2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

CONFORTO TÉRMICO E CONSUMO DE ENERGIA EM HABITAÇÃO: ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS[1]

DURANTE, Luciane Cleonice (1); GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (2); CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio (3); BLUMENSCHEIN, Raquel Naves (4); LIRA, Vítor Ferronato de (5); MOREIRA, José Vinnícius Ranieri (6)

(1) Universidade Federal de Mato Grosso, luciane.durante@hotmail.com
(2) Universidade Federal de Mato Grosso, emeliguarda@gmail.com
(3) Universidade Federal de Mato Grosso, ivancallejas1973@gmail.com
(4) Universidade de Brasília, raquelblum@terra.com.br
(5) Universidade Federal de Mato Grosso, vtferronato@gmail.com
(6) Universidade Federal de Mato Grosso, jvinnicius@gmail.com

RESUMO

Trata-se de uma pesquisa aplicada que propõe um protótipo de habitação bioclimática para a cidade de Brasília-DF. Objetiva-se analisar as condições de conforto térmico adaptativo proporcionadas, bem como o seu consumo energético, comparando-os com de habitação padrão, cujos materiais dos sistemas de vedação vertical e de cobertura são os tradicionalmente utilizados nas moradias brasileiras. Por meio de simulação computacional, obteve-se a carga térmica, convertida em consumo de energia, bem como a temperatura interna, utilizada para fins de comparação de conforto térmico. As temperaturas internas médias anuais na edificação bioclimática e padrão são respectivamente de 27,18 e 28,25°C, que se enquadra nos limites da zona neutra. O consumo de energia elétrica médio na habitação bioclimática é 34% inferior ao da padrão. Os resultados evidenciam a adequação dos sistemas construtivos da habitação bioclimática ao clima seco, em virtude da utilização de paredes de elevada massa térmica e cobertura leve isolada.

Palavras-chave: *Construções sustentáveis. Massa térmica. Arquitetura bioclimática.*

ABSTRACT

This research informs about a dwelling bioclimatic prototype, which attends the requisites for Brasília city, Brazilian Federal District. It aims to analyze the adaptive thermal comfort conditions at the prototype inner space as well as its energetic consumption, making comparisons with a standard dwelling in which the materials of both the vertical panel's and the cover's systems are the traditional ones used at Brazilian dwellings. Using computational simulation, it was obtained the thermal load value, converted into energy consumption, and the internal temperature, used to compare internal thermal comfort conditions in both. The annual average inner temperatures at the bioclimatic buildings and at the standard ones are 27,18 and 28,25°C, respectively, fitting within the neutral zone. The average consumption value at the bioclimatic dwelling is 56%, inferior compared to the one of the standard dwelling. The

[1] DURANTE, Luciane Cleonice; GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da Guarda; CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio; BLUMENSCHEIN, Raquel Naves; LIRA, Vítor Ferronato de; MOREIRA, José Vinnícius Ranieri. Conforto térmico e consumo de energia em habitação: estudo comparativo de sistemas construtivos. Instruções para a preparação de artigos compactos e resumos estendidos em versão final para o ENTAC 2020. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

results highlight the suitability of the bioclimatic dwelling constructive systems for the dry climate due to the usage of high thermal mass walls and insulated light cover.

***Keywords**: Sustainable buildings. Thermal mass. Bioclimatic architecture.*

1 INTRODUÇÃO

Construções sustentáveis são concebidas e planejadas a partir de várias premissas, como a escolha de materiais ambientalmente corretos - com baixas emissões, menor geração de resíduos durante a fase de obra e que demandem menos energia e água em todas as fases do ciclo de vida (CBIC, 2017).

Segundo CBCS (2014), "A construção sustentável é, neste contexto, um imperativo para assegurar o equilíbrio entre proteger o meio ambiente, viabilizar o crescimento econômico com inclusão social e promover a justiça ambiental, onde ela se faz mais urgente, nas cidades, que acolhe os menos favorecidos em condições precárias de habitualidade". Ampliando-se o olhar para o consumo energético brasileiro, sabe-se que o setor residencial consome cerca de 30% de toda a energia gerada (a indústria e o comércio consomem cerca de 25 e 20%, respectivamente), considerando-se a média após o ano de 2015, no qual foram implementadas medidas de eficientização de lâmpadas, com tendência de crescimento de 2% no mesmo período (EPE, 2020). Esse crescimento está ligado à diversos fatores sociais, econômicos e culturais, estando nele embutida uma parcela relativa ao consumo de energia devido à necessidade de estratégias ativas de condicionamento térmico com vistas à melhoria das condições termo-higrométrica das moradias.

Abordada sob a ótica do ciclo de vida, uma edificação possui as fases pré-operacional, operacional e pós-operacional. A fase pré-operacional considera a extração, industrialização e transporte dos materiais construtivos, bem como a energia (elétrica e de mão de obra) e água utilizadas. A fase operacional inclui a energia e água consumidas durante o uso da edificação, bem como as manutenções e substituições nos sistemas construtivos. A fase pós-operacional considera o destino dos materiais construtivos e seu potencial de reciclabilidade (PAULSEN e SPOSTO, 2013; ALSHAMRANI, GALAL e ALKASS, 2014; SRINIVASAN et al., 2014; ROTHROCK, 2014; REZA, SADIQ e HEWAGE, 2014, MEDEIROS, 2016).

O foco deste estudo é o consumo de energia na fase operacional ou de uso da edificação, que se relaciona com a habitabilidade e com o consumo de energia elétrica decorrente do condicionamento térmico artificial para manter as condições ambientais internas adequadas, o que implica em custos financeiros sob a responsabilidade do morador. Na zona bioclimática brasileira 04, conforme SNH (2019), essas recomendações são: i) o sombreamento é essencial para conter a entrada de radiação solar e o aumento de temperatura dos ambientes; ii) a ventilação pode aumentar a temperatura do ambiente nos períodos de clima seco e seu uso deve ser controlado; iii) quando há inverno mais rigoroso, a cobertura deve ser leve para facilitar a entrada de calor durante o dia, mas ser isolada para impedir a perda de calor durante a noite e iv) a inércia térmica das paredes internas deve ser maior para manter evitar perda de calor durante a noite.

Nesse artigo, partindo-se de um projeto especificado segundo a ótica da arquitetura bioclimática para a quarta zona bioclimática, teve-se por objetivo analisar o seu consumo de energia e as condições de conforto térmico adaptativo resultantes em seu interior, comparando com uma habitação padrão, cujos materiais das paredes e cobertura são os mais frequentes nas moradias brasileiras.

2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Objeto de Estudo

Toma-se como objeto de estudo um projeto de habitação residencial unifamiliar, no qual foram consideradas as recomendações de eficiência energética e de adequação da arquitetura ao clima para a cidade de Brasília-DF, com 62,62m² de área útil, contendo Sala (10,2m²), Cozinha (11,6m²), Dormitório 1 (9,9m²), Dormitório 2 (10,5m²), Banheiro (6,9m²), Área de serviço (4,6m²) e Varanda (7,4m²) (Figura 1).

A cobertura possui duas águas com beirais de 60 cm nas fachadas frontal e posterior e de 1,2m nas fachadas laterais. O pé-direito é de 2,75m. A fachada principal é voltada a Leste (90°). As esquadrias dos dormitórios, sala e cozinha são em madeira, do tipo veneziana móvel, com dimensões de 0,60 x 0,50m. As portas internas são em madeira, com dimensões de 0,90 x 2,10m e, as externas (sala e cozinha) são de correr em veneziana de madeira, com dimensão de 2.25 x 2,10m e de 2,9 x 2,10m, respectivamente.

Os fechamentos verticais foram definidos de acordo com IBGE (2016), que levantou os materiais predominantes das paredes das moradias brasileiras: alvenaria ou taipa com revestimento (88.4%), alvenaria ou taipa sem revestimento (6,3%) e madeira (4,8%). Assim, as paredes externas e internas do objeto de estudo são em taipa de pilão, com 25cm de espessura (Figura 2-a). Para a habitação padrão, as paredes são em alvenaria de tijolos assentados e rebocos com argamassa de cimento.

Ainda segundo o IBGE (2016), o material predominante usado nas coberturas é telha sem laje (52%), telha com laje (31,9%) e somente laje (13,7%). Para a edificação padrão adotou-se telha de fibrocimento (espessura 6 mm), amplamente utilizada em todo o território nacional. Já no objeto de estudo, a cobertura constitui-se de telhas de madeira (Figura 2b) sobre barreira radiante de manta aluminizada, adotada por ser uma tipologia vernácula, com elevado potencial inovador e que pode conformar uma cadeia produtiva sustentável, uma vez que é oriunda de materiais renováveis e pode ser produzida localmente. Ambas possuem ático ventilado e forro de madeira.

Figura 1–a)perspectiva, b) fachada principal e c) planta baixa da edificação

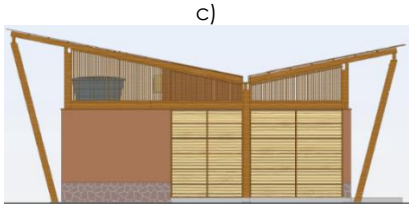
a)



b)



c)

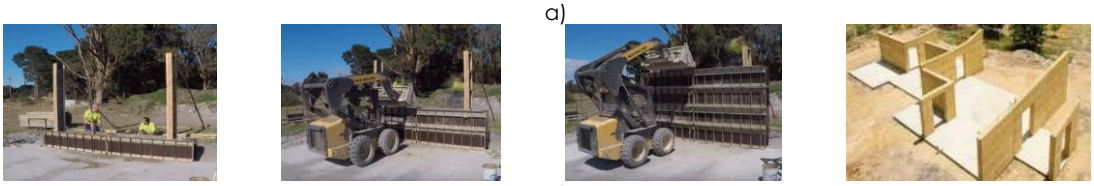


Fonte: Os autores

Para determinação das propriedades térmicas dos materiais construtivos das duas edificações utilizou-se as normativas NBR 15.220 (ABNT, 2005) (Tabela 1). A resistência térmica da câmara de ar é de 0,21 m²K/W, alta emissividade, espessura maior que 5cm. Em ambas, a absortância das paredes externas é de 0,61 e das telhas de 0,4.

Figura 2 – a) processo construtivo da taipa de pilão e b) telhas de madeira

a)



b)



Fonte: a) Rammed Earth Enterprise (2019) e b) TW BRAZIL (2019)

Tabela 1 – Propriedades termofísicas dos materiais construtivos

Habitação	**Envoltória**		**e**	**c**	**λ**	**ρ**	**U**	**C_T**
Baixo impacto	Paredes	Taipa de pilão	25,00	840	0,52	1700	1,53	227
	Cobertura	Telha de madeira	4,0	1340	0,15	600	2,29	25
		Forro de madeira	0,040	1340	0,15	600		
Tradicional	Paredes	Argamassa externa e interna	0,20	1000	1,15	1800	2,46	71
		Tijolo Cerâmico	9,00	920	1,05	1600		
	Cobertura	Telha Fibrocimento	1,00	840	0,65	1800	1,76	65
		Forro de PVC	1,00	960	1,20	1300		

Nota: e = espessura (cm); c= calor especifico (J/KgK); λ = condutividade térmica (W/mK); ρ = densidade volumétrica (Kg/m³); U = transmitância térmica (W/m²K); CT = capacidade térmica de compontes (J/m²K)

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005)

2.2 Simulação Computacional

Para as simulações computacionais adotou-se o software EnergyPlus, validado pela ASHRAE 141, com a interface gráfica do DesignBuilder v. 6.1. Os padrões de ocupação e ganhos internos foram tomados conforme RTQ-R (INMETRO, 2012), sendo 2 e 4 pessoas, com atividade metabólica de 60 e 45W/m² nos quartos e sala, respectivamente. A densidade de potência de iluminação e cargas de equipamentos são obtidos por meio do projeto elétrico da habitação analisada, sendo considerados para fins de simulação somente os ambientes de permanência prolongada (Quadro 1). Os horários de ocupação nos quartos são das 21 às 08h nos dias de semana e das 21 às 10h nos finais de semana; na sala são das 14 às 21h nos dias de semana e das 11 às 21h, nos finais de semana.

Quadro 1 – Cargas consideradas na simulação

Ambiente	**Lâmpadas (LED)**	**Equipamentos (horas de uso/dia)**	**Potência Total (W)**	**Densidade de potência (W/m²)**	
				Iluminação	**Equipamentos**
Cozinha	2	Geladeira (24h/dia) e fogão (15min/dia)	3.390	2,06	292,24
Sala	2	Televisor (15min/dia)	174	2,06	16,99
Dormitório 01	2	-	24	2,06	
Dormitório 02	2	-	24		

Fonte: Os autores

2.3. Avaliação de Conforto Térmico Adaptativo conforme Método de De Dear e Brager (1998)

A Standard 55 (ASHRAE, 2013) apresenta O índice de conforto térmico adaptativo proposto por De Dear e Brager (1998), aplicado a edifícios naturalmente ventilados, considerando ocupação e fontes internas de calor. Os níveis de conforto são estabelecidos pela temperatura operativa interna ideal ou pela "neutralidade térmica" mensal (Tn, em °C) relacionada às médias mensais da temperatura externa do ar (TE,med., em °C), conforme Equação 01. Destaca-se que a equação é válida para TEmed entre 10,0°C e 33,5°C. Após a determinação da temperatura neutra, a ASHRAE (2013) estabelece um intervalo de temperaturas de conforto para 80% ou 90% de usuários satisfeitos. As faixas são determinadas por limites superiores e inferiores dadas por Tn+Tolerância e Tn-Tolerância, respectivamente e a temperatura operativa interna (Top), representando o intervalo. Para esta pesquisa, considerou-se a faixa de 80% de usuários satisfeitos. (Equação 02).

$$Tn=17,8+0,31\times TEmed \quad (1)$$

Para 80% dos usuários satisfeitos

$$(Tn-3,5)\leq Top \leq (Tn+3,5) \quad (2)$$

De posse das temperaturas operativas internas mensais (Top), é possível quantificar as horas de desconforto por calor e/ou frio e de conforto térmico dos ambientes, obtendo-se a temperatura operativa pela média ponderada das temperaturas dos ambientes pela área. Os valores dos limites inferior (Tn-3,5) e superior (Tn+3,5) foram utilizados como setpoint de resfriamento e aquecimento do sistema de ar condicionado, na simulação de consumo de demanda energética.

2.3 Estimativa de Demanda Energética conforme Método de Graus-Mês

Este método tem como objetivo estimar a quantidade de energia requerida em uma edificação para proporcionar conforto térmico, a qual pode ser de aquecimento ou resfriamento. Segundo Goulart (1993), o método é definido como o somatório das diferenças de temperatura, quando esta se encontra abaixo ou acima de uma temperatura base (Tb), aqui adotada como sendo os limites inferior e superior obtidos da aplicação do método de De Dear e Brager (1998). Segundo PASA (2012), os graus-dia para resfriamento e aquecimento são indicadores usados para avaliar o desempenho térmico do edifício. No entanto, para esta pesquisa adaptou-se o método para graus-mês, ou seja, calcula-se a diferença, mês a mês, para todo o ano, conforme indicado pelas Equações 4 e 5, onde CDM representa o Número de graus-mês para resfriamento; HDM o Número de graus-mês para aquecimento, Tméd a Temperatura média (°C) e; Tb as Temperaturas bases (°C) para resfriamento ou aquecimento, conforme explicitado anteriormente.

$$CDM= \sum (Tméd - Tb) \quad (4)$$

$$HDM= \sum (Tb-Tméd) \quad (5)$$

Segundo Pasa (2012), calculam-se as perdas pelo envelope, as perdas localizadas e as perdas pela ventilação, pois o coeficiente global de perda de calor (L) depende da arquitetura e materiais construtivos utilizados (Equação 6). A capacidade térmica volumétrica do ar considerada foi de 1,2kJ/m³K, o mesmo utilizado por Durmayaz (2000), e a taxa de troca de ar foi de 1ac/h. Segundo a mesma autora, o consumo

médio de energia para resfriamento (Qc) é dado pela Equação 7, onde Qc fornecem valores em KWh/ano; U é a Transmitância térmica (W/m² °C); A é a área das superfícies (m²); I é a taxa de troca de ar (Unidade); V é o volume interno da construção (m³) e δCp é a capacidade térmica volumétrica do ar (KJ/m³K).

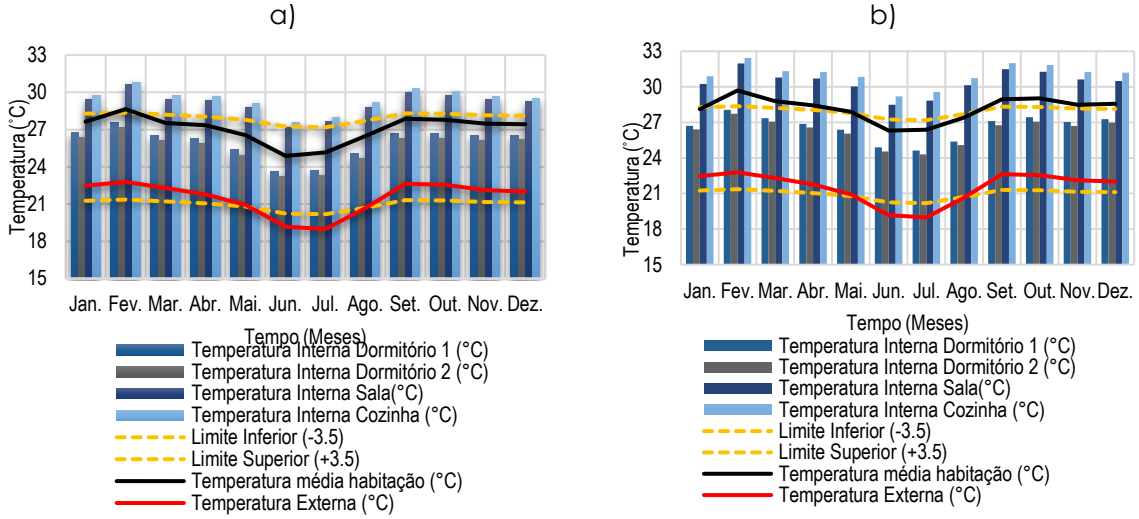
$$L = \sum U*A + I*(\delta*Cp)*\frac{V}{3,6} \quad (6)$$

$$Qc = CDM*L*\frac{12}{1000} \quad (7)$$

3 RESULTADOS

O limite inferior da temperatura neutra varia de 24,29 a 24,86ºC e o superior, de 27,19 a 28,36ºC (Figura 3). Nos dois sistemas construtivos, os Dormitórios 1 e 2 se enquadram nos limites de conforto em todos os meses do ano. As temperaturas operativas da Sala e Cozinha permanecem sempre acima do limite superior, proporcionando condições de desconforto térmico por calor. Observa-se que na habitação bioclimática, as temperaturas operativas são sempre menores que a da habitação padrão: considerando a média mensal, as condições internas excedem o limite superior de conforto na primeira, apenas no mês de fevereiro e, na segunda, de setembro a dezembro e de fevereiro a abril. Em termos anuais, a temperatura interna média na habitação bioclimática e padrão é de 27,18 e 28,25ºC, respectivamente.

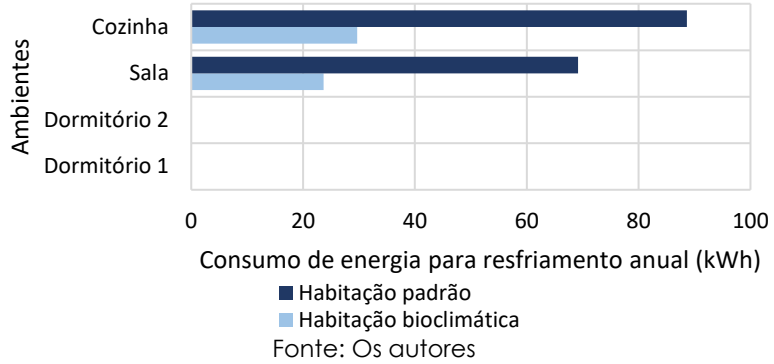
Figura 3 – Temperatura interna e faixa de conforto adaptativo: a) habitação bioclimática, b) habitação padrão



Fonte: Os autores

O consumo para resfriamento na edificação bioclimática é 34% menor que na padrão (consumo médio anual de 53 e 158kWh, respectivamente (Figura 4). É demandado apenas nos ambientes da Sala (abertura a leste e norte, consumo anual de 24 e 69kWh na habitação bioclimática e padrão, respectivamente) e Cozinha (abertura a leste e oeste, consumo anual de 30 e 89kWh na habitação bioclimática e padrão, respectivamente). Nos dormitórios não foi verificada a necessidade de aquecimento ou resfriamento em ambas as edificações, o que pode ser justificado pelas aberturas pequenas a Sul e amplo sombreamento de todas as aberturas e paredes.

Figura 4 – Consumo de energia para resfriamento por ambiente



Fonte: Os autores

Os resultados evidenciam que as temperaturas internas no sistema construtivo da habitação em taipa são sempre menores que as do sistema construtivo padrão, uma vez que a taipa tem a capacidade de regular a temperatura interna, retendo uma parte do calor em seu interior, que é devolvido ao interior ou exterior dependendo da direção do fluxo, sempre estabelecido na direção da maior para a menor temperatura. Quanto mais elevada a inércia térmica, maior o calor retido nas paredes durante o dia. Em locais de clima seco, tal como Brasília, a amplitude térmica diária é elevada e o calor armazenado é devolvido para o exterior da habitação durante o dia e para o seu interior durante a noite, estabilizando as condições internas e reduzindo o consumo de energia. Com esse comportamento, corroboram Minke (2001) e Ponte (2012).

A capacidade térmica das paredes da habitação bioclimática é alta e a da padrão, baixa. Isso resulta em desempenhos energéticos diferentes, podendo-se atribuir essa diferença aos diferentes tipos de paredes, já que ambas as coberturas apresentam capacidade térmica leve. Muito embora, a taipa diminua as temperaturas máximas e mínimas, a amplitude térmica interna mantém-se menor ao longo do ano e, com isso, o consumo de energia para adequação aos limites de conforto diminui.

4 CONCLUSÕES

A adoção da estratégia de massa térmica para as paredes para habitação resultou em diferença de até 1°C na temperatura interna média anual entre os sistemas construtivos da habitação bioclimática e padrão. A habitação bioclimática excede o limite superior de conforto térmico somente em janeiro, enquanto a padrão, mantém as condições de conforto térmico somente em quatro meses do ano. Esse comportamento influencia no consumo energético, sendo que a habitação bioclimática consome 34% menor que a padrão, resultando em demanda energética somente para os ambientes de sala e cozinha.

Observa-se que a estratégia aplicada é adequada a climas secos, atuando para acumular calor nas paredes durante o dia, devolvendo-o ao interior durante a noite. Considerando que o consumo de energia está sendo avaliado na fase de uso e operação da habitação, esse é um fator importante, pois pode diminuir os gastos que os moradores terão com energia elétrica para fins de resfriamento.

AGRADECIMENTOS

Ao Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído (PISAC) e a

Universidade de Brasília (UnB), pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ALSHAMRANI, S. O.; GALAL, K.; ALKASS, S. **Integrated LCA-LEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings**. Building and Environment, 80, p. 61-70, 2014.

ASHRAE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Standard 55** - Thermal environmental conditions for human occupancy, Atlanta, 2013.

CBCS CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas: Subsídios para a promoção da construção civil sustentável**. Brasília, 2014

CBIC CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: A MUDANÇA EM CURSO**. Brasília, 2017.

DE DEAR, R; BRAGER, G; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – Final Report on ASHRAE RP 884**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Atlanta, 1997.

EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)**. 2020. Disponível em: http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas. Acesso em: 11 maio 2020.

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópoli**s. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina.

IBGE INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua, 2017. **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2017**. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/.

INMETRO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Requisitos técnicos da qualidade para nivel de eficiencia energética de edificios residenciais**. 2012.

MEDEIROS, Larissa Mendes. **Avaliação do Ciclo de Vida do Edifício: Uma abordagem até fase de construção**. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

MINKE, G. **Manual de construccion en tierra: la tierra como material de construccion y sus aplicaciones em la arquitecture actual**. Kassel: Nordan Comunidad, 2001.

PASA, C. C. M; PASA, L. A; JUNIOR BRAGHINI, A; SOUZA, S. N. M. **Avaliação da eficiência energética em edificações e sua relação com os materiais construtivos empregados**. Produção Online, v.12, n.1 Florianópolis, 2012.

PONTE, M. M. C. C. **Arquitetura de terra: desenho para a durabilidade das construções**. 298p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade de Coimbra, 2012.

RAMMED EARTH ENTERPRISES. Disponível em: https://www.rammedearthenterprises.com.au/. Acesso em: 19 ago. 2019.

SNH SECRETARIA NACIONAL DE HABITAÇÃO. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável. **Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável**. Relatório Final Evolução Normativa do PMCMV relativa a aspectos de Eficiência Energética. 2019

TW BRAZIL. TREATED WOOD BRAZIL. **Telhas de madeira - Taubilhas**. Disponível em: https://www.twbrazil.com.br/. Acesso em: 19 agosto 2019.