DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR SERIADA NO MUNICÍPIO DE PALMAS–TO

Gabriel Vila Nova Aguiar (1); Liliane Flávia Guimarães das Silva (2)
(1) Engenheiro Civil, gabrielvilan@gmail.com
(2) Doutora, Arquiteta, Professora da área de Construção Civil, lilianeg@ifto.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, AESE 34 (AE 310 Sul), avenida LO-05, s/n, Plano Diretor Sul, Palmas–TO, 77021-090, tel.: (63) 3236-4000

RESUMO
A partir do surgimento da norma de desempenho em 2008 e 2013, iniciou-se um processo de transformação na forma de se conceber e produzir edifícios residenciais, em todo o território brasileiro. Dentre os tipos de desempenhos normatizados, este estudo foca em desempenho térmico, fator importante para garantir o bem-estar do usuário final, tendo em vista que ao projetar e planejar uma edificação levando em consideração o clima da região na qual está localizada, esta se torna confortável, além de refletir diretamente na economia de energia. A cidade de Palmas – TO está localizada em uma região de clima predominantemente quente, e diante destas condições, surge a necessidade da realização de trabalhos que verifiquem a validade dos procedimentos de avaliação de desempenho térmico descritos na norma para regiões com essa característica. À vista disso, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de uma edificação residencial em Palmas – TO, localizada na zona bioclimática 7, em um episódio quente e seco, segundo critérios estabelecidos pela norma de desempenho brasileira, por meio do método simplificado e da medição *in loco*. A partir da realização dos procedimentos de análise segundo orientações da norma, pôde-se constatar o atendimento aos requisitos mínimos de desempenho por parte da edificação estudada, porém, algumas dificuldades e limitações foram observadas.

Palavras-chave: Desempenho térmico; procedimento simplificado; medição.

ABSTRACT
From the appearance of the performance standard in 2008 and 2013, a transformation process began in the way of designing and producing residential buildings, throughout the Brazilian territory. Among the types of standardized performances, this study focuses on thermal performance, an important factor to ensure the well-being of the end user, considering that when designing and planning a building taking into account the climate of the region in which it is located, it makes comfortable, as well as directly reflecting on energy savings. The city of Palmas - TO is located in a region with a predominantly hot climate, and given these conditions, there is a need to carry out works that verify the validity of the thermal performance evaluation procedures described in the standard for regions with this characteristic. In view of this, this research aimed to evaluate the thermal performance of a residential building in Palmas - TO, located in the bioclimatic zone 7, in a hot and dry episode, according to criteria established by Brazilian standard of performance buildings, using the method simplified and on-site measurement. From the performance of the analysis procedures according to guidelines of the standard, it was possible to verify the compliance with the minimum performance requirements by the studied building, however, some difficulties and limitations were observed.

Keywords: Thermal performance; simplified procedure; measurement.

1. INTRODUÇÃO

Desempenho é definido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a, p. 6), como o "comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas". Portanto, para garantir um desempenho satisfatório, as edificações devem cumprir os requisitos para os quais foram projetadas, e desta forma, garantir o bem-estar de seus usuários finais (COSTELLA, 2018).

Com o surgimento da normatização de desempenho em 2008 e 2013, iniciou-se em todo o território brasileiro um processo de transformação na forma de se conceber e produzir edifícios residenciais, envolvendo toda a cadeia produtiva, composta por construtores, projetistas, fornecedores e usuários. Atualmente, é consenso que as habitações devEm proporcionar conforto e segurança a seus usuários, atendendo a suas necessidades ao longo de sua vida útil (OKAMOTO; MELHADO, 2014; SORGATO *et al*., 2014).

Conforme especificado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), com o objetivo de garantir condições básicas de desempenho, os diferentes sistemas têm requisitos mínimos de desempenho, os quais devem sempre serem considerados e atendidos para que uma edificação satisfaça seus usuários, obedecendo critérios quantitativos e métodos de avaliação estabelecidos para cada requisito. Além dos requisitos mínimos, para incentivar a melhoria da qualidade das edificações, são estabelecidos níveis mais elevados, denominados de intermediário e superior. Independente dos materiais e métodos construtivos utilizados, essa norma define os níveis de desempenho mínimos, portanto, a partir desta abordagem, a norma incentiva o desenvolvimento tecnológico, a criação de novos sistemas, e a melhoria dos já consagrados (DONATO; BRAGA, 2018; SOUZA; KERN; TUTIKIAN, 2018).

Dentre os tipos de desempenhos normatizados, este estudo foca em desempenho térmico, fator importante para garantir o bem-estar do usuário final, além de refletir diretamente na economia de energia. A cidade de Palmas–TO está localizada em uma região de clima predominantemente quente, com temperaturas máximas superiores a 30ºC em todos os meses do ano, conforme dados divulgados pelo INMET (2020), e diante destas condições, surge a necessidade da realização de trabalhos que verifiquem a validade dos procedimentos de avaliação de desempenho térmico descritos na NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) para regiões com essa característica.

Segundo Mattos (2015), há uma crescente preocupação dos profissionais da construção quanto à qualidade das edificações, porém, a grande maioria destas ainda carece de projetos de qualidade que favoreçam o bom desempenho térmico durante a utilização, fato que se agrava ainda mais em regiões distantes dos grandes centros, e de climas quentes, a exemplo de Palmas–TO. Além disso, é frequente na cidade a tipologia construtiva de habitações seriadas, que apresentam grande interesse comercial. Estas formam um conjunto habitacional horizontal, com edificações térreas, ou sobrados, em um mesmo lote do tipo multifamiliar, segundo planejamento do plano diretor da cidade. Ainda não há estudos específicos na cidade de Palmas–TO, voltados a esta tipologia que avaliem os efeitos no seu desempenho térmico.

Desta forma, este trabalho contribuirá com a avaliação prática a respeito da aplicabilidade dos procedimentos descritos pela norma, em uma região de clima quente em uma tipologia específica de habitação.

2. OBJETIVO

Avaliar o desempenho térmico de uma habitação multifamiliar seriada em Palmas–TO, localizada na zona bioclimática 7, em um episódio quente e seco, segundo critérios estabelecidos pela norma brasileira de desempenho, por meio do método simplificado e da medição.

3. MÉTODO

Os procedimentos utilizados nesta pesquisa para a avaliação do desempenho térmico consistem no método simplificado (Procedimento 1), e medição (Procedimento 2), de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a).

O estudo foi realizado em uma edificação recém-construída, concluída em 2019, não ocupada e sem mobília, conforme critérios da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), localizada em um condomínio multifamiliar horizontal, situada em área urbana na cidade de Palmas–TO (Figura 1). Este condomínio possui vinte e quatro edificações similares, sendo uma delas utilizada para o presente estudo. A edificação possui dois quartos, sendo uma suíte, sala de estar e jantar, cozinha, banheiro social e área de serviço, além da vaga de garagem (descoberta), com área total de 45,71m² (com exceção da garagem). O sistema estrutural adotado para as edificações é reticulado de concreto armado, com vedações em blocos cerâmicos de dimensões 14 x

19 x 29 cm, 12 x 19 x 29 cm e 9 x 19 x 29 cm assentados com argamassa mista de cimento, cal e areia. As esquadrias utilizadas são de alumínio e vidro temperado, a cobertura em telhas fibrocimento com espessura de 6mm, e inclinação de 10%, sobre laje pré-moldada de concreto com 15cm de espessura.

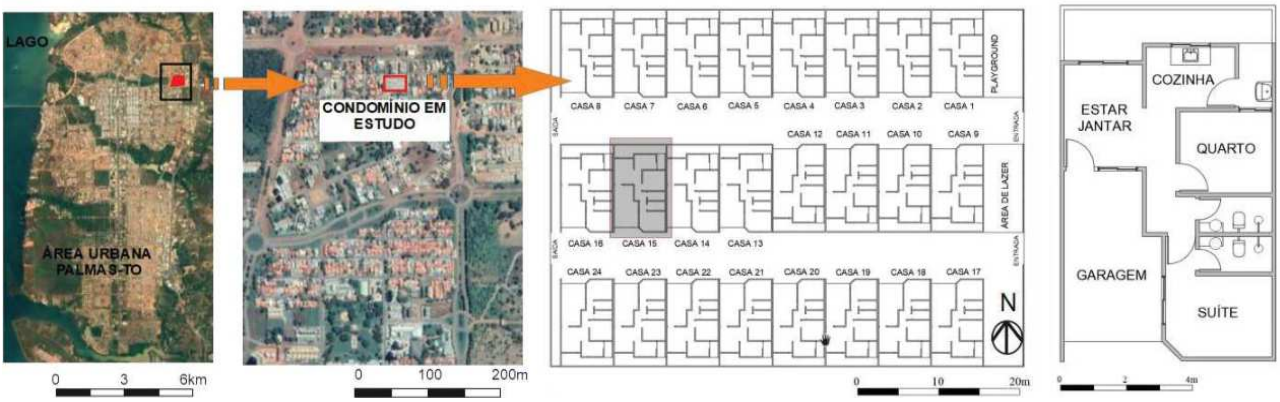


Figura 1 - Localização do condomínio e planta baixa da edificação em estudo

3.1. Procedimento 1 – Método Simplificado

Neste método, verifica-se o atendimento aos níveis mínimos de desempenho seguindo requisitos e critérios estabelecidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013a) e NBR 15575-5 (ABNT, 2013a), quanto aos sistemas de vedação vertical externa e cobertura, conforme definições, símbolos e unidades da NBR 15220-1 (ABNT, 2003a).

O Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE) deve atender critérios e requisitos quanto à transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT), e aberturas para ventilação, de acordo com as zonas bioclimáticas estabelecidas na NBR 15220-3 (ABNT, 2003c). Os cálculos para análise da U e CT são realizados conforme procedimentos especificados pela NBR 15220-2 (ABNT, 2003b). Já para a análise quanto às aberturas para ventilação, o método de avaliação é definido pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), requisito este, aplicado aos ambientes de longa permanência como: salas, cozinhas e dormitórios. No sistema de cobertura, se faz necessário apenas o requisito quanto à transmitância térmica (U), com critérios a serem atendidos presentes na NBR 15575-5 (ABNT, 2013c).

3.2. Procedimento 2 – Medição

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), trata-se da verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos, sendo este método de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no método simplificado.

Conforme a referida norma, a edificação deve atender requisitos e critérios sobre as condições térmicas em seu interior em comparação ao ambiente externo em dias típicos de verão. No entanto, a cidade de Palmas–TO tem como características climáticas, verão chuvoso, com temperaturas mais amenas, e inverno seco, com picos de temperatura na primavera, no mês de setembro (SILVA, 2018). Por este motivo, a coleta de dados de temperatura do ar foi realizada no referido mês, no intervalo entre 12h do dia 25/9/2019 a 12h do dia 28/9/2019, totalizando três dias consecutivos como aponta a norma, sendo analisados os dados do terceiro dia. Para a realização da medição *in loco* foram utilizados os equipamentos descritos na a seguir.

3.3. Instrumentos para coleta de dados

Para o levantamento de dados desta pesquisa, foram utilizados o Termo-higrômetro com data logger digital KlimaLogg Pro - modelo 30.39.0.00; transmissores para o KlimaLogg Pro - modelo 30.3181; estação meteorológica profissional com data logger modelo ITWH-1080 da Instrutemp com termo-higrômetro; e termo-higrômetro data logger HOBO U12-013 (Figura 2).

Para medições de temperatura, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) orienta seguir as especificações de equipamentos e montagem de sensores, apresentadas na ISO 7726 (ISO, 1998). A escolha dos equipamentos baseou-se na disponibilidade de utilização dos mesmos, pois o termo-higrômetro KlimaLogg, e a estação meteorológica da Instrutemp estão disponíveis no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, enquanto o termo-higrômetro Hobo foi adquirido para a pesquisa.

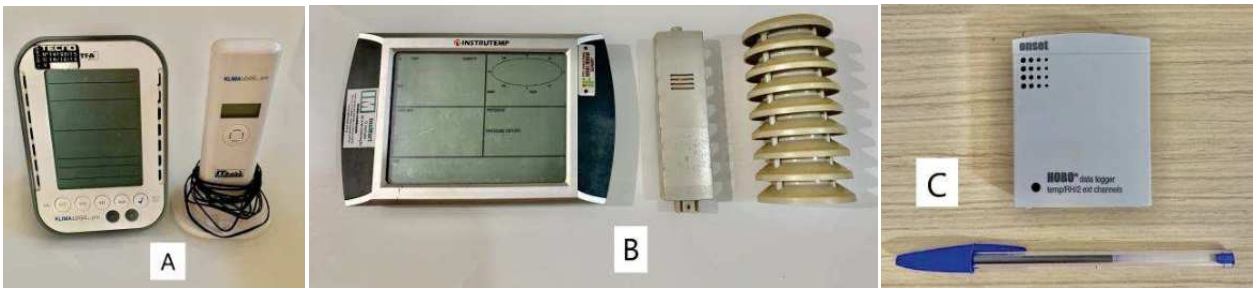


Figura 2 - Equipamentos utilizados (a) Termo-higrômetro digital KlimaLogg Pro (b) Estação meteorológica Instrutemp (c) Termo-higrômetro HOBO

Os equipamentos foram posicionados no centro dos ambientes (dormitórios e sala), além do ambiente externo, todos a 1,20m do piso, seguindo as recomendações normativas, conforme demonstrado na Figura 3. No Ponto 1 (sala), foram posicionados o *data logger* e um transmissor KlimaLogg Pro, o *data logger* da estação meteorológica Instrutemp; e o termo-higrômetro Hobo. Nos Pontos 2 (dormitório) e 3 (suíte), foram posicionados transmissores para o KlimaLogg Pro. No Ponto 4 (área externa), foram posicionados um transmissor KlimaLogg Pro e o termo-higrômetro Instrutemp, ambos com abrigo da Instrutemp. Os sensores Klimalogg e Hobo registraram dados a cada um minuto, e a estação Instrutemp a cada cinco minutos. Tendo em vista que só havia um equipamento Hobo, este foi utilizado para fins de comparação com os demais instrumentos, sendo todos aferidos e apresentando coeficiente de correlação 0,994 (Klimalogg) e 0,997 (Instrutemp), validando, pois, o uso dos destes dados.

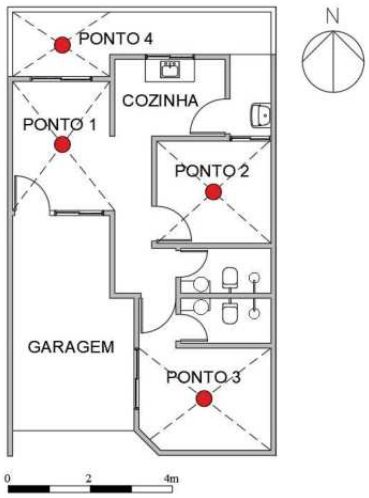


Figura 3 – Disposição dos equipamentos

4. RESULTADOS

Os resultados foram analisados de acordo com cada procedimento.

4.1. Método Simplificado

Para os cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica, realizados de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2003b), foram utilizados os materiais e suas respectivas propriedades térmicas, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Massa aparente, condutividade térmica e calor específico dos materiais utilizados na edificação em estudo.

Material	**Massa aparente (ρ)**	**Condutividade térmica (λ)**	**Calor específico (c)**
Cerâmica	1600 kg/m³	0,90 W/(m.K)	0,92 kJ/(kg.K)
Argamassa de assentamento/reboco	2000 kg/m³	1,15 W/(m.K)	1,00 kJ/(kg.K)
Fibrocimento	1600 kg/m²	0,65 W/(m.K)	0,84 kJ/(kg.K)
Concreto	2400 kg/m²	1,75 W/(m.K)	1,00 kJ/(kg.K)

Também foram consideradas as resistências térmicas das câmaras de ar não ventiladas: Resistência térmica de câmaras de ar (R_{ar}); Resistência térmica superficial interna e externa (R_{si} e R_{se}) na parede e na cobertura, considerando a direção do fluxo de calor horizontal no caso de paredes, e descendente, no caso de coberturas, sendo estes com os valores segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2003b), como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Resistência térmica superficial interna e externa e Resistência térmica de câmaras de ar utilizados na edificação em estudo

Aplicação	**Resistência térmica superficial interna (Rsi)**	**Resistência térmica superficial externa (Rse)**	**Resistência térmica de câmaras de ar (Rar)**
Parede	0,13 (m².K)/W	0,04 (m².K)/W	0,16 (m².K)/W
Cobertura	0,17 (m².K)/W	0,04 (m².K)/W	0,21 (m².K)/W

Segundo a NBR 15220-2 (ABNT, 2003b), a Transmitância (U) é o inverso da Resistência Térmica Total (RT). No caso da edificação em questão, devem ser utilizadas as equações para cálculo da Resistência Térmica Total (RT) e Capacidade Térmica (CT) para componente não homogêneo, pois a parede é composta de materiais distintos: bloco de tijolos furados e argamassa. Para os cálculos da Resistência Térmica Total (RT) é necessário calcular primeiramente a Resistência Térmica da Parede, somada à resistência térmica interna (R_{si}) e externa (R_{se}) do ar. Para o cálculo da resistência térmica da parede foram consideradas três seções, conforme Figura 4, sendo elas: Seção A (reboco + argamassa + reboco); Seção B (reboco + tijolo + reboco); Seção C (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco).

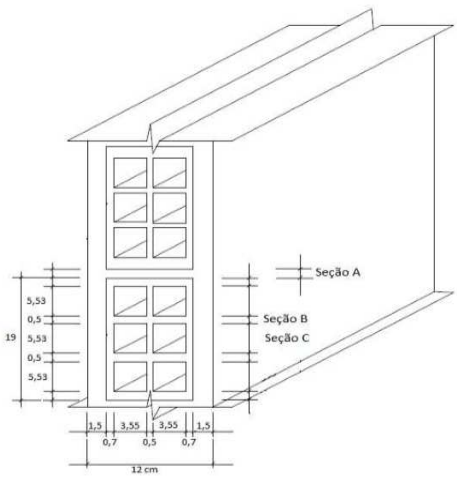


Figura 4 – Composição da parede

As mesmas seções foram consideradas para o cálculo da Capacidade Térmica. Foram utilizadas as fórmulas descritas na NBR 15220-2 (ABNT, 2003b), sendo obtidos os seguintes resultados: Resistencia térmica da parede: Rt = 0,238(m².K)/W; Resistencia térmica total: RT = 0,408(m².K)/W; Transmitância térmica: U = 2,45W/(m².K); Capacidade térmica: CT = 144,14kJ/(m².K).

Para a cobertura, foram consideradas as equações constantes na NBR 15220-2 (ABNT, 2003b) para cálculo da Transmitância (U) de componente não homogêneo, tendo em vista que a edificação em estudo possui cobertura composta de materiais distintos: telha de fibrocimento e laje de concreto. Da mesma forma que no cálculo da parede, como a Transmitância (U) é o inverso da Resistência Térmica Total (RT), e esta por sua vez é obtida a partir da Resistência Térmica do conjunto da cobertura, somada à resistência térmica interna (Rsi) e externa (Rse) do ar, foram aplicadas as equações da referida norma e obtidos os seguintes resultados: Resistência térmica do conjunto: Rt = 0,305(m².K)/W; Resistencia térmica total: RT = 0,515(m².K)/W; Transmitância térmica: U = 1,94W/(m².K).

Para avaliação do desempenho, os resultados obtidos devem ser comparados aos critérios de desempenho da norma. Também é necessário identificar a absortância dos materiais. A pintura das paredes externas da edificação é branca, portanto, apresenta uma absortância à radiação solar de $\alpha = 0,20$ segundo a norma. Desta forma, para uma edificação localizada na zona bioclimática 7, U deve ser $\leq 3,7$W/(m².K). O valor de transmitância térmica (U) obtido foi de 2,45 W/(m².K), atendendo ao limite máximo admitido. Quanto à capacidade térmica (CT), o valor obtido de 144,14kJ/(m².K) é maior que o mínimo admitido de 130kJ/(m².K). Sendo assim, as paredes externas atendem ao nível mínimo de desempenho, segundo o procedimento simplificado.

Para o sistema de cobertura, a determinação do nível de desempenho está ligada à absortância à radiação solar da superfície externa da cobertura, e ao fator de ventilação (FV). A NBR 15220-2 (ABNT, 2003b) apresenta valores tabelados de absortância para alguns tipos de superfície, todavia, bastante limitados, apresentando apenas algumas opções de materiais e cores. O valor de absortância para telhas de fibrocimento sem pintura, como utilizadas na edificação não está presente na norma. Buscando na literatura, o valor considerado foi de $\alpha = 0,705$, extraído dos resultados obtidos a partir da pesquisa realizada por Coelho; Gomes e Dornelles (2017), para telhas de fibrocimento novas. Sendo assim, na condição de $\alpha > 0,4$, U deve ser $\leq 1,5$ FV para atendimento do nível mínimo de desempenho.

Além disso, o método de obtenção do FV disponível na norma carece de informações e detalhes. A NBR 15575-5 (ABNT, 2013c), associa o nível de desempenho ao fator de ventilação (FV), por outro lado, a NBR 15220-3 (ABNT, 2003c, p. 9) cita FT, como fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas da zona 8. Este fator pode ser obtido pela equação FT = 1,17 – 1,07.h-1,04, onde h é altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros. Observando a NBR 15575-5 (ABNT, 2013c), é possível identificar que a tabela simplificada de critérios de coberturas quanto à transmitância térmica, requisitos mínimos, na página 27, apresenta na tabela FT (Fator de transmitância) e não FV (Fator de Ventilação), para os mesmos critérios da tabela completa, na página 52. Por este motivo, alguns autores consideram FV = FT, a exemplo de Callejas et al. (2013); Chvatal (2014), além de CBIC (2013) no guia orientativo de atendimento à norma. Desta forma, para o objeto de estudo, onde não há abertura para ventilação, o fator de ventilação será FV = 1 (para coberturas sem forro ou com áticos não ventilados, conforme a norma). Portanto, a cobertura da edificação não atende ao critério de nível mínimo de desempenho.

Para verificação do percentual da área de ventilação, foram consideradas a área efetiva de ventilação em relação à área total do piso ambiente, sendo obtidos os seguintes resultados: Área de ventilação – sala: 13,4%; Área de ventilação – dormitório: 8,6%; Área de ventilação – suíte: 8,3%. Quanto aos critérios de aberturas para ventilação dos ambientes de longa permanência, todos atenderam ao nível mínimo, apresentando valores ≥ 7% da área de piso, conforme exigência normativa.

4.1. Medição

A medição foi realizada em uma sequência de três dias, conforme descrito na metodologia, sendo considerado o último dia para avaliação normativa do desempenho. Para análise dos resultados, optou-se pelo uso dos dados de um único equipamento, o Klimalogg Pro, tendo em vista que possuía o maior número de sensores, sendo instalado em todos os pontos da edificação e área externa, como também, pelo registro com intervalo de um minuto. O registro dos três dias pode ser visto na Figura 5

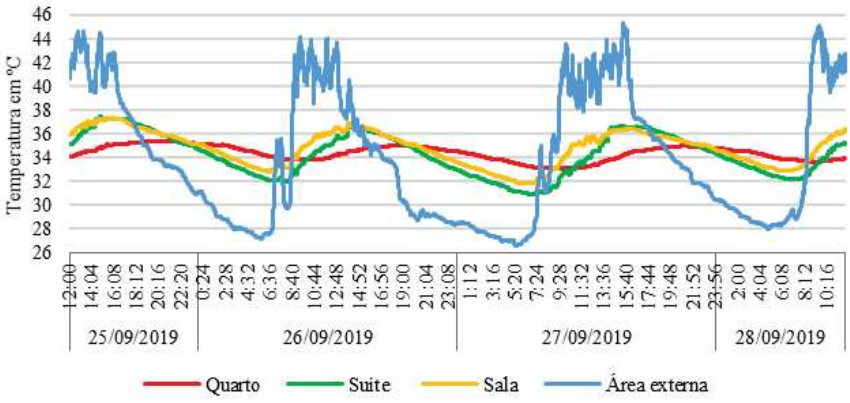


Figura 5 - Temperaturas registradas nos três dias de coleta

A temperatura mínima externa registrada foi de 26,6°C, no dia 27/9/2019, enquanto neste mesmo horário, a edificação registrava entre 31,2 e 33,5ºC, na sala e quarto, respectivamente. A menor temperatura interna registrada foi na suíte, no dia 27/9/2019, entre 6h33 e 7h10 da manhã, e na sala, por volta deste mesmo horário, entre 6h07 e 7h02, mas com temperatura de 31,8ºC. No quarto, a temperatura mínima foi de 33ºC, das 9h44 às 10h, neste mesmo dia.

.

Durante os três dias, a temperatura externa do ar máxima foi de 45,3°C, registrada às 15h24 e 15h25 do dia 27/9/2019. Neste mesmo momento, a temperatura interna máxima registrada era de 36,3ºC na sala, 36,7ºC na suíte e 34,2ºC no quarto. A maior temperatura interna foi registrada na suíte, com 37,5°C no dia 25/9/2019, no período de 14h48 a 14h56, e, com temperaturas bem próximas, 37,4ºC na sala, das 15h27 às 16h08 do mesmo dia. No quarto, as temperaturas máximas registradas apresentaram uma redução de 2ºC em relação aos outros ambientes, com 35,4ºC, porém, por um período mais longo, entre 18h46 e 22h07 do dia 25/9/2019.

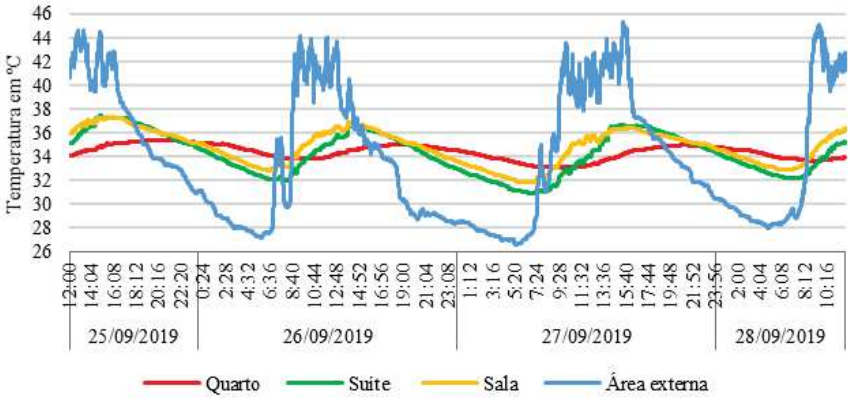


Figura 5 - Temperaturas registradas nos três dias de coleta

A temperatura mínima externa registrada foi de 26,6°C, no dia 27/9/2019, enquanto neste mesmo horário, a edificação registrava entre 31,2 e 33,5ºC, na sala e quarto, respectivamente. A menor temperatura interna registrada foi na suíte, no dia 27/9/2019, entre 6h33 e 7h10 da manhã, e na sala, por volta deste mesmo horário, entre 6h07 e 7h02, mas com temperatura de 31,8ºC. No quarto, a temperatura mínima foi de 33ºC, das 9h44 às 10h, neste mesmo dia.

Ao analisar as temperaturas registradas pelos transmissores durante os três dias, é possível observar que o quarto apresentou a menor dentre as temperaturas máximas obtidas, todavia, a maior dentre as mínimas obtidas. Como se trata de um ambiente com menor exposição (ver Figura 2), consequentemente este sofre menor influência externa se comparado aos demais. O fato de não possuir paredes ou aberturas expostas às direções norte ou oeste contribui para o dormitório atingir temperaturas menos elevadas. Por

outro lado, a média das temperaturas registradas ao longo dos dias apresentaram poucas variações entre os ambientes, permanecendo na faixa entre 34°C e 35°C.

O comportamento da temperatura interna ao longo dos dias revela tendência de aumento a partir das 7h, e, posteriormente, tendência de queda a partir das 17h, ambos com um atraso aproximado de 1 hora em relação à temperatura externa. É possível observar também que, apesar da amortização da temperatura interna da edificação durante o período diurno, em torno de 8ºC inferior à externa, a mesma não reduz aos níveis mínimos da temperatura externa, sendo superior à externa em aproximadamente 4ºC, fenômeno típico da inércia térmica dos materiais.

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), a avaliação do desempenho térmico é baseada no terceiro dia de coleta de dados, período que corresponde das 12h do dia 27/9/2019 às 12h do dia 28/9/2019, representado na Figura 6, a seguir. Os valores das temperaturas máximas e mínimas registradas em cada ambiente de longa permanência e na parte externa à edificação no último dia de coleta foram, respectivamente: Sala, com 36,4°C e 32,9°C; Quarto, com 35,0°C e 33,3°C; Suíte, com 36,7°C e 32,2°C; e Área externa, com 45,3°C e 28,0°C. As temperaturas máximas na sala e suíte ocorreram antes da máxima externa, e a mínima com atraso de aproximadamente 2h. Já o quarto apresentou atraso térmico de quase 5h nas máximas e 3h nas mínimas.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) apresenta os critérios de atendimento conforme os níveis de desempenho para edificações. Como se trata de uma edificação localizada na zona bioclimática 7, não é necessário realizar avaliação de desempenho térmico para condições de inverno. Para atendimento ao nível mínimo de desempenho para a condição de verão é necessário que a temperatura interna máxima seja igual ou inferior à Temperatura externa máxima ($T_{i,max} \leq T_{e,max}$).

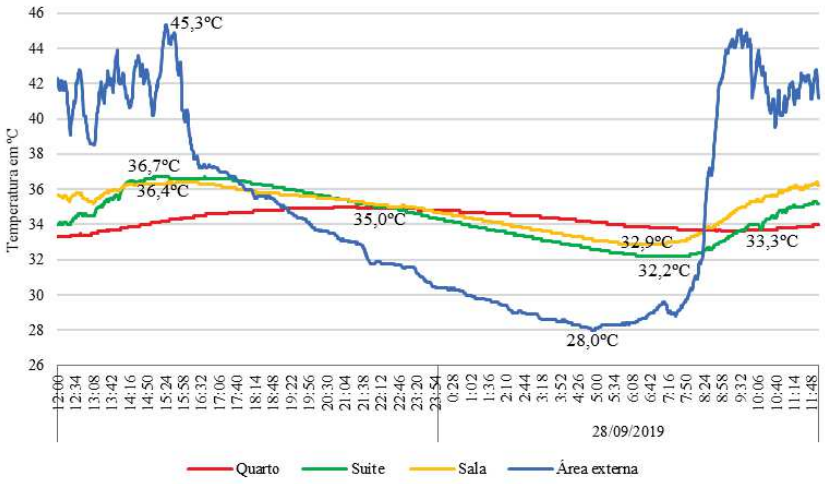


Figura 6 - Temperaturas registradas no terceiro dia de coleta

Ainda, para atendimento ao nível intermediário, o critério é $T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2°C)$, e para atendimento ao nível superior Ti,max ≤ (Te,max – 4°C). Desta forma, a edificação atende aos critérios dos níveis de desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), tendo em vista que a máxima externa no último dia de coleta foi 36,7°C, inferior à externa de 45,3°C, mesmo com dois ou quatro graus de diferença (45,3°C – 4°C = 41,3ºC).

Por outro lado, segundo dados fornecidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, a temperatura máxima registrada em Palmas – TO durante o período de medições, foi de 36,8°C às 16h do dia 28/9/2019. A grande diferença entre as temperaturas externas máximas registradas pelos equipamentos e a temperatura máxima fornecida pelo INMET, expõe a falta de detalhes fornecidos pela norma quanto ao registro de temperaturas externas à edificação, uma vez que, a mesma traz como informação apenas que deve ser realizado à sombra. Para fins de comparação, caso a avaliação do desempenho fosse realizada utilizando como temperatura externa máxima o valor fornecido pelo INMET, a edificação atenderia somente ao critério de nível mínimo (M) de desempenho, mas por uma redução de apenas 0,1ºC.

5. CONCLUSÕES

A partir da realização dos procedimentos de análise do desempenho térmico pelo método simplificado, segundo orientações normativas, pôde-se constatar o atendimento aos requisitos mínimos de desempenho por parte da edificação estudada apenas quanto às vedações externas verticais, as paredes. A avaliação do desempenho da cobertura não atendeu ao exigido na norma, o que leva à necessidade de aplicação do método da simulação computacional na edificação como um todo, conforme exigência da própria norma, sendo proposta nova pesquisa para tal. Já pela medição, a edificação atendeu não só aos níveis mínimos, como também aos níveis intermediário e superior. Além disso, pôde-se verificar a influência de parâmetros construtivos na variação da temperatura interna ao comparar os dados registrados nos diferentes recintos,

tendo em vista que o dormitório, como ambiente de menor exposição externa, apresentou menores variações de temperatura interna. Neste caso, o parâmetro de influência foi a orientação de fachadas e aberturas.

A análise do desempenho pelo método simplificado expôs algumas dificuldades e limitações. A exemplo, a falta de informações por parte da NBR 15220-2 (ABNT, 2003b) quanto aos valores de absortância à radiação solar das superfícies externas. A norma se limita a apenas alguns materiais e cores, e devido à ausência do valor exato a ser considerado para materiais como fibrocimento sem pintura, que são amplamente utilizados na construção civil, foi necessário a utilização de uma pesquisa realizada por terceiros para obtenção desta informação. Além disso, a norma não considera a influência dos estados de conservação dos materiais no valor da absortância. Segundo Coelho; Gomes e Dornelles (2017), há variações consideráveis, dependendo do estado do material.

Verificou-se que a determinação do nível de desempenho do sistema de cobertura está ligada ao fator de ventilação (FV) segundo a NBR 15575-5 (ABNT, 2013c), entretanto, o método de obtenção do FV disponível na norma, apresenta contradições e carece de informações precisas e detalhes. No entanto, a realização dessa pesquisa se deu antes da recente revisão da referida norma, que corrigiu vários problemas e imprecisões, sendo o fator de ventilação um deles (ABNT, 2021a; 2021b; 2021c). Na emenda 1 da parte 5 da norma (ABNT, 2021c), o critério de transmitância térmica de coberturas foi corrigido, informando agora o fator correto: Fator de Transmitância – FT, com detalhamento de cálculo e ilustrações. Além disso, a emenda esclarece ainda que a absortância à radiação solar da superfície externa da cobertura deve levar em consideração a degradação do desempenho desta superfície, conforme a emenda 1 da parte 1 da referida norma (ABNT, 2021a). Ou seja, as atuais emendas já revisaram e corrigiram diversas distorções verificadas nesta e em outras pesquisas.

De qualquer forma, como o sistema de cobertura apresentou transmitância térmica de 1,94W/(m².K), para o atendimento, seria necessário um fator de transmitância de pelo menos FT = 1,29. No entanto, o máximo FT obtido por uma câmara de ar ventilada é de 1,17. A opção possível, como a própria norma sugere, é a utilização de uma lâmina de alumínio polido na câmara de ar (superfície de baixa emissividade). Com isso, a Resistência térmica da câmara de ar não ventilada com a mesma espessura existente na edificação seria de Rar = 0,61 (e não 0,21 como citado anteriormente), obtendo assim uma transmitância de 1,09W/(m².K), atendendo à norma.

Através da medição in loco foi possível observar outra imprecisão dos procedimentos, visto que, não há clareza quanto à instalação e disposição dos equipamentos para registro de temperaturas externas. As temperaturas externas registradas pelos equipamentos se apresentaram muito acima das fornecidas pelo INMET para o mesmo período, talvez por efeito da urbanização, da proximidade de elementos construtivos, entre outros motivos. No entanto, na emenda 1 da parte 1 da norma (ABNT, 2021a), os procedimentos da medição in loco foram retirados, ou seja, a avaliação do desempenho térmico passa a ser realizada, a partir da revisão da norma, por apenas dois procedimentos: simplificado e simulação computacional. Pelo método simplificado, a avaliação se dá por meio da comparação das características da unidade habitacional em relação a valores de referência, e, no caso de não atendimento aos critérios estabelecidos, a avaliação deverá ser realizada pelo procedimento de simulação computacional, o qual compara o modelo real (com as características da unidade habitacional) com um modelo de referência.

A pesquisa verificou ainda que a utilização e consideração da norma de desempenho é essencial para a garantia do desempenho térmico das edificações, porém não é tão comum, muitas vezes por falta de conhecimento dos profissionais envolvidos na cadeia produtiva, outras, pelas inconsistências encontradas em seus procedimentos. No entanto, tais inconsistências foram sanadas em boa parte pela revisão da norma. Desta forma, a partir da revisão e suas melhorias previstas, o setor da construção civil tende a ganhar muito, se tratando de desempenho das edificações.

Esta pesquisa se soma às demais realizadas em Palmas–TO, servindo como parâmetros para futuros trabalhos realizados na região, ou de maneira mais abrangente, à toda zona bioclimática 7, tendo em vista que estão sujeitos aos mesmos critérios para avaliação do desempenho. A partir desta, foi possível contribuir na constatação de que ao considerar as propriedades térmicas dos elementos construtivos nas fases de projeto das edificações de maneira geral, a edificação torna-se mais confortável para os usuários finais, sobretudo em regiões de climas com características semelhantes, quente e seco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a. 8 p.

_____. **NBR 15220-2**: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b. 30 p.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c. 30 p.
_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.
_____. **NBR 15575-4**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013b.
_____. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.
_____. **Emenda 1 da NBR 15575-1**. Rio de Janeiro, 2021a.
_____. **Emenda 1 da NBR 15575-4**. Rio de Janeiro, 2021b.
_____. **Emenda 1 da NBR 15575-5**. Rio de Janeiro, 2021c.
CALLEJAS, I; et al. Desempenho térmico de habitação de interesse social na zona bioclimática 7 utilizando procedimentos prescritivos e de medição. In: Seminário Mato-grossense de Habitação de Interesse Social, 5, 2013, Cuiabá. **Anais**... Cuiabá: UFMT, nov. 2013.
CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla comunicação, 2013.
CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119–134, 2014.
COELHO, T. DA C. C.; GOMES, C. E. M.; DORNELLES, K. A. Desempenho térmico e absortância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 147–161, 2017.
COSTELLA, M., F. **Norma de desempenho de edificações: Modelo de aplicação em construtoras**. Curitiba: Appris editora, 2018.
DONATO, N. D.; BRAGA, D. K. Análise do desempenho térmico (NBR 15.575) de três empreendimentos residenciais em Rondonópolis-MT. **Cadernos de arquitetura e urbanismo**, Paranoá, n. 22, p. 72–87, 2018.
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMETRO. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas. Acesso em: 1 fev. 2020.
MATTOS, T. L. DE. *Análise do desempenho térmico de habitações populares da microrregião de Guaratinguetá - SP*. [s.l.] Guaratinguetá - SP: UNESP, 2015.
OKAMOTO, P. S; MELHADO, S. B. A norma brasileira de desempenho e o processo de projeto de empreendimentos residenciais. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 15, nov. 2014, Maceió. **Anais**... Maceió, 2014, p. 1973–1982.
SILVA, L. F. G. da. **Percepção climática e conforto térmico: contribuição ao estudo interdisciplinar dos aspectos objetivos e subjetivos do clima em Palmas, TO**. 2018. 550 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.
SORGATO, M. J; et al. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83–101, 2014.
SOUZA, J. L. P. DE; KERN, A. P.; TUTIKIAN, B. F. Análise quantiqualitativa da norma de desempenho (NBR nº 15.575/2013) e principais desafios da implantação do nível superior em edificação residencial de multipavimentos. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 13, n. 1, p. 127–144, 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFTO pelo empréstimo dos equipamentos aplicados na pesquisa.