenho térmico de empreendimento de habitação de interesse social na cidade de Pelotas – RS							■
24	QUEIROZ, N.; OLIVEIRA, R.; FERREIRA, A. L.; PEDRINI, A.	2009	Análise do comportamento da ventilação nos conjuntos habitacionais unifamiliares por meio de simulação computacional de fluídos (CFD), na cidade de Natal/ RN	■						
25	BERNARDO; A. D.; FILIPPIN, C.	2011	Evaluación del comportamiento térmico-energético de un prototipo demostrativo de vivienda de interés social en Córdoba, Argentina	■						
26	OLIVEIRA, L. S.; SILVA, A. C. B; CUNHA, E. G.	2011	Análise das condições de conforto térmico em habitações de interesse social em Pelotas/RS	■						
27	MORENO, A. C. R; SOUZA, R. V. G.	2011	Análise de desempenho térmico em habitação de interesse social em Montes Claros – MG	■	■					
28	GRIGOLETTI, G. C.; ROTTA, R.; MÜLLER, S.	2011	Avaliação de desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social em Santa Maria – RS		■					
29	SCHWONKE, D.; ROTTA, M.; PINHO, R.; CUNHA, E. G.; SILVA, A. C. B.	2011	Simulação computacional de habitação de interesse social em Pelotas, RS, Brasil: análise do desempenho térmico e da eficiência energética de coberturas	■						
30	NASCIMENTO, D. S. C.; SOUZA, H. A.; FERREIRA, F. M. C.	2011	Avaliação do desempenho térmico do conjunto habitacional ferroviários em Ipatinga – MG		■	■				
31	LINK, G. I.; ALBERNARD, R. S.; GRIGOLETTI, G. C.	2013	Avaliação do conforto térmico de habitações de interesse social da cidade de Santa Maria, RS, a partir da opinião dos usuários		■	■				
32	SILVA, R. B. M; PAULA, J. M. B.; BARBIRATO, G. M.	2013	Programas de habitação social e qualidade de projeto: avaliação de arranjo construtivo e de condições térmicas internas de habitação no contexto climático de Maceió – AL		■		■			

Nº	Autor	Ano	Título	Abordagem						
				1	2	3	4	5	6	7
33	BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M. M.; TRIBESS, A.	2013	O efeito da verticalização do edifício e do sistema construtivo na inércia térmica de habitações unifamiliares	■						
34	MORAIS, J. M. S. C.; LABAKI, L. C.	2013	Ventilação natural em edifícios do "programa minha casa minha vida": alerta aos projetistas	■						
35	OLARTECHEA, M.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L.; ROSSETI, K. A.; LIMA, M. J. S.	2015	Impactos da incorporação de diretrizes construtivas bioclimáticas no desempenho termoenergético de habitação de interesse social (ZB 07)	■						
36	JAUDY, L. F. R; DURANTE, L.; CALLEJAS, I. J. A.; ROSSETI, K. A.; BUTTNER, S. B.;NOGUEIRA, M. C. J. A.; PORTO, A. H. H.	2015	Desempenho térmico e conservação de energia de habitação de interesse social em Cuiabá – MT					■		
37	LOURENÇO, R. S. C.; OLIVEIRA, M. C. A.; CARDOSO, M. G.	2015	Avaliação de conforto térmico ambiental em unidades habitacionais populares em Palmas/TO					■		
38	PACHECO, G.; PEDRINI. A.	2015	Recomendações bioclimáticas para habitações em Natal/RN através de simulações termoenergéticas	■						
39	MARRA, N.; MORILLE, B.; ASSIS, E.	2017	Influência da vegetação no conforto térmico em conjunto habitacional de interesse social	■						
40	BRAGA, Y.; STENSJÖ, I.	2017	Análise do conforto térmico do conjunto habitacional granja de fretas III por avaliação pós-ocupação	■		■				
41	GREGORIO, A. S.; PEINADO, H. S.	2019	Análise dos requisitos de conforto térmico presentes em certificações ambientais de edificações com aplicabilidade em projetos de habitações populares						■	
42	SANTOS, L. E. S.; TORRES, S. C.	2019	Conforto térmico e habitação de interesse social: avaliação pós-ocupação em unidades do residencial Agreste, Arapiraca – AL		■					
43	DUNEL, M. P.; BARBOSA, C. F. T.	2019	Estudo do conforto térmico de uma habitação de interesse social (HIS) com alvenaria de tijolos ecológicos produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos em Aracaju/SE	■						
44	SANTOS, T. L.; CUNHA JÚNIOR, C. F.; SILVA, A. S.	2019	Comparação entre indicadores de desempenho e conforto térmico em habitações de interesse social por simulação computacional	■						
45	LIMA, K.; SCHERER, M.	2021	A pilot study of thermal comfort in single-family social housing in the city of Santa Maria – RS, based on qualitative data analysis			■				
Total de referências por abordagem				24	14	10	6	4	3	3

As abordagens da Tabela 1 são distribuídas anualmente na Figura 1.

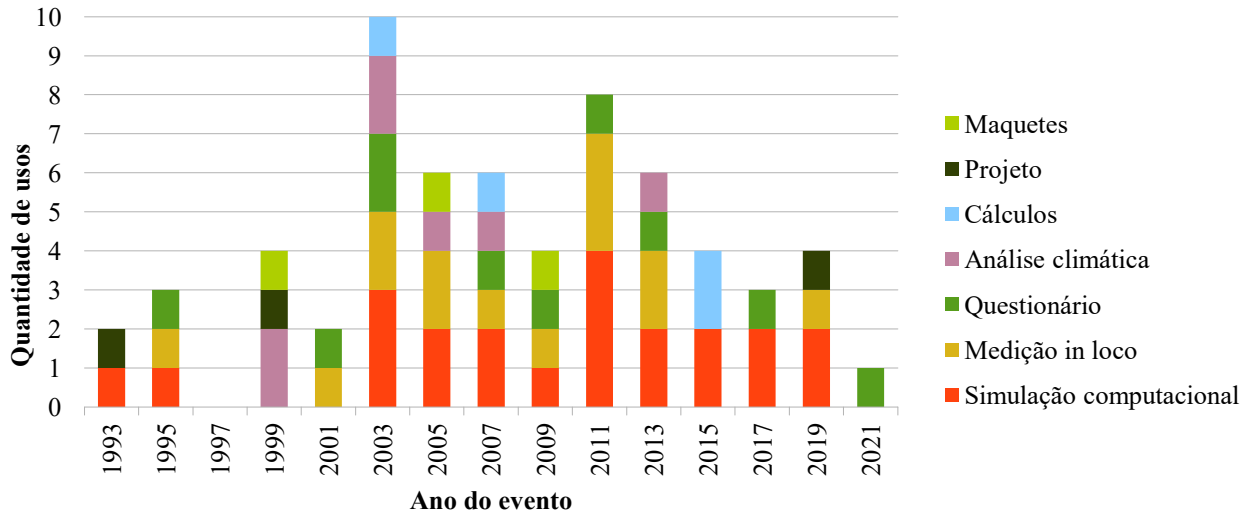

Figura 1 – Distribuição de artigos selecionados e de métodos usados por evento

A despeito do grande avanço da informática desde 1990, não houve crescimento de pesquisas sobre conforto térmico em habitação de interesse social envolvendo simulação computacional: ela esteve presente em aproximadamente metade dos trabalhos de cada ano desde os primeiros ENCACs. A simulação computacional foi usada, nos artigos selecionados, de diversas formas. Em artigos iniciais foi usada na validação de programas a partir de dados medidos *in loco* (COMPAGNONI; SCHILLER; EVANS, 2003; MARROQUIM; BARBIRATO, 2003); como técnica isolada, foi usada, de forma mais singela para quantificar o comportamento térmico de edificações construídas (TREBILCOCK; BURDILES; FISSORE, 2001; ALMEIDA; CABÚS, 2005; QUEIROZ *et al.*, 2009; MORAIS; LABAKI, 2013); como um pequeno avanço, de projetos padronizados em contextos climáticos diversos (WALLAUER; BEYER, 2003; ALMEIDA; CABÚS, 2005) como, mais frequentemente, para testar alternativas de sistemas construtivos (CUNHA; TINÔCO; PEDRINI, 2007; OLIVEIRA; SILVA; CUNHA, 2011; SCHWONKE *et al.*, 2011; BRITO *et al.*, 2013; OLARTECHEA *et al.*, 2015; PACHECO; PEDRINI, 2015; MARRA; MORILLE; ASSIS, 2017; DUNEL; BARBOSA, 2019). Uma única publicação usa a simulação computacional para verificar a relação entre indicadores de desempenho térmico da NBR 15575 e de conforto térmico, usando como caso de estudo um projeto de HIS (SANTOS; CUNHA JÚNIOR; SILVA, 2019). Quando usados em conjunto com outra abordagem, os resultados da simulação computacional foram complementares (CHVATAL; LABAKI; KOWALTOWSKI, 1995; FRANCISCO; FRICKE, 2005; BRAGA; STENSJÖ, 2017) ou comparativos (MARROQUIM; BARBIRATO, 2003) a dados levantados *in loco*. Assim, nessas pesquisas, a HIS foi usada ora como caso de estudo final, ora como caso inicial para a exploração de alternativas em busca do melhor comportamento térmico, ora como referência para o desenvolvimento de projeto termicamente adequado.

Entre os programas computacionais (Figura 2), o Arquitrop (RORIZ; BASSO, 1989) foi bastante usado até 2011 (FERNANDES; AZEVEDO, 1993; CHVATAL; LABAKI; KOWALTOWSKI, 1995; MARROQUIM; BARBIRATO, 2003; ALMEIDA; CABÚS, 2005; FRANCISCO; FRICKE, 2005; MORENO; SOUZA, 2011), mas, por ser executado apenas em ambiente MS-DOS e não ter tido atualização, foi substituído por outros. Nesse caso, o de uso mais frequente foi o EnergyPlus (CRAWLEY *et al.*, 2001), isoladamente (WALLAUER; BEYER, 2003; ORDENES; CARLO; MACIEL, 2007; BRITO *et al.*, 2013; OLARTECHEA *et al.*, 2015; PACHECO; PEDRINI, 2015; DUNEL; BARBOSA, 2019; SANTOS; CUNHA JÚNIOR; SILVA, 2019), ou com a interface DesignBuilder (DESIGNBUILDER, 2023) (OLIVEIRA; SILVA; CUNHA, 2011; SCHWONKE *et al.*, 2011; PACHECO; PEDRINI, 2015), e sua utilização deve continuar em alta, pois é o programa de referência da NBR 15575 (ABNT, 2021a). Outros programas aparecem em um único artigo.

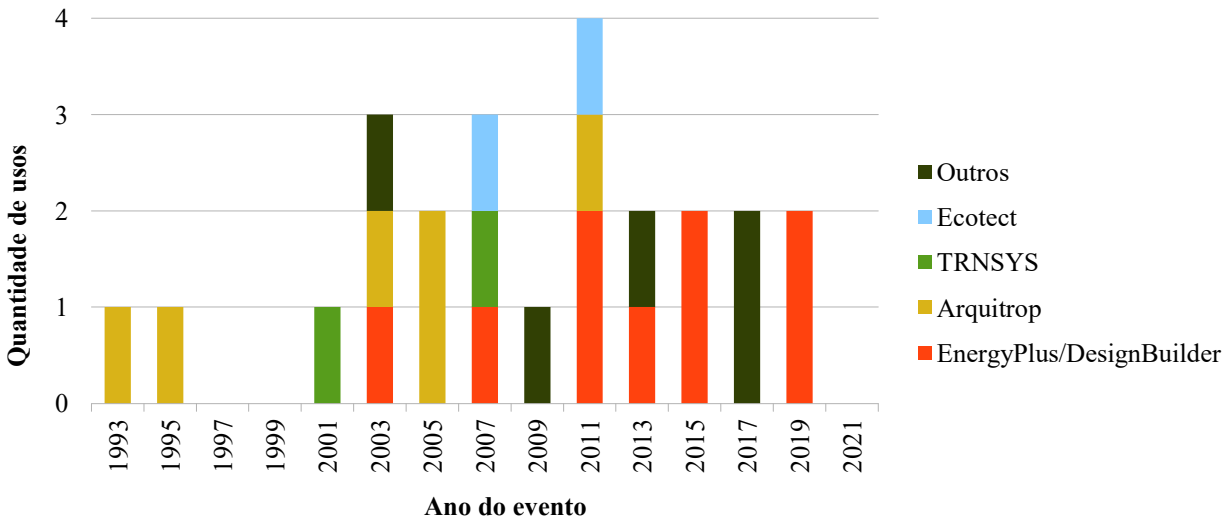

Figura 2 – Distribuição por evento de programas computacionais de simulação usados

Nos estudos anteriores ao programa EnergyPlus, os resultados eram tratados, em geral, de forma gráfica, interpretados mais qualitativamente, a partir da análise visual, sendo comum a adjetivação das comparações. O EnergyPlus, ao processar um arquivo de um dia ou ano de dados horários, produz tabelas de resultados com a mesma periodicidade; assim, os resultados passaram a ser expressos em proporção de horas de conforto térmico e de desconforto térmico por calor e por frio.

A representatividade do conjunto de dados usados em simulações é uma discussão à parte e não será aprofundada aqui, pois seriam necessários estudos complementares para validá-la. Apenas para ilustrar, o Arquitrop usava dados derivados de normais climatológicas, que são estatísticas de valores médios e de extremos, enquanto o EnergyPlus usa arquivos de dados de ano típico de projeto, como o *Test Reference Year* – TRY ou o *Typical Meteorological Year* – TMY. Apesar desses dados eliminarem condições extremas, Vignola, McMahan e Grover (2013) afirmam que os efeitos de eventos de curta duração, como o El Niño, podem ser representados nesses arquivos, desde que o período dos dados de origem seja de aproximadamente 30 anos, como nas normais climatológicas, sob o risco de distorção dos resultados; por outro lado, afirmam também que tais arquivos impossibilitam resultados com níveis de confiança elevados (acima de 90%). Assim, eles seriam mais adequados na comparação de estratégias bioclimáticas ou sistemas construtivos de uma mesma localidade (LUNT, 1975). Ora, tanto os dados de origem das normais climatológicas apresentam baixa qualidade, com inúmeras lacunas (RORIZ, 2012), como o período dos dados de origem dos arquivos disponíveis para simulações na TR 15575-1-1 (ABNT, 2021b) é de apenas 2001 a 2010. Portanto, as análises e propostas decorrentes podem estar sendo feitas a partir de dados sem representatividade.

Os artigos coletaram dados como temperatura do ar externa, temperatura superficial (paredes, cobertura, piso) e temperatura interior (ou interna) para calcular as temperaturas máximas e mínimas de acordo com o local, também há a coleta de parâmetros como umidade relativa do ar, radiação solar, ganhos e perdas de calor, velocidade e direção dos ventos predominantes. (FERNANDES; AZEVEDO, 1993; CHVATAL; LABAKI; KOWALTOWSKI, 1995; KRÜGER; DUMKE; MICHALOSKI, 2001; TREBILCOCK; BURDILES; FISSORE, 2001; FARIA; MIZUKI; BARROS, 2003; MARROQUIM; BARBIRATO, 2003; COMPAGNONI; SCHILLER; EVANS, 2003; ALMEIDA; CABÚS, 2005; FRANCISCO; FRICKE, 2005; PAULA; LABAKI, 2005; CRUZ; CORREAS; MELLIMACI, 2007; CUNHA; TINÔCO; PEDRINI, 2007; ORDENES; CARLO; MACIEL, 2007; TORRES; BARBIRATO, 2007; MORENO; SOUZA, 2011; GRIGOLETTI; ROTTA; MÜLLER, 2011; SCHWONKE *et al.*, 2011; NASCIMENTO; SOUZA; FERREIRA, 2011; LINK; ALBERNARD; GRIGOLETTI, 2013; SILVA; PAULA; BARBIRATO, 2013; BRITO *et al.*, 2013; OLARTECHEA *et al.*, 2015; PACHECO; PEDRINI, 2015; MARRA; MORILLE; ASSIS, 2017; SANTOS; TORRES, 2019; DUNEL; BARBOSA, 2019; SANTOS; CUNHA JÚNIOR; SILVA, 2019; LIMA; SCHERER, 2021). Quando são analisados os materiais e sistemas construtivos com maior detalhamento, dados como condutibilidade térmica, densidade, calor específico, absortância, inércia térmica e transmitância térmica são usados para gerar as análises comparativas (FERNANDES; AZEVEDO, 1993; FONTANA, 1999; KUCHENBECKER; SZÜCS; PEREIRA, 1999; TREBILCOCK; BURDILES; FISSORE, 2001; ALMEIDA; CABÚS, 2005; CUNHA; TINÔCO; PEDRINI, 2007; GRIGOLETTI; SATTLER, 2007; GRIGOLETTI; ROTTA; MÜLLER, 2009; CURCIO; SILVA, 2009; QUEIROZ *et al.*, 2009; MORENO;

SOUZA, 2011; SCHWONKE *et al.*, 2011; OLARTECHEA *et al.*, 2015; LOURENÇO; OLIVEIRA; CARDOSO, 2015; MARRA; MORILLE; ASSIS, 2017; BRAGA; STENSJÖ, 2017; GREGORIO; PEINADO, 2019; SANTOS; TORRES, 2019; SANTOS; CUNHA JÚNIOR; SILVA, 2019).

Medições de variáveis térmicas *in loco* foram usadas, majoritariamente, para gerar dados para cálculos de índices ou indicadores de conforto térmico (CHVATAL; LABAKI; KOWALTOWSKI, 1995; MARROQUIM; BARBIRATO, 2003; FRANCISCO; FRICKE, 2005; PAULA; LABAKI, 2005; TORRES; BARBIRATO, 2007; GRIGOLETTI; ROTTA; MÜLLER, 2007; GRIGOLETTI; ROTTA; MÜLLER, 2011; NASCIMENTO; SOUZA; FERREIRA, 2011; LINK; ALBERNARD; GRIGOLETTI, 2013; SILVA; PAULA; BARBIRATO, 2013), para estabelecer relações de índices calculados com dados levantados por questionários (KRÜGER; DUMKE; MICHALOSKI, 2001), ou ainda para gerar dados para uma simulação computacional (MORENO; SOUZA, 2011).

As medições de variáveis térmicas foram feitas, nos artigos em estudo, com instrumentos manuais, concomitantemente à aplicação de questionários, ou em alguns horários de alguns dias; com instrumentos com registros de dados, foram feitos continuamente em períodos de tempo curtos (algumas semanas), assumindo como representativos. Observa-se, nesses levantamentos, grande heterogeneidade de procedimentos e de proteção e disposição dos instrumentos, não sendo observadas as padronizações indicadas por Johansson *et al.* (2014). Um problema nem sempre exposto, e não resolvido, em levantamentos contínuos por vários dias, é o registro de aberturas de portas e janelas em habitações ocupadas, a não ser à custa de grande investimento em sensores, o que pode inviabilizar o experimento (FONTANA, 1999). A exceção, nos trabalhos estudados, foi o de Nascimento, Souza e Ferreira (2011), que fizeram medições com janelas abertas e fechadas separadamente, possibilitando a análise do impacto da ventilação na frequência de situações conforto térmico; porém, ao adotar essa estratégia, não foi reproduzida a situação em uso corrente.

Nos artigos onde foram aplicados questionários aos usuários houve a coleta de dados de frequência de utilização de cômodos pelo morador, estratégias de regulação de temperaturas adotadas e sensação térmica (KRÜGER; DUMKE; MICHALOSKI, 2001; MAIA *et al.*, 2003; COMPAGNONI; SCHILLER; EVANS, 2003; WALLAUER; BEYER, 2003; PAULA; LABAKI, 2005; REIS; BECKER.; LAY, 2007; BERNARDO; FILIPPIN, 2011; OLIVEIRA; SILVA; CUNHA, 2011; GRIGOLETTI; ROTTA; MÜLLER, 2011; SCHWONKE *et al.*, 2011; NASCIMENTO; SOUZA; FERREIRA, 2011; LINK; ALBERNARD; GRIGOLETTI, 2013; PACHECO; PEDRINI, 2015; LIMA; SCHERER, 2021). Foram empregados questionários síncronos (respostas relativas ao momento da aplicação) (KRÜGER; DUMKE; MICHALOSKI, 2001; TORRES; BARBIRATO, 2007) e, em sua maioria, assíncronos (respostas relativas ao período anual, em geral dividido por inverno e verão) (CHVATAL; LABAKI; KOWALTOWSKI, 1995; MAIA *et al.*, 2003; REIS; BECKER.; LAY, 2007; GRIGOLETTI; ROTTA; MÜLLER, 2009; NASCIMENTO; SOUZA; FERREIRA, 2011, LINK; ALBERNARD; GRIGOLETTI, 2013; BRAGA; STENSJÖ, 2017). Um único trabalho usou resultados de entrevistas com especialistas (FARIA; MIZUKI; BARROS, 2003).

Dada a quantidade e o tipo de dados que se pretendeu levantar nos trabalhos, os questionários não foram padronizados como um todo; entretanto, nos questionários síncronos, foram usadas somente as questões sobre a sensação térmica, com respostas em escala de 7 pontos, adotada pela ASHRAE-55; não foram usados questionários de percepção, preferência e tolerância térmica. Poucas vezes as questões não padronizadas foram explicitadas, dificultando a comparação dos resultados de trabalhos similares. O tratamento das respostas dos questionários foi sempre descritivo ou de apresentação de percentuais de resposta. Em geral, o número de participantes foi pequeno, o que explica a ausência de tratamentos estatísticos inferenciais, exceção feita ao trabalho de Reis, Becker e Lay (2007).

A análise climática é a comparação das características construtivas da edificação com prescrições de algum método ou ferramenta, sendo os mais usados as Tabelas de Mahoney e a Carta Bioclimática de Givoni (dos quais deriva a NBR 15220-3). Nessa abordagem, nos artigos selecionados foram usados métodos analíticos (FARIA; MIZUKI; BARROS, 2003), descritivos (FONTANA, 1999; KUCHENBECKER; SZÜCS; PEREIRA, 1999; ALVES; SANTOS, 2005) ou programas computacionais auxiliares (TORRES; BARBIRATO, 2007), como o Analysis Bio (LABEEE, 2010). Essa análise é a base do método simplificado de análise de desempenho térmico da NBR 15575, embora, nesse caso, guarde incompatibilidades com as prescrições da NBR 15220-3 (CHVATAL, 2014) e sua aplicação não garanta, necessariamente, conforto térmico aos usuários (D'ELL SANTO; ALVAREZ; NICO-RODRIGUES, 2017).

Propostas projetuais (FERNANDES; AZEVEDO, 1993; KUCHENBECKER; SZÜCS; PEREIRA, 1999; GREGORIO; PEINADO, 2019) são exercícios de projeto bioclimático de HIS baseados em recomendações diversas, como a as Tabelas de Mahoney e a Carta Bioclimática de Givoni. Diferentemente da análise climática, o caso estudado é uma proposição, não um projeto ou uma construção existente.

Métodos analíticos envolvem cálculos de balanço térmico, propriedades térmicas (GRIGOLETTI; SATTLER, 2007) ou, pelos menos, de trocas térmicas na edificação (FARIA; MIZUKI; BARROS, 2003; JAUDY *et al.*, 2015; LOURENÇO; OLIVEIRA; CARDOSO, 2015). A abordagem permite a comparação de alternativas projetuais e a intervenção no sentido de alterar trocas térmicas desfavoráveis em quaisquer dos elementos construtivos analisados.

Maquetes são recursos valiosos na fase de desenvolvimento de projetos (ROBERTS; MARSH, 2001). Os estudos de projetos a partir de modelos físicos (FONTANA; 1999; ALVES; SANTOS, 2005) ou digitais (TORRES; BARBIRATO, 2007; CURCIO; SILVA, 2009) foram usados para análises de exposição à radiação solar direta ou de sombreamento, e de ventilação. Os resultados visuais serviram de subsídios tanto na avaliação do comportamento térmico da edificação como na proposta de ajustes de posicionamento e dimensionamento de aberturas e de elementos de sombreamento, dentre outros.

As referências de qualidade térmica sofreram alteração ao longo dos anos, acompanhando a evolução do conhecimento na área. Assim, as primeiras publicações usavam prescrições bioclimáticas baseadas nas Tabelas de Mahoney, presentes, por exemplo, na publicação de Alucci, Carneiro e Baring (1986), e os índices de conforto térmico de Fanger (1970) (*Predicted Mean Vote* – PMV e *Predicted Percentage of Dissatisfied* – PPD) ou a Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992), ou, ainda, o cálculo de graus-hora em conforto ou desconforto térmico. A partir da divulgação do projeto para discussão da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), suas prescrições, relacionadas às zonas bioclimáticas, passaram a servir de critério de qualidade térmica associado ao projeto de HIS. Exceto pelo de Pacheco e Pedrini (2015), o método adaptativo de conforto térmico, não foi incorporado aos trabalhos posteriores a 2010, sendo ainda usado o PMV/PPD ou o cálculo de graus-hora em conforto ou desconforto térmico.

Não apenas nos trabalhos que envolveram simulação computacional, mas, de forma geral, nos participantes do presente estudo, os termos conforto e desempenho térmico muitas vezes são usados indistintamente (principalmente antes da publicação da NBR 15575, em 2013), embora, a princípio, tenham significado distinto. Assim, enquanto uma análise de conforto térmico se refere ao comportamento de um conjunto de variáveis térmicas de um ambiente em relação a um indicador de conforto térmico (p. ex., $-0{,}5 \leq PMV \leq +0{,}5$, zona de conforto térmico da Carta Bioclimática de Givoni), a análise de desempenho térmico, na NBR 15575, se refere à comparação do comportamento térmico de um "modelo real" com o de um "modelo de referência". Na edição de 2021, a norma prevê o percentual de horas de ocupação da unidade habitacional dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{UH}$), calculado a partir de uma simulação de dados horários ao longo de um ano. Essa variável está relacionada a faixas de temperatura operacional consideradas termicamente confortáveis para três intervalos de temperaturas externas, sendo possível, portanto, derivar uma análise de conforto térmico a partir da norma. Esse resultado não existia na versão de 2013 da norma, que utilizava procedimento distinto na simulação e no tratamento dos resultados; assim, não era possível, nos trabalhos aqui estudados, fazer análises de conforto térmico a partir da NBR 15575.

Nos artigos nacionais selecionados houve um aumento consistente na quantidade de referências, saindo de uma média abaixo de 10 por artigo antes de 2009 para 13,5 a partir desse ano e com números crescentes. Por outro lado, isso não se reflete na citação de artigos de periódicos, que, a partir de uma média inferior a uma referência por artigo antes de 2009, sobe depois para apenas 2 referências, em média, por artigo. Números semelhantes são encontrados para a referência de trabalhos de anais (são citados principalmente os dos ENCACs), teses e dissertações e livros. As referências complementares são documentos diversos (legislação, diretrizes, manuais, bancos de dados). Em síntese, esses números indicam isolamento e compartimentação das pesquisas, uma vez que trabalhos semelhantes recebem poucas referências, seja como fundamentação, seja na discussão dos resultados. Indicam também que, durante o período estudado, as ações institucionais de facilitação ao acesso de periódicos e de teses e dissertações não se refletiram nos trabalhos selecionados.

Finalmente, embora o presente trabalho tenha se concentrado na análise das abordagens das pesquisas, é importante ressaltar que ele existe porque os resultados dos artigos levantados constatam, infeliz e unanimamente, que a qualidade térmica das HIS deixa a desejar.

5. CONCLUSÕES

O ENCAC apresenta um grande portfólio de artigos sobre conforto térmico em HIS ao longo dos 32 anos de sua existência. A partir dos resultados obtidos com este trabalho é possível verificar a importância do estudo de conforto térmico aplicado em HIS, uma vez que estas apresentam tendências projetuais que não levam em consideração o desempenho térmico da edificação e conforto dos ocupantes. Os autores dos artigos selecionados nesta revisão da literatura mostram que a sensação de desconforto térmico por calor e frio

acontecem em várias cidades do Brasil, Chile e Argentina, especialmente desconforto por calor na maioria das cidades brasileiras, necessitando de estratégias projetuais que de forma econômica possam solucionar este problema.

O presente trabalho apontou uma série de abordagens de levantamento e tratamento de dados que convergem, no geral, para análises de condições de conforto térmico e para propostas de intervenções projetuais na busca de melhoria dessas condições.

O levantamento de dados para essas análises envolve, frequentemente, medições de variáveis térmicas *in loco* e aplicação de questionários aos moradores das HIS. Essa etapa da pesquisa é de extrema importância, pois a qualidade dos diagnósticos e das propostas subsequentes dependem da consistência dos dados levantados. Por outro lado, essa é a etapa que demanda maiores custos, sejam monetários, sejam de tempo. Infelizmente, talvez inclusive por conta desses motivos, em geral esses dados são escassos e levantados de forma não padronizada, o que dificulta tanto a aplicação de estatísticas inferenciais como o seu intercâmbio com outras pesquisas. Seria, portanto, interessante investir em pesquisas consorciadas entre instituições, para otimizar recursos e aumentar a disponibilidade de dados padronizados.

A análise climática, seja usada como abordagem isolada, seja como auxiliar de outras abordagens, é importante no sentido de regionalizar a arquitetura das HIS. Seu uso demonstra o óbvio, a inviabilidade de replicar um único projeto padrão de HIS por toda a diversidade climática do Brasil. Nesse sentido, ela se constitui num importante argumento para a elaboração de projetos padrão de HIS por zona bioclimática.

Métodos analíticos, sejam por cálculos de parâmetros térmicos, sejam por estudos volumétricos (maquetes), embora pouco usados nos artigos levantados, constituem-se em alternativas de pesquisa de baixo custo e pouco tempo. Quando usados com a referência de prescrições, como as da NBR 15220-3, os primeiros fornecem indicativos de desempenho, enquanto os demais orientam alterações morfológicas no projeto.

As simulações computacionais progressivamente deixaram de usar dados levantados localmente e normais climatológicas para usar arquivos de ano típico de projeto. Entretanto, novamente a qualidade dos dados de origem é preocupante, seja pela curta duração do levantamento, seja pelas lacunas de dados. Assim, são necessários estudos para testar sua confiabilidade e representatividade e, consequentemente, a confiabilidade dos resultados das simulações, das quais dependem o desempenho e as condições de conforto térmico das HIS.

Ao final, cabe ressaltar que, embora as pesquisas selecionadas no presente trabalho não raro tenham se valido de abordagens isoladas, elas são complementares como um todo. Vistas dessa forma, possibilitam uma visão mais ampla do problema abordado em, portanto, a proposição de soluções mais consistentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Devido às restrições de tamanho do artigo, não há espaço suficiente para incluir as referências completas dos artigos selecionados. Entretanto, eles podem ser facilmente encontrados nos anais do ENCAC, abaixo relacionados, a partir das informações da Tabela 1.

ALUCCI, M. P.; CARNEIRO, C. de M.; BARING, J. G. de A. **Implantação de conjuntos habitacionais: recomendações para adequação climática e acústica**, Publicação IPT 1729. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, Divisão de Edificações, 1986.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE/AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ANSI/ASHRAE, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações. Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **TR 15575-1-1**: edificações habitacionais - desempenho - parte 1-1: base-padrão de arquivos climáticos para a avaliação do desempenho térmico por meio do procedimento de simulação computacional. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Coletânea ENCAC 1990-2011**. Porto Alegre: ANTAC, 2013.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, v. 14, 2014. https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000400009.

ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2013. **Anais [...]**. Porto Alegre, ANTAC, 2013.

ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2015. **Anais [...]**. Porto Alegre, ANTAC, 2015.

ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2017. **Anais [...]**. Porto Alegre, ANTAC, 2017.

ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2019. **Anais [...]**. Porto Alegre, ANTAC, 2019.

ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2021. **Anais […]**. Porto Alegre, ANTAC, 2021.
CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C.; BUHL, W. F.; HUANG, Y. J.; PEDERSEN, C.s O.; STRAND, R. K.; LIESEN, R. J.; FISHER, D. E.; WITTE, M. J.; GLAZER, J.. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. **Energy and buildings**, v. 33, n. 4, p. 319-331, 2001.
D'ELL SANTO, A.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos PROARQ**, v. 20, p. 116–136, 5 maio 2017.
DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. ASHRAE RP-884 Final Report. Sydney: Macquarie University, 1997. Disponível em: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.258.9890&rep=rep1&type=pdf. Acesso em: 1 mar. 2016.
DESIGNBUILDER. **DesignBuilder v7**. Gloucestershire, UK: DESIGNBUILDER SOFTWARE LIMITED, 2002.
FANGER, P. O. **Thermal comfort**: analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.
GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992. https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K.
JOHANSSON, E.; THORSSON, S.; EMMANUEL, R.; KRÜGER, E. Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies – The need for standardization. **Urban Climate**, v. 10, Part 2, p. 346–366, dez. 2014. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.12.002.
LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Programa Computacional Analysis BIO, Versão: 2.2.0. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/pt-br/downloads/softwares/analysis-bio. Acesso em: 22 jul. 2011.
LUNT, H. **"Test reference year", weather data for environmental engineering and energy consumption in buildings**. Report, n. 67. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, 1975. Disponível em: https://orbit.dtu.dk/en/publications/test-reference-year-weather-data-for-environmental-engineering-an. Acesso em: 5 dez. 2022.
MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: a recomendação PRISMA. trad. Taís Freire Galvão; Thais de Souza Andrade Pansani; David Harrad. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, n. 2, p. 335–342, jun. 2015. https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017.
PEIXOTO, L. B.; SOUZA, R. V. G. de. Desempenho térmico pela ABNT NBR 15575: versões 2013 e 2021. **Revista Sítio Novo**, v. 6, Ed. Especial, p. 149–160, 2022. http://dx.doi.org/10.47236/2594-7036.2022.v7.i0.149-160p.
PEREIRA, P. F. C.; BRODAY, E. E.; XAVIER, A. A. P. Thermal comfort applied in hospital environments: a literature review. **Applied Sciences**, v. 10, n. 20, p. 7030, jan. 2020. https://doi.org/10.3390/app10207030.
RORIZ, M.; BASSO, A. **ARQUITROP versão 3.0**: conforto térmico e economia de energia nas edificações. Sistema integrado de rotinas e bancos de dados para apoio às atividades de projeto em Arquitetura e Engenharia Civil. São Paulo: UFSCAR, 1989.
RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil**. Relatório Técnico. São Carlos, BR: ANTAC, 2012. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento.pdf. Acesso em: 19 nov. 2020.
SILVA, A.C.S.B. **Simulação de resfriamento evaporativo por microaspersão d'água**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
UNITED NATIONS. OFFICE OF THE UNITED NATIONS HIGH COMMISSIONER FOR HUMAN RIGHTS. **The right to adequate housing**. Fact Sheet, n. 21. Geneva: United Nations, 2014.
ROBERTS, A.; MARSH, A. ECOTECT: Environmental prediction in architectural education. In: 19th ECAADE – Education for Computer Aided Architectural Design in Europe, Helsinki, Finland, 2001. **Proceedings[…]**. Helsinki, Finland, p. 342-347.