



**XV ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**XI ELACAC** Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

## **INFLUÊNCIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO DE COBERTURAS FRENTE AOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (1); Luciane Cleonice Durante (2); Elaise Gabriel (3); Renata Mansuelo Alves Domingos (4); Martin Ordenes Mizgier (5); Ivan Julio Apolonio Callejas (6)**

(1) Mestre, Arquitetura e Urbanista, emeliguarda@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso

(2) Doutora, Engenheira Civil, luciane.durante@hotmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso

(3) Engenheira Civil, elaisegabriel@hotmail.com, Universidade Federal de Santa Maria

(4) Engenheira Civil, mansuelo.alves@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina

(5) Doutor, Engenheiro Civil, martin.ordenes@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina

(6) Doutor, Engenheiro Civil, ivancallejas1973@gmail.com, Universidade Federal de Mato Grosso  
Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança, Cuiabá - MT,  
78060-900, +55 (66) 99994-2953

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é analisar comparativamente os efeitos do aquecimento global no consumo energético de uma habitação, localizada na cidade de Cuiabá-MT, considerando o seu sistema padrão de cobertura (telha cerâmica e forro de PVC) e a substituição do forro por três tipologias, sendo duas de laje mista (treliças de concreto com preenchimento de placas de poliestireno, EPS) - com e sem lã vidro sobreposta, e uma de forro de gesso. Considerou-se um Cenário Base e projeções para 2020, 2050 e 2080. Os resultados mostraram que as tipologias sem laje, no Cenário Base, apresentaram consumo energético anual de 3.781kWh e aumentaram, no cenário de 2080, em 60%, passando para 9.657kWh. Adotando-se o forro em laje, o consumo de energia sofreu redução incipiente: 3.741kWh no Cenário Base e 9.637kWh no cenário de 2080. Entre as tipologias de forro em laje com e sem isolamento térmico, a redução foi de apenas 1,08%, 0,56%, 0,37% e 0,20%, no Cenário Base, 2020, 2050 e 2080, respectivamente, não sendo suficientes para melhoria no consumo energético. Evidencia-se, assim, que as edificações já sofrem influência das altas temperaturas da região nos dias atuais, apresentando baixa qualidade térmica em seu interior e que, incorporando os efeitos do aquecimento global, as condições de habitabilidade ficam ainda mais comprometidas. Assim, indica-se pela necessidade de que sejam implementadas hoje, medidas mitigadoras integradas nas edificações, com vistas à resiliência das habitações.

Palavras-chave: Aquecimento Global, Consumo Energético, Savana Brasileira.

### **ABSTRACT**

The objective of this work is to analyze comparatively the effects of global warming on the energy consumption of a social housing located in the city of Cuiabá-MT. For this, it was considered its standard roof construction (ceramic tile and PVC lining), and the lining was replaced by three types, two of mixed slabs (concrete trusses filled with polystyrene boards, EPS) - with and without glass wool overlapped, and one with plaster lining. It was considered a Base Scenario and projections for 2020, 2050 and 2080. The results showed that the typologies without slab, in the Base Scenario, presented annual energy consumption of 3,781kWh and increased, in the 2080 scenario, by 60%, to 9,657kWh. Adopting the slab lining, the energy consumption suffered an incipient reduction: 3,741kWh in the Base Scenario and 9,637kWh in the scenario of 2080. Among the types of slab lining with and without thermal insulation, the reduction was only 1.08%, 0.56%, 0.37% and 0.20%, in the Base Scenario, 2020, 2050 and 2080, respectively, not being sufficient to improve energy consumption. Thus, buildings are already influenced by the high temperatures of the region in the present day, presenting low thermal quality in their interior and that, incorporating the effects of global warming, the habitability conditions are even more compromised. Therefore, it is indicated that mitigation measures are implemented today in the buildings, with a view to the resilience of the housings.

Key words: Global Warming, Energy Consumption, Brazilian Savannah.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema climático terrestre vêm sofrendo transformações significativas de seu balanço energético em decorrência de fenômenos naturais e de ações antropogênicas, tais como mudanças nas concentrações atmosféricas, na cobertura do solo e na radiação solar, impulsionando o aquecimento global e, conseqüentemente, as mudanças climáticas (IPCC, 2007). De acordo com FERREIRA et al. (2017), mudanças climáticas são alterações nas variáveis climáticas por meio dos fatores antropogênicos que resultam em um ajuste natural e dinâmico do sistema climático.

O Quarto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas (AR4) do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), intitulado “Fourth Assessment Report: Climate Change 2007”, trouxe como referência modelos de emissões de Gases de Efeito Estufa e seus respectivos impactos no aquecimento global. Os modelos são divididos em quatro famílias, denominadas cenários A1, A2, B1 e B2, onde A e B significam baixo (otimistas) e alto (pessimistas) comprometimento com o desenvolvimento sustentável, e 1 e 2, a integração ou fragmentação regional, respectivamente. Essa publicação destaca que a maior parte dos eventos de aumento de temperatura observada nos últimos 50 anos foi provocada pelas ações antrópicas, e alerta para o aumento médio das temperaturas globais de 1,1°C a 5,4°C, podendo atingir 6,4°C até o ano de 2100, se a população e a economia continuarem em acelerado crescimento, com consumo intenso de combustíveis fósseis (IPCC, 2007).

Sob a ótica dos edifícios, o fenômeno das mudanças climáticas tem causado impacto significativo nas demandas energéticas dos edifícios para garantir o conforto dos usuários nos ambientes internos, o que contribui para o aumento as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), constituindo-se um círculo vicioso do processo de aquecimento global. Pesquisas evidenciam que o aquecimento global tem causado diminuição nas necessidades de aquecimento e aumento nas necessidades de resfriamento (WAN, LI e LAM, 2012; ASIMAKOPOULOS, et al., 2012; JENTSCH, et al., 2013; ZHU, et al., 2013; GUARDA, DURANTE e CALLEJAS, 2018).

Invidiata, Lavagna e Ghisi (2018) investigaram os efeitos das mudanças climáticas em um edifício multifamiliar de interesse social, localizado em Milão, para distintos sistemas construtivos de vedações verticais. Os autores utilizaram a ferramenta CCWorldWeatherGen, desenvolvida para o cenário de emissões A2 do IPCC, que permite a elaboração dos arquivos climáticos futuros a partir de arquivos sem a interferência dos fenômeno do aquecimento global e consideraram as projeções futuras para 2020 (período de 2011-2041), 2050 (período de 2041-2071) e 2080 (período de 2071-2100), denominadas time-slices. Os resultados demonstraram variação da temperatura do ar de +3,6°C, da radiação global horizontal de +7,2Wh/m<sup>2</sup> e da umidade relativa do ar de -5,7%, do cenário atual para o cenário de 2080. Em todos os sistemas de vedação, as horas de desconforto por calor, de conforto e de desconforto por frio variaram de +185%, 7% e 47% das horas anuais do cenário atual para 2080. Como consequência, a demanda de energia aumentou, em média, de +13% do cenário atual para o de 2080, justificada pelo crescimento da necessidade energética para resfriamento. Os autores concluíram que, ao aplicarem-se estratégias de projeto aos edifícios, é possível reduzir os impactos ambientais da categoria de aquecimento global, destacando a importância dessa avaliação em todas as fases do ciclo de vida dos edifícios.

Triana, Lamberts e Sassi (2018) investigaram o desempenho termoenergético de uma habitação de interesse social, denominada Caso Base, na qual foram implementadas medidas de eficiência energética com caráter mitigador das mudanças climáticas para as projeções de 2020 (período de 2011-2040) e 2050 (período de 2041-2070), todas voltadas para a fase operacional da habitação, nas cidades de São Paulo e Salvador. Os resultados demonstraram aumento das temperaturas médias do ar de +2°C, para as duas cidades. Nas análises de eficiência energética do Caso Base, ambas as cidades, apresentaram variação de +5.044°C.h e de +140%, nos Graus Horas de Resfriamento (GHR) e no consumo energético para refrigeração, respectivamente, do cenário atual para o cenário de 2050. Quanto às medidas mitigadoras, as tipologias de cobertura que continham isolamento térmico (as de telhas cerâmicas com isolamento e os forros de laje de concreto com EPS) apresentaram melhor desempenho térmico. Os autores afirmam que, desconsiderar a incorporação de medidas mitigadoras nos projetos habitacionais construídos atualmente, pode resultar em um aumento significativo de consumo energético associado ao uso do sistema de condicionamento artificial para resfriamento no futuro. Tem-se, então, a adoção de materiais isolantes térmicos como uma das formas mais eficazes de reduzir a taxa de transmissão de calor e o uso de energia para resfriamento e aquecimento de espaços em edifícios, com o que corrobora FANG et al. (2014). Desta maneira, o estudo de intervenções construtivas de projeto em cenários climáticos futuros considerando a habitabilidade e a demanda energética, adquire importância para o planejamento da vida útil dos edifícios.

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo geral analisar comparativamente os efeitos do aquecimento global no consumo energético de uma Habitação de Interesse Social (HIS) localizada na cidade de Cuiabá-MT, considerando o seu sistema padrão de cobertura (telha cerâmica e forro de PVC) e a substituição do forro por três tipologias, sendo duas de laje mista (treliças de concreto com preenchimento de placas de poliestireno - EPS) - com e sem lâ vidro sobreposta, e uma de forro de gesso. Considerou-se o cenário de emissões A2, do Quarto Relatório (AR4) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e os time-slices de 2020 (período de 2011-2040), 2050 (período de 2041-2070) e 2080 (período de 2071-2100).

## 3. MÉTODO

### 3.1. Definição do objeto de estudo

O objeto de estudo constitui-se de uma habitação residencial unifamiliar, localizada na cidade de Cuiabá-MT, Zona Bioclimática 7 (ZB7), com 39,18m<sup>2</sup> de área total, contendo os ambientes Sala/Cozinha (17,44m<sup>2</sup>), Quarto 1 (7,78m<sup>2</sup>), Quarto 2 (7,57m<sup>2</sup>) e Banheiro (1,75m<sup>2</sup>) (Figura 1). A cobertura possui duas águas com beirais de 30 cm e o pé-direito é de 3,00m. A edificação com as características originais de cobertura é doravante denominada Tbase.

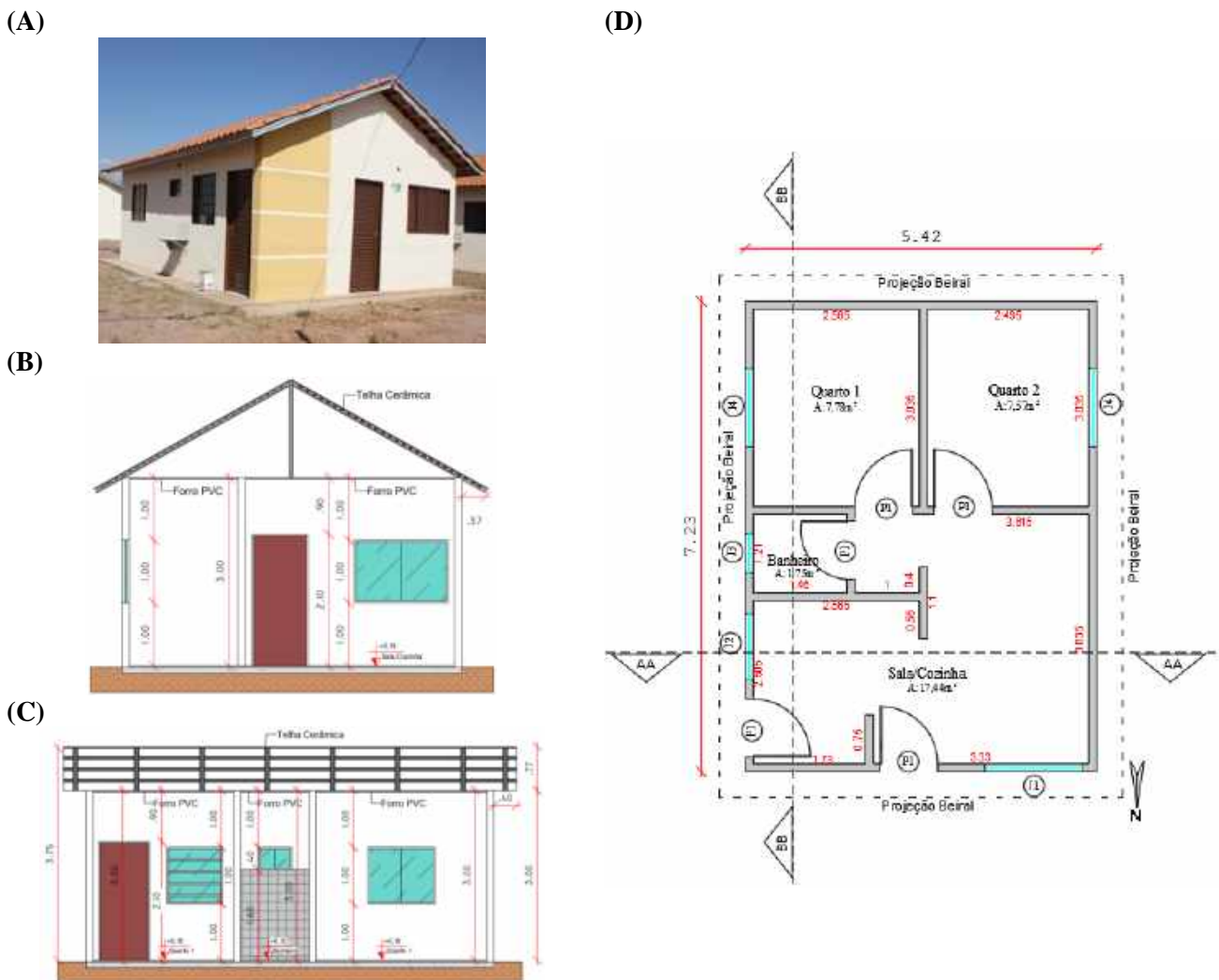


Figura 1 – Objeto de Estudo (Tbase): (A) Edificação Construída; (B) Corte AA; (C) Corte BB e (D) Planta Baixa (Autores, 2019).

As esquadrias nos quartos e sala são metálicas, do tipo veneziana e vidro, com dimensões de 1,20 x 1,10m, com quatro folhas (duas fixas e duas de correr). Na cozinha, são do tipo basculante, com dimensões de 1,20 x 1,10m. na sala. As portas externas são metálicas e as internas, em madeira. As propriedades térmicas dos materiais construtivos que compõem os fechamentos verticais e horizontais foram atribuídas utilizando-se a NBR 15.220 (ABNT, 2005), expressas em termos de absorvância, resistência térmica (R) e transmitância térmica (U) (Tabela 1).

Tabela 1 – Propriedades termo físicas da envoltória da tipologia Tbase.

Envoltória	Composição	Espessura (cm)	Absortância ( $\alpha$ , adimensional)	Resistência térmica ( $Rt^*$ , m <sup>2</sup> K/W)	Transmitância térmica (U, W/m <sup>2</sup> K)
Paredes	Argamassa externa	2,50	0,30	0,2991**	3,34
	Tijolo Cerâmico	9,00	0,85		
	Argamassa interna	2,50	0,30		
Cobertura	Telha Cerâmica	1,00	0,85	0,4795***	2,08
	Forro de PVC	1,00	0,30		

\*Considerando Resistência Superficial Externa (0,04), \*\*Resistência Superficial Interna - fluxo horizontal (0,13), \*\*\*Resistência Superficial Interna - fluxo ascendente (0,17)

Considerando que a cobertura recebe diretamente a radiação solar direta e é um componente construtivo importante no desempenho térmico e energético da habitação, em função de sua posição menos inclinada em relação à incidência da radiação solar, parte-se do projeto original (Tbase) e alteram-se as tipologias de forro, de acordo com as seguintes intervenções: i) inserção de poliestireno expandido (EPS) na laje (T1); ii) Inserção de lâ de Vidro na laje (T2) e iii) inserção de forro de gesso, tipo acartonado (T3). Para a determinação das propriedades térmicas das tipologias de T1 a T3, adotou-se a resistência térmica superficial externa igual a 0,04, a resistência térmica superficial interna para fluxo ascendente igual a 0,17 e a resistência térmica da câmara de ar de alta emissividade, espessura maior que 5cm, igual a 0,21 m<sup>2</sup>K/W. (Tabela 2).

Tabela 2 – Propriedades termo físicas da cobertura das tipologias T1 a T3.

	Composição	Espessura (cm)	$\alpha$	$Rt$ (m <sup>2</sup> K/W)	U (W/m <sup>2</sup> K)
T1	Telha Cerâmica	1,00	0,85	1,420	0,704
	Concreto	6,00	0,80		
	EPS	4,00	0,30		
	Acabamento	2,00	0,30		
T2	Telha Cerâmica	1,00	0,85	1,310	0,763
	Concreto	6,00	0,80		
	Lã de Vidro	4,00	0,30		
	Acabamento	2,00	0,30		
T3	Telha Cerâmica	1,00	0,85	0,4053	2,467
	Forro de Gesso	1,25	0,20		

### 3.2. Elaboração dos Cenários Climáticos Futuros

A realização de um levantamento das pesquisas publicadas em plataformas científicas sobre estudos de projeções climáticas futuras possibilitou a identificação da metodologia indicada pelo IPCC para a elaboração dos arquivos climáticos sob influência do aquecimento global (SONG e YE, 2017; WANG, LIU e BROWN, 2017; INVIDIATA e GHISI, 2016; TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2016). Identificou-se, então, a metodologia “morphing” publicada por Belcher, Haker e Powell (2005), para a elaboração dos arquivos climáticos futuros. Essa metodologia modifica um conjunto de variáveis climáticas históricas (1961-1990) de 8.760 horas anuais, sem a influência dos efeitos do aquecimento global e os incorpora conforme as premissas do cenário A2 do Quarto Relatório (AR4) do IPCC, obtendo assim, as projeções de dados climáticos futuros.

O processo é realizado em três etapas: i) desvio no arquivo climático horário atual e adição da variação média mensal projetada, ii) extensão do atual arquivo climático horário por ordenamento da variação média mensal projetada e iii) combinação das etapas anteriores (BELCHER; HACKER; POWELL, 2005).

A percepção do processo empregado por este método evidenciou a complexidade em elaborar cenários climáticos futuros com a visão de aplicação em softwares de desempenho termoenergético de habitações. No sentido de facilitar e consolidar as operações algorítmicas citadas, o grupo de pesquisa “Sustainable Energy Research Group” (SERG) da Universidade de Southampton no Reino Unido desenvolveu junto com a Microsoft® a ferramenta “Climate Change World Weather Generator” (CCWorldWeatherGen) incorporada ao Software Excel, disponibilizada gratuitamente e cuja interface é apresentada na Figura 2.





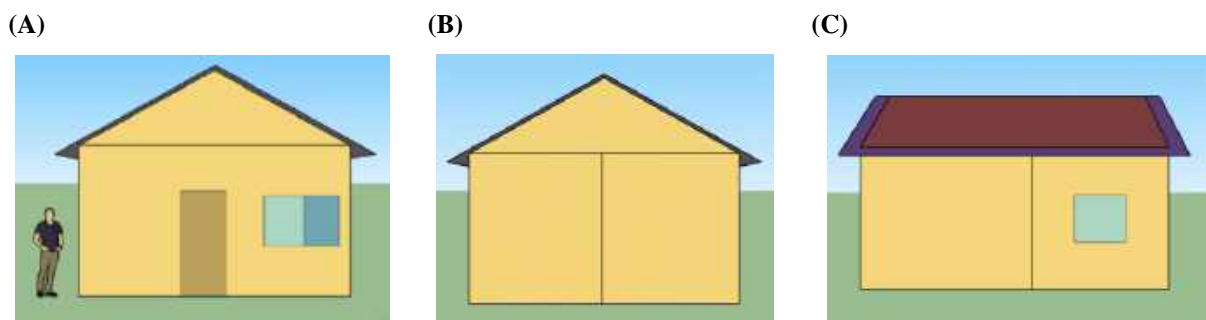


Figura 3 – Modelo da simulação computacional: (A) Fachada frontal; (B) Fachada posterior e (C) Fachada lateral direita (Autores, 2019).

Tabela 3 - Rotinas de ocupação e iluminação para os dias de semana e finais de semana.

PEI	Dormitórios		Sala/Cozinha	
	Dia de Semana	Finais de Semana	Dia de Semana	Finais de Semana
Ocupação	21h às 08h	21h às 10h	14h às 21h	11h às 21h
Iluminação	21h às 22h	21h às 22h	17h às 21h	11h às 12h e das 17h às 21h

Considerando-se que as temperaturas do solo influenciam significativamente nos resultados das simulações, optou-se no Cenário Base, por utilizar o *software* Slab, auxiliar do EnergyPlus. Nos cenários climáticos futuros, optou-se pela utilização das temperaturas médias do ar, disponibilizados pelos arquivos climáticos de 2020, 2050 e 2080, com base em ALVES (2014), que afirma que em profundidades rasas, de 1 a 8 metros em solos secos ou de 1 a 20 metros em solos pesados, arenosos e úmidos, a temperatura é próxima da média anual.

### 3.4. Estimativa de Consumo Energético Conforme Método do Balanço Térmico

O consumo energético foi definido como a carga térmica, ou seja, a quantidade de calor que deve ser retirada do ar, para o caso de resfriamento, ou adicionada, no caso de aquecimento, com a finalidade de manter condições de conforto térmico adequadas. Entende-se por balanço térmico, a quantificação da carga térmica necessária para aquecer ou resfriar um ambiente até uma temperatura de referência, com base no comportamento térmico e energético das edificações no clima que está inserida (MELO e LAMBERTS, 2008). O balanço térmico depende, então, da magnitude da carga interna (ganhos de calor por fontes internas, tais como iluminação, pessoas, equipamentos, condicionamento artificial (HVAC), ventilação e infiltrações) e das trocas de calor pelos fechamentos horizontais e verticais (ASHRAE, 2013). O princípio básico desta metodologia consiste em um balanço de energia para cada superfície do ambiente e um balanço de energia para o ar interno, determinando assim, a parcela dos ganhos de calor, originando as cargas térmicas para resfriamento e/ou aquecimento (ASHRAE, 2013).

Para a aplicação desta metodologia utilizou-se o *software* EnergyPlus, utilizando-se um sistema de condicionamento de ar ideal, pela modelagem do Input: HVACTemplate: Zone: IdealLoadsAirSystem e retirando-se os valores do Output: Zone Ideal Loads Zone Total Colling Energy (em J). Os resultados obtidos do Output foram quantificados em kWh/mês de cada tipologia, sendo considerado a carga térmica total (iluminação, pessoas, equipamentos e condicionamento artificial, em kWh). O termostato foi ajustado para a cidade de Cuiabá, com 22,54°C e 29,26°C, para aquecimento e resfriamento, respectivamente.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Arquivos Climáticos Futuros

Após a execução da ferramenta CCWorldWeatherGen, primeira etapa metodológica deste trabalho, obtiveram-se os arquivos climáticos na extensão epw, referentes às três projeções analisadas (2020, 2050 e 2080) para a cidade de Cuiabá-MT. A partir desses arquivos e do arquivo epw sem a influência do aquecimento global (período de 1961 a 1990, denominado Cenário Base), foi possível gerar elementos gráficos das médias mensais das variáveis climáticas que serão mais vulneráveis aos efeitos do aquecimento global, a saber: Temperatura de Bulbo Seco (TBS, em °C) e Umidade Relativa do Ar (UR, em %). Os resultados evidenciaram que os efeitos climatológicos futuros provocaram aumento das médias mensais de temperatura e diminuição da umidade relativa do ar, corroborando com estudos de Rubio-Bellido; Pérez-Fargalho e Pulido-Arcas (2016), assim como de Triana, Lamberts e Sassi (2018).

A temperatura média anual no cenário atual é de 26,73°C, passando para 28,24°C no time-slice 2020

(2011-2040), para 29,90°C no time-slice 2050 (2041-2070) e para 32,48°C no time-slice 2080 (2071-2100), ou seja, aumentou 21,50% do Cenário Base até 2080. Os meses caracterizados como mais quentes são os meses de outubro, dezembro e janeiro, com médias mensais de 28,89°C, 27,70°C e 27,55°C, respectivamente, aumentando para 30,78°C (+6,53%), 28,87°C (+4,16%) e 28,73°C (+4,30%) no time-slice 2020, para 32,62°C (+12,89%), 30,26°C (+9,21%) e 29,87°C (+8,42%), no time-slice 2050 e para 35,34°C (+22,30%), 32,52°C (+17,52%) e 31,81°C (+15,47%), no time-slice 2080, respectivamente (Figura 4A).

A umidade relativa do ar anual diminuiu 22% do Cenário Base para o cenário de 2080. A média anual base é de 69,08%, passando para 64,75% em 2020, 60,41% em 2050 e 53,67% em 2080. Os meses de março, fevereiro e janeiro são os mais úmidos no Cenário Base, com 78,32%, 76,70% e 75,79%, respectivamente. Nas projeções futuras, a umidade sofreu redução para 74,33% (-5,08%), 74,68% (-2,63%) e 73,79% (-2,64%) em 2020, para 72,26% (-7,73%), 71,70% (-6,53%) e 71,79% (-5,28%) em 2050 e para 67,26% (-14,12%), 67,69% (-11,74%) e 68,76% (-9,28) em 2080, respectivamente (Figura 4B). Ressalta-se que essa redução está relacionada diretamente com o aumento da temperatura média do ar.

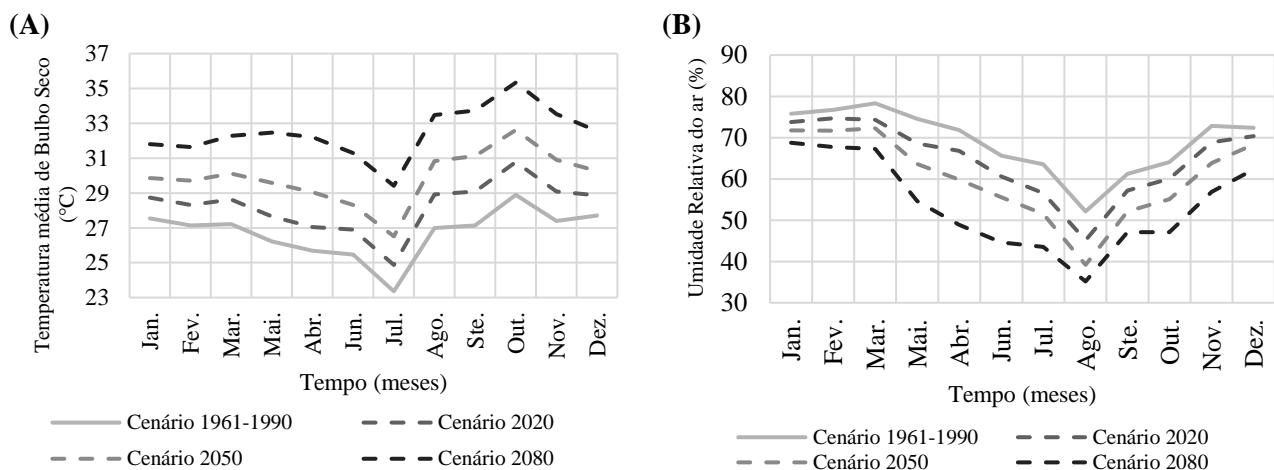


Figura 4 – Arquivos Climáticos Futuros: (A) Temperatura de Bulbo Seco, em °C; (B) Umidade Relativa do Ar, em % (Autores, 2019).

Essas condições também são encontradas no trabalho de Rubio-Bellido; Pérez-Fargallo e Pullido-Arcas (2016), que afirmam um aumento de 4°C para a temperatura média anual do ar e uma diminuição da umidade relativa do ar em 5%, em todas zonas bioclimáticas do Chile, até o cenário de 2080. Comparando os resultados obtidos entre os autores acima e os do presente estudo, a diferença entre os aumentos de temperatura média do ar encontrados é de 1,75°C (5,75°C em Cuiabá e 4,0°C no Chile) e de umidade relativa do ar é de 11% (-16% em Cuiabá e -5% no Chile). Corroboram com os resultados deste estudo, os encontrados Triana; Lamberts e Sassi (2018), para as cidades de São Paulo e Salvador, em cenário de 2050 - aumento na temperatura média do ar de 3°C e por Yildiz (2015), em três cidades da Turquia, que concluiu por um aumento da temperatura média anual e a radiação global horizontal média anual de 4°C e 7Wh/m<sup>2</sup>, respectivamente, e pela diminuição da umidade relativa do ar média anual em 10%, até o cenário de 2080. Também se pode citar Song e Ye (2017), que para a Província de Guangdong, na China, encontraram um aumento de + 0,82°C, 1,91 °C e 3,41°C, em 2020, 2050 e 2080, respectivamente.

## 4.2. Estimativa de Consumo Energético

O consumo energético mensal das quatro tipologias (Tbase, T1, T2 e T3) foram quantificados por meio da somatória da carga térmica para resfriamento (iluminação, pessoas, equipamentos, infiltração e condicionamento artificial (HVAC) de cada ambiente de permanência prolongada. Destaca-se que, os valores de consumo energético tratam da quantidade de carga térmica necessária para resfriamento e aquecimento de cada ambiente de permanência prolongada (quartos e sala) de cada tipologia.

As tipologias Tbase e T3 (Figuras 5A e 5D) apresentaram valores de consumo energético coincidentes e os maiores valores de consumo energético para resfriamento nos quatro cenários, sendo os maiores valores no mês de outubro e os menores valores no mês de julho. No mês de outubro, obtiveram consumo de 482kWh no Cenário Base, de 705kWh em 2020, de 858kWh em 2050 e de 1.096kWh em 2080, apresentando aumento de 56% do Cenário Base em relação ao de 2080. Já no mês de julho, obtiveram consumo de 119kWh no Cenário Base, de 206kWh em 2020, de 293kWh em 2050 e de 463kWh em 2080, apresentando aumento de 74% do Cenário Base em relação ao de 2080.

As tipologias T1 e T2 (Figuras 5B e 5C) apresentaram comportamento semelhante, com os maiores e os menores valores de consumo energético nos meses de outubro e julho, respectivamente, sendo de 479kWh e 116kWh no Cenário Base, de 703kWh e 203kWh em 2020, de 857kWh e 289kWh em 2050 e de 1.095kWh e 460kWh em 2080. O aumento no consumo energético foi de 56% e de 75% para T1 e T2, respectivamente, do Cenário Base para 2080.

O aumento do consumo energético pode ser justificado pelo aumento da temperatura do ar externo em +5,75°C do Cenário Base para o cenário de 2080, influenciando diretamente nas condições de conforto térmico no interior das edificações, sendo necessário a utilização de sistema de condicionamento artificial para manter as condições de habitabilidade.

As tipologias Tbase e T3, são ambas sem laje e, portanto, de mais fraca inércia térmica se comparada à das tipologias T2 e T3, ambas sem laje, de forma que esse agrupamento dos resultados era esperado. No entanto, observou-se que a inserção do forro em laje, com (T1) e sem isolamento térmico (T2), não promoveu uma significativa redução na média mensal de consumo energético em relação às tipologias sem laje (Tbase e T3), sendo obtidos diferenças entre elas 3,3kWh no Cenário Base, 2,8kWh em 2020, 2,2kWh em 2050 e 1,7kWh em 2080 (Tabela 4, Figura 6).

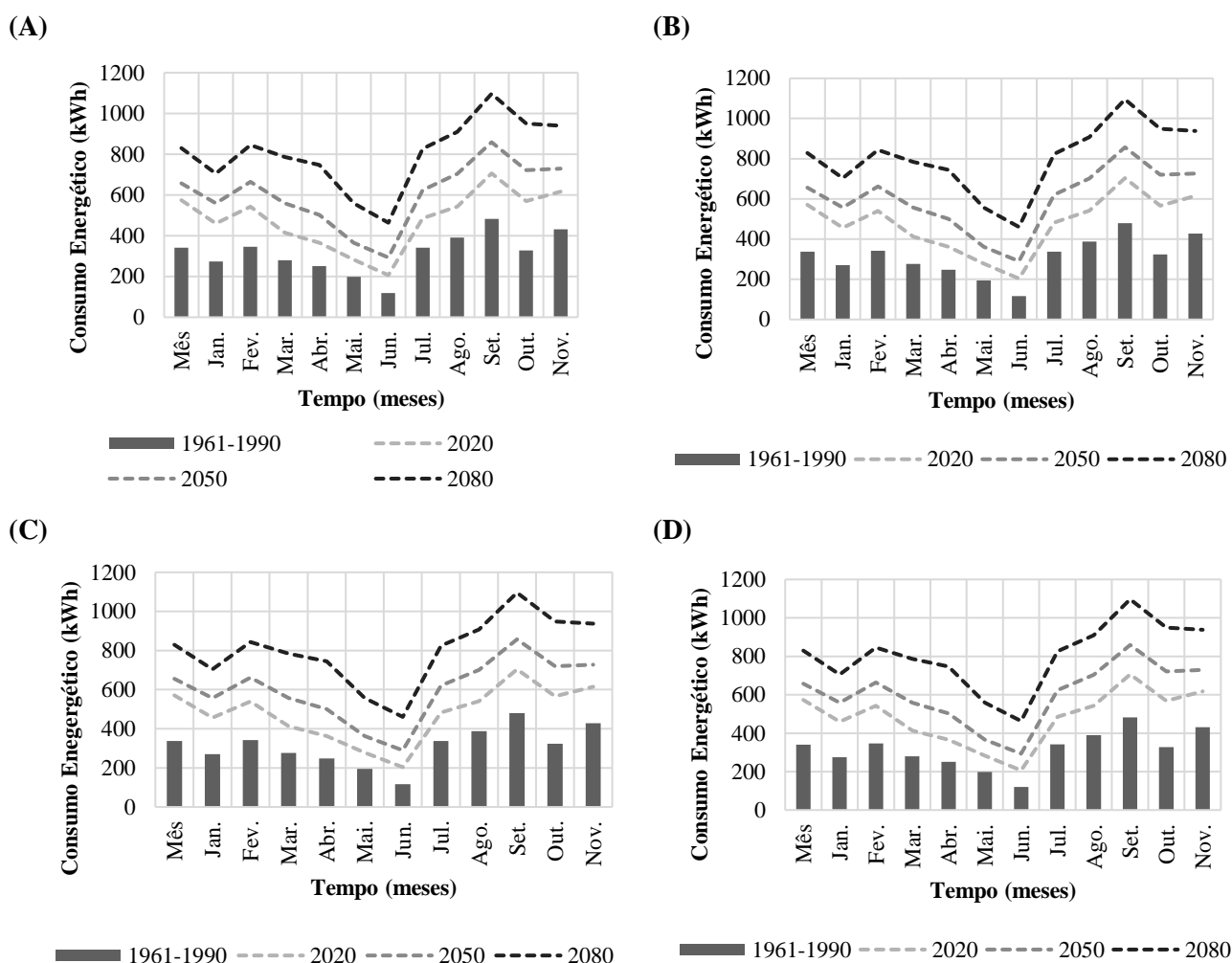


Figura 5 – Consumo energético para resfriamento no Cenário Base e nos cenários de 2020 e 2050 e 2080: (A) Tbase; (B) T1; (C) T2 e (D) T3 (Autores, 2019).

Tabela 4 - Média mensal do consumo energético (kWh) das tipologias Tbase, T1, T2 e T3 nos Cenários Base, 2020, 2050 e 2080.

	Média mensal do consumo energético (kWh)			
	Cenário Base (1961-1990)	Cenário 2020	Cenário 2050	Cenário 2080
Tipologias sem forro em laje (Tbase e T3)	315,08	480,48	603,15	804,81
Tipologias com forro em laje (T1 e T2)	311,82	477,83	600,90	803,11
Diferença (kWh)	-3,26	-2,65	-2,25	-1,70
Diferença (%)	1,04%	0,55%	0,37%	0,21%



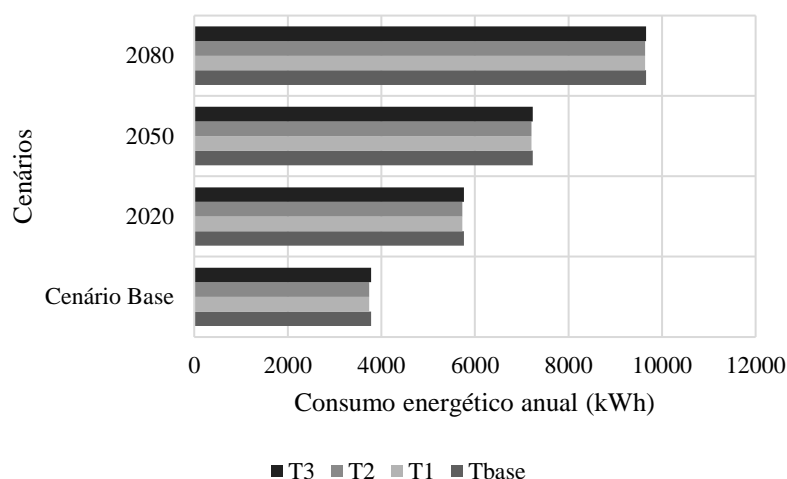


Figura 6 – Consumo energético anual para resfriamento das tipologias Tbase, T1, T2 e T3 no Cenário Base, 2010, 2050 e 2080 (Autores, 2019)

Com as intervenções, as tipologias T1 e T2 obtiveram ligeiro menor consumo do que a TBase e a T3, em todos os cenários. Muito embora o sistema de cobertura seja o maior responsável pelos ganhos térmicos da envoltória, as intervenções propostas não são suficientes para melhorar a resiliência da habitação frente ao fenômeno de aumento da temperatura externa. Essa constatação aumenta ainda mais a complexidade do problema que se apresenta, que consiste de uma tendência de aumento progressivo no consumo energético de resfriamento.

Destaca-se aqui o relatório do International Energy Agency (IEA), denominado “The future of cooling: opportunities for energy – eficiente air conditioning” (IEA, 2018), que cita que o número de unidades de resfriamento no setor residencial aumentou de 3,4 bilhões, em 2016, para mais de 8,0 bilhões, em 2050, e a taxa média global de posse de condicionamento artificial aumentou de 30%, em 2016, para 60%, em 2050, e consequentemente, o consumo energético para resfriamento cresceu de 2.020TWh em 2016 para 6.200TWh em 2050, totalizando 70% de aumento no setor residencial. Esses aumentos estão relacionados ao aumento das temperaturas do ar, sendo necessária a utilização de estratégias ativas de condicionamento artificial.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que a temperatura de bulbo seco aumentou em 21,51% no cenário de 2080 em relação ao cenário base e, a umidade relativa do ar reduziu de 22,31% no cenário de 2080 comparando-se ao cenário base. O consumo energético total sofreu aumento progressivo nos cenários e nas tipologias. Os maiores valores e aumentos de consumo energético anual encontrados foram nas tipologias sem laje (Tbase e T3), que era de 3.781kWh no Cenário Base e aumentou para 9.657kWh, o que equivale a 60%, em 2080. Com a inserção de laje com e sem isolamento térmico (T1 e T2, respectivamente), houve uma redução de menos de 1% no consumo em relação às tipologias sem laje, evidenciando que não são suficientes para melhoria no consumo energético e na resiliência frente às mudanças climáticas.

Os efeitos do aquecimento global bem como das mudanças climáticas resultam em uma potencial ameaça ao comportamento energético das habitações. Desta forma, os dados climáticos do local de implantação de uma habitação são parâmetros importantes para avaliação deste comportamento, sendo também necessária a prospecção climática futura para o planejamento da habitabilidade, das condições de conforto térmico e do consumo energético. Evidencia-se, assim, que as edificações já sofrem influência das altas temperaturas da região nos dias atuais, apresentando baixa qualidade térmica em seu interior e, incorporando os efeitos do aquecimento global, as condições atuais ficam ainda mais comprometidas, contribuindo negativamente nas condições de habitabilidade. Assim, indica-se pela necessidade de que sejam implementadas hoje, medidas mitigadoras integradas, com vistas à resiliência das habitações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. B. M. Potencial de climatização por dutos subterrâneos segundo zona bioclimática, profundidade e tratamento da superfície do solo. Curitiba. 122f. 2014. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-

- graduação em Engenharia de Construção Civil, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/35873>. Acesso: 15 junho de 2015.
- ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.
- \_\_\_\_\_. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. Standard 55 - Thermal environmental conditions for human occupancy, Atlanta, 2013.
- ASIMAKOPOULOS, et al. Modelling the energy demand projection of the building sector in Greece in the 21st century Energy Build., n. 49, pp. 488-498, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.220-2: Desempenho térmico de edificações - Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- BELCHER, S. E; HACKER, J. N; POWELL, D. S. Constructing design weather data for future climates. Building Services Engineering Research and Technology, v. 26, p. 49-61. 2005.
- DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). EnergyPlus. Energyplus.net, 2016. Disponível em: <https://energyplus.net>. Acesso em: 16 de maio de 2018.
- FANG, Z. LI, N. LI, B. LUO, G. HUANG, Y. The effect of building envelope insulation on cooling energy consumption in summer. Energy Build, 77, pp. 197-205, 2014.
- FERREIRA, S. P; GALVÍNIO D. J; GOMES, P. V; SOUZA, M. W. As perspectivas e divergências acerca do aquecimento global antropogênico. Caderno de Geografia, v.27, n.51, 2017.
- GUARDA, E. L. A; DURANTE, L. C; CALLEJAS, I. J. A. Efeitos do Aquecimento global nas estratégias de projeto das edificações por meio de cartas bioclimáticas. Revista Engineering and Science (E&S), v.7, n.2, p.54-70. Cuiabá, 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Requisitos técnicos da qualidade para nível de eficiência energética de edifícios residenciais. Disponível em: [http://www.pbgedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual\\_RTQR\\_102014.pdf](http://www.pbgedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_RTQR_102014.pdf). Acesso: 10 de julho de 2018
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2007.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). The future of cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning. disponível em: <https://webstore.iea.org/the-future-of-cooling>. Acesso em: 10 de outubro 2018.
- INVIDIATA, A; GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. Energy and Building 130, p. 20-32, 2016
- INVIDIATA, A; LAVAGNA, M; GHISI, E. Selecting design strategies using multi-criteria decision making to improve the sustainability of buildings. Building and Environment, v. 139, p. 58-68. 2018.
- JENTSCH, M. F. JAMES, P. A. B. BOURIKAS, L. BAHAJ, A. S. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. Renew. Energy, n. 55 pp. 514-524, 2013.
- JENTSCH, M. F; JAMES, P. A. B; BOURIKAS, L; BAHAJ, A. S. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. Renewable Energy, v. 55, p. 541-524. 2013.
- MELO, A. P; LAMBERTS, R. O método do balanço térmico através de simulação computacional no programa EnergyPlus. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- PEDERSEN, C. O; FISHER, D. E; LIESEN, R. J. Development of a Heat Balance Procedure for Calculating Cooling Loads. ASHRAE Transactions v. 103, n. 2, pp. 459- 468, 1997.
- RORIZ, M. Segunda Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética (LABEEE). Florianópolis, 2012.
- RUBIO-BELLIDO, C; PULIDO-ARCAS, J. A; CABEZA-LAINEZ, J. M. Adaptation strategies and resilience to climate change of historic dwellings. Sustainability, v. 7, p. 3695-3713. 2015.
- SONG, X; YE C. Climate Change Adaptation Pathways for Residential Buildings in Southern China. Energy Procedia, v. 105, p. 3062-7, 2017.
- TRIANA, M. A; LAMBERTS, R. SASSI, P. Desempenho de Habitações de interesse social frente às mudanças climáticas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo. Anais.... Porto Alegre, 2016.
- TRIANA, M. A; LAMBERTS, R; SASSI, P. Should we consider climate change for Brazilian social housing? Assessment of energy efficiency adaptation measures. Energy and Buildings, v. 158, p. 1379-1392. 2018.
- WAN, K. D. LI, W, LAM, J. Impact of climate change on building energy use in different climate zones and mitigation and adaptation implications. Applied Energy. n. 97, pp. 274-282, 2012.
- WANG, L; LIUI, X; BROWN H. Prediction of the impacts of climate change on energy consumption for a medium-size office building with two climate models. Energy and Buildings, 2017.
- ZHU, M. PAN, P. HUANG, Z. XU, P. SAH, H. Future hourly weather files generation for studying the impact of climate change on building energy demand in China. Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28, pp. 967-974, 2013.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de mestrado. Ao Laboratório de Tecnologia e Conforto Ambiental (LATECA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e à Universidade Federal de Santa Maria (UFMS).