

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES SOCIAIS EM ADOBE E TIJOLO CERÂMICO NO CEARÁ, BRASIL

Levi Teixeira Pinheiro¹, Bárbara Rangel Carvalho², Ana Sofia Guimarães², Humberto Salazar Varum^{2*}

¹ Instituto Federal do Ceará, CEP, Quixadá, Brasil.

² Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 4200-465, Porto, Portugal.

*E-mail: levi.teixeira@ifce.edu.br

Recebido em: 04/07/2022
Aceito em: 02/09/2022

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo realizar uma análise comparativa do desempenho térmico entre dois tipos de sistemas construtivos: alvenaria em tijolo cerâmico e adobe em três zonas bioclimáticas do estado do Ceará, Brasil: 05, 07 e 08. A metodologia consistiu em modelar uma habitação de interesse social rural na plataforma Energy Plus e Open Studio com duas tipologias de alvenaria: adobe e tijolo cerâmico, de modo a avaliar o seu desempenho térmico a partir de parâmetros de conforto de normas brasileiras e internacionais. Ao fim da pesquisa, constatou-se que a unidade habitacional com a alvenaria de adobe ou tijolo cerâmico apresentaram comportamentos similares nas 3 zonas bioclimáticas do Ceará, por apresentarem propriedades térmicas similares. Em nenhuma zona os modelos conseguiram boas condições de conforto pelo uso de coberturas inadequadas aos climas analisados.

Palavras-chave: Palavras-chave. Conforto térmico, Construção em terra, Custo

1 Introdução

O Programa Minha Casa e Minha Vida (MCMV) durou 12 anos, de 2009 a 2021, e se encerrou com a criação do programa Casa Verde Amarela. O MCMV apresentou uma produção habitacional mais elevada do que os anos anteriores [1], porém, os parâmetros construtivos e térmicos não eram adequados a todas as regiões brasileiras. As exigências para alvenaria excluem as técnicas vernáculas, permitindo somente aquelas normatizadas [2]. Dentre as técnicas construtivas vernáculas brasileiras normatizadas, tem-se a alvenaria de adobe, que foi normatizada somente no ano de 2020, pela ABNT [3], no último ano do programa.

A alvenaria de adobe, devido a seu elevado calor específico, funciona como um bom moderador de temperatura, contribuindo para inércia térmica da edificação, que tem maior aplicação nos climas quentes e secos ou temperados com alta amplitude térmica diária [4]. Por outro lado, apresenta uma moderada condutibilidade térmica [5]. Mesmo com o potencial térmico do adobe, verificam-se poucos estudos sobre o tema.

Nas investigações levantadas, observa-se que não se deve analisar isoladamente as performances térmicas das paredes de terra, e sim o conjunto arquitetônico, principalmente as propriedades e massa térmica da cobertura e do piso [6]. Desse modo, constata-se que em alguns tipos climáticos da classificação Koppen como Aw, as paredes internas esbeltas contribuem para atenuação do calor e as janelas grandes (0,5x1,5m) para o calor no período quente [4-5]. Em climas temperados do tipo Cwa, recomenda-se o uso de coberturas leves com forro de madeira, câmara de ar, paredes de adobe com 14cm [7]. No clima Csa, recomenda-se o uso de forros com materiais de baixa condutividade térmica com placas de aglomerado de cortiça e paredes de adobe esbeltas (14 cm) com argamassas de terra [8]. No clima Bsh, paredes internas esbeltas (34cm) e janelas pequenas (0,5 x 0,5 m) para atenuação do calor, com dias quentes e noites frias. No clima BSk, as paredes externas grossas (60cm) contribuem para o aumento do calor noturno e paredes internas esbeltas (30 cm) e janelas pequenas (0,5 x 0,5 m) contribuem para a redução do calor [4].

No Brasil, temos uma produção contemporânea em todo o território nacional feita por arquitetos, engenheiros e bioconstrutores desde os anos 2000 [9]. Nela, registrou-se a produção de dois assentamentos rurais em adobe no estado de São Paulo: assentamento Pirituba, em 2005 e Sepé Serra Azul, em 2008, financiados pelo Governo Federal [10]. Nos estados como Ceará e Piauí, ainda se identifica a produção de habitações em adobe em comunidades rurais em um processo de autoconstrução [11]. No estado do Ceará, verifica-se que o uso da alvenaria de adobe em zonas rurais pode reduzir em até 20% o custo total da obra, quando se utiliza o solo local, sem custo de transporte e com próprio material, e mão de obra sobre autoconstrução para produção dos adobes [12].

Compreendendo as qualidades térmicas, o retorno de utilização do adobe em obras contemporâneas, a sua permanência no estado do Ceará, o seu baixo custo e a escassez de estudo do comportamento térmico em climas tropicais, propõe-se esta pesquisa com objetivo avaliar o comportamento térmico de uma habitação social em dois tipos de alvenaria: adobe e tijolo cerâmico nas zonas bioclimáticas 5, 7 e 8 da NBR 15220.

2 Parte Experimental ou Metodologia

Para a análise térmica, modelou-se uma unidade habitacional na plataforma Design Builder e Energy plus, utilizando-se de dados da NBR 15220 [16] e da literatura sobre o comportamento térmico do adobe. Construiu-se 1 modelo, variando os tipos de alvenaria, sendo uma em adobe e outra em tijolo cerâmico, simuladas em três cidades distintas do Ceará: Guaramiranga, Crateús e Fortaleza, correspondentes às zonas bioclimáticas 5, 7 e 8.

A pesquisa foi desenvolvida em 3 etapas: coleta de dados, construção dos modelos e análise de dados. A coleta de dados consistiu em levantamento de arquivos climáticos das cidades de Guaramiranga, Crateús e Fortaleza no site Projeteer – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. E dados na literatura das propriedades térmicas, como absorvância, condutividade térmica, calor específico e densidade dos componentes da edificação. Os dados de custo dos materiais foram extraídos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) e da literatura como Carvalho [12].

O modelo foi construído a partir dos seguintes parâmetros: clima, tipologias arquitetônicas, orientação, paredes, cobertura, piso e janelas, infiltração de ar, iluminação e

equipamentos elétricos e pessoas, recomendações de Westphal [13].

As análises foram realizadas considerando o percentual de horas de conforto e desconforto por frio e calor, a partir dos critérios estabelecidos pela ASHRAE Standard 55 [14]. Assim como foram considerados os critérios da NBR 15575-5 para avaliar o comportamento dos dias de temperaturas extremas anuais.

A partir da ASHRAE Standard 55 [14], foi determinada a temperatura operativa neutra, e a zona de conforto de cada ZB, cuja zona de conforto é a soma de $\pm 2,5$ °C à temperatura operativa neutra, representando nesse intervalo a satisfação de 90% dos usuários, baseando-se em Dear et al [15]. A zona de conforto é compreendida como uma faixa de temperaturas onde os usuários não preferiam mais calor ou mais frio.

$$T_{on} = 17,8 + 0,32 tmm$$

Onde: T_{on} : Temperatura Operativa Neutra °C
tmm: Temperatura média mensal do ar

externo °C

A zona de neutralidade ou zona de conforto é o intervalo entre limite superior: $T_{on} + 2,5^{\circ}c$ e limite inferior: $T_{on} - 2,5^{\circ}c$, em que a temperatura interna estará em conforto estando dentro dos limites, em desconforto por calor se estiver acima e em desconforto por frio se estiver abaixo. Assim, a cada mês tem-se uma zona de conforto para cada zona bioclimática, e a partir dessa diferença são calculados os percentuais de conforto e desconforto anuais [15].

Nessa etapa, foi realizada uma análise geral do comportamento da edificação aplicado nos cômodos de permanência: sala/cozinha e 3 quartos em 4 orientações distintas. Desse modo, optou-se em relacioná-lo a cada 90°, tendo como referência o modelo com azimute Az0, com a entrada principal voltada para o Norte. Assim, a cada rotação foi possível obter 4 orientações para fachada principal: norte, sul, leste e oeste, que correspondem aos modelos Az0, Az90, Az180 e Az270 (ver **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

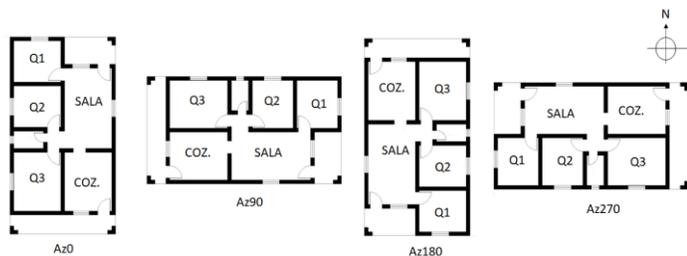


Figura 1 – Variáveis orientações

3 Resultados e discussões

3.1 Descrição dos modelos

A NBR 15220 [16] enquadra as cidades cearenses em 3 zonas bioclimáticas: 5, 7 e 8, classificadas a partir de 12 cidades do Ceará, pois das 184 existentes, estas são as únicas que apresentaram dados climáticos suficientes para essa classificação. Assim, escolhemos as cidades de Guaramiranga, Crateús e Fortaleza, representantes das 3 zonas e detentoras de edificações em adobe.

A zona 5 é representada pela cidade de Guaramiranga com um clima peculiar de Tropical com inverno seco (Aw), classificação Koppen, e Subúmido Chuvoso (C1), classificação thornthwaite; este clima é encontrado em poucas regiões do Estado do Ceará, somente em altitudes acima de 600m. A zona 7, por sua vez, apresenta maior concentração de cidades, em um total de 7: Barbalha, Campos Sales, Crateús, Iguatu, Morada Nova, Quixadá, Quixeramobim, Jaguaruana, Iguatu e Tauá. Algumas cidades são caracterizadas pelos climas Seco, Semiárido e Quente (BSh), classificação Koppen, combinado com árido (E) ou semiárido (D), classificação Thornthwaite. Em outras tem-se o clima Tropical com Inverno Seco (Aw), classificação Koppen, combinado com o clima semiárido (D), classificação Thornthwaite. Por fim, a zona 8, dentro da amostragem, contempla somente a capital Fortaleza, que se enquadra no clima Tropical com inverno (Aw), Koppen, e subúmido seco (C1), Thornthwaite; tipos climáticos representam uma pequena parcela do território nas regiões litorâneas e na parte inferior das serras.

A partir dos parâmetros da NBR 15220 [16] e dos dados de temperatura máxima de cada cidade extraídos dos arquivos climáticos, calculou-se os valores dos níveis mínimo, intermediário e superior de temperaturas de conforto de acordo com as recomendações da NBR 15220 [16] para as 3 zonas bioclimáticas. A zona bioclimática 5, por possuir temperaturas mais baixas e elevadas amplitudes ao longo ano, apresentam uma média de 22,15 e 27,15 °C entre os seus limites inferior e superior, enquanto as zonas bioclimáticas 7 e 8 apresentam limites muito similares, apesar de possuírem climas diferentes. Porém, a zona bioclimática 7 detém temperaturas elevadas e baixa umidade e, conseqüentemente, moderadas amplitudes térmicas. Enquanto a zona bioclimática 8 se aproxima da zona bioclimática 8, que por sua vez apresenta temperaturas mais amenas, elevadas taxas de umidade e baixas amplitudes térmicas (Tabela 1 – Temperatura limite superior e inferior. Tabela 1). A variação da sensação de conforto é explicada pelo fato de que a mesma varia de acordo com a aclimação dos indivíduos [17].

Tabela 1 – Temperatura limite superior e inferior.

	Zona 5	Zona 7	Zona 8
Limite Inferior	22,15 °C	23,97 °C	23,83 °C
Limite Superior	27,15 °C	28,97 °C	28,83 °C

A análise do sistema construtivo partiu de uma tipologia habitacional do programa MCMV no Ceará, uma habitação de 75m² com 6 cômodos: sala, cozinha, 3 quartos e banheiro. Durante a modelagem, a sala e a cozinha foram consideradas como uma zona térmica, pois são ambientes integrados por um vão de porta sem esquadria, que por estar em aberto, torna as trocas e calor e umidade constantes entre os ambientes. O banheiro, por sua vez, foi modelado como zona térmica e o seu comportamento não foi considerado, pois não é uma zona de permanência. Quanto à altura do pé direito, variou de 2,40m a 3,80m, devido à ausência de forro. A análise dos cômodos considerou somente 4 ambientes: sala/cozinha e 3 quartos. Para a infiltração de ar em cada ambiente, adotou-se o valor mínimo de 1 renovação de ar, sugerido pela NBR 15220 [16], considerando as esquadrias fechadas.

Desse modo, foram modeladas 2 unidades habitacionais com a mesma geometria, alterando-se apenas os materiais que compõem as paredes. As coberturas para ambos os modelos foram compostas de telhas cerâmicas com 3cm, sem forro e estrutura de madeira. As esquadrias foram modeladas em madeira. O modelo em alvenaria de tijolos cerâmicos tem blocos

de 0,14m de espessura, assentados e rebocados com argamassa de cimento de 15 cm, pintados com tinta à base de cal, com espessura final de 17 cm. O modelo em adobe tem blocos de 14cm de espessuras, assentados e rebocados com argamassa de cal com 1,5cm de espessuras em ambos os lados com tinta base de cal, resultando em uma parede com 17cm de espessura.

As propriedades térmicas como densidade, condutibilidade térmica, calor específico e absorvância da envoltória foram extraídas de normas brasileiras e da literatura. No caso da alvenaria em tijolo cerâmico e da cobertura, foram extraídas da NBR 15220 [16]. As propriedades térmicas da alvenaria de adobe foram levantadas na literatura especializada, como Gomes e Gonçalves [18], Delgado e Guerrero [19], Minke [20], Mazria[21], Perrigault, Weatherford, Marti-Herrero e Poggio [22], Hassanain, Hokam e Mallick [23], Heathcote [24], Matos e Dos Santos [25], Antonello, Atzeni e Musso [26] e ABNT [27].

Nos modelos investigados, a alvenaria de adobe é aquela que apresenta a maior transmitância, com 2,60 m².K, pelo fato de o adobe e a argamassa de cal apresentarem os menores valores de condutibilidade térmica. Por sua vez, a alvenaria de tijolo cerâmico apresentou o valor de 2,22 m² K. Ambas as paredes atendem o pré-requisito da NBR 15575, pois se enquadram nos parâmetros, se $\alpha \leq 0,6$; $U \leq 3,6$ m².K. Porém, as telhas cerâmicas, devido a sua esbeltez, atingem valores elevados de 4,55 m².K, não se enquadrando nas recomendações para nenhuma zona bioclimática do Ceará, onde $U \leq 1,5$ m².K, $\alpha > 0,6$. Os elevados valores de transmitância fazem com que ocorram rápidas trocas de calor entre o ambiente interno e externo.

A capacidade térmica da alvenaria de adobe se apresentou superior à alvenaria de tijolo cerâmico com 260 kJ/m².K, pelo fato de se apresentar com a maior densidade e calor específico. Enquanto a alvenaria de tijolo cerâmico, mesmo rebocada com argamassa de cimento com maior densidade e calor específico que a argamassa de cal que reveste o adobe, apresenta um valor de capacidade térmica bem menor de 144,62 kJ/m².K. O fenômeno é explicado pelo fato de os blocos apresentarem maior espessura que as argamassas, logo, possuem maior influência sobre as propriedades térmicas das paredes. Nos casos das alvenarias, verifica-se que ambas atendem às recomendações de $CT \geq 130$ kJ/m².K. As coberturas apresentam baixos valores de $CT \geq 18$ kJ/m².K, porém, não se verificam recomendações normativas.

Em termos de custos, avaliou-se o valor da unidade habitacional excluindo-se a mão de obra, pois o programa MCMV rural financia somente os materiais de construção, considerando que a edificação será construída sob o regime de autoconstrução. A unidade habitacional em tijolo cerâmico obteve o valor de R\$ 44.600,00. Enquanto isso, a mesma unidade, em alvenaria de adobe, apresentou o valor de 35.200,00R\$, isto é, aproximadamente 20% do valor, como previsto por Carvalho [12]. A alvenaria de adobe tem o menor custo pelo fato de se utilizar a terra local para produção dos blocos, não havendo custo com a matéria-prima dos mesmos, somente com a argamassa de cal. Segue uma tabela onde se compara as propriedades térmicas e o custo dos modelos em alvenaria cerâmica e adobe (ver Tabela 2).

Tabela 2. Propriedades térmicas da envoltória para uma unidade habitacional MCMV em alvenaria de tijolo cerâmico e adobe

	Parâmetros	Unidades	Alvenaria de tijolo cerâmico	Alvenaria de adobe
Parede	Espessura	m	0,03	0,03
	U	m ² .K	4,55	4,55
	CT	kJ/m ² .K	18	18
	α	-	0,75	0,75
	ω	horas	0,5	0,5
Cobertura	Espessura	m	17	17
	U	m ² .K	2,22	2,60
	CT	kJ/m ² .K	144,62	260
	α	-	0,2	0,2
	ω	horas	3,7	4,7
Modelo	Custo	R\$	44.600	35.200

3.1 Simulações

Em termos de qualidade, o modelo em alvenaria de adobe apresentou o comportamento térmico similar ao tijolo cerâmico em todas as zonas bioclimáticas do Estado do Ceará, verificando-se as melhores condições nas zonas 5 e 8, nos quesitos de graus horas. Porém, nenhum modelo atingiu a temperatura de conforto mínimo para cada zona, o que pode ser justificado pelo fato de que as coberturas sem forro não atendem aos parâmetros da NBR 15575 [27] e, como constatou Desogus et al [28], de que as habitações em adobe não atendem ao comportamento térmico adequado, caso estejam associadas a coberturas inadequadas ao clima. Assim como Heathcote [6] aponta que as paredes de adobe, para apresentarem uma contribuição térmica efetiva, devem apresentar pelo menos 30 cm de espessura, os modelos no caso possuem paredes de 17 cm [6]. Não se experimentou outro tipo de cobertura, porque seguimos as especificações do modelo habitacional MCMV para o Estado do Ceará e o foco do artigo está na avaliação do comportamento das alvenarias.

Durante as simulações, verificou-se que a variação de orientação ou dos tipos de cômodos dos modelos detém uma influência irrelevante, variando em 1 a 2%. Esse fenômeno pode ser explicado através das pesquisas de Desogus et al. [28] e Chavtal [30], que apontam que as coberturas têm maior impacto nas trocas de calor do que as paredes, por passarem mais tempo expostas ao sol e não sofrerem influência da orientação. Além disso, há o fato de os modelos permanecerem com as esquadrias opacas fechadas, eliminando a influência da orientação dos ventos e da radiação solar direta nos ambientes. Desse modo, optou-se por realizar uma análise comparativa entre as zonas a partir do ambiente sala/cozinha situado no Az180, por ser aquele que atinge as piores temperaturas. Logo, nivelamos pela pior condição, considerando que todos os ambientes de permanência devem estar dentro da zona de conforto de sua respectiva zona.

A) Zona bioclimática 5

O modelo situado na cidade de Guaramiranga, zona bioclimática 5, apresenta o menor percentual de conforto se comparada às outras zonas, com média anual de 23 % para o adobe e 28 % para o tijolo cerâmico. Nessa zona, o modelo apresenta um elevado desconforto por frio o ano inteiro, com médias de 76 % para o adobe e 68 % para o tijolo cerâmico, e um baixo desconforto por calor, como média a anual de 1 % para o adobe e 4 % para o

tijolo cerâmico. Em termos de estações, verifica-se uma variação irrelevante entre as mesmas, seja por conforto ou desconforto (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Isso ocorre pelo fato de ser um clima tropical com pequenas variações de temperatura e umidade. As temperaturas máximas mensais variam de 24 a 28 °C e mínimas de 16,72 e 18,85 °C. Já as umidades apresentam médias mensais quase constantes, de 82,83 a 93,7 %. Em resumo, o adobe aumentou o desconforto por frio em todas as estações, reduzindo as taxas de conforto e taxas de desconforto durante as estações ou meses. O tijolo cerâmico apresentou comportamento inverso.

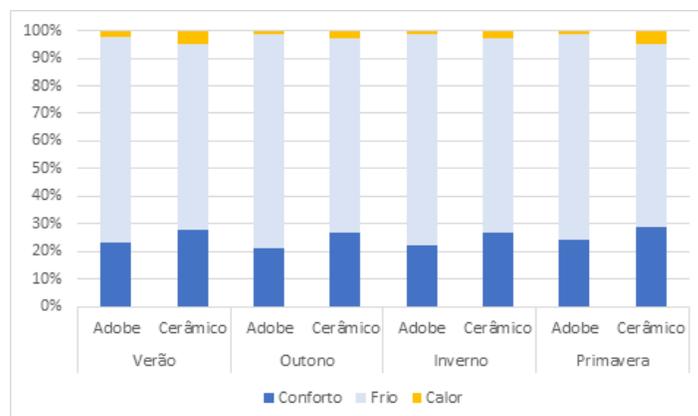


Figura 2 – Conforto e desconforto por frio e calor por estações dos modelos em adobe e tijolo cerâmico

O frio é preponderante dentro do modelo devido ao clima de Guaramiranga apresentar temperaturas abaixo da zona bioclimática de conforto, principalmente no período noturno. Por sua vez, o baixo percentual de desconforto por calor se deve ao fato de o clima apresentar temperaturas amenas no período diurno, dentro dos limites de conforto, e baixas no período noturno. Além disso, o modelo não apresenta coberturas adequadas para clima, com telha cerâmica com $U = 4,55 \text{ kJ/m}^2\text{rK}$, pois a NBR 15520 [16] recomenda o uso de coberturas com $U \leq 1,5 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. As coberturas utilizadas provocam rápidas trocas de calor diurno e noturno. Porém, o uso de paredes de adobe e tijolo cerâmico, com moderadas capacidade e transmitância térmica, adobe com $CT = 277,76 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ e $U = 2,54 \text{ m}^2\text{K}$ e tijolo cerâmico com $CT = 144,62 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ e $U = 2,22 \text{ m}^2\text{K}$, se enquadram nas normativas e permitem um acúmulo de calor diurno e liberação de calor noturno, elevando as temperaturas nesse período. As coberturas

contribuem para o modelo atingir a temperatura de conforto em um curto período de horas durante o dia. Porém, durante a noite, as perdas de calor pela cobertura reduzem a eficiência das paredes em liberar calor (Figura 1).

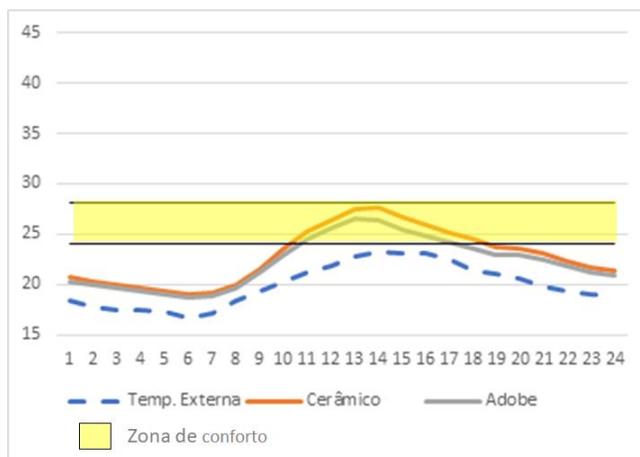


Figura 1 – Temperatura horária do dia 15 de agosto, dia de menor temperatura no inverno.

Como verificado, o modelo com alvenaria em tijolo cerâmico detém o maior percentual de conforto se comparado ao modelo em adobe, apesar de ser uma diferença baixa, de 5 a 6%. Também apresenta o menor desconforto por frio, cuja diferença entre os modelos varia de 7 a 8 %, a depender da estação.

Zona bioclimática 7

O modelo situado na cidade de Crateús, zona bioclimática 07, apresenta um baixo percentual de conforto, com média anual de 46% para o adobe e 40% para o tijolo cerâmico. Nessa zona, o modelo apresenta um elevado desconforto por calor o ano inteiro, com médias de 52% para o adobe e 59% para o tijolo cerâmico e um baixo desconforto por frio, com média anual de 2% para o adobe e 1% para o tijolo cerâmico. Em resumo, em todas as estações, o adobe aumentou o conforto, reduzindo o desconforto por calor, mas aumentou levemente o desconforto por frio (mas tem frequência mínima em relação aos demais) (Figura 2). O calor é preponderante dentro do modelo devido às características climáticas da cidade: temperaturas máximas mensais apresentam valores mínimos no inverno de 30,85 °C e máximos na primavera de 37,67 °C, combinadas com uma baixa umidade, com médias

mensais variando entre 46,7 %, nos períodos secos, e 84,3 % nos chuvosos.

Em termos de estações, verifica-se uma moderada variação do conforto com a diferença de 20 % entre a estação mais quente, a primavera, e a mais fria, outono. Isso ocorre pelo fato da alta variação de umidade nas estações. O período mais frio corresponde ao período chuvoso entre outono e inverno; e o mais quente, ao período de estiagem, com baixo teor de umidade atrelado a elevadas temperaturas.

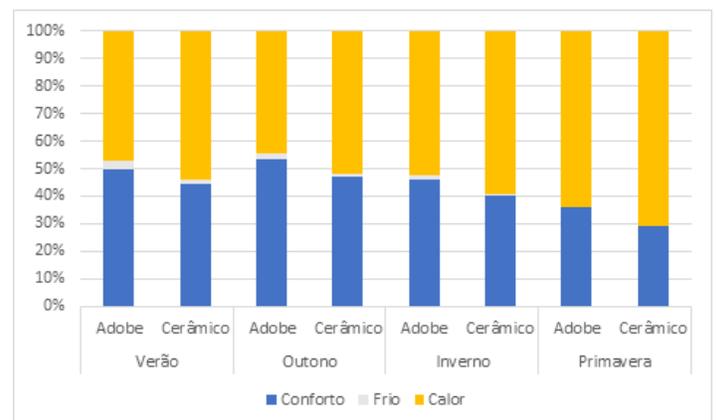


Figura 2 – Conforto e desconforto por frio e calor por estações dos modelos em adobe e tijolo cerâmico para cidade de Crateús, Zona bioclimática 7.

O calor é preponderante dentro do modelo devido ao clima de Crateús apresentar temperaturas acima da zona de conforto combinadas com baixa umidade, principalmente no período diurno. Por sua vez, o baixo percentual de desconforto por frio se deve ao fato de o clima ter temperaturas elevadas o ano inteiro, mostrando, por vezes, no período noturno, algumas horas de temperatura abaixo da zona de conforto. Além disso, o modelo não apresenta coberturas adequadas para o clima, com telha cerâmica com $U = 4,55 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ sem ventilação, quando a NBR 15520 recomenda o uso de coberturas com $U \leq 1,5 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ com ático ventilado. Alguns autores como Lima and Ribeiro [31] e Medeiros et al. [32] indicam o uso de coberturas com alta inércia térmica e com baixa transmitância, como lajes e coberturas verdes. Outros autores, como De Paula [33] e Olartechea et al. [34] apontam para o uso de coberturas em forros com laje isolada com $U \leq 0,5 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$.

As coberturas utilizadas provocam rápidas trocas de calor, estimulando um aquecimento diurno e um resfriamento

noturno. O uso de paredes de adobe e tijolo cerâmico com moderada capacidade e transmitância térmica, adobe com $CT = 277,76 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ e $U = 2,54 \text{ m}^2\cdot\text{K}$ e tijolo cerâmico com $CT = 144,62 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ e $U = 2,22 \text{ m}^2\cdot\text{K}$, contribuem para o aquecimento noturno, gerando temperaturas internas mais elevadas que as temperaturas externas, que ainda se enquadram na zona de conforto, devido à moderada amplitude térmica de Crateús (Figura 3).

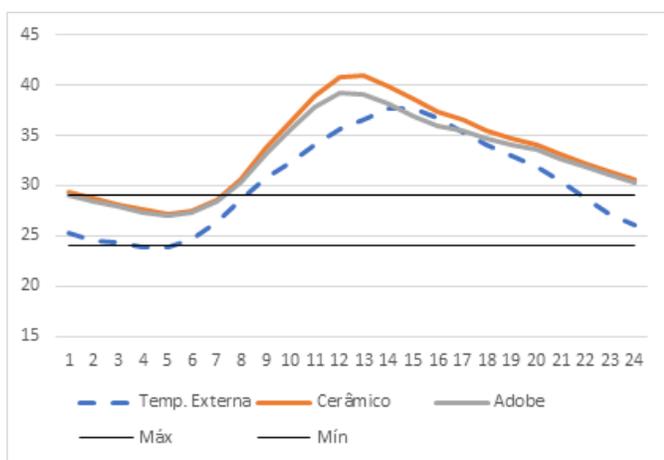


Figura 3 – Temperatura horária do dia 2 de novembro, dia típico de primavera.

Zona bioclimática 8

Ambos os modelos, tijolo cerâmico e adobe, apresentam as melhores condições de conforto na cidade de Fortaleza, zona bioclimática 8, com uma média anual de 65% para o adobe e 55% para o tijolo cerâmico. Em todas as estações, o adobe aumentou o conforto, reduzindo o desconforto por calor, mas novamente aumentou o desconforto por frio (mas, assim como na ZB7, tem frequência mínima em relação aos demais).

Nessa zona, o modelo apresenta um moderado desconforto por calor o ano inteiro, com médias de 34% para o adobe e 44% para o tijolo cerâmico. E um desconforto por frio irrelevante, com média a anual de 1% para o adobe e o tijolo cerâmico, como ocorre na zona 7 (Figura 4). O calor é preponderante dentro do modelo, devido às características climáticas da cidade. A cidade apresenta um clima com temperaturas amenas o ano inteiro, temperatura anual mínima de $21,18^\circ\text{C}$ e máxima de $32,18^\circ\text{C}$. A taxa de umidade mensal é

elevada, variando de 80,06% a 89,72%. Em termos de estações, verifica-se uma moderada variação do conforto, com a diferença irrelevante de 7% entre a estação mais quente, o verão, e a mais fria, o outono. Isso ocorre pelo fato de o clima apresentar baixa variação de umidade e temperatura ao longo do ano.

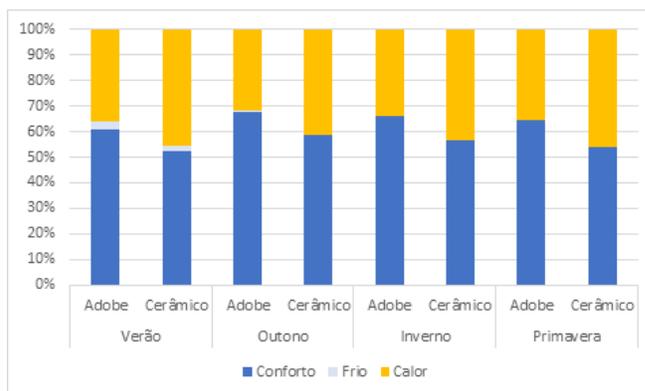


Figura 4 – Conforto e desconforto por frio e calor por estações dos modelos em adobe e tijolo cerâmico para a cidade de Crateús, Zona bioclimática 8.

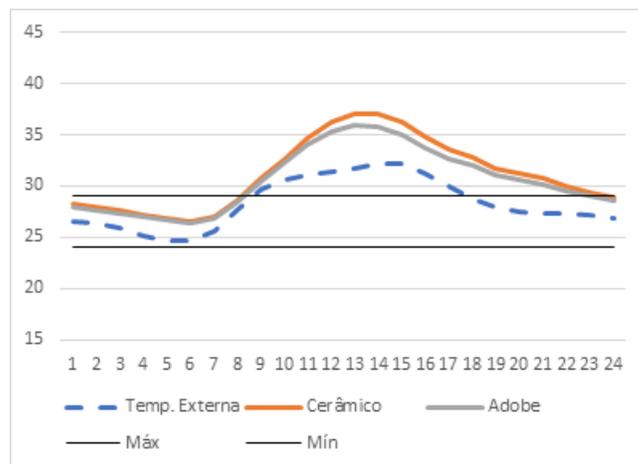


Figura 5 – Temperatura horária do dia 2 de novembro, dia de temperatura máxima.

4 Conclusões

Ao fim da pesquisa, verificou-se que a alvenaria de adobe e tijolo cerâmico apresentaram diferenças de temperaturas similares nas zonas bioclimáticas 5 e 7, variando de 2 a 5%, enquanto na zona 8, as diferenças se ampliam para 10%. Em

termos de conforto, observa-se que ambos os modelos apresentaram baixos percentuais de conforto. A zona bioclimática 8 apresentou os melhores percentuais - 44% a 65% - a depender do mês, enquanto a zona bioclimática 5 deteve os menores percentuais - 23 a 29% - de conforto.

O comportamento aproximado de ambas as alvenarias pode ser explicado pelo fato de se apresentarem com transmitâncias térmicas aproximadas, tijolo cerâmico com 2,22 e adobe com 2,60 $m^2.K$, e a capacidade térmica de 144,62 e 260 $kJ/m^2.K$, respectivamente. A diferença de capacidade térmica entre as alvenarias tem contribuído para ampliar as diferenças de conforto entre os modelos na zona 8, detentora de um clima mais próximo à zona de conforto, sem elevadas amplitudes térmicas. Por outro lado, a cobertura com elevada transmitância (4,55 $m^2.K$), baixa capacidade térmica (18 $kJ/m^2.K$) e baixo atraso térmico (0,5h) faz com que aconteçam rápidas trocas de calor, reduzindo a capacidade de amortecimento térmico das alvenarias. Assim como previsto por outros autores como Desogus (2014) [28], paredes de adobe, por si só, não promovem uma boa inércia térmica se as coberturas não apresentarem comportamento similar.

Assim, para pesquisas futuras, recomenda-se a avaliação do comportamento das paredes de adobe com coberturas com transmitâncias moderadas, isto é, com uso de forro PVC, gesso ou laje voltterrana com câmara de ar, que atendam as recomendações da NNBR 15575 [16] e as recomendações de Olartechea et al [34].

Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Ceará, que me concedeu o afastamento para cursar meu doutorado na Universidade do Porto, Portugal.

THERMAL PERFORMANCE AND COST ANALYSIS OF SOCIAL HOUSING IN ADOBE AND CERAMIC BRICK MASONRY IN THE STATE OF CEARÁ, BRAZIL.

ABSTRACT: This research aims to conduct a comparative analysis of the thermal performance between two types of building systems: ceramic brick masonry and adobe in three bioclimatic zones of the state of Ceará, Brazil: 05, 07 and 08. The methodology consisted in modeling a rural social housing in the Energy Plus and Open Studio platforms with two types of masonry: adobe and ceramic brick, in order to evaluate its thermal performance based

on comfort parameters of Brazilian and international standards. At the end of the research, it was found that the housing unit with adobe or ceramic brick masonry presented similar behaviors in the 3 bioclimatic zones of Ceará, because they present similar thermal properties. In no zone did the models achieve good comfort conditions due to the use of inadequate coverings for the climates analyzed.

Keywords: Thermal comfort, earth construction and cost.

Referências

- [1] BOLTER, Jairo Alfredo Genz. 2013. "Interfaces e Cogestão Nas Políticas Para Agricultura Familiar: Uma Análise Do Programa Nacional de Habitação Rural."
- [2] RODRIGUEZ, Angel Castañeda and Akemi Ino. 2019. "A CASA CAMPONESA: Adequação Do PNHr Nos Assentamentos de Reforma Agrária No Estado de São Paulo."
- [3] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2020. "Adobe — Requisitos e Métodos de Ensaio" 007: 4–6.
- [4] PARRA-SALDIVAR, M. Luisa, and William BATTY. 2006. "Thermal Behaviour of Adobe Constructions." *Building and Environment* 41 (12): 1892–1904. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.021>.
- [5] REMPEL, Alexandra R, and Alan W REMPEL. 2013. "Rocks, Clays, Water, and Salts: Highly Durable, Infinitely Rechargeable, Eminently Controllable Thermal Batteries for Buildings." *Geosciences* 3 (1): 63–101.
- [6] HEATHCOTE, K. 2011. "El Comportamiento Térmico de Los Edificios de Tierra." *Informes de La Construcción* 63 (523): 117–26. <https://doi.org/10.3989/ic.10.024>.
- [7] REMPEL, Alexandra R, and Alan W REMPEL. 2016. "Rocks, Clays, Water, and Salts: Highly Durable, Infinitely Rechargeable, Eminently Controllable Thermal Batteries for Buildings." *Geosciences* 3 (1): 63–101.
- [8] BRUNO, Patricia; FARIA, Paulina. Cabanas de materiais vegetais na Herdade da Comporta. Tradição construtiva e novas abordagens. Terra em Seminário 2010, p. 240-243, 2010.
- [9] PINHEIRO, Levi Teixeira, Barbara Rangel CARVALHO, Humberto Salazar Amorim VARUM, and Adeildo Cabral SILVA. 2016. "Construção Em Terra Crua Contemporânea: Mapeamento Dos Escritórios e Construtoras No Brasil e Em Portugal." *II Congresso Luso-Brasileiro De Materiais De Construção Sustentáveis*.
- [10] MAIA, Rafael Torres. 2011. "Avaliação Das Variáveis Que Influenciaram No Uso Da Terra Como Material Construtivo Para Habitação Social Rural No Assentamento Rural Sepé Tiaraju-Serra Azul-SP." Universidade de São Paulo.
- [11] LOPES, Wilza Gomes Reis, Thaís Márcjore Pereira de CARVALHO, Karenina Cardoso Matos, and Sandra Selma Saraiva de ALEXANDRIA. 2013. "A Taipa de Mão Em Teresina, Piauí, Brasil: A Improvisação e o Uso de Procedimentos

- Construtivos.” DigitAR - Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Artes, no. 1: 70–80. https://doi.org/10.14195/2182-844x_1_8.
- [12] CARVALHO, Ricardo Marinho de. 2012. “Soluções Para a Construção de Habitação Em Adobe a Custos Controlados.”
- [13] WESTPHAL, Fernando Simon. 2007. “Análise de Incertezas e de Sensibilidade Aplicadas à Simulação de Desempenho Energético de Edificações Comerciais.”
- [14] ASHRAE 55-2013: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [15] DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. (1997). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. Sydney: ASHRAE. (Report Rp-884).
- [16] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005. “NBR 15220: Projeto Completo.” Associação Brasileira de Normas Técnicas, 7.
- [17] BOGO, Amílcar; PIETROBON, Claudio E.; BARBOSA, Miriam J.; GOULART, Solange; PITTA, Telma; LAMBERTS, Roberto. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Relatório interno, n. 02/94, 1994.
- [18] GOMES, Maria Idália, FARIA, Paulina, GONÇALVES, Teresa Diaz. 2017. “Earth-Based Mortars for Repair and Protection of Rammed Earth Walls. Stabilization with Mineral.”
- [19] DELGADO, M Carmen Jiménez, and Ignacio Cañas GUERRERO. 2006. “Earth Building in Spain.” *Construction and Building Materials* 20 (9): 679–90.
- [20] MINKE, Gernot. 2012. *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Walter de Gruyter.
- [21] MAZRIA, Edward. 1979. “Passive Solar Energy Book.”
- [22] PERRIGAULT, Thibault, Vergil WEATHERFORD, Jaime MARTÍ-HERRERO, and Davide POGGIO. 2012. “Towards Thermal Design Optimization of Tubular Digesters in Cold Climates: A Heat Transfer Model.” *Bioresource Technology* 124 (August): 259–68. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.019>.
- [23] HASSANAIN, A A, E M HOKAM, and T K MALLICK. 2011. “Effect of Solar Storage Wall on the Passive Solar Heating Constructions.” *Energy and Buildings* 43 (2): 737–47.
- [24] HEATHCOTE, Kevan. 2011. “The Thermal Performance of Earth Buildings.” *Informes de La Construcción* 63 (523): 117–26.
- [25] MATOS, Luís, and Carlos Pina DOS SANTOS. 2006. “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos Da Envoltura Dos Edifícios (ITE 50).” Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [26] ANTONELLO, Sanna, Carlo ATZENI, and Stefano F MUSSO. 2006. “Architettura in Terra Cruda” i.
- [27] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013b. “NBR 15575 - Norma de Desempenho,” 63.
- [28] DESOGUS, G, S DI BENEDETTO, W GRASSI, and D. TESTI. 2014. “Environmental Monitoring of a Sardinian Earthen Dwelling during the Summer Season.” *Journal of Physics: Conference Series* 547 (1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/547/1/012009>.
- [30] CHVATAL, Karin Maria Soares. 2014. “Avaliação Do Procedimento Simplificado Da NBR 15575 Para Determinação Do Nível de Desempenho Térmico de Habitações.” *Ambiente Construído* 14 (4): 119–34. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000400009>.
- [31] LIMA, Mariana Brito de, and Edson Leite RIBEIRO. 2009. “Diretrizes Urbanísticas e Construtivas Para Cidades de Clima Semi-Árido.” *PARC Pesquisa Em Arquitetura e Construção* 1 (4): 20. <https://doi.org/10.20396/parc.v1i4.8634499>.
- [32] MEDEIROS, Deisyane, and Gleice ELALI. 2011. “Construindo No Clima Quente E Seco Do Brasil : Conforto Térmico E Eficiência Energética Para a Zona Bioclimática 7,” no. 1: 1–15.
- [33] DE PAULA, Paulo Roberto Freire DE. 2017. “AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE CASAS DE GESSO NO BRASIL.”
- [34] OLARTECHEA, Mauro, CALLEJAS, Ivan J A, DURANTE, Luciane Cleonice, ROSSETI, Karyna De Andrade C., Marcos Junior, and Soares De Lima. 2015. “Bioclimáticas No Desempenho Termoenergético De Habitação De Interesse Social (Zb 07),” no. Zb 07: 1–9.