



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

NICOLE GIOVANA MENEZES ROCHA

**O USO DA IoT PARA MONITORAMENTO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM
EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO EM PALMAS/TO, À LUZ DA NORMA DE
DESEMPENHO NBR 15575**

PALMAS

2019

NICOLE GIOVANA MENEZES ROCHA

**O USO DA IoT PARA MONITORAMENTO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM
EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO EM PALMAS/TO, À LUZ DA NORMA DE
DESEMPENHO NBR 15575**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel no Curso Superior de Engenheiro Civil
do Instituto Federal do Tocantins, Campus
Palmas.

Orientadora: Profa. Dra. Elen Oliveira Vianna

**PALMAS
2019**

FOLHA DE APROVAÇÃO

NICOLE GIOVANA MENEZES ROCHA

**O USO DA IoT PARA MONITORAMENTO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM
EMPREENHIMENTO IMOBILIÁRIO EM PALMAS/TO, À LUZ DA NORMA DE
DESEMPENHO NBR 15575**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil
Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas,
como exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em:

BANCA AVALIADORA

Profa. Dra. Elen Oliveira Vianna
Orientadora

Profa. Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva
Examinadora Interna

Prof. Dr. Marcus André Pereira Oliveira
Examinador Interno

Profa. Ms. Lorena D’Arc Tork da Silva
Examinadora Externa

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada. Seu fôlego de vida me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

A minha mãe, Anália Correia Menezes que com muito carinho e apoio não hesitou em abrir mão dos próprios sonhos para tornar realidade os de seus filhos, educando por meio de seu exemplo vivo de dignidade e fé.

A minha família com que o Senhor me presenteou, que esteve sempre presente nas horas de angústias, responsáveis por mais essa conquista em minha vida, pelo amor e incentivo nas horas mais difíceis.

Agradeço a minha orientadora profa. Dra. Elen Oliveira Vianna, pela sabedoria com que me norteou nesta caminhada, por ter aceitado o convite de orientar esse trabalho, por toda a disposição em auxiliar nos mínimos detalhes, por todo o cuidado nas revisões, pelas suas correções e incentivos.

A profa. Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva por aceitar participar da banca, por auxiliar com toda bagagem profissional em suas aulas de Conforto Térmico, pelas valiosas contribuições, pelo auxílio com o empréstimo e a utilização dos equipamentos utilizados neste trabalho.

A profa. Ms. Lorena D'Arc Tork da Silva por aceitar o convite de participar da banca, por contribuir com todo seu conhecimento nos momentos de correções, pela atenção, e pela disposição e bondade de ceder parte dos equipamentos utilizados na pesquisa, e por ter sido umas das primeiras incentivadoras.

Ao prof. Dr. Marcus André Pereira Oliveira pelo auxílio na área, inicialmente desconhecida, da Internet das Coisas, e pela disposição de acrescentar neste trabalho através da aceitação do convite de participar da banca.

Aos professores que compartilharam suas experiências e conhecimentos ao decorrer do período de formação, em especial ao prof. Dr. Antônio Rafael de Souza Alves Bôso, pela bondade e disposição em ajudar com as análises estatísticas dos resultados, e pelo valioso apoio na parte estatística deste trabalho.

À RECEP Engenharia, na pessoa do Engenheiro Daniel, por disponibilizar o empreendimento imobiliário objeto de pesquisa, por sempre estar disposto a auxiliar com o que fosse necessário, e por permitir a integração do meio acadêmico com o mercado de trabalho.

Ao Programa de Educação Tutorial por estimular e capacitar seus integrantes a ter uma visão crítica e multifacetada da profissão, baseando-se na tríade ensino-pesquisa-extensão.

Ao IFTO - Campus Palmas por fornecer a estrutura e os recursos necessários para o desenvolvimento de nosso trabalho.

A todos os colegas de classe que contribuíram, direta ou indiretamente, nestes cinco anos de formação acadêmica.

Ao meu noivo, Davi Andrade Melo que não só me ajudou com as medições desta pesquisa, mas me acompanhou desde o começo da graduação e tem sido um grande incentivador da minha caminhada profissional, por sempre me trazer força e amparo nos bons e maus momentos, por ser essa pessoa que tenho imenso prazer em dividir momentos inesquecíveis.

A minha amiga, Isabelle Cristina pela ajuda durante o primeiro período de medição, pelo carinho e pelo apoio não só nos momentos de alegria.

Aos meus amigos que foram meu amparo em Palmas, nos momentos que mais precisei de ajuda, em especial ao Mateus Santos e Saram Santos, que com muito amor me receberam em sua casa para que eu pudesse proceder com as atividades do meu trabalho, e também, ao irmão Kloves e a irmã Márcia, que também me acolheram com muito cuidado e carinho em sua casa.

Ao meu grande colega, Tiago Barros Pimentel por se disponibilizar em ajudar com toda a parte de elaboração do protótipo montado com o ESP8266 foram muitos dias de trabalho para que a ideia deste trabalho estivesse pronta para ser aplicada.

Todos vocês foram imprescindíveis para execução deste trabalho! Muito obrigada por todo o incentivo, cuidado, amor e carinho.

“A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isso fica sendo a minha última e mais elevada descoberta.”

Sir Isaac Newton

ROCHA, Nicole Giovana Menezes. **O uso da IoT para monitoramento do desempenho térmico de um empreendimento imobiliário em Palmas/TO, à luz da norma de desempenho NBR 15575**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2019.

RESUMO

A aplicação da norma de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013), é um grande avanço nas edificações habitacionais, pois determina que os profissionais envolvidos são responsáveis por atender o nível de desempenho especificado. No entanto, embora o conceito seja simples de ser entendida, sua aplicação prática é difícil. Assim, na configuração atual do mercado, é notável a necessidade de novas tecnologias que sejam mais eficientes e que possam contribuir para que o setor continue a crescer. Nesta ótica, escolheu-se um empreendimento na cidade de Palmas – TO, a qual possui registro de altas temperaturas durante todo o ano, para aplicar o método prescritivo, assim como o método de medições *in loco*, a fim de estudar e analisar o desempenho térmico à luz da referida norma. Para, além disso, buscou-se testar a utilização de um novo equipamento, elaborado pela tecnologia da Internet das Coisas – (*Internet of Things* _ IoT), e através de análises estatísticas, comparar com outros dois equipamentos convencionais. Trata-se, então, da inserção de placas micro controladoras capazes de monitorar os dados por sensores de temperatura e umidade relativa do ar. Foi possível identificar, através da análise do desempenho térmico (tanto pelo método simplificado quanto pela medição *in loco*), o não atendimento dos critérios estabelecidos pela referida norma para o empreendimento analisado. Os resultados obtidos pelos três equipamentos, nesta pesquisa, evidenciaram que a Internet das Coisas possui futuro promissor no monitoramento do desempenho térmico. Neste sentido, a contribuição deste estudo é, além de caracterizar o desempenho térmico, alegar a compatibilidade entre os resultados dos três equipamentos utilizados. Este trabalho mostra que a aplicação da Internet das Coisas, de acordo com o contexto desta pesquisa, trouxe vantagens econômicas, possibilitando que pequenas empresas, acadêmicos, e até mesmo usuários tenham condições de avaliarem os empreendimentos de acordo com as normas de desempenho.

Palavras-chave: IoT, Desempenho Térmico, Norma de Desempenho.

ROCHA, Nicole Giovana Menezes. **The use of IoT to monitor the thermal performance of a real estate development in Palmas / TO, in the light of the NBR 15575 performance norm.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2019.

ABSTRACT

The application of the performance standard NBR 15575 (ABNT, 2013), is a major advance in residential building, as it determines that the involved professionals are responsible to meet the specified performance level. However, although the concept can be easily understood, its practical application is difficult to be carried out. Thus, in the current market configuration, the need of new and more efficient technologies that can contribute to the growth of th sector is noticeable. In this perspective, it was chosen a local real estate development in the city of Palmas, state do Tocantins, Brazil, which has a record of high temperatures throughout the year, to apply the prescriptive method, as well as the on-site measurement methodology, in order to study and analyze the thermal performance in the light of the aforementioned standard. Also, in addition to that, the use of a new equipment, designed by Internet of Things (IoT) technology was tested, and, through statistical analysis, it was compared to two other conventional equipments. It is, therefore, the insertion of microcontroller plates capable of monitoring the data through temperature sensors and the relative humidity of the air. It was possible to identify, through the the thermal performance analysis (both by the simplified method and the on-site measurement), the analyzed real estate development did not comply with the criteria established by the beforementioned standard. The results obtained by the three equipments, in this research, showed that the Internet of Things has a promising future in the monitoring of thermal performance. In this respect, the contribution of this study is, besides characterizing the thermal performance, to claim the compatibility between the results of the three used equipment.. This work causes to be visible that the application of the Internet of Things, according to the context of this research, has brought economic advantages, thus allowing small companies, College students, and even users to be able to assess the enterprises according to the performance norms.

Palavras-chave: IoT, Thermal Performance, Performance Norm.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Estrutura do consumo de eletricidade na rede, por classe, nos anos de 2000, 2016 e projeção para 2026 (%).....	18
Gráfico 2 – Consumo de energia elétrica por equipamento em 2016 e projeção para 2026.....	19
Gráfico 3 – Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória 1981–2010 do Município de Palmas.....	35
Gráfico 4 -.Temperaturas internas e externa durante os três dias de medição – Período 02/2019.....	77
Gráfico 5 - Temperaturas internas e externa durante os três dias de medição – Período 04/2019.....	78
Gráfico 6 – Temperaturas internas e externa no terceiro dia de medição – Período 02/2019.....	79
Gráfico 7 - Temperaturas internas e externa no terceiro dia de medição – Período 04/2019.....	80
Gráfico 8 – Temperatura média diária de cada equipamento – fev./2019.....	82
Gráfico 9 – Temperatura média diária de cada equipamento – abril/2019.....	85
Gráfico 10 - Comparação do valor total entre os equipamentos utilizados.....	87
Gráfico 11 – Relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar– Instrutherm (fev./2019).....	88
Gráfico 12 – Relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar– ESP8266 (fev./2019)... ..	89
Gráfico 13 – Relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar– Instrutherm (abril./2019)	89
Gráfico 14 – Relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar– ESP8266 (abril./2019)	90
Gráfico 15 –Temperatura interna de apartamentos com diferentes orient. solares – fev./2019.....	91
Gráfico 16 –Temperatura interna de apartamentos com diferentes orient. solares – abril/2019.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Transmitância térmica de paredes externas.....	45
Tabela 2 – Capacidade térmica de paredes externas.....	45
Tabela 3 – Área mínima de ventilação em domínio e salas de estar.....	46
Tabela 4 – Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica.....	47
Tabela 5 - Características Básicas do ESP8266.....	63
Tabela 6 – Resistência térmica superficial interna e externa.....	72
Tabela 7 – Propriedades térmicas de materiais de uso recorrente no Brasil.....	75
Tabela 8 - Atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2013) pela medição in loco.....	80
Tabela 9 – Temperatura média horária por equipamento – fev./2019.....	81
Tabela 10 – Tratamento estatístico das temperaturas médias de cada equipamento – fev./2019.....	82
Tabela 11 – Análise de variância – Teste F (fev./2019).....	83
Tabela 12 – Teste de Tukey para temperatura média – fev./2019.....	83
Tabela 13 – Temperatura média horária por equipamento – abril/2019.....	84
Tabela 14 – Tratamento estatístico das temperaturas médias de cada equipamento – abril/2019.....	84
Tabela 15 – Análise de variância – Teste F (abril/2019).....	84
Tabela 16 – Teste de Tukey para temperatura média – abril/2019.....	85
Tabela 17 – Orçamento dos equipamentos – desempenho térmico de um apartamento..	86

LISTA DE EQUAÇÕES

$$A = 100 \times \left(\frac{A_A}{A_P} \right) (\%)$$

Equação 1.....46

$$F_{\text{Calculado}} = \frac{S_{\text{Entre}}^2}{S_{\text{Dentro}}^2}$$

Equação 2.....65

$$F_{\text{Crítico}} : F_{\alpha; k-1; k(n-1)}$$

Equação 3.....65

$$S_{\text{Dentro}}^2 = \frac{S_A^2 + S_B^2 + S_C^2 + \dots + S_k^2}{k}$$

Equação 4.....65

$$S_{\text{Entre}}^2 = \frac{n \sum (\bar{X} - \bar{X}_{\text{Global}})^2}{k-1}$$

Equação 5.....65

$$\text{HSD} = q_{\alpha; k; k(n-1)} \cdot \sqrt{\frac{S_{\text{Dentro}}^2}{n}}$$

Equação 6.....65

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{s_X s_Y}$$

Equação 7.....66

$$A_1 = 0,15 \times 0,29 = 0,0435 \text{ m}^2$$

Equação 8.....71

$$R_1 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} = \frac{0,09}{0,90} = 0,10 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Equação 9.....71

$$R_2 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}}$$

Equação 10.....71

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{\frac{4 \times A_1 + 3 \times A_2}{R_1 + R_2}}{\frac{4 \times 0,0435 + 3 \times 0,087}{0,10 + 0,3533}} = 0,1755 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Equação 11.....71

$$R_b = \frac{e_{\text{embosso}}}{\lambda_{\text{embosso}}} + R_{\text{tijolo}} + \frac{e_{\text{embosso}}}{\lambda_{\text{embosso}}}$$

Equação 12.....71

$$R_t = \frac{\frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}}{\frac{0,005 + 0,0551}{\frac{0,005}{0,1217} + \frac{0,0551}{0,219}}} = 0,2053 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Equação 13.....72

$$R_T = R_{Si} + R_t + R_{Se}$$

Equação 14.....72

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Equação 15.....72

$$C_{Ta} = e_i \times c_i \times \rho_i$$

Equação 16.....73

$$A_A = 4 \times (0,93 \times 0,68) = 2,53 \text{ m}^2$$

Equação 17.....75

$$A = 100 \times \left(\frac{2,53}{27,05} \right) = 9,35\%$$

Equação 18.....75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trocas térmicas entre o indivíduo e o ambiente.....	27
Figura 2 - Translação da Terra e localização dos trópicos.....	30
Figura 3 - Posição relativa do Sol: poente e a pino.....	31
Figura 4 - Variação diária da temperatura.....	32
Figura 5 - Mapas dos climas do Brasil.....	34
Figura 6 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	36
Figura 7 - Características e divisões da norma de desempenho.....	40
Figura 8 - Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico.....	42
Figura 9 – Ilha de calor urbana atmosférica.....	53
Figura 10 - Planta baixa do pavimento tipo.....	55
Figura 11 - Planta baixa do flat.....	56
Figura 12 – Vista a partir da fachada oeste do edifício objeto de estudo - Medição <i>in loco</i>	58
Figura 13 – Planta baixa do pavimento tipo.....	59
Figura 14 - Locação dos termo-higrômetros.....	60
Figura 15 - Termo-higrômetro registrador de dados (A), e transmissor de temperatura (B)	62
Figura 16 – Termo-higrômetro (A) e termo-anemômetro (B).....	62
Figura 17 – Microprocessador (A) e sensor de temperatura e umidade relativa do ar (B).	63
Figura 18 – Exemplo esquemático da vedação externa, considerando fluxo de calor horizontal.....	70
Figura 19 - Desenho esquemático do elemento individual, mostrando alvenaria e argamassa.....	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.2	Problema de pesquisa.....	16
1.3	Justificativa.....	20
1.4	Objetivos.....	22
1.4.1	Objetivo Geral.....	22
1.4.2	Objetivos Específicos.....	22
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	A qualidade na construção civil e o desempenho das edificações.....	23
2.2	Diferença entre Desempenho Térmico e Conforto Térmico.....	25
2.3	Mecanismos Termorreguladores.....	26
2.4	Variáveis Ambientais.....	28
2.5	Elementos Climáticos.....	28
2.5.1	Radiação solar.....	29
2.5.2	Temperatura.....	31
2.5.3	Umidade.....	32
2.6	Clima.....	33
2.7	Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	35
2.8	Propriedades Térmicas dos Elementos Construtivos.....	37
2.8.1	Transmitância térmica.....	38
2.8.2	Capacidade térmica.....	38
2.8.3	Absortância térmica.....	39
2.9	NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013]...	39
2.9.1	Parte 1: Requisitos gerais.....	41
2.9.2	Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais externas.....	44
2.9.2.1	Requisito: Adequação de paredes externas.....	44
2.9.2.2	Requisito: Aberturas para ventilação.....	45
2.9.3	Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.....	46
2.9.3.1	Requisito: Isolação térmica da cobertura.....	47
2.10	Internet das Coisas.....	47
2.10.1	Integração de BIM e Internet das Coisas.....	49
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	52
3.1	Caracterização da pesquisa.....	52
3.2	Edifício objeto de Estudo.....	52

3.3	Método de Avaliação para o Desempenho Térmico segundo a NBR 15575/2013.....	56
3.3.1	Procedimento 1 - Método Simplificado.....	57
3.3.2	Procedimento 2 – Medição in-loco.....	57
3.4	Instrumentos.....	61
3.4.1	Equipamentos da marca Klimalogg Pro.....	61
3.4.2	Equipamentos da marca Instrutherm.....	62
3.4.3	Protótipo montado pelo conceito de Internet das Coisas.....	62
3.5	Análises estatísticas.....	64
3.5.1	Análise de Variância.....	64
3.5.2	Teste de Tukey.....	66
3.5.3	Coeficiente de correlação.....	66
4	ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS.....	68
4.1	Análise do desempenho térmico – Procedimento Simplificado.....	69
4.1.1	Transmitância térmica.....	69
4.1.2	Capacidade térmica.....	74
4.1.3	Aberturas para ventilação.....	75
4.1.4	Isolação térmica da cobertura.....	76
4.2	Análise do desempenho térmico – Medições <i>in loco</i>.....	76
4.3	Aplicação da Internet das Coisas no procedimento de medição.....	81
4.4	Análise de custo dos equipamentos.....	86
4.5	Influência da umidade relativa do ar na temperatura.....	87
4.6	Diferença entre apartamento com orientações solares opostas.....	90
5	CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES.....	93
	REFERÊNCIAS.....	96

1 INTRODUÇÃO

A norma brasileira NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho (ABNT, 2013), conhecida como Norma de Desempenho, tem gerado impacto substancial no setor da construção civil desde a publicação de sua primeira versão, em 2008. Essa norma trata do desempenho das habitações, qualquer que seja seu número de pavimentos. Contudo, em versão anterior, ela era limitada a edifícios habitacionais com até cinco pavimentos (CHVATAL, 2014).

Ela não é uma norma prescritiva, ou seja, não mostra como o prédio deve ser construído, mas sim o que deve atender para que tenha o desempenho esperado (mínimo, intermediário ou superior), independentemente de seu sistema construtivo. O objetivo final é atender às necessidades do usuário, que consistem em segurança (estrutural, contra fogo, no uso e na operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico, acústico e luminoso, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade, acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico), e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental) (CHVATAL, 2014).

Borges (2018) afirma que o objetivo da norma é estabelecer, de maneira clara, quais são os requisitos de desempenho, os critérios para seu atendimento e a forma de mensuração, facilitando e tornando menos subjetiva a verificação da qualidade da edificação habitacional; dessa forma, evita-se a concorrência desleal e o cliente passa a ter condições de comparar desempenho, e não apenas o preço (CORBIOLI, 2018).

De acordo com Sorgato et al. (2014), um dos tópicos que gerou grande expectativa e interesse na norma brasileira foi o quesito desempenho térmico. Pode-se observar que, na atualidade, a busca por soluções arquitetônicas energeticamente eficientes e climaticamente adequadas tem sido um tema preponderante no Brasil e no mundo. Além disso, países como os Estados Unidos e a França já instituíram seus regulamentos de desempenho térmico e energético desde meados dos anos 1980.

Essa não é a única norma que trata do desempenho térmico de habitações no Brasil. O primeiro documento normativo surgiu em 2005, a NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), que determina critérios de acordo com parâmetros correspondentes à realidade brasileira, para que pudesse adequar e horizontalizar os índices de desempenho térmico para diferentes tipos de edificações (SORGATO, MELO e LAMBERTS, 2013).

Tendo em vista a importância da avaliação do desempenho térmico, esta pesquisa avalia a aplicabilidade dos critérios e métodos de determinação de desempenho térmico descritos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013) no município de Palmas – TO. As variáveis consideradas são temperatura e umidade relativa do ar, as quais caracterizam os critérios de conforto e desempenho térmico, tendo em vista que o projetista deve conhecer o comportamento das variáveis climáticas do local do edifício ao longo do ano. Em destaque o contexto climático de Palmas, com elevada temperatura média anual (INMET, 2018).

Desta forma, este trabalho trata da avaliação de duas unidades habitacionais simétricas em orientações solares opostas (leste e oeste), inseridas em um edifício de trinta pavimentos, com sistema construtivo de concreto armado e vedações das fachadas analisadas em pele de vidro, localizado na região central de Palmas – TO. A avaliação foi realizada por meio da medição *in loco*, com equipamentos convencionais de laboratório (Instrutherm e Klimalogg Pro) possibilitando a identificação do comportamento térmico do edifício à luz da NBR 15.575 (ABNT, 2013). Para além destas medições, propõe-se o teste de um novo equipamento de medição para a análise do desempenho térmico das edificações residenciais. Trata-se da inserção de placas microcontroladoras capazes de monitorar os dados por sensores de temperatura e umidade relativa do ar, as quais seguem o princípio da Internet das Coisas (IoT).

Internet das Coisas é uma tradução literal da expressão em inglês *Internet of Things* (IoT). Segundo Alecrim (2017), em português, o nome mais adequado poderia ser algo como "Internet em Todas as Coisas". A proposta da IoT é que a conectividade sirva para que os equipamentos possam ficar mais eficientes ou receber atributos complementares. Cada vez mais tem se notificado as aplicações de IoT nas mais diversas tecnologias, tais como, no monitoramento da natureza, gerenciamento de cidades, manufatura, na área da saúde, automação residencial, entre várias outras. Ademais, a Internet das Coisas refere-se, de forma geral, a capacidade das máquinas interagirem entre si, automatizando e trazendo maior mobilidade. Essa comunicação entre os aparelhos acontece através de softwares e aplicações, requerendo pouca ou nenhuma interferência humana no processo (TROMBINI, 2019).

É evidente que a tecnologia possibilita uma mudança de perspectiva em todo o setor produtivo. Segundo Ribeiro (2017), estar atualizado quanto às modernas práticas e ferramentas já não é uma opção, mas uma exigência, pois a tecnologia na construção civil é uma aliada para ter mais precisão em todas as etapas das edificações, desde a fase de projeto até pós-ocupação. Aliado a isso, adotar inovações e sistemas nos processos de medições pode trazer benefícios na

redução de custos, aumento da produtividade e maior segurança dos resultados (RIBEIRO, 2017).

Concomitantemente ao desenvolvimento de tecnologias aplicadas na construção civil, segundo Silva, M. (2018c), a norma de desempenho necessita de uma revisão, na qual o principal foco é a adequação dos métodos de avaliação de desempenho térmico da edificação, para que se defina, efetivamente, o procedimento de medição das unidades habitacionais. Dentre as diversas carências da NBR 15575 (ABNT, 2013), serão abordados nesta pesquisa, o avanço tecnológico dos equipamentos, e as adequações aos climas específicos das cidades cenários das pesquisas.

1.1 Problema da Pesquisa

Segundo Mattos (2015), há uma crescente preocupação dos profissionais da construção com o avanço da qualidade das edificações, porém a maioria dos projetos ainda não são elaborados de maneira a favorecer o desempenho térmico na fase de utilização ou ocupação do edifício. Esse fato se agrava ainda mais em regiões de clima quente do Brasil, como na cidade de Palmas/TO. Pela falta de acesso à informação e ausência de metodologias práticas para avaliações do desempenho de edificações, a população acaba adquirindo uma edificação sem as condições mínimas de desempenho térmico (MATTOS, 2015).

Rajasekar e Ramachandraiah (2010) apontam que projetos mal planejados, os quais não levam em consideração o clima local e as estratégias de adaptação ao meio, aliados à aplicação de materiais de baixa qualidade e à execução inadequada de um projeto afetam diretamente o desempenho térmico da edificação. Tais causas têm ocorrência comum no setor da construção civil, e o que resulta neste processo são usuários prejudicados, tendo que recorrer a mecanismos de reparação, tais como a instalação de condicionadores de ar, ventiladores e climatizadores, gerando o aumento do consumo energético (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

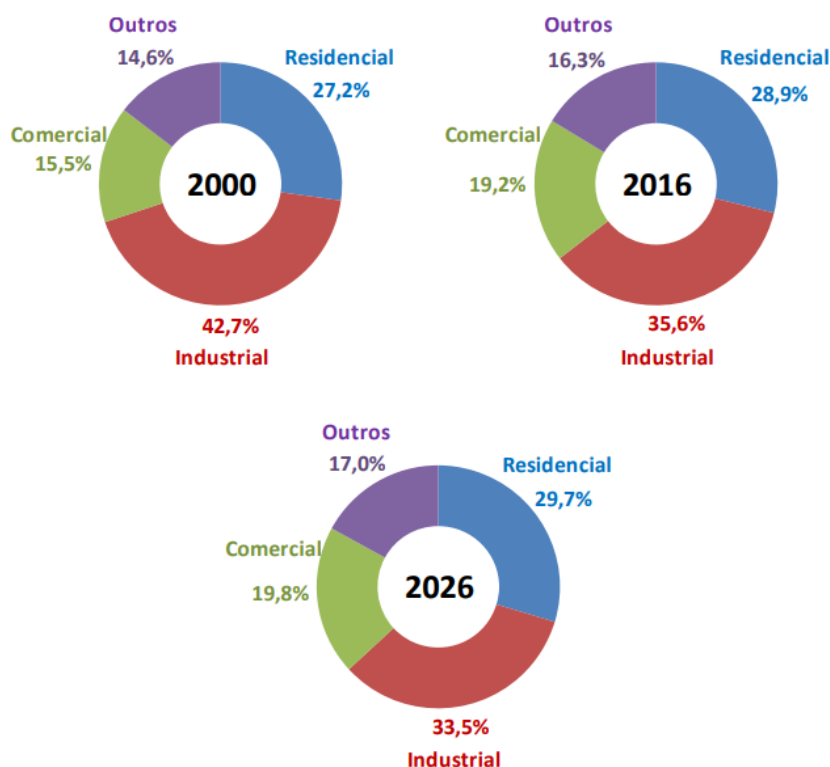
Nos últimos 10 anos, houve um crescimento no consumo de energia elétrica, que é também um dos recursos mais consumidos no país, evidenciando a dependência do seu uso na vida do brasileiro. O aumento do consumo de energia é significativo para o setor da construção civil. De acordo com a demanda de energia prevista para 2050, a perspectiva é de expansão crescente na quantidade de edificações, tanto devido ao aumento das moradias para atender à

crecente população do país, como devido à expansão do setor de comércio e serviços, impactando diretamente o aumento de consumo energético do país (EPE, 2017).

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia, no ano de 2017, com relação ao consumo por classes residenciais, comerciais, industriais e outros, observou-se queda generalizada no consumo de quase todas elas, sendo a mais significativa registrada na classe comercial, uma redução de 3,2%. Em segunda colocação, nas reduções, ficou o consumo da classe industrial, com uma redução de 2,5% sobre o valor registrado em 2015. Mas, na classe residencial houve expansão de 1,3%. Estas três classes somadas participaram com 83,6% do total de energia elétrica consumida pela rede de distribuição no ano de 2016, correspondendo a 385,3 TWh. A outra parcela do consumo energético por classe, representando o restante dos 16,4% do total, é caracterizada como “outros”, composta pelo consumo da classe rural, do poder público, da iluminação pública, serviço público, e próprio (EPE, 2017).

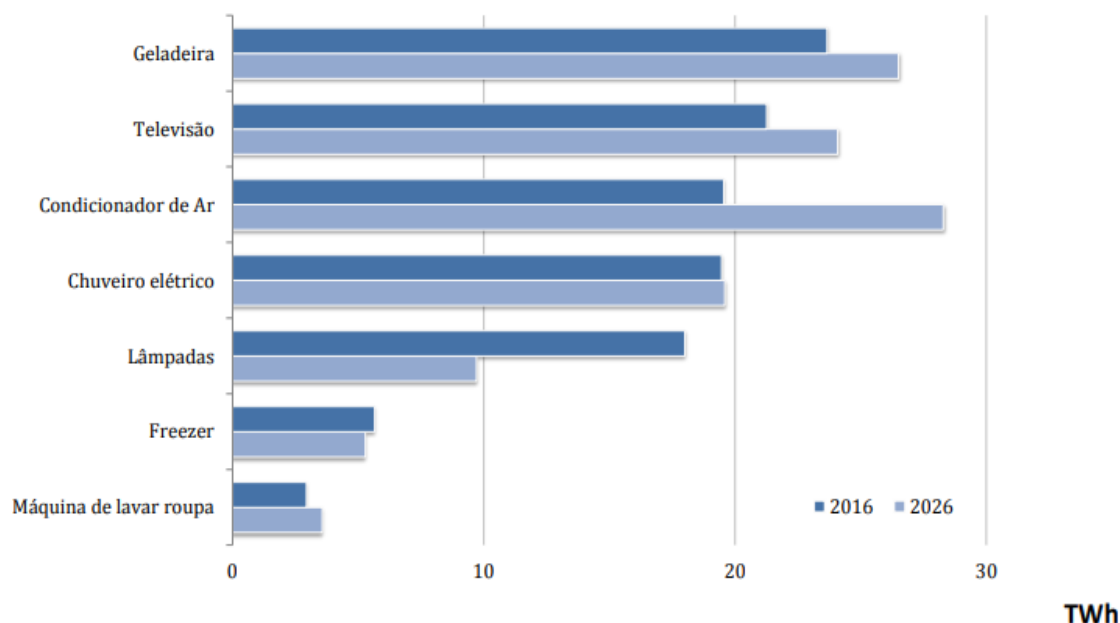
O Gráfico 1 apresenta o consumo de energia por classes no Brasil (residenciais, comerciais, industriais e outros), desde o ano 2000 até a previsão do ano de 2026. A classe residencial representa 28,9% do consumo total anual de energia elétrica no Brasil e é o segundo maior setor consumidor, atrás somente do industrial (35,6% do consumo total anual do país). Até 2026, a projeção de crescimento de consumo de energia elétrica advindo das residências do país será a segunda maior dentre todos os setores de consumo brasileiros, girando em torno de 3,9% ao ano.

Gráfico 1 - Estrutura do consumo de eletricidade na rede, por classe, nos anos de 2000, 2016 e projeção para 2026 (%)



Fonte: EPE (2017)

A análise por subsistema, de acordo com EPE (2017), mostra que o maior crescimento do consumo de energia elétrica se verifica no subsistema Norte do país, de 5,0% anuais no decênio. Tal fato se justifica pelo fator crítico das elevadas temperaturas e desconforto dos moradores, pois como podemos observar no Gráfico 2, nos edifícios residenciais, a maior taxa de crescimento prevista para o consumo de energia elétrica dá-se por equipamentos de ar condicionado.

Gráfico 2 – Consumo de energia elétrica por equipamento em 2016 e projeção para 2026

Notas: Dados preliminares para 2016.

Fonte: EPE (2017)

O município de Palmas – TO, localizado na região norte, detém características climáticas específicas, onde conforme Silva (2018b), o clima dominante para o município corresponde ao tropical quente e úmido, com duas estações bem distintas: uma seca e outra úmida. Quando as precipitações são reduzidas observam-se altas temperaturas com baixa umidade relativa do ar. Para Lamberts, Dutra e Pereira (2013) tais fatores, quando combinados, prejudicam o desempenho térmico de edificações e proporcionam desconforto térmico ao ser humano.

Do ponto de vista urbanístico, apesar de Palmas ser a capital mais jovem do país, em processo de formação e idealizada à luz de uma visão ecológica, já se observa a existência de problemas decorrentes do próprio Plano Diretor Urbano original e do processo de implantação e evolução urbana. Alguns aspectos se confrontam com princípios ecológicos e têm contribuído com a deterioração dos espaços verdes urbanos da cidade. Aliado a esses fatores, a população enfrenta problemas com altas temperaturas nas áreas centrais, que chegam a níveis quase insuportáveis, especialmente no período diurno, podendo causar graves problemas na saúde pública (PAZ, 2009).

Segundo Vianna (2016), o traçado urbano de Palmas caracteriza-se por uma extensa malha urbana, ocupada de maneira não homogênea, onde ocorrem os chamados “vazios urbanos”, próprios da especulação imobiliária e prejudiciais à otimização da infraestrutura. Somando-se a isto, o processo de ocupação destas áreas urbanas ocorre, em alguns casos, com a implantação de empreendimentos imobiliários compostos por edificações construídas em série (a exemplo dos blocos habitacionais do Programa Minha Casa Minha Vida – MCMV), em um processo de otimização de tempo e de materiais, reduzindo custos de implementação e comprometendo a qualidade das edificações. Assim, a grande questão em aberto diz respeito ao período pós-ocupação destes edifícios, que resultam em ambientes pouco adequados em relação ao desempenho térmico e ao consumo de energia.

1.2 Justificativa

Segundo Okatomo (2015), o desempenho de edificações, compreendido como o comportamento de uma edificação ao longo de seu uso e operação sob determinadas condições de exposição, passou a ser mais buscado por todos os elos da cadeia produtiva da construção civil com o objetivo de melhor atender às exigências dos usuários.

Para tanto, o processo de formulação da norma de desempenho foi motivada, principalmente, pelos requisitos concernentes ao conforto térmico, conforto acústico, vida útil de projeto e também, à escassez de laboratórios e profissionais qualificados para a realização de ensaios. É evidente que a normativa ainda causa muitas dúvidas no cotidiano dos projetistas e engenheiros de obra (SOUSA, 2014).

Dessa forma, as faculdades de Engenharia e Arquitetura têm criado novas disciplinas e atualizado o conteúdo de seus cursos a fim de contemplar os requisitos da NBR 15.575 - Edificações Habitacionais (BÉRGAMO, 2014). Estes fatos demonstram a importância da norma no atual cenário da construção civil brasileira.

O estudo do conforto térmico passa a ser importante a partir do momento que este influencia a satisfação do ser humano, a performance humana em atividades intelectuais, manuais e perceptivas, e a conservação de energia, ajudando na manutenibilidade da edificação. Segundo Santos e Gouveia (2018), o tema ganha cada vez mais destaque, principalmente pela necessidade de reduzir a demanda dos países por energia elétrica e incorporar a sustentabilidade no âmbito da indústria da construção civil.

Em 1987, a Primeira Ministra da Noruega estabeleceu o Relatório de Brundtland, também conhecido como “O Nosso Futuro Comum”. Deu-se então, origem aos demais movimentos do Desenvolvimento Sustentável, incluindo a Rio 92, com a elaboração da Agenda 21, a Rio +10, a Rio +20, entre outros marcos. Dentre doze prioridades de intervenção e mitigação dos impactos ambientais na busca da sustentabilidade apontadas no Relatório de Brundtland, o item “aumentar a eficiência energética” foi adotado como prioridade por todos os especialistas. De acordo com Vianna (2018), a questão ambiental requer uma mudança comportamental nas diversas áreas de atuação, fazendo surgir uma nova concepção em termos do que seriam os recursos de uma nação.

Neste sentido, torna-se relevante a busca pelo desempenho térmico dos edifícios, não só do ponto de vista da economia de energia, mas principalmente da saúde e conforto do usuário, além da urgente necessidade de alinhamento da construção civil local contemporânea aos critérios internacionais de sustentabilidade.

Paralelamente a isso, o desenvolvimento tecnológico contribui, potencialmente, com o desempenho térmico, mediante a aplicação dos procedimentos da norma de desempenho, e o uso de novos equipamentos mais acessíveis que interagem entre si. Segundo Halo (2018), a revolução digital está inovando a forma como as obras são feitas e os imóveis são utilizados. Entre as tecnologias em alta, a Internet das Coisas ou IoT (*Internet of Things*) é uma das mais promissoras. O uso da IoT na construção civil promete melhorar a forma como as obras são conduzidas, reduzir desperdícios, aumentar o conforto dos imóveis e muito mais.

Um estudo intitulado “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil” foi encomendado pelo BNDES, em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e realizado pela consultoria McKinsey. Os resultados apontam que o Brasil pode ganhar 27 bilhões de dólares em potencial econômico até 2025 graças à economia com gestão pública, transporte, segurança e energia promovida pela IoT (HALO, 2018).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Testar a utilização de um equipamento mais acessível para o monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar, elaborado pelo conceito de Internet das Coisas, de maneira a avaliar o Desempenho Térmico de um empreendimento imobiliário em Palmas/TO, mediante os critérios estabelecidos pela NBR 15.575 (ABNT, 2013).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Monitorar a temperatura e umidade relativa do ar em dois apartamentos de um edifício, utilizando três equipamentos diferentes, sendo um deles o ESP8266 (*Internet of Things*);
- Testar, por meio de análises estatísticas, se os dados provenientes do equipamento ESP8266, de custo mais baixo, são compatíveis com os resultados dos equipamentos convencionais;
- Verificar a relação entre as variáveis temperatura e umidade relativa do ar, no contexto do microclima dos apartamentos;
- Comparar o Desempenho Térmico de dois apartamentos com orientações solares opostas (leste/oeste).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A qualidade na construção civil e o desempenho das edificações

A busca pela qualidade no setor da construção civil é encontrada desde o período posterior à II Guerra Mundial com a necessidade de um novo plano de recuperação de cidades e países, visto que se encontrava um cenário de calamidade onde as construções precisariam ser mais rápidas, demandando por novas técnicas construtivas para que não houvesse redução no desempenho das edificações (CORDOVIL, 2013).

Dessa forma, foi fundado em 1953 o “*Conseil International du Bâtiment*” (ou CIB, Conselho Internacional de Construção) tendo como objetivo a troca de informações entre países, divulgando pesquisas realizadas e sistemas construtivos criados. Segundo Cordovil (2013), pode-se referenciar este marco como um dos primeiros movimentos voltados para a consolidação da busca pela qualidade no setor da construção civil.

A partir de então, foram publicadas novas diretrizes de acordo com estudos realizados na área de qualidade, sendo a primeira a ISO 6241 (1984) “*Performance Standards in building*” (Avaliação de desempenho em edifícios), contribuindo com a possibilidade de mensurar o desempenho das edificações. Logo após, houve a publicação da ISO 9001, assim como suas diversas revisões a cada seis anos, tendo como característica principal a avaliação dos sistemas de qualidade implementados por empresas de qualquer segmento e porte (ISO, 1987).

Já no Brasil, a evolução deste tema não ocorreu com a mesma velocidade dos países mais desenvolvidos. O Governo Federal lançou em 2000 o SiAC - Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil como parte do PBQP-H - Programa Brasileiro da Qualidade e da Produtividade no Habitat. Em 2005, com a adesão ao SiAC das instituições financeiras públicas e privadas que promovem recursos para a construção de edificações, houve uma sensível alteração no segmento das construções devido à exigência de que os sistemas de qualidade das construtoras atendessem aos requisitos do SiAC/PBQP-H. (Cordovil, 2013)

No entanto, Cordovil (2013) afirma que, no Brasil, muitas empresas construtoras preocupadas em obter o certificado para atender às exigências das instituições financeiras, acabaram desenvolvendo sistemas inadequados que pouco contribuíram para a melhoria do desempenho das edificações. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2013a), houve o decaimento da qualidade das edificações nos últimos anos. Nakamura (2012)

afirma que inúmeros proprietários queixavam-se de vícios construtivos e baixa qualidade das construções entregues. Borges e Sabattini (2008) apontam que, devido à carência de referências, ocorreram problemas na aferição do desempenho dos sistemas inovadores, prejudicando a produção em larga escala desses sistemas.

De fato, a ausência de uma norma dedicada ao estabelecimento de um desempenho mínimo para as edificações residenciais imprimiu como consequência um produto sem garantia da qualidade esperada pelo consumidor, e a possibilidades de altos custos de manutenção, e também patologias associadas ao baixo desempenho dos materiais e sistemas (SHIN, 2016).

Diante deste cenário, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR 15575 - "Edificações habitacionais – Desempenho", no dia 19 de fevereiro de 2013, com o objetivo de promover a garantia do atendimento às exigências dos usuários de edificações habitacionais independente de seus portes e características. Todas as disposições contidas na norma são aplicáveis aos sistemas que compõem edificações habitacionais, projetados, construídos, operados e submetidos a intervenções de manutenção que atendam às instruções específicas do respectivo manual de operação, uso e manutenção (CORDOVIL, 2013).

Lorenzi (2013) afirma que a NBR 15575 (ABNT, 2013) representa um avanço para o Brasil, sendo que, a partir do conceito de comportamento em uso, inicia-se um pensamento relacionado ao desempenho desde a concepção do projeto. No entanto, Mahl e Andrade (2010) apontam que as dificuldades para aplicação da norma de desempenho incluem a realização de ensaios no local e em laboratórios, assim como a necessidade de acesso à grande quantidade de normas e a amplitude de algumas avaliações.

Em suma, a NBR 15575 (ABNT, 2013) explicita que o foco de aplicação da norma não é avaliar o método construtivo, mas sim a adequação ao uso de determinado sistema ou método. Entretanto, surgiram dúvidas quanto ao método de avaliação de cada item, sobre quem seria o responsável a garantir a qualidade do produto ou serviço e como fazê-lo.

Atualmente, o grande desafio na utilização da abordagem de desempenho na construção civil é a tradução das necessidades dos usuários em requisitos e critérios que possam ser mensurados de maneira objetiva, dentro de determinadas condições de exposição e uso, e que sejam viáveis técnica e economicamente dentro da realidade de cada sociedade, região ou país (BORGES, 2010).

Em função disso, a NBR 15575 (ABNT, 2013) institui nível de desempenho mínimo ao longo de uma vida útil para os elementos principais de toda e qualquer edificação habitacional, sendo eles: estrutura, vedações, instalações elétricas e hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura.

Dentre os requisitos que motivaram a revisão da norma, está o desempenho térmico, objeto do presente estudo. Desempenho é definido pela NBR 15575 (ABNT, 2013), como o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. Dessa forma, quando se trata de uma edificação habitacional, o retorno do usuário é fundamental para definição dos critérios do desempenho, e por esta razão, o conceito de conforto térmico dos usuários é abordado nesta pesquisa.

2.2 Diferença entre Desempenho Térmico e Conforto Térmico

De acordo com Borges (2010), a definição de desempenho dos edifícios está associada ao comportamento dos mesmos quando em utilização. Ele define que o edifício é como um produto que deve apresentar determinadas características que o capacitem a cumprir objetivos e funções para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e uso. Tal conceito se aplica de maneira ampla na indústria da construção, focando quase sempre o desempenho-alvo requerido para os processos de negócio e o atendimento às necessidades dos usuários ao longo do ciclo de vida das construções.

Se tratando do comportamento térmico, Roriz [2014?] afirma que o desempenho térmico trata, de forma geral, da envoltória do edifício, na qual, ela deve atuar como um filtro em relação ao ambiente externo, impedindo a entrada dos elementos indesejáveis, mas permitindo que os ambientes internos se beneficiem dos elementos que contribuam para o conforto dos usuários. No entanto, é imprescindível considerar cada tipo de clima, ocupação (habitação, escola, comércio, indústria, etc.) e diferenciar ambientes ventilados naturalmente e ambientes com sistemas eletromecânicos de condicionamento térmico.

Para edifícios ventilados naturalmente, o estudo do desempenho térmico se fundamenta por apresentarem grande potencial para o uso racional de energia, desejável no setor da construção civil, e por estes proporcionarem ambientes internos com percentagens elevadas de satisfação dos ocupantes (CÂNDIDO *et al.*, 2010). Em contrapartida, o conforto térmico refere-

se ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda (LAMBERTS; DUARTE, 2016).

O conforto térmico é definido pela ASHRAE (2013) como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico, mas o julgamento de conforto é um processo cognitivo que envolve muitos fatores influenciados por processos físicos, fisiológicos entre outros. Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o meio, já os fatores fisiológicos referem-se a alterações na resposta fisiológica do organismo, e os fatores psicológicos são aqueles que se relacionam às diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo (LAMBERTS; DUARTE, 2016).

Lamberts e Duarte (2016) afirmam também que a sensação de conforto térmico está diretamente relacionada ao esforço realizado pelo organismo para manter o balanço térmico e assim sendo, se faz necessário conhecer a termorregulação humana e o balanço térmico do corpo humano.

Ademais, a principal diferença entre desempenho e conforto térmico, deve-se ao fato de que no desempenho térmico, a abordagem dá mais ênfase relacionado ao comportamento do edifício, abrangendo a análise das propriedades dos materiais da envoltória, como por exemplo, o comportamento do vidro, da alvenaria convencional, e também de materiais termoisolantes. Enquanto que na parte do conforto térmico, o conceito está mais relacionado à percepção ou sensação térmica do usuário, levando em consideração o estado da mente, e os mecanismos de trocas térmicas entre o ser humano com o meio ambiente.

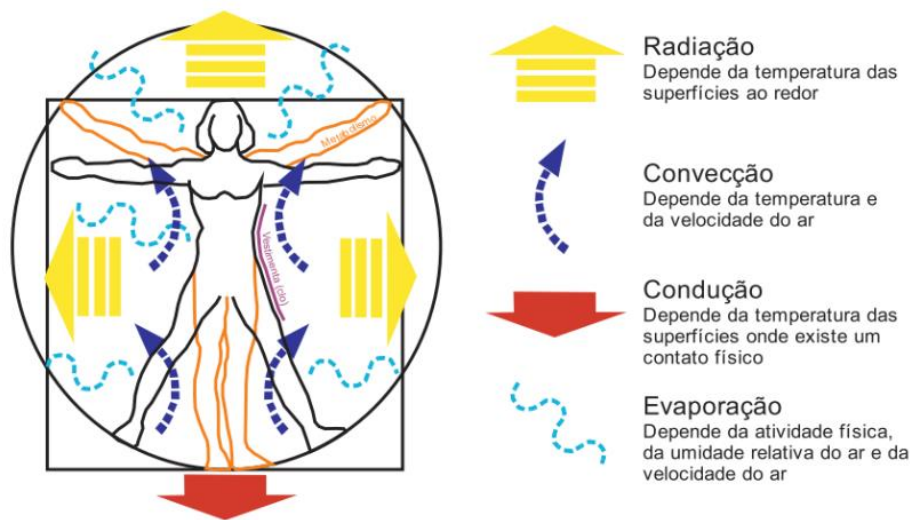
2.3 Mecanismos Termorreguladores

Apesar da grande diversidade climatológica nas diferentes regiões da Terra, o funcionamento biológico do ser humano é semelhante no mundo todo, sendo adaptável a diferentes temperaturas ao se utilizar de mecanismos culturais como a vestimenta, a arquitetura e a tecnologia. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013)

O ser humano é um ser homeotérmico, de forma que a temperatura interna do organismo tende a permanecer constante independente das condições do clima. Esse processo é favorecido pelo metabolismo, que transforma a queima de calorias em energia, de modo que o interior do corpo permaneça aquecido. Todavia, há sucessivas trocas térmicas (secas ou úmidas) entre o

corpo humano e o meio (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). A seguir, alguns dos mecanismos de trocas de calor que ocorrem, a depender das variáveis térmicas disponíveis (Figura 1).

Figura 1 – Trocas térmicas entre o indivíduo e o ambiente



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2013)

De acordo com Howley e Powers (2000, apud SILVA 2018b), o entendimento dos mecanismo de transferência de calor entre o ser humano e o meio ambiente (citados na figura acima) pode ser explicado de acordo com fenômenos naturais específicos, pois sabe-se que:

- A radiação é a perda ou ganho de calor por ondas infravermelhas, sem que haja contato físico. Basta ter gradiente de temperatura entre a superfície dos objetos. Em repouso, a uma temperatura de 21°C, 60% da perda de calor ocorre por meio da radiação.
- A condução consiste na transferência de calor por contato físico com outros objetos, a partir de um gradiente de temperatura.
- Convecção baseia-se na troca de calor por contato com o ar ou a água, na qual as moléculas de ar, quando aquecidas, se distanciam da fonte de calor, sendo substituídas por moléculas mais frias.
- A evaporação ocorre quando há perda de calor do corpo para a água sobre a superfície cutânea, a qual é convertida para o estado gasoso levando consigo o calor do corpo.

Ainda assim, segundo García (1996, apud SILVA 2018b), a existência de um equilíbrio térmico não indica necessariamente conforto, pois esse pode alcançar-se sob condições de mal-estar dos mecanismos autorreguladores. Dessa forma, para a realização das trocas térmicas entre o ser humano e o meio ambiente é necessário entender o comportamento do entorno climático e suas variáveis ambientais.

2.4 Variáveis Ambientais

Lamberts, Dutra e Pereira (2013) esclarecem que, no decorrer da avaliação das condições térmicas em edifícios residenciais, é relevante lembrar que o homem não sente a temperatura ambiente, mas sim a troca de calor do corpo. Em razão disso, os critérios adotados neste estudo são aqueles que influenciam na troca de energia com o organismo.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2013), as variáveis ambientais que influenciam as transferências térmicas e podem ser medidas diretamente são a temperatura do ar (TAR, em °C), a temperatura radiante média (TRM, em °C), a umidade relativa do ar ambiente (UR, em %) e a velocidade relativa do ar (V, em m/s).

Na atual conjuntura, as variáveis ambientais podem ter aplicação prática para determinação do nível de conforto térmico proporcionado por um ambiente. Como é o exemplo da NBR 16401 (ABNT, 2008), que determina intervalos específicos de temperatura e de umidade relativa do ar relacionados, estabelecido para agradar no mínimo 80% das pessoas presentes no ambiente.

No que se refere ao desempenho térmico, deve-se considerar que ele é resultado de uma junção de fatores que influenciam diretamente nas variáveis ambientais, tais como as variáveis climáticas. Os fatores climáticos terão influência no espaço arquitetônico construído, visto que a ação simultânea das variáveis climáticas atua de forma intrínseca na natureza

2.5 Elementos Climáticos

O projeto de um edifício deve considerar as variáveis climáticas locais, que se alteram ao longo do ano devido a elementos de influência, tais como: proximidade da água (por causa do gradiente térmico entre a terra e a água); altitude (a cada 100 metros de altitude a temperatura

do ar tende a diminuir na ordem de -1°C); barreiras montanhosas e correntes oceânicas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

Quando o objeto de estudo é o desempenho térmico, deve-se ter em conta de que ele é resultado de uma junção de fatores, dentre eles as variáveis climáticas. Trata-se do estudo do clima e do local do projeto a fim de satisfazer às necessidades de conforto. Os fatores climáticos terão influência no espaço arquitetônico construído, visto que a ação simultânea das variáveis climáticas atua de forma intrínseca na natureza.

Para o estudo essencial do clima, Romero (2001 apud VIANNA, 2018) aponta os elementos climáticos e os fatores climáticos. Os elementos climáticos representam os valores relativos de cada clima e os fatores climáticos são divididos em: fatores climáticos globais (que dão origem ao macroclima) e fatores climáticos locais (que dão origem ao microclima). Os fatores climáticos globais são: radiação solar, latitude, altitude, ventos, massas de água e terra. Os fatores climáticos locais são: topografia, vegetação e superfície do solo (natural ou construído). Os elementos climáticos são: temperatura, umidade do ar, precipitações e movimento do ar. Todos os fatores e elementos climáticos interagem conjuntamente

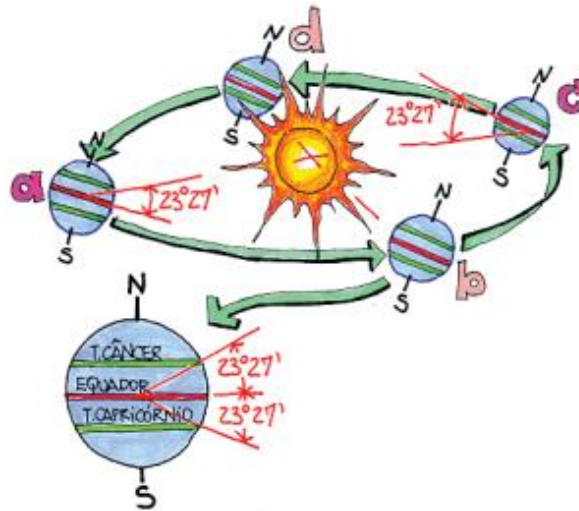
Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2013), as variáveis climáticas são quantificadas em estações meteorológicas e descrevem as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações. A seguir são abordados alguns destes elementos analisadas, visto que é essencial o conhecimento destas variáveis para o projeto de edificações, no sentido de obter um consumo de energia mais eficiente, proporcionando mais conforto aos seus ocupantes.

2.5.1 Radiação solar

A principal fonte de energia da Terra é a radiação solar. De todas as variáveis climáticas, ela é o de comportamento mais conhecido, sendo caracterizado pela altura e pelo azimute solar marcados em uma Carta Solar, traçada em função da latitude local de cada região (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

O planeta Terra, no seu movimento de translação, percorre sua trajetória elíptica em um plano inclinado de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano do equador. Essa inclinação do eixo terrestre caracteriza as estações (Figura 2), visto que os dois hemisférios terrestres recebem radiação em quantidades diferentes durante o ano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

Figura 2 – Translação da Terra e localização dos trópicos



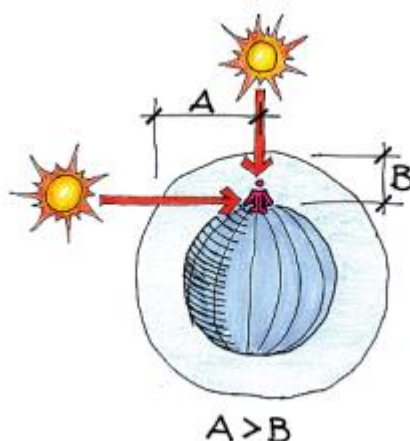
Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2013)

De acordo com Evans e Shiller (1994, apud LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013), a radiação solar pode ser dividida em direta e difusa. Após sua penetração na atmosfera, a radiação recebe interferências no seu trajeto em direção à superfície terrestre. Assim, a parcela que atinge diretamente a Terra é chamada radiação direta e sua intensidade depende da altura solar e do ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície receptora. Além de ser a principal influente nos ganhos térmicos em uma edificação, a radiação solar direta é a fonte de luz mais intensa.

Ademais, Koenigsberger et al. (1977, apud LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013), afirmam que a quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre depende basicamente de três fatores: a lei do cosseno, a dissipação atmosférica e a duração da luz do dia.

A intensidade da radiação que chega na superfície da Terra pode ser explicada pela altura solar através do fenômeno de Dissipação Atmosférica. Por exemplo, quanto menor a altura solar, maior é o trajeto da radiação mediante a atmosfera, lugar onde ocorre a absorção da radiação solar pelo ozônio, vapores e partículas contidas na atmosfera. (Figura 3).

Figura 3 – Posição relativa do Sol: poente e a pino



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2013)

Já a parcela difusa da radiação solar acontece quando uma parte da radiação global incidente na atmosfera sofre um espalhamento, tendo sua direção alterada. A radiação difusa é proporcionalmente maior, quanto mais nublado for o céu. Nesta situação, reduz-se a parcela direta da radiação solar e todas as fachadas de um edifício tenderão a receber uma quantidade uniforme de radiação difusa.

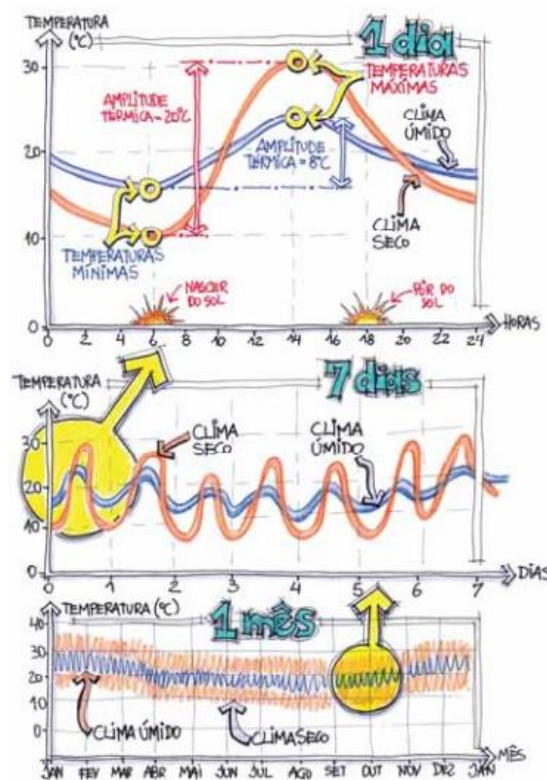
2.5.2 Temperatura

Muito conhecida e de fácil mensuração, a variação da temperatura na superfície da Terra é resultado, fundamentalmente, dos fluxos das grandes massas de ar juntamente com a recepção da radiação solar diferente para cada local (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2013).

Quando a velocidade dos fluxos de ar é reduzida, a temperatura é consequente, na sua maior parte, dos ganhos térmicos solares do local. Nessas situações, a radiação solar que atinge a superfície terrestre é recebida de forma distinta, em consequência do tipo de solo e de vegetação, da topografia e da altitude do local. Quando a velocidade do ar é alta, a influência dos fatores locais na temperatura do ar torna-se bem menor. O tratamento dos dados climáticos pode fornecer valores mais prováveis de temperatura média, mínima e máxima para cada período do ano e, desta forma, proporcionar ao arquiteto os dados necessários para a identificação dos períodos de desconforto, importante informação de projeto (GOULART, LAMBERTS, FIRMINO, 1997).

Na Figura 4, pode-se analisar o desempenho da temperatura do ar durante um dia aleatório. Consta-se que a menor temperatura do dia sucede pela manhã, próximo ao nascer do sol. Logo, a temperatura começa a subir e atinge seu valor máximo em torno das 14 horas. A diferença entre a máxima e a temperatura mínima chama-se amplitude térmica diária. Na mesma figura, tem-se o comportamento da temperatura do ar para sete dias consecutivos, onde observa-se algumas variações de amplitude.

Figura 4 – Variação diária da temperatura



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2013)

Mas, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2013), para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode ser diferente em função de variáveis como o vento e a umidade do local.

2.5.3 Umidade

A umidade do ar é decorrente da evaporação da água da terra, rios, mares, assim como da evapotranspiração da vegetação. A pressão de vapor é a variável climática mais invariável

durante o dia. O ar pode-se apresentar saturado, ocorre quando a quantidade de água evaporada no ar é a maior possível, ou em proporções menores, possibilitando a medição (percentual) da umidade relativa do ar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

Quando é identificado no local alta umidade, a transmissão de radiação solar tende a ser reduzida devido ao vapor de água e as nuvens que absorvem e redistribuem na atmosfera, refletindo uma parte de volta. Já em locais com ar muito seco, há a tendência de dias muito quentes e noites frias, em contrapartida, as temperaturas extremas em locais úmidos tendem a ser amenizadas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

Lamberts, Dutra e Pereira (2013), afirmam ainda que, a umidade do ar atua diretamente na variável humana de evaporação pelo suor. Deve-se inferir que em umidades relativas elevadas, temos mais dificuldades em evaporar o suor, aumentando a sensação de desconforto térmico. É significativo ao profissional observar este par de informações (temperatura e umidade) e seu desempenho associado ao longo do ano.

Em suma, o projetista deve conhecer o comportamento das variáveis climáticas do local do edifício ao longo do ano. Desta forma, pode-se examinar dados suficientes para constatar os períodos de maior probabilidade de desconforto e, conseqüentemente, as devidas intervenções no projeto.

2.6 Clima

Os climas do mundo são classificados diferentemente por vários autores, conforme as variáveis ambientais, como temperatura do ar, umidade, ventos, radiação solar e precipitação de cada região do planeta. Uma das classificações mais aceitas é a de Köppen (EXPOSTI, 2016). De acordo com a classificação de Köppen, o Brasil enquadra-se como um país de clima bastante diversificado. Tal fato se deve à grande dimensão territorial e ao fato de localizar-se entre os dois trópicos (JORGE, 2015).

O clima predominante no Brasil é o tropical. A influência da continentalidade, maritimidade, latitude, relevo e massas de ar fazem com que, no Brasil, existam vários subtipos de clima tropical (continental, altitude e semiárido), o subtropical e o equatorial (SIQUEIRA et al., 2005). A divisão do clima brasileiro pode ser vista na Figura 5.

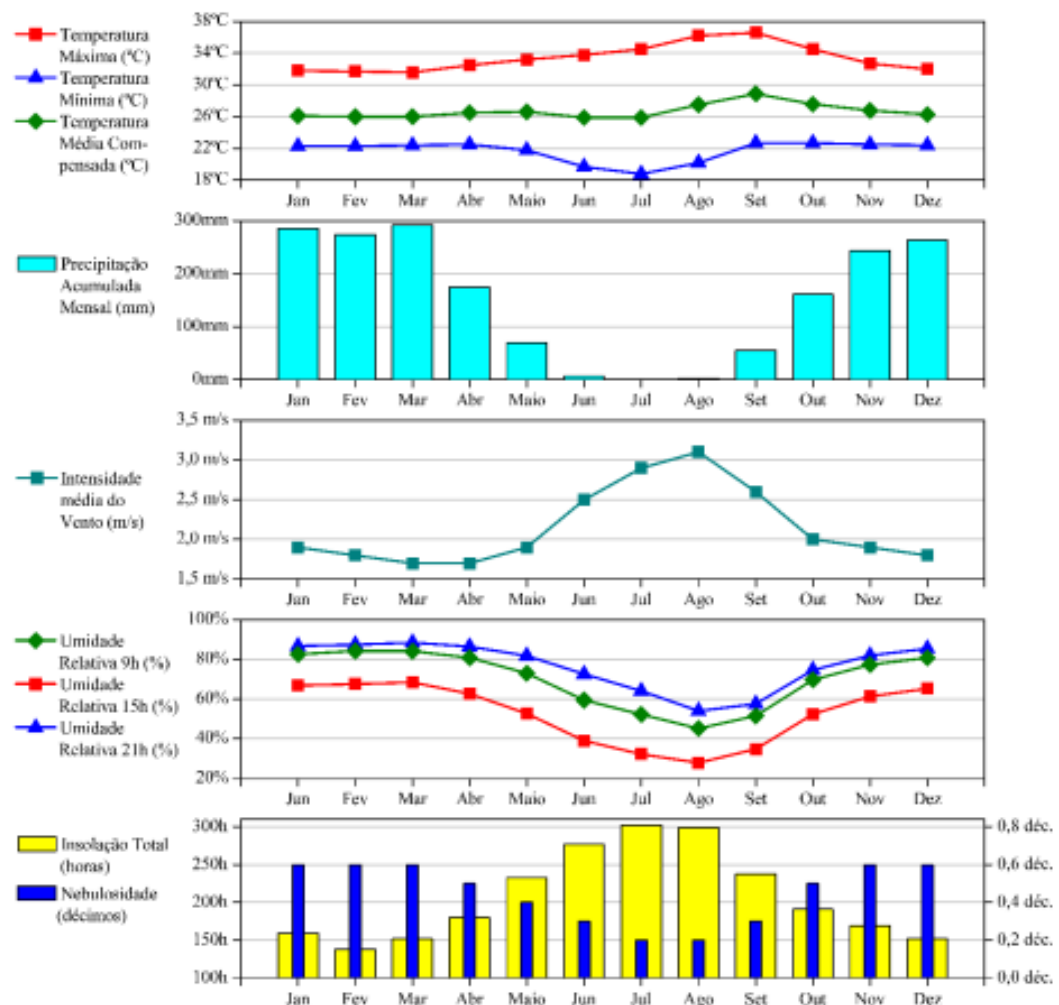
Figura 5 – Mapas dos climas do Brasil

Fonte: adaptado de IBGE (2011)

Segundo Souza (2010, apud SILVA 2018a), “o Estado do Tocantins é marcado pela sazonalidade do regime climático”. As diferenças climáticas são mais evidenciadas entre a primavera-verão e o outono-inverno, sobretudo no aspecto da configuração hídrica na atmosfera. As manifestações de episódios de calor, de estiagem e de pluviosidade acentuada, caracterizam as singularidades do Tocantins. O clima do Estado do Tocantins é condicionado fundamentalmente pela sua ampla extensão territorial e pelo relevo de altitude gradual e crescente de norte a sul. Já na capital do estado, o clima possui algumas especificidades.

Lima, Barbosa e Silva (2014, apud SILVA 2018a), referente à arquitetura bioclimática, conceituam o clima de Palmas com dois períodos diferentes: um quente e úmido entre os meses de outubro e abril, com elevada pluviosidade, altas temperaturas, amplitudes térmicas reduzidas e menores velocidades médias do vento; outro quente e seco, atingindo o período de maio a setembro, com as máximas temperaturas do ano no final do período (agosto, setembro), maior amplitude térmica, precipitação quase nula e velocidades médias do vento mais elevadas (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Dados climáticos de médias mensais segundo normal climatológica provisória 1981–2010 do Município de Palmas



Fonte: Diniz; Ramos; Rebello (2018, apud SILVA 2018a)

De fato, a análise climatológica varia de região para região, no caso de Palmas o desconforto é causado predominantemente pelo calor, pois possui características adversas, como já foi retratado pelos dados mencionados acima. Para tanto, na elaboração do projeto habitacional, cada componente climática do entorno da edificação deve ser levada em consideração, assim como suas particularidades, afim de proporcionar desempenho térmico adequado.

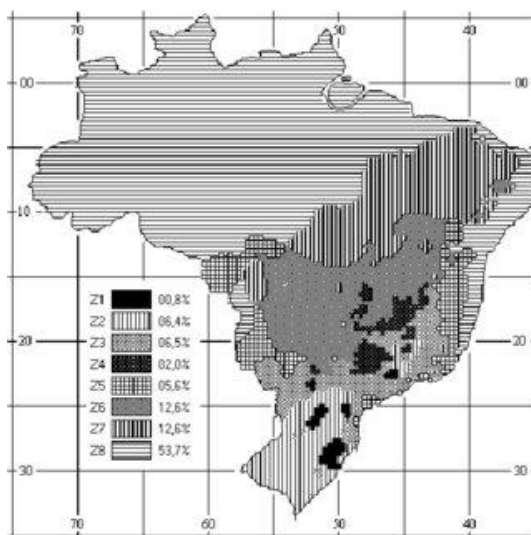
2.7 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Para proporcionar uma padronização do clima nas diferentes regiões do Brasil, em relação à análise térmica de ambientes ou ao estabelecimento de diretrizes construtivas

adequadas, foi criado um zoneamento bioclimático para o território nacional, estabelecido pela Norma Brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005). Esse zoneamento bioclimático divide o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto aos tipos de clima existentes (SIQUEIRA et al., 2005).

Para cada uma das zonas climáticas, conforme a Figura 6, é definido o dia típico de inverno e o dia típico de verão, estabelecidos com base na temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente para o dia mais frio e para o dia mais quente do ano respectivamente, segundo a média observada em um número representativo de anos (CBIC, 2013).

Figura 6 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005)

A partir do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) determina as principais características e orientações construtivas para cada uma das oito zonas bioclimáticas correspondente ao tamanho de janelas, ao sombreamento necessário, ao tipo ideal de paredes e coberturas e também às melhores estratégias bioclimáticas para o local.

Palmas não consta nas cidades relacionadas da Norma de Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2005), porém foi adotada como base Porto Nacional, com latitude 10°44'S que fica a 66 km da capital, sendo o município mais próximo (FREITAS et al., 2010). Pela NBR-15220-3, Porto Nacional está na zona bioclimática 7 e as diretrizes construtivas para esta zona são:

- a ventilação cruzada obtida através da circulação de ar nos ambientes da edificação, ou seja, se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada (no período de clima quente seco a ventilação deve ser noturna);
- deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o mesmo pode alterar significativamente a direção dos ventos. De acordo com Freitas et al. (2010), na região de Palmas há predominância de ventos sudeste;
- proteger as aberturas e vedações da exposição à radiação solar direta;
- aberturas pequenas para ventilação: entre 10% e 15% da área do piso;
- recomenda-se o uso de paredes e cobertura pesada, ou seja, com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior no período da noite, quando as temperaturas externas diminuem;
- parede pesada: Transmitância térmica ($U \leq 2,20\text{W/m}^2\text{K}$; $\geq 6,5\text{horas}$; Fator de calor solar (FCS) $\leq 3,5\%$;
- cobertura pesada: Transmitância térmica ($U \leq 2,00\text{W/m}^2\text{K}$; $\geq 6,5\text{horas}$; Fator de calor solar (FCS) $\leq 6,5\%$;

Em relação às estratégias de condicionamento térmico passivo, a NBR-15220 (ABNT, 2005) recomenda que para o verão:

- as sensações térmicas indesejáveis podem ser amenizadas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes e o uso de ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa);
- resfriamento evaporativo através do uso de vegetações, fontes de água ou outras soluções que diretamente resfriem o ambiente.

2.8 Propriedades Térmicas dos Elementos Construtivos

Lima (2014) informa que os níveis de desempenho térmico de edificações são diretamente influenciados pelos materiais constituintes do envelopamento do edifício (paredes externas e coberturas). Uma boa forma de melhorar o desempenho de uma edificação é através do envoltório e do isolamento térmico correto conforme o clima estudado. Quanto mais isolado

o invólucro, uma quantidade maior de materiais será utilizada e, conseqüentemente, menor será a transmitância térmica (GRAF, 2011).

2.8.1 Transmitância térmica

Segundo ACEPE (2014, apud LIMA 2014), transmitância térmica (U) pode ser explicada como uma medida da quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária de um elemento do invólucro da edificação por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que este separa. Esta grandeza física aplica-se na definição das propriedades do isolamento térmico em materiais, pois expressa suas características de permeabilidade à passagem de calor (GRAF, 2011). Algebricamente, a norma NBR 15220 (ABNT, 2005) define transmitância térmica pelo inverso da resistência térmica total do fechamento. É através desta variável que se pode avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente à transmissão de calor.

É necessário que se definam três outras grandezas para que se conceitue resistência térmica total e, conseqüentemente, transmitância térmica: resistência térmica de elementos e componentes, resistência superficial interna e resistência superficial externa. A primeira é conceituada pela NBR 15220 (ABNT, 2005) como o resultado do quociente da diferença física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro. As duas outras grandezas, citadas acima, são explicadas como a resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície (interna e externa respectivamente) de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção (ABNT, 2005). Por fim, a NBR 15220 (ABNT, 2005) explica a resistência térmica total como sendo o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, levando-se em consideração todas as grandezas de resistência térmicas aqui listadas.

2.8.2 Capacidade térmica

De acordo com Lambersts, Dutra e Pereira (2013), a capacidade térmica é uma propriedade dos materiais construtivos que indica sua maior ou menor capacidade em reter calor. Um material de grande capacidade térmica necessita de uma grande quantidade de calor

para variar de um grau de temperatura seus componentes por unidade de área. Através da obtenção do valor de capacidade térmica se pode avaliar o quanto um determinado material pode contribuir em termos de inércia térmica para um ambiente.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) define capacidade térmica como a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema medida em J/K, ou seja, capacidade térmica é a propriedade indicativa da habilidade que um material tem de absorver calor de fontes externas ao seu redor (CALLISTER, 2003).

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005), a capacidade térmica de um componente é função de seu calor específico, do valor de sua dimensão paralela à direção do fluxo de calor e de sua densidade de massa aparente.

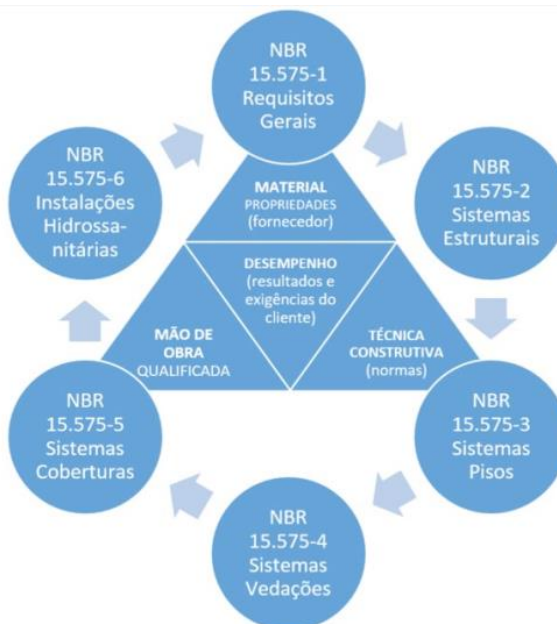
2.8.3 Absortância térmica

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), absortância térmica pode ser explicada no momento em que a radiação incide em um fechamento opaco, na qual haverá uma parcela refletida e outra absorvida. Logo, o percentual da parcela de radiação que determinada superfície irá absorver é representado pela absortância térmica. Esta propriedade é definida pela cor do material.

2.9 NBR 15575 – Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais (ABNT, 2013)

Independente dos materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado na construção, o foco da NBR 15.575 (ABNT, 2013) está nos requisitos dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas quanto ao seu comportamento durante a vida útil de projeto (VUP). A norma supracitada está dividida em seis partes as quais determinam condições mínimas a serem atendidas para o conforto do usuário. Ademais, ela também apresenta valores comparativos para níveis intermediários e superiores. A Figura 7 ilustra as partes da norma e as relações que resultam no desempenho. Esta abordagem é direcionada às partes dos Sistemas de Vedações e Coberturas, as quais sofrem influência da carga térmica absorvida da incidência solar e que consequentemente caracterizam o desempenho térmico do edifício.

Figura 7 – Características e divisões da norma de desempenho



Fonte: Souza (2016)

Os sistemas de vedações verticais externas e os de coberturas são abordados nas partes 1, 4 e 5 da NBR 15.575 (ABNT, 2013). Toda a metodologia de cálculo dos critérios de desempenho térmico tem como referência a ABNT NBR 15.220 (ABNT, 2005) – Desempenho térmico de edificações.

A norma é dividida em 6 partes descritas a seguir:

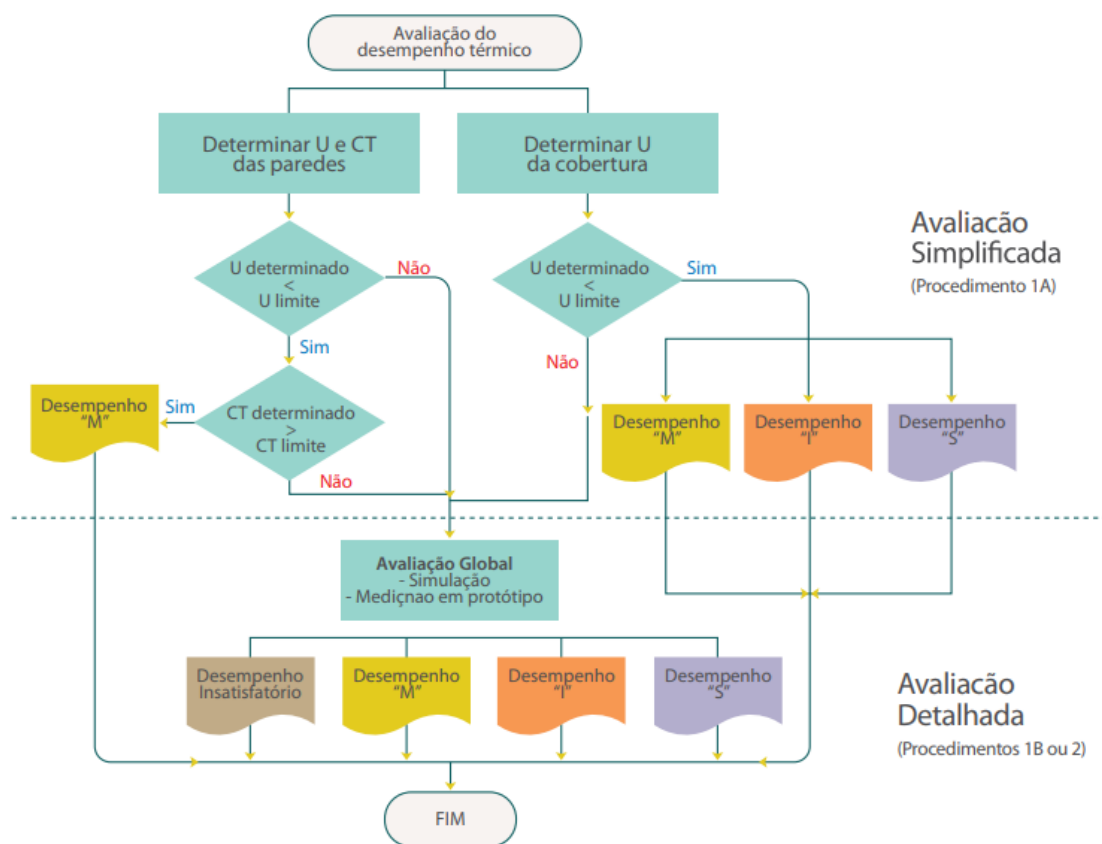
- ABNT NBR 15575-1 – Parte 1: Requisitos Gerais. Com caráter de orientação geral, opera como um índice de referência remetendo, sempre que possível, às partes específicas. Aspectos de natureza geral e critérios que envolvem a norma como um todo também são tratados nesta parte. Além disso, é apresentado o conceito de vida útil do projeto, definição de responsabilidades e parâmetros de desempenho mínimo, intermediário e superior.
- ABNT NBR 15575-2 – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Nesta parte, a norma estabelece quais são os critérios de estabilidade e resistência do imóvel, apresentam-se métodos para medir quais os tipos de impacto que a estrutura deve suportar sem que apresente falhas ou rachaduras.
- ABNT NBR 15575-3 – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. A última revisão publicada trouxe diversas mudanças, esta parte não normatiza somente os sistemas de pisos internos, mas também os externos e deixa claro o sistema de pisos como a combinação de diversos elementos.

- ABNT NBR 15575-4 – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Esta parte constitui o conjunto de paredes e esquadrias. Junto com a parte 3, foi a que mais sofreu alterações desde a primeira versão publicada em 2008. Basicamente, os requisitos referem-se à estanqueidade ao ar, à água, à rajadas de vento e ao conforto acústico e térmico.
- ABNT NBR 15575-5 – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Entre os principais requisitos estão os que tratam da reação ao fogo dos materiais de revestimento e acabamento e da resistência do sistema de cobertura.
- ABNT NBR 15575-6 – Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Alcança os sistemas prediais de água fria e de água quente, de esgoto sanitário e ventilação, além dos sistemas prediais de águas pluviais. A norma traz conceitos como durabilidade dos sistemas, a previsão e antecipação de critérios para a manutenção de edificação e suas partes, bem como o desempenho dos sistemas hidrossanitários.

2.9.1 Parte 1: Requisitos gerais

Os procedimentos de avaliação do desempenho térmico são introduzidos no item 11 da parte 1 da NBR 15.575 (ABNT, 2013). A referida norma estabelece três métodos de avaliação do desempenho térmico de habitações ventiladas naturalmente (Figura 8). Um método simplificado, que aborda características térmicas da envoltória da edificação (paredes externas e cobertura) e dois métodos detalhados, um por simulação computacional da habitação e outro que envolve medições no local.

Figura 8 – Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico



Fonte: CBIC (2013b)

Com base no guia orientativo para atendimento à norma de desempenho esquematizado pela CBIC (2013b), a avaliação térmica pode ser efetuada de diferentes formas:

A) Procedimento 1 A – Simplificado (normativo): presta-se a verificar o atendimento aos requisitos e critérios para o envelopamento da obra, com base na transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das paredes de fachada e das coberturas.

B) Procedimento 1 B – Simulação por software Energy Plus7 (normativo): para os casos em que os valores obtidos para a transmitância térmica e/ou capacidade térmica se mostrarem insatisfatórios frente aos critérios e métodos estabelecidos nas partes 4 e 5 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), o desempenho térmico global da edificação deve ser avaliado por simulação computacional.

C) Procedimento 2 – Medição *in loco* (informativo, Anexo A da NBR 15575 - 1): prevê a verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575

(ABNT, 2013), por meio da realização de medições em edificações existentes ou protótipos construídos com essa finalidade. Tem caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos nos itens a) e b) anteriores.

Para avaliar edificações existentes, a NBR 15575 (ABNT, 2013) orienta que deve-se escolher unidades habitacionais que possibilitem a avaliação nas condições estabelecidas a seguir:

- tratando-se de edifício multipiso, selecionar unidades do último andar;
- para análise do verão, a janela do dormitório ou sala deve ser voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte;
- caso as orientações das janelas dos recintos não correspondam exatamente às especificações anteriores, priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada.

Na execução deste procedimento, deve-se medir a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos de longa permanência (dormitórios e salas), a 1,20 m do piso. Para tanto, utiliza-se como referência as especificações apresentadas na ISO 7726, para equipamentos e montagem dos sensores.

Segundo CBIC (2013b), o procedimento 2 esbarra em séria dificuldade. As medições devem ser feitas em período que corresponda ao dia típico de verão, precedido por, pelo menos, um dia com características semelhantes, recomendando-se, todavia, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia, para efeito de estabilização do equipamento de medição.

O dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local, devendo guardar estrita correspondência com os valores dos dados de dias típicos de verão de algumas cidades Brasileiras encontrados na NBR 15575 (ABNT, 2013). A CBIC (2013b) esclarece que, caso a cidade objeto do estudo não conste nestas tabelas, é permitido utilizar os dados climáticos da cidade mais próxima, dentro da mesma zona bioclimática, com altitude de mesma ordem de grandeza. Assim, mediante as cidades listadas na NBR 15575 (ABNT, 2013), Teresina é a cidade com características climáticas mais parecidas com Palmas, dentro da mesma zona bioclimática, com aproximadamente 1.105,30 km de distância. Extraiu-se dos dados de dias típicos de verão de algumas cidades Brasileiras

da NBR 15575 (ABNT, 2013), que o dia típico de verão em Palmas é definido com temperatura máxima diária de 37,9°C e amplitude diária de temperatura de 13,2°C.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define como requisito mínimo (M) de desempenho que a temperatura interna máxima seja menor ou igual à temperatura externa máxima. Como requisito intermediário (I), a temperatura interna máxima deve ser 2°C menor que a temperatura externa máxima e como requisito superior (S), a temperatura interna máxima deve ser 4°C menor que a temperatura externa máxima.

2.9.2 Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais externas

A parte 4 da NBR 15.575 (ABNT, 2013) apresenta os requisitos e métodos para comprovação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, em conformidade com definições, símbolos e unidades das NBR 15220 (ABNT, 2005).

De acordo com a norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013), os sistemas de vedações verticais externas podem ser examinados, primordialmente, conforme com os critérios de desempenho mencionados na parte 4, considerando o procedimento simplificado. Se o sistema de vedação vertical externo não atender aos critérios, necessita-se empregar a metodologia de análise de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), considerando o procedimento de simulação do desempenho térmico ou realização de medições em campo.

2.9.2.1 Requisito: Adequação de paredes externas

A edificação deve oferecer níveis de transmitância térmica e capacidade térmica de forma a proporcionar pelo menos desempenho térmico mínimo, segundo cada zona bioclimática estabelecida na NBR 15220-3 (ABNT, 2005). A primeira propriedade a ser analisada será a transmitância térmica. A Tabela 1 apresenta os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas.

Tabela 1 – Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica U W/m².K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^1 \leq 0,6$	$\alpha^1 > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
¹ α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede		

Fonte: adaptado NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)

A segunda propriedade a ser avaliada é a capacidade térmica. Os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ/m².K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: adaptado NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)

2.9.2.2 Requisito: Aberturas para ventilação

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), a edificação deve possuir aberturas nas fachadas com dimensões adequadas, que proporcionem a ventilação interna dos ambientes. Esta condição emprega-se somente aos ambientes de longa permanência: salas, cozinhas e dormitórios. As legislações específicas do local da edificação, incluindo Códigos de Obras, Códigos Sanitários, entre outros, devem ser consideradas na determinação das áreas de aberturas para ventilação dos ambientes de permanência prolongada. Deverão ser adotados os valores indicados na Tabela 3, quando não houver exigências de ordem legal para o local de implantação da obra.

Tabela 3 – Área mínima de ventilação em domínio e salas de estar

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação	
	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso	$A \geq 12\%$ da área de piso REGIÃO NORTE DO BRASIL $A \geq 8\%$ da área de piso REGIÃO NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL
NOTA: Nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Fonte: adaptado NBR 15.575-4 (ABNT, 2013)

Dentro da avaliação do projeto arquitetônico, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), deve-se ponderar, para cada ambiente de longa permanência, a relação indicada na Equação 1.

$$A = 100 \times \left(\frac{A_A}{A_P} \right) (\%) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

A_A é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente;

A_P é a área de piso do ambiente.

Para o cálculo desta área somente são consideradas as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo; nesta área não são computadas as áreas de portas internas. No caso de cômodos dotados de portas-balcão ou semelhantes, na fachada da edificação, toda a área aberta resultante do deslocamento da folha móvel da porta é computada.

2.9.3 Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas

A NBR 15.575-5 (ABNT, 2013) apresenta os requisitos e critérios para verificação de níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas, conforme definições, símbolos e unidades da NBR 15.220-1 (ABNT, 2005) e NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

2.9.3.1 Requisito: Isolação térmica da cobertura

A edificação deve apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância térmica (U)					
W/m²K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8		Nível de desempenho
$U \leq 2,3$	$\alpha^1 \leq 0,6$	$\alpha^1 > 0,6$	$\alpha^1 \leq 0,4$	$\alpha^1 > 0,4$	M
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV	
$U \leq 1,5$	$\alpha^1 \leq 0,6$	$\alpha^1 > 0,6$	$\alpha^1 \leq 0,4$	$\alpha^1 > 0,4$	I
	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,5$ FV	$U \leq 1,0$ FV	
$U \leq 1,0$	$\alpha^1 \leq 0,6$	$\alpha^1 > 0,6$	$\alpha^1 \leq 0,4$	$\alpha^1 > 0,4$	S
	$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$	$U \leq 1,0$ FV	$U \leq 0,5$ FV	
¹ Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.					
NOTA: O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2					

Fonte: adaptado NBR 15.575-5 (ABNT, 2013)

Caso no projeto do sistema de cobertura haja previsão de isolamento térmica, este deve fazer referências às Normas Brasileiras pertinentes.

2.10 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) envolve diversos aparelhos conectados que interagem uns com os outros para monitorar, relatar e alternar as coisas com diferentes graus de inteligência (FREITAS, 2018).

De acordo com Mobuss (2018) o nome Internet das Coisas (ou IoT) pode parecer diferente, mas vem transformando a gestão de obras no setor da construção civil. Ele representa a evolução e a assimilação da tecnologia na indústria, ganhando mais eficiência com a adesão de novos métodos. IoT serve para denominar uma série de dispositivos eletrônicos conectados entre si, via Internet. Mobuss (2018) afirma que há 10 anos existiam cerca de 6 bilhões de equipamentos conectados. Hoje em dia, esse número já ultrapassa os 15 bilhões e não para de

crescer. Os benefícios representam além de uma competência, trata-se de reflexos de uma grande economia e melhor administração dos recursos e indicadores.

A automatização torna os dados mais precisos e, também, evita erros comuns na passagem de documentos para sistemas digitais. A transformação digital está revolucionando o mundo, e com o setor da construção não é diferente. Adequar-se a ela é a melhor forma de se posicionar frente à concorrência com um serviço moderno e de ponta (MOBUSS, 2018).

A Internet das coisas (IoT) está transformando todas as facetas dos edifícios, a forma de habitação, de gerenciamento e até mesmo na etapa da construção. Existe um vasto ecossistema em torno dos edifícios de hoje, e nenhuma parte do ecossistema ficará de fora desta integralização. A IoT na construção civil vem para unir a inovação tecnológica, sustentabilidade nos projetos e redução de custos (SANTOS, 2018).

O funcionamento da Internet das Coisas é baseado em sensores usados para coletar dados como temperatura, localização, velocidade, entre outras. Necessita-se de conexão a uma rede para enviar os dados coletados, geralmente feitos via Wifi ou Bluetooth. Após isso, segue com o processamento de dados, normalmente feito de forma centralizada por um software. Finaliza-se na interface com o usuário por meio de um aplicativo ou programa que dá ao operador a oportunidade de ler os dados coletados e operar os dispositivos conectados. (HALO, 2018)

Segundo Freitas (2018), os modelos de computadores e equipamentos que foram utilizados para direcionar a construção da vida real podem, por sua vez, ser atualizados por sensores colocados nos edifícios que foram construídos. Os sensores podem enviar informações sobre a forma como os materiais são afetados pela mudança climática e pela passagem do tempo. Eles também podem fornecer informações sobre possíveis mudanças na eficiência energética na cobertura, entre outras aplicações. Neste trabalho, a aplicação será dada para o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar de apartamentos, para que assim seja possível a avaliação do desempenho térmico à luz da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Dentre os variados tipos de microprocessadores, este trabalho utilizou o ESP8266, pois de acordo com Moraes (2017), possui um poder de processamento maior que o Arduino, apesar de sua popularidade. O ESP8266 é, segundo Bauermeister (2018), um chip que revolucionou o movimento *maker* devido ao seu baixo custo e rápida disseminação.

Segundo Oliveira (2017), a primeira grande diferença entre o Arduino e o ESP8266 é a comunicação via Wifi, pois nenhuma placa Arduino possui um protocolo de comunicação sem fio próprio e precisa-se de algum módulo instalado para atender esta função. Outra grande diferença que favoreceu a escolha do ESP8266 foi o custo. O custo do equipamento ESP8266 consiste no valor de 20 a 50 reais, com a aquisição de uma porta para comunicação USB e a placa PCB para embarcar o circuito. Um Arduino Uno sem o módulo de comunicação Wifi custa por volta de 100 reais além de possuir porte físico bem maior que o ESP8266 (OLIVEIRA, 2017).

O grande número de componentes utilizados na construção e operação de edifícios significa que o potencial para a aplicação da Internet das Coisas é muito significativo. As novas tecnologias estão acelerando e melhorando o intercâmbio de dados. Já a digitalização e a computação em nuvem trazem mais precisão e eficiência aos processos. Esses sensores podem fornecer monitoramento de carga e eventos para a construção do projeto durante e após a conclusão (FREITAS, 2018). Entre as aplicações encontradas do IoT na construção civil, tem-se a integração da Modelagem da Informação da Construção (ou BIM, *Building Information Modeling*).

2.10.1 Integração de BIM e Internet das Coisas

A Modelagem da Informação da Construção é um paradigma inovador, que consiste em um conjunto interativo de políticas, processos e tecnologias (SUCCAR, 2009) para produzir metodologias de gestão da produção e da informação da edificação por todo o seu ciclo de vida. A espinha dorsal desse conjunto é constituída por modelos 3D digitais, semanticamente ricos e habilitados para compartilhar e trocar dados (ISIKDAG, 2015). Sua efetivação na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação pode ser mensurada por marcos de desempenho que potencializam o atendimento de requisitos mínimos – modelagem baseada em objeto, colaboração baseada em modelo e integração baseada em rede (MACHADO; RUSCHEL, 2018).

O emprego de ferramentas e conceitos virtualmente integrados no contexto da edificação tende a ser subsidiado por Tecnologias de Informação e Comunicação, e neste contexto a interface BIM/IoT, consta em uma das categorias de extensão de usos do modelo associados ao domínio de construção (MACHADO; RUSCHEL, 2018).

A Internet das Coisas é um paradigma que envolve diferentes tecnologias e consiste em uma infraestrutura de rede global de objetos interconectados, que não somente coleta informações do ambiente físico e interage com o mundo real, como também utiliza protocolos de rede existentes para fornecer serviços de transferência, análise, aplicação e comunicação de informações, com ou sem intervenção humana (EUROPEAN COMMISSION, 2010; VERMESAN et al., 2011; GUBBI et al., 2013). Essa interconexão pode desdobrar-se na criação de cenários inteligentes em diversos domínios de aplicação, a exemplo de cidades, ambientes, domótica e automação residencial, segurança e emergências, logística, controle industrial, varejo, dentre outros (ASIN; GASCON, 2012).

Segundo Machado e Ruschel (2018), considerando os domínios de aplicação inerentes ao ambiente construído, a integração de IoT e BIM pode consistir no uso do modelo BIM como uma interface beneficiada por dados fornecidos através de uma rede de equipamentos, sensores e dispositivos móveis.

De acordo com Succar, Saleeb e Sher (2016) e BIM Dictionary (2017), algumas das vantagens decorrentes dessa integração apontam para:

- o uso do modelo BIM em tempo real, visando à exibição de dados coletados através de redes de sensores,
- o uso do modelo BIM para rastreamento de ativos, visando à localização de ativos fixos ou móveis por meio de tecnologias de rastreamento e marcação,
- o uso do modelo BIM para automação predial, visando o monitoramento e controle da edificação.

A IoT e sua Arquitetura Orientada a Serviço podem ser distribuídas e estruturadas em quatro camadas: sensoriamento, rede, serviço e interface (LI; XU; ZHAO, 2014). A camada de sensoriamento é formada por componentes de hardware e software, que são capazes de capturar automaticamente o ambiente e trocar dados entre dispositivos. As funções desta camada abarcam detecção, atuação, identificação, interação e comunicação. A camada de rede consiste em uma infraestrutura que conecta todos os objetos e os tornam sensíveis ao ambiente. Através dessa infraestrutura, há compartilhamento, gestão e processamento de dados. A camada de serviço é baseada na tecnologia middleware e contempla tanto os armazenamentos sob demanda de usuários e aplicações, como as ferramentas computacionais para análise de dados. Por sua vez, a camada de interface consiste em métodos de interação com usuários e aplicações, e

envolve ferramentas de visualização e interpretação (GUBBI et al., 2013; LI; XU; ZHAO, 2014).

Diante disso, é possível compreender os principais propósitos da integração de BIM e IoT e suas variações de aplicação. Em relação à IoT, pode-se afirmar que se trata de uma convergência de tecnologias de sensoriamento, informação e comunicação responsável pela aquisição, processamento e agregação de dados coletados do ambiente físico em tempo real, para transformação em informação e conhecimento. Por sua vez, em relação ao BIM, considera-se a atribuição de subsidiar simulações de desempenho e análises preditivas, para confrontar dados sensoriados do ambiente físico com dados simulados, e fundamentar linhas de referência para o estabelecimento de regras e estratégias de projeto, construção e operação. (MACHADO; RUSCHEL, 2018)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com a finalidade de verificar o atendimento dos critérios e requisitos mínimos de conforto e desempenho térmico, determinados pela Norma de Desempenho - NBR 15575 (ABNT, 2013), escolheu-se uma edificação na cidade de Palmas para aplicar o método prescritivo, assim como o método de medições. E, ainda com o intuito de popularizar estes procedimentos de verificação dos dados de temperatura e umidade, buscou-se comparar a utilização de um equipamento, elaborado pela tecnologia da Internet das Coisas – (*Internet of Things* _ IoT), com outros dois equipamentos convencionais, através de análises estatísticas. A seguir, os procedimentos metodológicos da pesquisa:

3.1 Caracterização da pesquisa

O trabalho possui caráter exploratório, isto é, mediante o embasamento teórico sobre o tema, buscou-se aplicar os conceitos e técnicas de medições em um edifício objeto de estudo. O referido levantamento e análise dos dados conferem caráter quantitativo e qualitativo à abordagem, uma vez que serão feitas medições de temperatura, umidade relativa do ar, e definições de transmitância e capacidade térmica, assim como uma análise crítica decorrente dos dados encontrados.

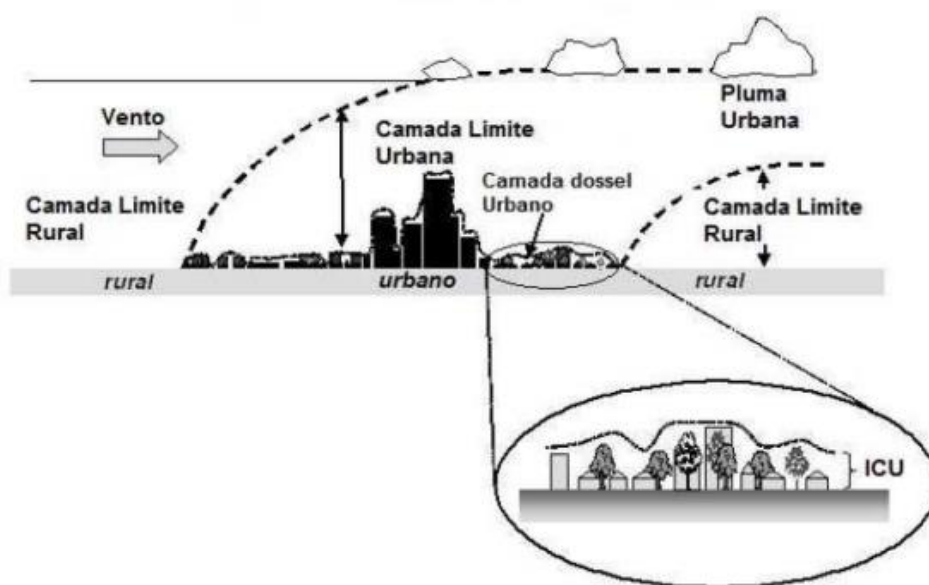
Nessa pesquisa, foram utilizados levantamentos bibliográficos para aprofundamento no tema e a aplicação da proposta em um objeto de estudo, a fim de exemplificar toda a base metodológica teórica que foi revista no desenvolver da pesquisa. Para tanto, serão tratadas as disciplinas de: arquitetura, materiais construtivos, sistemas construtivos, conforto térmico e lógica de programação, as quais compõem uma base, de forma prática, para aplicação dos conceitos estudados no edifício escolhido como objeto de estudo.

3.2 Edifício objeto de Estudo

A escolha dos edifícios objetos de estudo baseou-se em um fenômeno que ocorre na escala do Clima Urbano, quando os diferentes materiais de superfícies urbanas, por meio das trocas térmicas devido às interações com a incidência solar, às atividades antrópicas e outros fatores, produzem o chamado efeito Ilha de Calor Urbana (VIANNA, 2018). Inicialmente, a intenção seria comparar os três microclimas de entorno dos edifícios objetos de estudos, o que

em função do cronograma disponível tornou-se inviável. Assim, ao fazer o necessário recorte da pesquisa, o entorno do edifício objeto de estudo foi determinante. A localização do edifício na porção central da cidade, com maior impermeabilidade do solo, menor presença de vegetação e maior trânsito de veículos, indica também que este “estaria” no local com temperaturas mais elevadas no contexto do clima da cidade de Palmas (Figura 9). Assim, consideramos o edifício da região central o mais significativo do ponto de vista do desempenho térmico.

Figura 9 – Ilha de calor urbana atmosférica



Fonte: adaptado de Voogt e Oke (2003, apud VIANNA 2018)

O objeto de estudo é um edifício recém-construído ainda não ocupado, pois o período das medições *in loco* desta pesquisa deu-se na etapa de finalização dos acabamentos da obra. Inclusive, os apartamentos e flats ainda não encontravam-se mobiliados, apesar do empreendimento já possuir condições para ser ocupado. Tal fato foi muito oportuno para a pesquisa, pois a NBR 15575 (ABNT, 2013) especifica que para realização das medições *in loco*, a unidade habitacional necessita apresentar-se desocupada e sem mobília.

O edifício¹ selecionado para esta pesquisa é um empreendimento de alto padrão que possui apartamentos e flats com a estrutura de um hotel (Pool Hoteleiro), situado no Plano

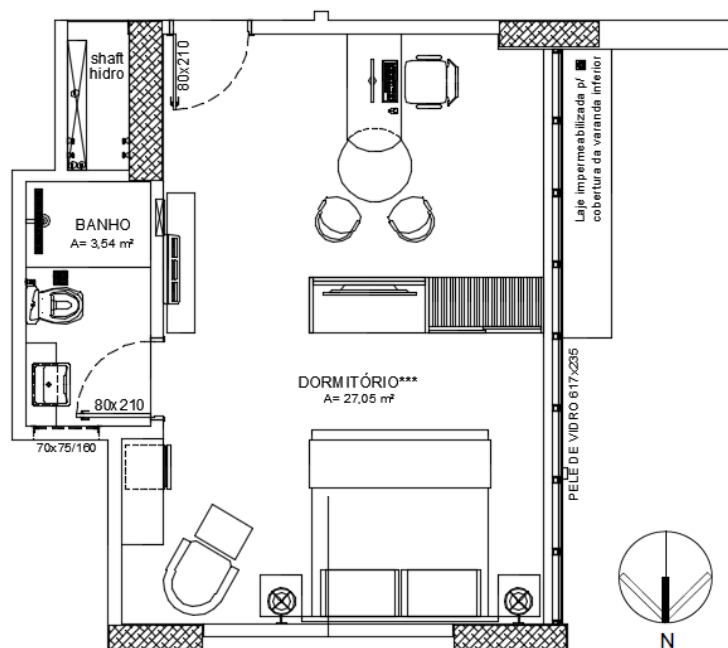
¹ Não identificado por solicitação da empresa construtora proprietária do empreendimento, e por ser um requisito dos comitês de ética em pesquisa..

Diretor Sul do município de Palmas - TO, na região central da cidade. Trata-se de um edifício composto por trinta e dois (32) pavimentos, na qual três (3) pavimentos abrangem área de lazer, restaurante, recepção, sala de reuniões, entre outros locais de uso comercial e coletivo, e os outros vinte e nove (29) pavimentos são direcionados para uso residencial e de hotelaria. Ao todo são cento e dezesseis (116) flats direcionados para o ramo da hotelaria e cinquenta e seis (56) apartamentos residenciais. Os acessos aos pavimentos se dão através de três elevadores principais, além da escada e do elevador de emergência, localizados entre os dois apartamentos. A disposição dos flats e apartamentos pode ser compreendida através da planta baixa do pavimento tipo representada na Figura 10.

Nestes casos em que se tem a situação de um conjunto habitacional de multipavimentos, a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) exige a seleção da unidade do último andar, sendo que na condição de verão, deve-se optar pela unidade que possua janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para o norte. Neste contexto, escolheu-se um flat do 28º andar com fachada em pele de vidro à oeste, e outra fachada à norte. É importante ressaltar que o flat escolhido para análise não está localizado no último andar, pelo motivo de que o último pavimento não possui unidades habitacionais, pois é direcionado para funcionar como uma sala de reuniões. Além desta unidade, foi escolhido outro flat com o mesmo padrão arquitetônico, localizado também no 28º pavimento, porém com orientação solar oposta, afim de realizar uma comparação do comportamento térmico proposta por esta pesquisa, conforme indicação da Figura 10.

Assim, dentre as diferentes tipologias, o flat, escolhido neste estudo, é composto por um dormitório de 27,05 m² que compreende dois ambientes (quarto e escritório), e um banheiro de 3,54 m², como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Planta baixa do flat



Fonte: Adaptado de Empresa A (2019)

Para elaboração das propostas desta pesquisa, foi realizado o levantamento da documentação gráfica e descritiva sobre o edifício, bem como dos dados de temperatura e umidade relativa do ar, para a análise do desempenho térmico à luz da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

3.3 Método de Avaliação para o Desempenho Térmico segundo a NBR 15575/2013

Esta pesquisa optou por desenvolver a análise com base em dois procedimentos exigidos pela NBR 15.575 (ABNT, 2013): método simplificado (Procedimento 1) que é indicado para fase de projeto, e medições no local (Procedimento 2).

Além disso, foi acrescentado no Procedimento 2 uma medição com um equipamento montado pela Internet das Coisas (IoT). Buscando verificar se as respostas encontradas pelo

protótipo montado nesta pesquisa são equivalentes às respostas encontradas por equipamentos convencionais, apresentando a vantagem de ser mais acessível economicamente.

3.3.1 Procedimento 1 - Método Simplificado

No método simplificado, faz-se a verificação do atendimento à NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e NBR 15575-5 (ABNT, 2013), que tratam dos requisitos e critérios exigidos, respectivamente, para sistemas de vedação vertical interna e externa (SVVIE) e sistemas de coberturas. A avaliação desse procedimento foi realizada de acordo com os dados de projeto do empreendimento, considerando a zona bioclimática em que a edificação está inserida.

Para os sistemas de vedação vertical interna e externa – SVVIE foram considerados a transmitância térmica (U) de paredes externas, a capacidade térmica (CT) de paredes externas e as aberturas para ventilação. O cálculo foi realizado de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005) que expressa a metodologia para obtenção dos valores dos dois primeiros critérios (U e CT); já no critério de aberturas para ventilação, o cálculo seguiu o procedimento descrito na NBR 15.575 (ABNT, 2013). Os resultados encontrados foram comparados com as exigências de desempenho da norma.

Para os sistemas de coberturas, a transmitância térmica é o único critério a ser atendido. Para esse fim, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece os valores máximos admissíveis, atendendo o fluxo térmico descendente. Dessa forma, foi calculada a transmitância térmica com base nos valores tabelados pela norma supracitada.

3.3.2 Procedimento 2 – Medição *in-loco* segundo a NBR 15575

Como exigência de desempenho no verão, o critério descrito pela NBR 15575 (ABNT, 2013), é que o valor máximo diário da temperatura do ar no interior de recintos de permanência prolongada (exemplo de salas e dormitórios), sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário de temperatura do ar exterior para que seja atingido o critério mínimo de desempenho.

O procedimento de medição *in loco* procedeu através de instrumentos registradores de temperatura, e nesta pesquisa optou-se também em analisar a umidade relativa do ar devido à

sua forte relação com os resultados da temperatura, o esquema do funcionamento das medições pode ser visto na Figura 12.

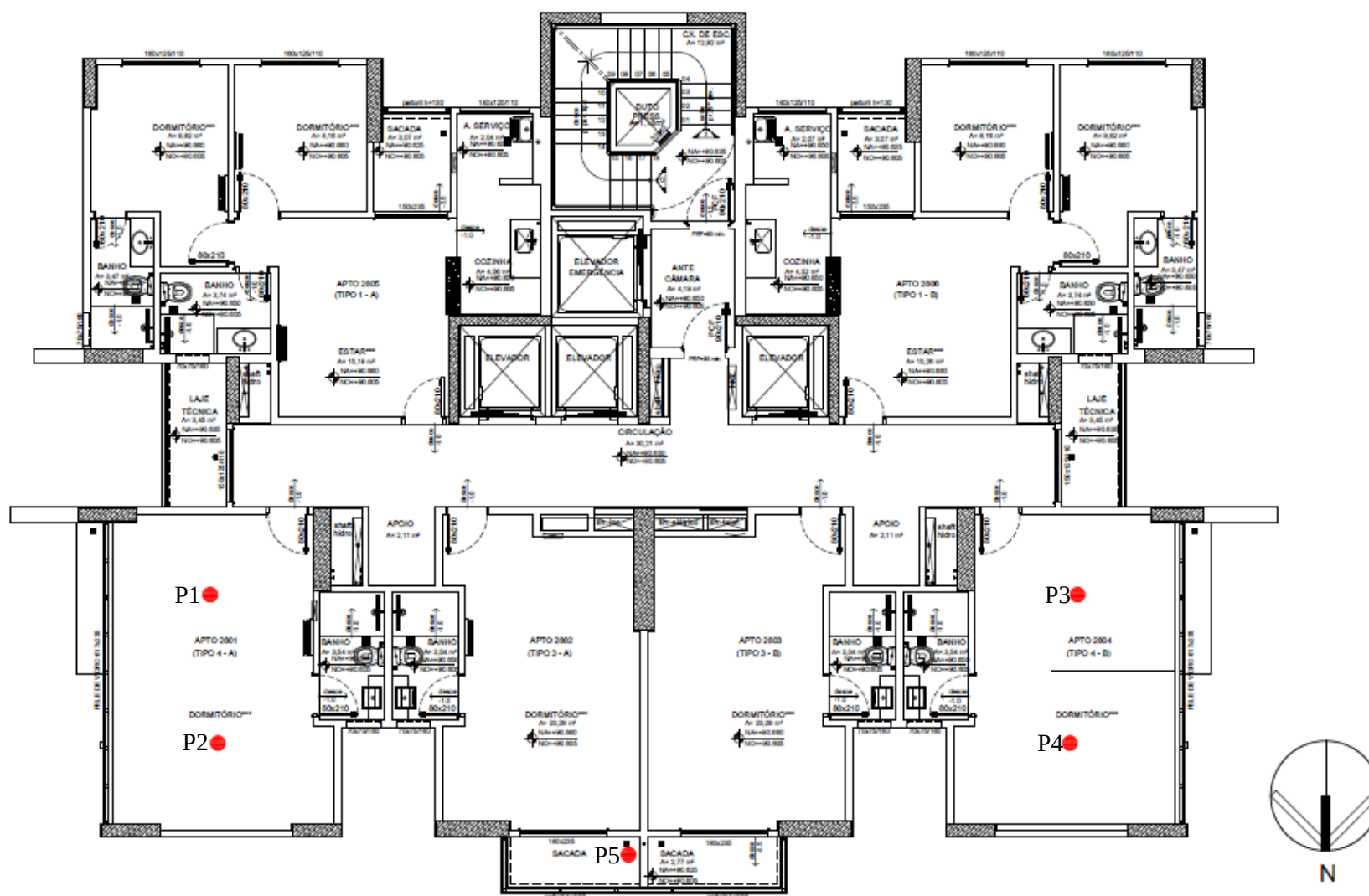
Figura 12 – Vista a partir da fachada oeste do edifício objeto de estudo - Medição *in loco*



Fonte: Autoria própria (2019)

É necessário a utilização de pontos de medição internas e externas, em relação a unidade habitacional. A NBR 15575 (ABNT, 2013) também especifica que a temperatura externa deve ser medida à sombra, por tanto, escolheu-se uma varanda, no mesmo pavimento dos flats estudados, para instalação dos equipamentos de medição externa. A indicação dos pontos de medições, internas e externas (indicados com a cor vermelha), podem ser encontrados na Figura 13.

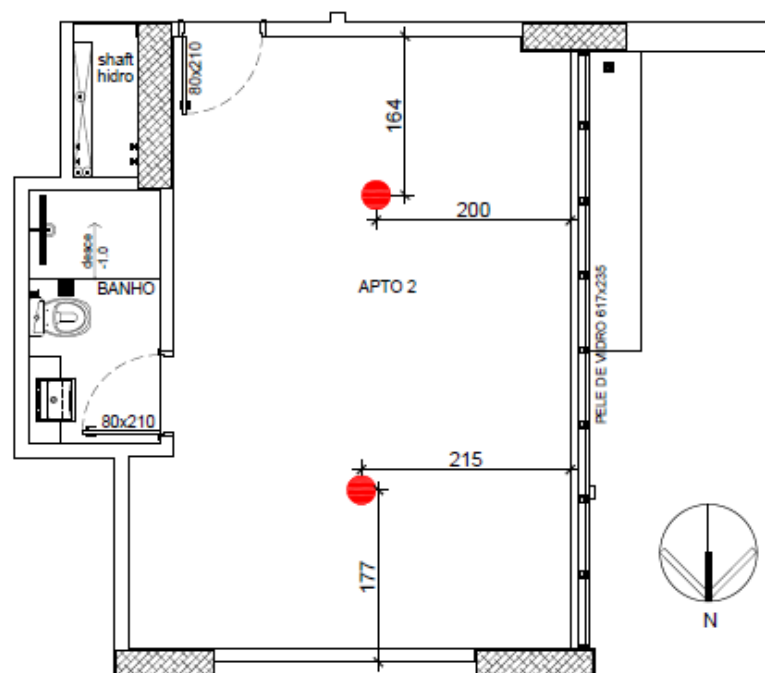
Figura 13 – Planta baixa do pavimento tipo



Fonte: Adaptado de Empresa A (2019)

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) especifica que a avaliação do desempenho térmico por meio da medição *in loco* deve ser executado com a aferição da temperatura do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20 m do piso. Em virtude disto, esta pesquisa analisará o flat com dois pontos de medição centralizados, um representando o quarto, e outro abrangendo a área do escritório. Os sensores foram localizados de acordo com a Figura 14 e com altura de 1,20 metros do piso, de acordo com recomendações da ISO 7726 (ISO, 1998).

Figura 14 – Locação dos termo-higrômetros



Fonte: Adaptado de Empresa A (2019)

Para o período de medição, a NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda, como regra geral, trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia, devido ao efeito de estabilização do equipamento de medição. Por isso, foram coletados dados por três dias consecutivos (mas considerado apenas o último dia), durante os meses de fevereiro e abril do ano de 2019. Escolheram-se dois períodos de medições diferentes (fev. e abril), por compreender que desempenho subentende comportamento ao longo de um período. Então, estudou-se nesta pesquisa a estação verão, determinada como quente e chuvosa, em função do cronograma disponível.

Os dados foram coletados em clima ambiente, sem aparelhos de refrigeração (ventilador ou ar condicionado), com as aberturas fechadas, de acordo com a determinação da NBR 15575 (ABNT, 2013). Ao final, foram gerados gráficos com o uso de planilhas eletrônicas a partir de médias horárias a partir das 09h00 até as 18h00.

Para as medições de temperatura do ar, a NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda seguir as especificações de equipamentos e montagem dos sensores, apresentadas na ISO 7726 (ISO, 1998).

3.4 Instrumentos

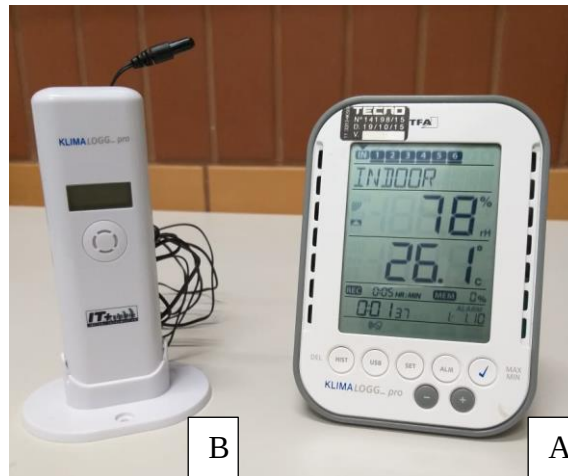
Para o levantamento de dados desta pesquisa, foi necessário utilizar três equipamentos de marcas diferentes, devido a algumas necessidades e limitações encontradas no decorrer do trabalho. As marcas dos equipamentos convencionais utilizados foram Klimalogg Pro e Instrutherm, que registram dados de temperatura e umidade relativa do ar.

Enquanto o equipamento da marca Klimalogg Pro possui um software registrador de todos os dados, o Instrutherm não dispõe dessa função, necessitando a visualização do dado no display do equipamento para depois anotá-lo. Em contrapartida, os sensores da marca Klimalogg Pro disponíveis não armazenavam dados da umidade relativa do ar, enquanto o da marca Instrutherm não possuía esta limitação, por isso optou-se por utilizar as duas marcas no mesmo ponto, para possibilitar a comparação das repostas entre a mesma marca.

3.4.1 Equipamentos da marca Klimalogg Pro

Os equipamentos da marca Klimalogg Pro são constituídos de um *data logger* (registrados de dados) e transmissores de temperatura que comunicam-se entre si. Os transmissores de temperatura foram localizados nos cinco pontos de medição e o *data logger* registrou os respectivos dados. É importante ressaltar que apenas o data logger funcionou como termo-higrômetro registrador de umidade relativa e temperatura do ar. O modelo do equipamento utilizado foi o Klimalogg Pro 3030.39.0.00, e transmissores adicionais de temperatura via wireless, modelo 30.3181 (Figura 15). Os dados coletados utilizaram o software Klimalogg Pro, desenvolvido pela TFA Dostmann GmbH & Co. KG.

Figura 15 – Termo-higrômetro registrador de dados (A), e transmissor de temperatura (B)



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.4.2 Equipamentos da marca Instrutherm

Além destes equipamentos, foi utilizado termo-higrômetros da marca Instrutherm, modelo HT-260, com resolução de 0,1°C de temperatura e 0,1% RH de umidade relativa do ar, e também, termo-anemômetros da marca Instrutherm, modelo TAD-800, com resolução de 0,1°C de temperatura e 0,1% RH de umidade relativa do ar (Figura 16).

Figura 16 – Termo-higrômetros (A) e termo-anemômetro (B)



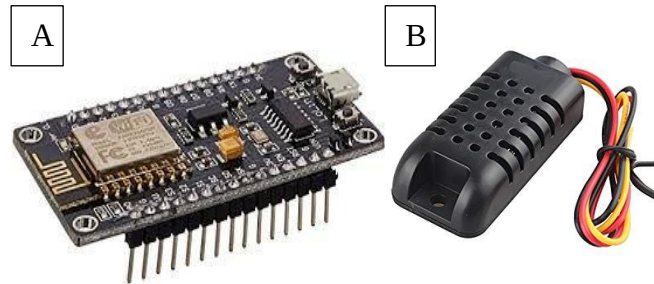
Fonte: Autoria Própria (2019)

3.4.3 Protótipo montado pelo conceito de Internet das Coisas

Em relação ao protótipo montado pelo conceito de Internet das Coisas (IoT), para medição *in loco*, foi utilizado o microcontrolador ESP8266, na qual pode ser usado em conjunto

com os mais variados tipos de sensores. Para esta pesquisa, foi utilizado um sensor duplo, capaz de ler temperatura e umidade relativa do ar, o DHT21 AM2301. (Figura 17)

Figura 17 – Microprocessador (A) e sensor de temperatura e umidade relativa do ar (B)



Fonte: Autoria Própria (2019)

A conexão dos sensores com o ESP8266 é feita a partir das portas presentes no dispositivo, as portas ADC (Conversor Analógico Digital), pois os dados capturados pelo sensor são analógicos. Na Tabela 5, são apresentadas algumas características do ESP8266 utilizados nesta pesquisa:

Tabela 5 - Características Básicas do ESP8266

CPU	Xtensa dual-core (ou single-core) de 32 bits LX106 microprocessador
Arquitetura	32 Bits
Clock	160MHz
WI-FI	802.11 b/g/n
Bluetooth	v4.2 BR/EDR e BLE
RAM	64 KB
FLASH	4 MB
ADC	18
DCA	2

Fonte: Autoria Própria (2019)

Toda interação entre os componentes, além da interação física, foi realizada a partir de comandos que o micro controlador deve seguir. Tais comandos foram feitos por linhas de códigos usando o compilador da IDE do Arduíno, a sintaxe da linguagem se assemelha bastante a linguagem C, mas possui suas particularidades.

Além do mais, todos os resultados registrados pelos três equipamentos, de marcas diferentes, foram planilhadas e passaram por um tratamento e análise estatística.

3.5 Análise estatística

A Estatística Aplicada, ou Estatística Descritiva é o ramo da ciência que busca extrair informações significativas para um determinado fim, a partir de um conjunto de números (DOWNING & CLARK, 1957). Tendo em vista que a estatística engloba um conjunto de métodos para coleta, organização, resumo, análise e comparação de dados, tem-se como imprescindível essas análises para estudos que se desenvolvem de maneira experimental, proporcionando confiabilidade aos resultados obtidos e tornando possível que os experimentos realizados e analisados possam ser repetidos diversas vezes e ainda assim tenham condições de serem comparados. (NUNES et al., 2017)

No que diz respeito à engenharia a aplicação de métodos científicos, a estatística é fundamental para que os recursos e informações sejam tratados de forma adequada, e que se tenha uma aplicação correta dos dados do objeto de estudo. Houaiss (2001) afirma que trabalhar com engenharia significa aplicar métodos científicos para utilizar os recursos da natureza em benefício do ser humano. Para Cardoso et. al (2018) é notória a relação e comunicação entre as duas ciências para que se tenha aplicações corretas e com credibilidade científica.

Tocante à conceituação referente à estatística aplicada, temos a seguir alguns procedimentos de análise estatística:

3.5.1 Análise de Variância

A ferramenta Análise de Variância (Anova) é utilizada para comparar médias, considerando a dispersão dos dados. Por exemplo, supondo que as médias A, B e C existem. Então elas podem ser diferentes matematicamente (numericamente), mas podem ser iguais

estatisticamente. A ferramenta Anova permite verificar se o conjunto é igual ou se pelo menos duas a duas são diferentes (MACIEL, 2018).

Ao usar a ferramenta de Anova existem duas hipóteses, sendo apenas uma única verdadeira:

- Hipótese nula (H_0): as médias são iguais;
- Hipótese alternativa (H_1): pelo menos duas são diferentes entre si.

Por exemplo, se H_0 for verdadeira, então as médias A, B e C são iguais. Caso contrário, se H_0 for falso, então pelo menos duas são diferentes, ou seja, $A \neq B$ e/ou $A \neq C$ e/ou $B \neq C$.

A rejeição ou aceitação da H_0 é baseada na condição:

- Se $F_{Calculado}$ for maior que o $F_{Crítico}$, então rejeita-se H_0 .

Onde:

$$F_{Calculado} = \frac{S_{Entre}^2}{S_{Dentro}^2} \quad \text{Equação 2}$$

$$F_{Crítico} : F_{\alpha; k-1; k(n-1)} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo α o nível de significância $k - 1$ graus de liberdade no numerador e $k(n-1)$ grau de liberdade do denominador, sendo k os diferentes tipos de tratamentos com n repetições ou observações.

$$S_{Dentro}^2 = \frac{s_A^2 + s_B^2 + s_C^2 + \dots + s_k^2}{k} \quad \text{Equação 4}$$

O termo

é a média quadrática das variâncias dentro dos k tratamentos, e o termo

$$S_{Entre}^2 = \frac{n \sum (\bar{x} - \bar{x}_{Global})^2}{k - 1} \quad \text{Equação 5}$$

é a variância entre as amostras.

3.5.2 Teste de Tukey

A ferramenta do Teste de Tukey é utilizada para comparar médias, mostrando onde estão as diferenças entre elas, duas a duas, ao nível de significância considerada. Se um conjunto há cinco médias, por exemplo, a ferramenta permite comparar duas a duas se elas são iguais ou diferentes estatisticamente em relação a um nível de confiança estipulado (MACIEL, 2018).

O teste de Tukey é baseado no valor da Diferença Honestamente Significativa (HSD), o qual é dado por:

$$HSD = q_{\alpha; k; k(n-1)} \cdot \sqrt{\frac{S_{Dentro}^2}{n}}$$

Equação 6

Onde $q_{\alpha; k; k(n-1)}$ é a Amplitude Estudentizada do teste de Tukey com α nível de significância, com k tratamentos com n repetições ou observações e k(n-1) é o erro (graus de

$$S_{Dentro}^2 = \frac{s_A^2 + s_B^2 + s_C^2 + \dots + s_k^2}{k}$$

liberdade). E o termo

Equação 4

é a média quadrática das variâncias dentro dos k tratamentos (LEVIN; FOX; FORDE, 2012).

O valor de HSD deve ser interpretado como sendo o maior valor para que não haja diferença entre duas médias consideradas, ou seja, qualquer diferença de duas médias se for maior que o HSD, então significa que as duas médias são diferentes estatisticamente a um nível de significância considerado (MACIEL, 2018).

3.5.3 Coeficiente de correlação

Uma das medidas de associação é o coeficiente de correlação.

Dadas n observações bivariadas nas variáveis X e Y, $X_1, X_2, \dots, X_n$ e $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$, o coeficiente de correlação r é definido por:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{s_X s_Y}$$

Equação 7

Em que $\bar{X}$ e $\bar{Y}$ são as médias dos valores de X e de Y respectivamente e s_X e s_Y os desvios padrão das mesmas variáveis.

O numerador da expressão é a média dos produtos dos desvios de X e de Y , em relação às correspondentes médias. O denominador é o produto dos desvios padrões de X e de Y .

De acordo com Fernandes (1999) a interpretação do coeficiente conceitua-se como:

- o coeficiente de correlação r mede a associação entre duas variáveis; é positivo quando a associação é positiva e negativo quando a associação for negativa (o valor de r é tanto maior quanto mais forte for a associação);
- o coeficiente de correlação toma sempre valores entre -1 e +1 (os desvios padrões no denominador estandardizam o r , as unidades no numerador e denominador são as mesmas, o que significa que r é adimensional);
- os valores extremos $r = -1$ e $r = 1$ indicam uma associação perfeita ($r = -1$ significa que os pontos pertencem a uma linha recta de declive negativo, isto é, quando x aumenta, y diminui; $r = 1$ significa que os pontos pertencem a uma linha recta com declive positivo, isto é, quando x aumenta, y também aumenta;
- o coeficiente de correlação mede a proximidade da mancha de pontos em relação a uma linha recta (r mede uma associação linear).

4 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

A princípio, a pesquisa consistiu na análise do projeto de um empreendimento habitacional e hoteleiro multiuso, sob o ponto de vista térmico, utilizando-se a metodologia de cálculo de parâmetros da NBR 15220 (ABNT, 2005) aplicada às exigências de desempenho da NBR 15575 (ABNT, 2013), na qual avalia a transmitância térmica, a capacidade térmica e a absorvância térmica dos materiais da edificação. Esses resultados são apresentados na seção 4.1.

Ainda no que se refere ao desempenho térmico, com foco na avaliação prática da medição *in loco* do objeto de estudo, tem-se como principal contribuição observada a extração de dados referentes à região central do município de Palmas – TO. Além disso, tem-se a diferença da orientação solar entre um apartamento voltado para leste e outro voltado para oeste. Os resultados dessa análise são apresentados na seção 4.2.

Na arguição da confiabilidade dos dados provenientes do equipamento montado pela Internet das Coisas, foi feita uma análise estatística entre os resultados obtidos pelos três equipamentos em dois períodos diferentes, por meio do teste de variâncias, o que contribuiu com a alegação de que os resultados são compatíveis. Os resultados da análise estatística são apresentados na seção 4.3.

Quanto aos equipamentos utilizados para as medições *in loco*, temos a análise de custos, apresentando importante contribuição à tomadas de decisão para profissionais, acadêmicos e usuários interessados em avaliar a aplicação da NBR 15575 (ABNT, 2013) em edificações habitacionais, no que diz respeito ao desempenho térmico. Na seção 4.4 são apresentadas as diferenças entre os preços dos equipamentos convencionais, e o equipamento montado segundo a Internet das Coisas.

Para a avaliação do desempenho térmico, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece apenas o monitoramento dos dados de temperatura, mas nesta pesquisa abrange-se também a relação da umidade relativa do ar e da temperatura do ar. As relações entre tais componentes climáticas estão demonstradas por meio de correlações estatísticas e os resultados estão retratados na seção 4.5.

Ao final, na seção 4.6 expõe-se a análise dos gráficos de comparações entre dois apartamentos do mesmo pavimento, com a mesma disposição arquitetônica, porém com orientações solares opostas (leste e oeste), a fim de analisar, em dois períodos diferentes, a diferença do comportamento térmico.

4.1 Análise do desempenho térmico – Procedimento Simplificado

Conforme descrição da metodologia no método simplificado, verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas, estabelecidos na NBR 15575-4 e NBR 15575-5 para os sistemas de vedação vertical interna e externa - SVVIE e para os sistemas de coberturas, respectivamente. Para os SVVIE, é verificado o atendimento de três critérios: transmitância térmica (U) de paredes externas, capacidade térmica (CT) de paredes externas e aberturas para ventilação.

No edifício objeto de estudo tem-se duas especificações de vedações verticais externas diferentes, pois a fachada norte é em alvenaria composta por blocos cerâmicos, revestimento cimentício (reboco) e pintura, enquanto as fachadas leste e oeste são constituídas em pele de vidro. Para o estudo dos apartamentos tipo escolhidos (um para leste, outro para oeste), realizou-se a análise das duas tipologias de vedações, pois interferem diretamente no comportamento do desempenho térmico.

4.1.1 Transmitância térmica

A transmitância para paredes externas de alvenaria é calculada em função de alguns parâmetros que levam em consideração as dimensões dos blocos de vedação assim como sua composição, espessura das argamassas e consequentemente espessura total da parede. Neste sentido, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a fim de parametrizar e facilitar a avaliação de desempenho para diferentes configurações da edificação fornece uma tabela, em que constam resultados de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica para diferentes geometrias de blocos e espessuras de argamassas.

As características das paredes externas da edificação são apresentadas a seguir:

- Parede de blocos cerâmicos de 8 furos;
- Dimensões do bloco: 9,0 x 19,0 x 29,0 cm;
- Espessura da argamassa de assentamento: 1,5 cm;
- Espessura da argamassa de emboço interna e externa: 2,5 cm
- Espessura total da parede: 14,0 cm;

da parede. Para o cálculo da transmitância térmica, foi utilizada a vedação da fachada em direção ao norte, por ser um elemento que recebe significativa incidência de raios solares.

O cálculo da resistência térmica do tijolo (R_{tijolo}) é dado segundo os cálculos a seguir.

Seção 1 (tijolo):

$$A_1 = 0,15 \times 0,29 = 0,0435 \text{ m}^2 \quad \text{Equação 8}$$

$$R_1 = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} = \frac{0,09}{0,90} = 0,10 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad \text{Equação 9}$$

Seção 2 (tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar):

$$A_2 = 0,03 \times 0,29 = 0,0087 \text{ m}^2 \quad \text{Equação 8}$$

$$R_2 = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} \quad \text{Equação 10}$$

$$R_2 = \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} = 0,3533 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad \text{Equação 10}$$

Então:

$$R_{tijolo} = \frac{\frac{4 \times A_1 + 3 \times A_2}{\frac{4 \times A_1}{R_1} + \frac{3 \times A_2}{R_2}}}{\frac{4 \times 0,0435 + 3 \times 0,0087}{\frac{4 \times 0,0435}{0,10} + \frac{3 \times 0,0087}{0,3533}}} = 0,1755 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad \text{Equação 11}$$

O cálculo da resistência térmica da parede (R_t) é dada a seguir.

Seção A (emboço + argamassa + emboço):

$$A_a = 0,01 \times 0,29 + 0,01 \times 0,205 = 0,005 \text{ m}^2 \quad \text{Equação 8}$$

$$R_a = \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} \quad \text{Equação 10}$$

$$R_a = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad \text{Equação 10}$$

Seção B (emboço + tijolo + emboço):

$$A_b = 0,19 \times 0,29 = 0,0551 \text{ m}^2 \quad \text{Equação 8}$$

$$R_b = \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} + R_{tijolo} + \frac{e_{emboço}}{\lambda_{emboço}} \quad \text{Equação 12}$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + 0,1755 + \frac{0,025}{1,15} = 0,219 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad \text{Equação 12}$$

Portanto:

$$R_t = \frac{\frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}}{\frac{0,005}{0,1217} + \frac{0,0551}{0,219}} = 0,2053 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad \text{Equação 13}$$

A resistência térmica total (RT) é então calculada.

$$R_T = R_{Si} + R_t + R_{Se} \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

R_{Si} e R_{Se} são as resistências superficiais interna e externa, respectivamente, obtidas na Tabela 6, de acordo com NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Tabela 6 – Resistência térmica superficial interna e externa.

$R_{Si} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$	$R_{Se} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$
DIREÇÃO DO FLUXO DE CALOR	DIREÇÃO DO FLUXO DE CALOR
	
0,13 0,10 0,17	0,04 0,04 0,04

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2013).

Assim, temos:

$$R_T = 0,13 + 0,2053 + 0,04 = 0,3753 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad \text{Equação 14}$$

Finalmente é possível calcular a transmitância térmica (U).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{Equação 15}$$

$$U = \frac{1}{0,3753} = 2,66 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad \text{Equação 15}$$

A absorptância térmica (α^a) depende da cor utilizada na face externa da vedação. Para o caso em questão, a fachada é pintada com uma cor clara. Segundo a NBR 15.575-1, o valor a ser considerado para absorptância de cores claras é de 0,30.

De acordo com a ABNT NBR 15.575-4, considerando a localização do empreendimento na zona bioclimática 7, para valores de absorptância (α^a) menores que 0,6, a vedação deve apresentar transmitância térmica (U) menor ou igual a $3,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, como observado na Tabela 1. Os cálculos apresentados no presente estudo demonstram que, no caso das vedações em alvenaria, encontra-se conforme a NBR 15.575 (ABNT, 2013), visto que apresenta transmitância térmica igual a $2,66 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2013), os vidros têm geralmente alta transmitância térmica (U), sendo bons condutores de calor, por este motivo as principais trocas térmicas em uma edificação acontecem geralmente nos elementos transparentes da arquitetura. Dessa forma, foi analisado também, as propriedades térmicas do vidro. O objeto de estudo possui uma fachada em pele de vidro laminado de 8 mm, de acordo com os dados retirados do Anexo Geral V(RAC, 2013) algumas das propriedades térmicas do vidro Cool Lite SKN Cinza são:

- espessura de 8,000 mm;
- condutividade de $1,000 \text{ W}/\text{mK}$;
- processo laminado com incolor;
- transmitância térmica de $5,7 \text{ W}/\text{m}^2$;
- fator solar de 0,280.

Dessa forma, baseado no valor da transmitância térmica do material de vedação vertical externa de $5,7 \text{ W}/\text{m}^2$, pode-se afirmar que a unidade habitacional não atende ao desempenho térmico especificado pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Se observada a norma NBR15220-3 (ABNT, 2005), as vedações externas para a zona climática 7 devem ser de parede e cobertura pesada. A mesma norma caracteriza as paredes pesadas como aquelas com $U < 2,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ e atraso térmico maior a 6,5 horas. Observando os valores da Tabela 1 é possível observar que o material da parede externa voltadas para leste e oeste do Edifício estudado não cumpre as recomendações e diretrizes construtivas estabelecidas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Assim sendo, os valores apresentados no presente estudo demonstram que os materiais de vedações em vidro laminado não atendem ao

desempenho térmico segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013), visto que apresenta transmitância térmica maior que 3,7 W/(m².K).

4.1.2 Capacidade térmica

Segundo a ABNT NBR 15.575-4, o valor mínimo exigidos para capacidade térmica de vedações localizadas na zona bioclimática 7 é de 130 kJ/m².K, como pode-se observar na tabela 4. O cálculo da capacidade térmica é realizado conforme a Equação 16:

$$C_{Ta} = e_i * c_i * \rho_i \quad \text{Equação 16}$$

Onde: e = espessura do elemento (no sentido transversal ao fluxo de calor) [m];

c = calor específico do elemento [kJ/kg K];

ρ = densidade do elemento [kg/m³];

Do banco de dados do Projeteer², buscou-se de acordo com os materiais das vedações verticais externas em alvenaria do objeto de estudo e obteve-se uma resposta para capacidade térmica de 151 kJ/m².K. No caso deste material de vedação, o empreendimento em questão encontra-se conforme à NBR 15.575 (ABNT, 2013), visto que apresenta capacidade térmica acima de 130 kJ/m².K, conforme a Tabela 2.

Já no caso da capacidade térmica da vedação vertical externa, tendo como parâmetro a fachada em pele de vidro, foi realizado o cálculo com os dados de Lamberts, Dutra e Pereira, conforme a Tabela 7.

² Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (Projeteer) é uma ferramenta do Ministério do Meio Ambiente (MMA), em cooperação com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)

Tabela 7 – Propriedades térmicas de materiais de uso recorrente no Brasil.

Outros		ρ (kg/m ³)	λ (W/m K)	c (kJ/kg K)
chapa de vidro		2.700	1,10	0,84
imper. com membranas betuminosas		1.000 – 1.100	0,23	1,46
asfalto		1.600	0,43	0,92
asfalto		2.300	1,15	0,92
betume asfáltico		1.000	0,17	1,46
argamassa/reboco e assentamento de tijolos e blocos	▪ comum	1.800 – 2.100	1,15	1,00
	▪ placas de fibrocim.	1.800 – 2.200	0,95	0,84
		1.400 – 1.800	0,65	0,84

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2013).

Considerando a chapa de vidro, temos:

$$C_{Ta} = 0,008 * 0,84 * 2700 = 18,144 \text{ kJ/m}^2.\text{K} \quad \text{Equação 16}$$

Ou seja, novamente a vedação vertical externa em vidro não atende ao desempenho térmico segundo o método prescritivo da NBR 15575 (ABNT, 2013), visto que apresenta capacidade térmica igual a 18, 144 kJ/m².K, muito abaixo dos 130 kJ/m².K estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

4.1.3 Aberturas para ventilação

Para o requisito de ventilação de ambientes de longa permanência foram analisadas as aberturas das janelas localizadas na fachada em pele de vidro, na dependência do apartamento. O ambiente possui 27,05 m², a vedação vertical em vidro possui 13,42 m² de área, na qual comportam quatro esquadrias com dimensões 0,93 x 0,68 m.

Portanto:

$$A_A = 4 \times (0,93 \times 0,68) = 2,53 \text{ m}^2 \quad \text{Equação 17}$$

$$A_P = 27,05 \text{ m}^2 \quad \text{Equação 17}$$

$$A = 100 \times \left(\frac{2,53}{27,05} \right) = 9,35\% \quad \text{Equação 18}$$

A ABNT NBR 15.575 exige que edificações localizadas na zona bioclimática 7, aberturas de ventilação maior ou igual a 7%, como pode ser observado na tabela 3. Visto que

tanto o dormitório possui abertura de ventilação de 9,35%, pode-se afirmar que a unidade está de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), no que diz respeito às aberturas de ventilação.

4.1.4 Isolação térmica da cobertura

Para o caso da cobertura, assim como nos sistemas de cobertas internas e externas, a norma 15220-3 traz, a fim de parametrizar e facilitar a avaliação de desempenho, uma tabela, onde constam resultados de Transmitância Térmica, Capacidade Térmica e Atraso Térmico para diferentes tipos de coberturas.

Em função do recorte de um pavimento tipo de apartamentos como objeto de estudo, os cálculos das propriedades térmicas da cobertura não serão aplicados a esta pesquisa. A localização do pavimento analisado é no 28º andar e este não está em contato com a cobertura do edifício. Acima deste pavimento e antes da cobertura há dois pavimentos de uso coletivo (sala de reuniões e afins), os quais recebem anteriormente a carga térmica proveniente da incidência solar na cobertura.

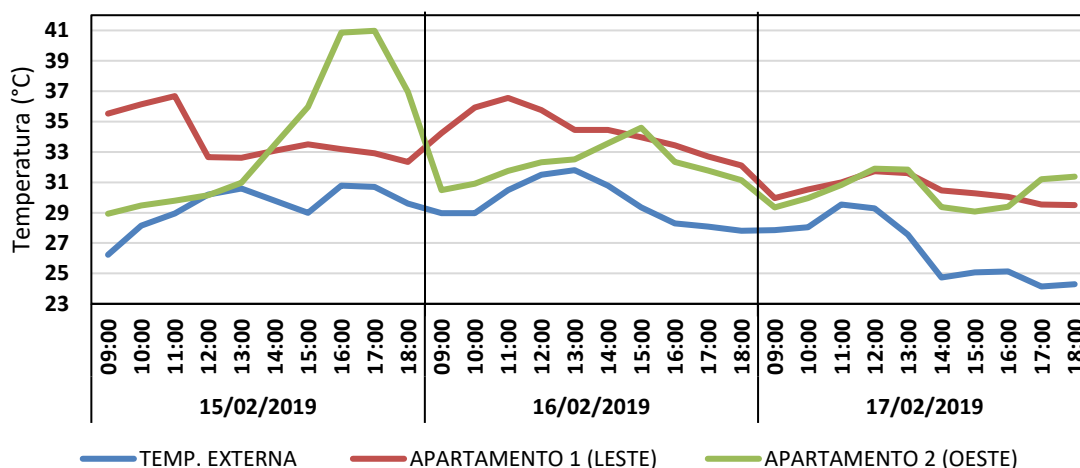
4.2 Análise do desempenho térmico – Medições *in loco*

Como exigência da norma, a temperatura foi registrada por três dias consecutivos, iniciando às 09h e encerrando às 18h, em dois períodos diferentes, um sendo do dia 15/02/2019 até 17/02/2019 e, o outro período, do dia 05/04/2019 até 07/04/2019. Para a determinação do desempenho térmico do empreendimento objeto de estudo, considerou-se os dados registrados pelo equipamento da marca Klimalogg Pro, por ser um equipamento convencional para realização deste tipo de avaliação e possuir a vantagem de ter o registrador dos dados simultâneos dos diversos sensores de temperaturas interna e externa. Os registros de temperatura dos dois apartamentos analisados durante os três dias de medição em relação à temperatura externa do apartamento encontram-se no Gráfico 5.

De acordo com os dados do Gráfico 5, a máxima temperatura registrada durante os três dias de medições ocorreu no dia 15/02/2019 no apartamento 2 (voltado ao oeste), às 17h00, com 40,98°C. A temperatura externa à sombra atingiu o máximo de 31,80°C no segundo dia do levantamento, às 13h00. Dentre os ambientes internos, a mínima foi registrada também no apartamento 2 (voltado ao oeste), com 28,93°C às 09h00 do dia 15/02/2019. A mínima externa foi de 24,14°C às 17h00 do último dia do levantamento. Além disso, notam-se amplitudes

térmicas de 12,04°C para o apartamento 2 (voltado ao oeste) e de 7,18°C no apartamento 1 (voltado ao leste), enquanto que no ambiente externo obteve-se uma amplitude térmica de 7,66°C.

Gráfico 4 -. Temperaturas internas e externa durante os três dias de medição – Período 02/2019.

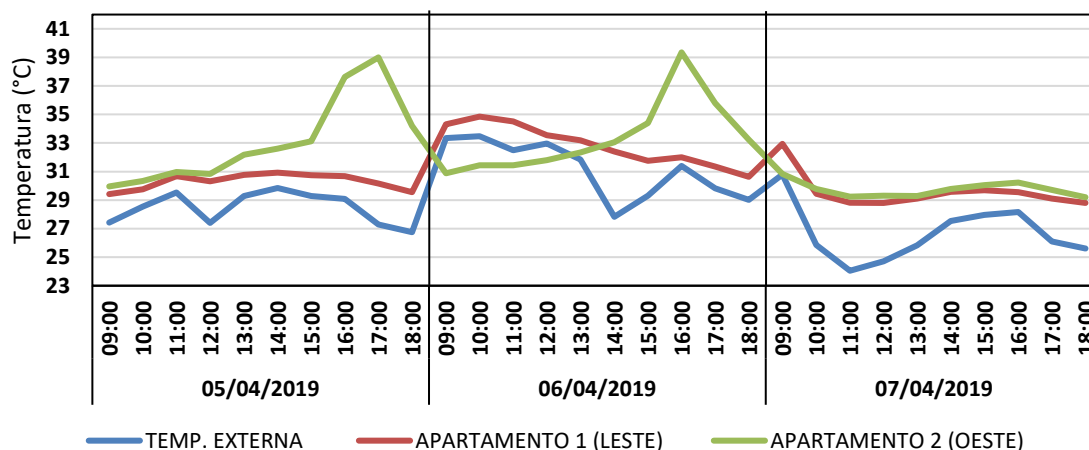


Fonte: Autoria própria (2019).

Passado aproximadamente dois meses, foi realizado outra medição *in loco*, com o objetivo de analisar o comportamento térmico do edifício ao longo de um período. Dessa forma, o registro das temperaturas neste segundo período encontram-se no Gráfico 6, semelhantemente à primeira medição, foram analisados os dois apartamentos durante três dias, comparando à temperatura externa do apartamento.

No Gráfico 6 observa-se a máxima temperatura registrada durante os três dias de medições ocorreu no dia 06/04/2019 no apartamento 2 (voltado ao oeste), às 16h00, com 39,35°C. A temperatura externa à sombra atingiu o máximo de 33,48°C também no segundo dia do levantamento, às 10h00. Dentre os ambientes internos, a mínima foi registrada no apartamento 1 (voltado ao leste), com 28,80°C às 18h00 do dia 07/04/2015. A mínima externa foi de 24,05°C às 11h00 do último dia do levantamento. Além disso, as amplitudes térmicas foram de 10,15°C para o apartamento 2 (voltado ao oeste) e de 6,05°C no apartamento 1 (voltado ao leste), enquanto que no ambiente externo obteve-se uma amplitude térmica de 9,43°C.

Gráfico 5 - Temperaturas internas e externa durante os três dias de medição – Período 04/2019.

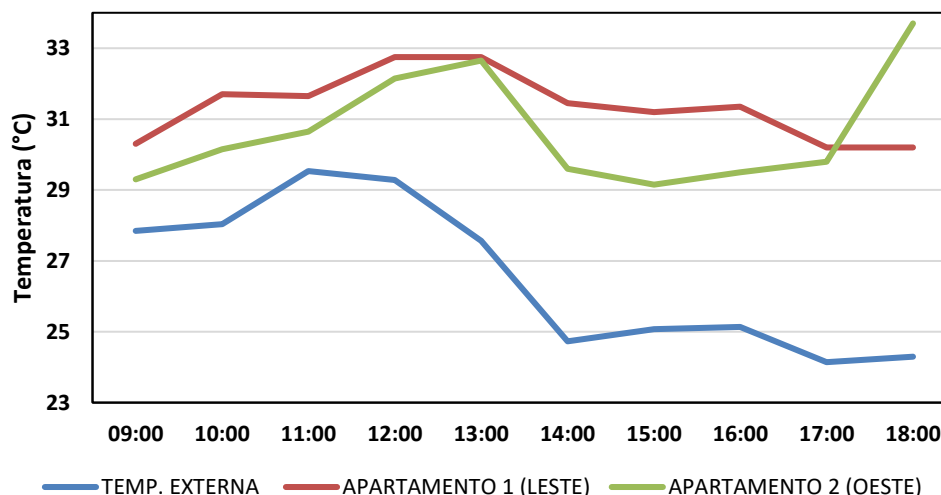


Fonte: Autoria própria (2019).

No entanto, para efeito de avaliação e classificação de desempenho, conforme recomendação da norma, são avaliados somente os valores do último dia, demonstrados no Gráfico 7. No último dia de medição, a máxima temperatura foi registrada no exterior do edifício, às 11h00 com 29,53°C, assim como a mínima, com 24,14°C às 17h00. Além disso, percebeu-se uma variação não linear na temperatura externa à sombra, ocasionada por uma chuva rápida, com início às 14h00, reduzindo a temperatura em aproximadamente 5°C, chegando a 29,28°C até às 12h00. É necessário registrar que a temperatura máxima do sensor externo à sombra foi registrada pouco antes do início desta chuva, evento explicável através dos fenômenos hidrológicos de precipitação.

As temperaturas máximas registradas nos ambientes internos foram: 31,90°C às 12h00 no apartamento 2, e 31,73°C também às 12h00 no apartamento 1. As mínimas temperaturas internas registradas foram: 29,50°C às 18h00 no apartamento 1 e 29,08°C às 15h00 no apartamento 2 (também identificado no Gráfico 7).

Gráfico 6 – Temperaturas internas e externa no terceiro dia de medição medição – Período 02/2019.

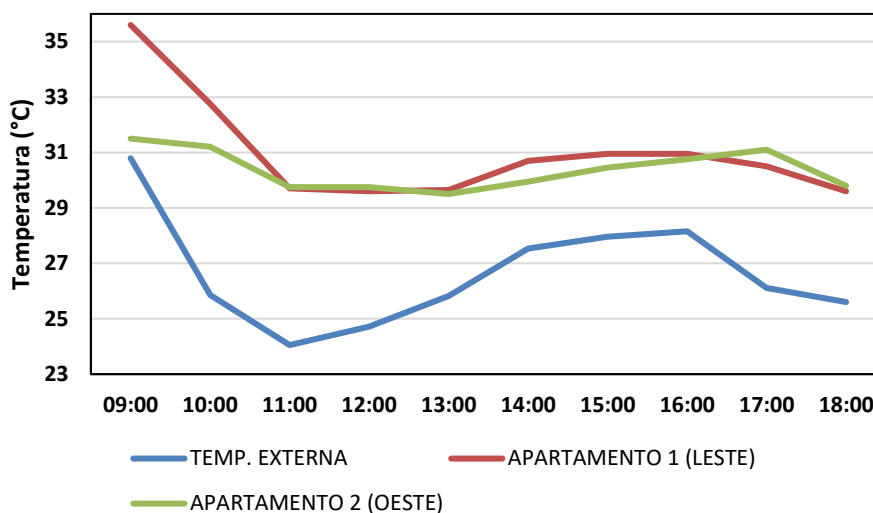


Fonte: Autoria própria (2019).

Não obstante, o registro das temperaturas do terceiro dia de medição, do segundo período avaliado, podem ser encontrados no Gráfico 8. Nesta segunda análise do último dia de medição, a máxima temperatura foi registrada no exterior do edifício, às 09h00 com 30,79°C, assim como a mínima, com 24,05°C às 11h00. Além disso, percebeu-se uma variação não linear na temperatura externa à sombra, ocasionada por uma chuva rápida, com início às 11h00, reduzindo a temperatura em aproximadamente 5°C, semelhante ao acontecido do primeiro período de medição, chegando a 30,79°C entre as 09h00. Da mesma forma que aconteceu no primeiro período, a temperatura máxima do sensor externo à sombra foi registrada pouco antes do início desta chuva, comprovando mais uma vez a influência dos fenômenos hidrológicos de precipitação no comportamento térmico. Após a chuva, a temperatura voltou a subir, atingindo o máximo de 28,16°C às 16h00, valor próximo à máxima anterior.

As temperaturas máximas registradas nos ambientes internos foram: 32,94°C às 09h00 no apartamento 1, e 30,83°C também às 09h00 no apartamento 1. As mínimas temperaturas internas registradas foram: 28,80°C no apartamento 1 e 29,08°C no apartamento 2, ambas registradas às 18h00 (conforme Gráfico 8).

Gráfico 7 - Temperaturas internas e externa no terceiro dia de medição medição – Período 04/2019.



Fonte: Autoria própria (2019).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define como requisito mínimo (M) de desempenho que a temperatura interna máxima seja menor ou igual à temperatura externa máxima. Como requisito intermediário (I), a temperatura interna máxima deve ser 2°C menor que a temperatura externa máxima e como requisito superior (S), a temperatura interna máxima deve ser 4°C menor que a temperatura externa máxima. A Tabela 8, abaixo, demonstra o não atendimento do empreendimento estudado a todas as exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013) pela medição *in loco*.

Tabela 8 - Atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2013) pela medição *in loco*

Período avaliado	Unidade avaliada	Orientação solar	Condições verificadas		Amplitude	Resultado
			Ti,máx	Te,máx		
fev/19	Apt. 1	LESTE	31,73	29,53	2,20	Não atende
	Apt. 2	OESTE	31,90		2,37	Não atende
abr/19	Apt. 1	LESTE	32,94	30,79	2,15	Não atende
	Apt. 2	OESTE	30,83		0,04	Não atende

Fonte: Autoria própria (2019).

Como comparativo entre os dois períodos de medições, no mês de fevereiro e depois no mês de abril, é importante mencionar a diferença entre os resultados da temperatura registrada. Enquanto que no primeiro período houve maior amplitude térmica, e maiores quantidades de

picos de temperatura, o segundo período apresentou menores temperaturas em grande parte das medições, e menores amplitudes térmicas, apesar das grandes variações de temperatura encontrada no início da manhã. Essa diferença, pode ser explicada pela variação da umidade relativa do ar, pois em abril teve maior presença de chuva, apresentando céu encoberto no período vespertino, e conseqüentemente as temperaturas caíram.

4.3 Aplicação da Internet das Coisas no procedimento de medição

Após as medições realizadas no empreendimento objeto de estudo, os resultados foram planilhados e analisados afim de testar e disseminar o uso do ESP8266, montado a partir do conceito de Internet das Coisas. Nesta seção, são realizadas as análises referentes aos resultados obtidos comparativamente de cada equipamento.

Para as análises estatísticas, foram simulados dois períodos para dois apartamentos, sendo cada um deles representante de uma orientação solar. Após as medições realizadas por três dias consecutivos (em cada período), os resultados foram planilhados em três colunas (Equipamento Instrutherm, Equipamento Klimalogg Pro e Equipamento ESP8266) de hora em hora. Na Tabela 9 apresenta-se a temperatura do ar no terceiro dia de medição do primeiro período avaliado (Fev./2019) .

Tabela 9 – Temperatura média horária por equipamento – fev./2019

Fev./2019 – Apartamento 1			
HORA	INSTRUTHERM	KLIMALOGG	ESP8266
09:00	30,30	29,96	30,10
10:00	31,70	30,52	30,40
11:00	31,65	31,00	30,50
12:00	32,75	31,73	31,45
13:00	32,75	31,60	31,40
14:00	31,45	30,46	30,50
15:00	31,20	30,28	30,30
16:00	31,35	30,05	30,30
17:00	30,20	29,54	29,50
18:00	30,20	29,50	29,90

Fonte: Autoria própria (2019).

Após tratamento estatístico (Tabela 10) verificou-se que as médias de temperatura registrada pelos três equipamentos são iguais, uma vez que o $F_{calculado}$ foi menor do que o $F_{crítico}$, de acordo com a Tabela 11, então aceita-se a hipótese nula (H_0), ou seja, os equipamentos registraram respostas iguais.

Tabela 10 – Tratamento estatístico das temperaturas médias de cada equipamento – fev./2019

TRATAMENTO ESTATÍSTICO	INSTRUTHERM	KLIMALOGG	ESP8266
Média	31,36	30,47	30,44
Variância Amostral	0,88	0,60	0,36
Desvio Padrão Amostral	0,94	0,78	0,60
Coefficiente de Variação Amostral	2,99	2,55	1,98

Fonte: Autoria própria (2019).

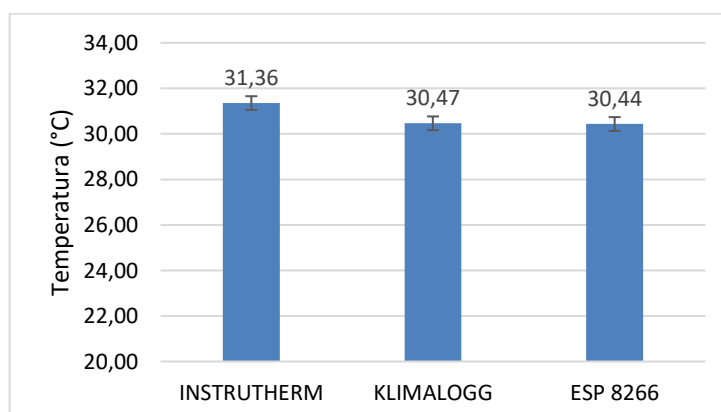
Tabela 11 – Análise de variância – Teste F (fev./2019)

Fonte de Variação		gl	Teste F	
S^2_{Entre}	2,73	2	$F_{Calculado}$	4,43
S^2_{Dentro}	0,62	27	$F_{0,01;2;27}$	5,49

Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 8 apresenta-se a média diária da temperatura (com desvio padrão) registrada por cada equipamento, equivalente ao terceiro dia de medição do primeiro período, pelo qual é possível verificar que os resultados são bem próximos, apenas o equipamento da marca Instrutherm apresentou uma pequena diferença.

Gráfico 8 – Temperatura média diária de cada equipamento – fev./2019



Fonte: Autoria própria (2019).

Para efeito de aprovação do protótipo realizado neste trabalho através da tecnologia da Internet das Coisas, foi realizado o teste de Tukey para as médias de temperatura diária para cada equipamento (Klimalogg Pro, Instrutherm e ESP8266). Nesse caso foi utilizado o terceiro dia de medição do primeiro período avaliado (fevereiro). Através do teste (Tabela 12) é possível verificar que os resultados de temperatura registrados pelo ESP8266 são iguais aos demais equipamentos convencionais.

Tabela 12 – Teste de Tukey para temperatura média – fev./2019

Parâmetros do teste de Tukey					
n	10	q	4,49		
k	3	s^2_{Dentro}	0,62		
α	0,01	HSD	1,12		
K	Média	Diferenças			Código
		1	2	3	
Instrutherm	31,36				a
Klimalogg	30,47	0,89			a
ESP8266	30,44	0,92	0,03		a

Fonte: Autoria própria (2019).

O tratamento estatístico avaliou a média diária para o quesito e não leva em consideração a distribuição ao longo das horas. Avaliando a região climática ao longo desse período, ela demonstrou similaridades no monitoramento da temperatura, assim como no desempenho térmico (Tabela 12) para os dois apartamentos analisados, a maior diferença deu-se entre o equipamento de marca Instrutherm e o ESP8266, explicada pelo fato de que o equipamento da marca Instrutherm não possui registrador de dados, ou seja, cada dado deveria ser anotado em planilha por uma pessoa, dificultando o controle do intervalo de tempo entre cada dado anotado, por isso a curva obtida por esta marca possuiu maior diferença.

Já para o segundo período de medição, realizado em abril, verifica-se a convergência das informações obtidas no primeiro período, demonstrando que as duas análises apresentam o mesmo benefício de possibilidade de aplicação do uso dos equipamentos. Os dados de temperatura do ar registrados no terceiro dia de medição da segunda análise também foram planilhados em três colunas (Equipamento Instrutherm, Equipamento Klimalogg Pro e Equipamento ESP8266) de hora em hora, conforme pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 – Temperatura média horária por equipamento – abril/2019

Abril/2019 - Apartamento 1			
HORA	INSTRUTHERM	KLIMALOGG	ESP8266
09:00	35,60	32,94	33,01
10:00	32,75	29,44	30,88
11:00	29,70	28,82	28,85
12:00	29,60	28,80	28,83
13:00	29,65	29,11	29,23
14:00	30,70	29,57	29,68
15:00	30,95	29,68	29,80
16:00	30,95	29,56	29,66
17:00	30,50	29,11	29,10
18:00	29,60	28,80	28,80

Fonte: Autoria própria (2019).

Após tratamento estatístico (Tabela 14) verificou-se que as médias de temperatura registrada pelos três equipamentos são iguais, uma vez que o $F_{calculado}$ foi menor do que o $F_{crítico}$, de acordo com a Tabela 15, então aceita-se a hipótese nula (H_0), ou seja, os equipamentos registraram respostas iguais.

Tabela 14 – Tratamento estatístico das temperaturas médias de cada equipamento – abril/2019

TRATAMENTO ESTATÍSTICO	INSTRUTHERM	KLIMALOGG	ESP8266
Média	31,00	29,58	29,78
Variância Amostral	3,56	1,51	1,68
Desvio Padrão Amostral	1,89	1,23	1,30
Coefficiente de Variação Amostral	6,08	4,15	4,35

Fonte: Autoria própria (2019).

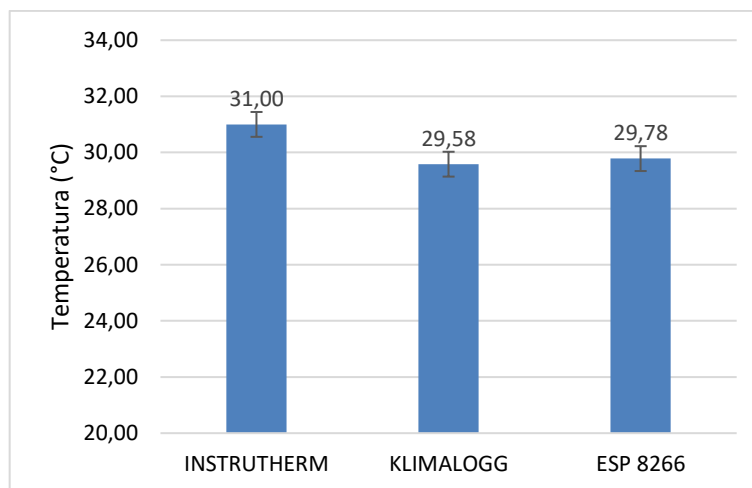
Tabela 15 – Análise de variância – Teste F (abril/2019)

Fonte de Variação		gl	Teste F	
S^2_{Entre}	5,88	2	$F_{Calculado}$	2,62
S^2_{Dentro}	2,25	27	$F_{0,01;2;27}$	5,49

Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 9 apresenta-se a média diária da temperatura (com desvio padrão) registrada por cada equipamento, equivalente ao terceiro dia de medição do primeiro período, pelo qual é possível verificar que os resultados são bem próximos, apenas o equipamento da marca Instrutherm apresentou uma pequena diferença.

Gráfico 9 – Temperatura média diária de cada equipamento – abril/2019



Fonte: Autoria própria (2019).

Semelhantemente à análise estatística do primeiro período, para o efeito de aprovação do protótipo realizado neste trabalho através da tecnologia da Internet das Coisas, foi realizado o teste de Tukey para as médias de temperatura diária para cada equipamento (Klimalogg Pro, Instrutherm e ESP8266). Nesse caso foi utilizado o terceiro dia de medição do segundo período avaliado (abril). Através do teste (Tabela 16) é possível verificar que, para esta pesquisa, os resultados de temperatura registrados pelo ESP8266 são iguais aos demais equipamentos convencionais.

Tabela 16 – Teste de Tukey para temperatura média – abril/2019

Parâmetros do teste de Tukey					
n	10	q	4,49		
k	3	s^2_{Dentro}	2,25		
α	0,01	HSD	2,13		
K	Média	Diferenças			Código
		1	2	3	
Instrutherm	31,00				a
Klimalogg	29,58	1,42			a
ESP8266	29,78	1,22	0,20		a

Fonte: Autoria própria (2019).

O tratamento estatístico avaliou a média diária para o quesito e não leva em consideração a distribuição ao longo das horas. Avaliando a região climática ao longo desse período, ela demonstrou similaridades entre os equipamentos para o monitoramento da temperatura, assim como para o desempenho térmico (Tabela 15) nos dois apartamentos analisados, a maior diferença deu-se entre o equipamento de marca Instrutherm e o Klimalogg, também explicado pelo fato de que o equipamento da marca Instrutherm não possui registrador de dados, dificultando o controle do intervalo de tempo entre cada dado anotado, por isso a curva obtida por esta marca possuiu maior diferença.

4.4 Análise de custo dos equipamentos

Visando a geração de informação completa de novos materiais que podem ser inseridos no mercado de trabalho, este estudo realizou uma tabela orçamentária com o custo dos equipamentos para realização da avaliação do desempenho térmico, de acordo com o procedimento experimental desta pesquisa, para um apartamento, sem considerar equipamentos da área externa. Pois em todas as áreas da engenharia busca-se maior produtividade com menor custo, e por mais que os valores dos equipamentos convencionais sejam bem mais elevados em comparação com o equipamento montado com a Internet das Coisas, é necessário fazer um estudo das exigências de sua utilização e a economia que resultará de uma construção potencialmente mais racionalizada e tecnológica. Na Tabela 17, têm-se os valores dos equipamentos, utilizados neste trabalho, para medição *in loco* de um apartamento com dois ambientes.

Tabela 17 – Orçamento dos equipamentos - desempenho térmico de um apartamento

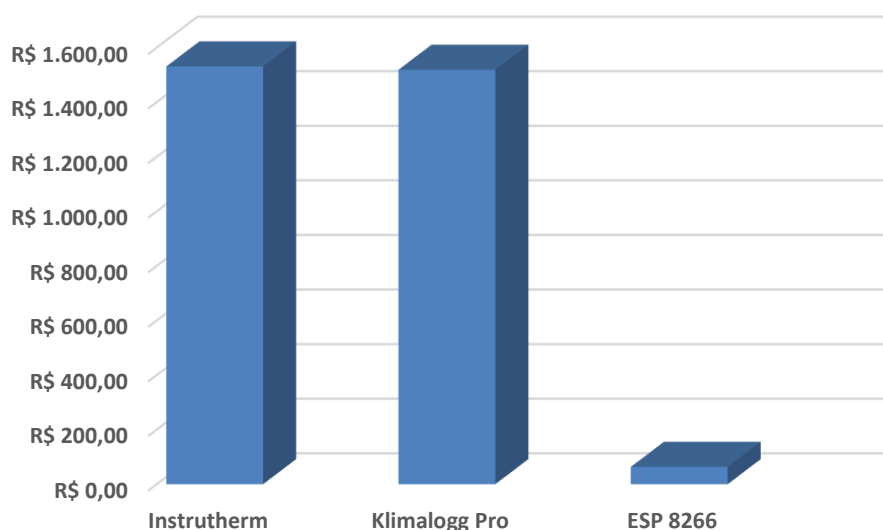
Marca	Equipamentos	Qtd.	Preço Unitário	Preço Total	Preço Total por Marca
Instrutherm	Termo-higrômetro	1	R\$ 602,36	R\$ 602,36	R\$ 1.531,10
	Termo-anemômetro	1	R\$ 928,74	R\$ 928,74	
Klimalogg Pro	Receptor	1	R\$ 932,99	R\$ 932,99	R\$ 1.518,99
	Sensores	2	R\$ 293,00	R\$ 586,00	
ESP8266	Placa microcontroladora	1	R\$ 22,99	R\$ 22,99	R\$ 63,43
	Sensores	2	R\$ 20,22	R\$ 40,44	

Nota: Os valores usados neste orçamento equivalem à dados encontrados em sites de compras online, tais como Aliexpress, Mercado Livre e Americanas, pesquisados no mês de abril do ano de 2019.

Fonte: Autoria própria (2019).

A diferença entre as marcas dos equipamentos convencionais para o equipamento utilizando a Internet das Coisas foi discrepante, na qual o preço do ESP8266 custou 4,14% do preço total do equipamento da marca Instrutherm, e apenas 4,17% do preço total do Klimalogg Pro. A comparação entre os preços totais encontrados neste trabalho pode ser observada no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Comparação do valor total entre os equipamentos utilizados.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.5 Relação da umidade relativa do ar e da temperatura

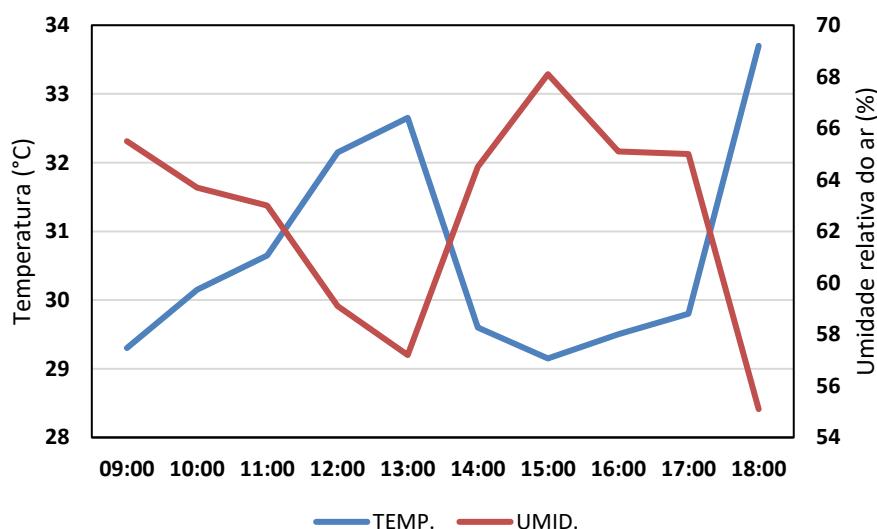
Podemos perceber o quanto a umidade do ar é um tema de importante compreensão, pois ela está presente constantemente no nosso dia a dia, interferindo no clima, na forma como o sentimos e também no comportamento térmico. Por isso, buscou-se analisar a relação entre a umidade com os dados de temperatura, que é a única variável considerada pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

A análise procedeu pela similaridade das curvas de umidade relativa do ar e temperatura durante o terceiro dia de medição, para os dois períodos estudados. O método comparativo utilizado foi através de coeficientes de correlação e comparando os dados por janela de tempo e por horário.

No Gráfico 11 a seguir relaciona dados da umidade relativa do ar com a temperatura registrada pelo equipamento Instrutherm, no terceiro dia de medição do primeiro período, que

retratam um comportamento de correlação durante todo o dia. A partir da análise do gráfico é possível analisar que entre 09h00 e 13h00 a umidade decresce enquanto que a temperatura cresce, e a partir das 13h00 a umidade cresce e a temperatura decresce, apresentado, assim, uma grandeza inversamente proporcional até o final da medição.

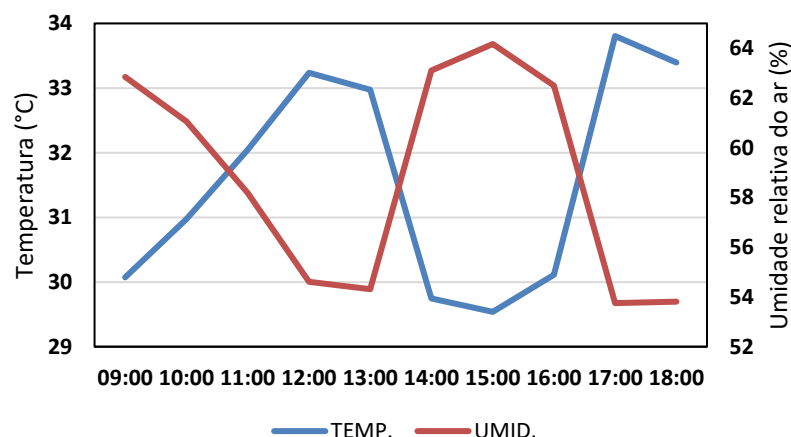
Gráfico 11 – Relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar– Instrutherm (fev./2019)



Fonte: Autoria própria (2019).

Para quantificar a relação da umidade relativa do ar com os resultados de temperatura calculou-se o coeficiente de correlação, que resultou em $R^2 = -0,901$. O coeficiente é negativo pelo motivo das variáveis possuírem comportamento inverso (enquanto um cresce o outro decresce). O resultado encontrado apresenta forte correlação entre as variáveis analisadas.

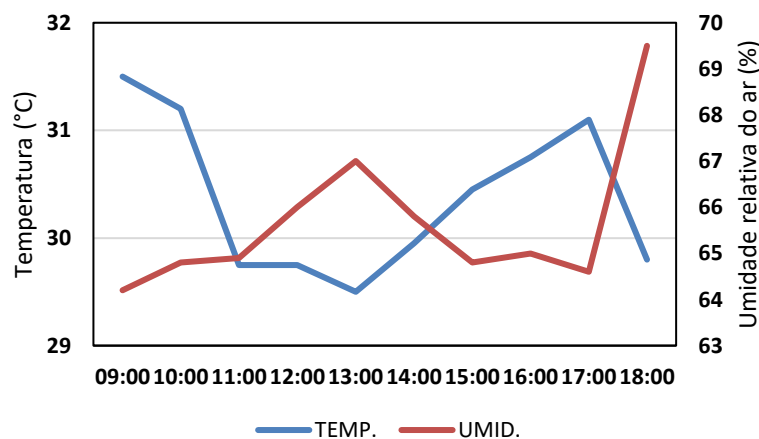
De modo igual à marca Instrutherm, a análise de correlação entre a temperatura e umidade relativa do ar foi realizada para os dados registrados pelo ESP8266, como pode ser visto no Gráfico 12.

Gráfico 12 – Relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar– ESP8266 (fev./2019)

Fonte: Autoria própria (2019).

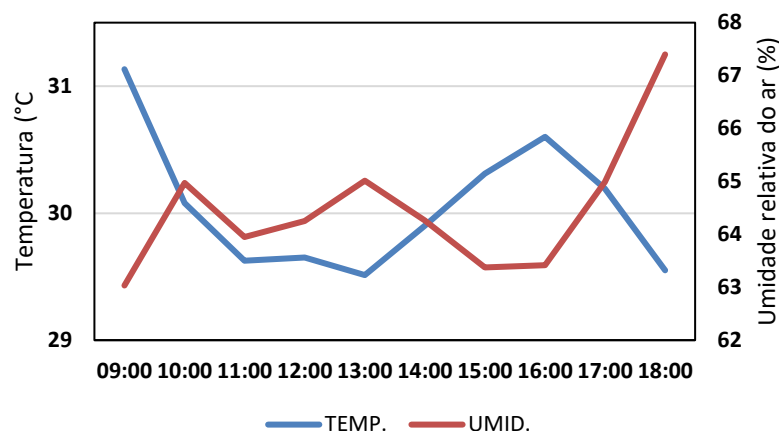
O coeficiente de correlação calculado para os resultados da umidade e da temperatura do terceiro dia de medição do primeiro período avaliado resultou em $R^2 = -0,892$. Este resultado apresenta forte correlação entre as variáveis. O coeficiente também é negativo pelo mesmo motivo das variáveis possuírem comportamento inverso (enquanto um cresce o outro decresce).

Já para os dados decorrentes do segundo período de avaliação (abril), os resultados da correlação entre a umidade relativa do ar e da temperatura estão apresentados nos Gráficos 13 para marca Instrutherm e Gráfico 14 para o ESP8266.

Gráfico 13 – Relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar– Instrutherm (abril./2019)

Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 14 – Relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar– ESP8266 (abril./2019)



Fonte: Autoria própria (2019).

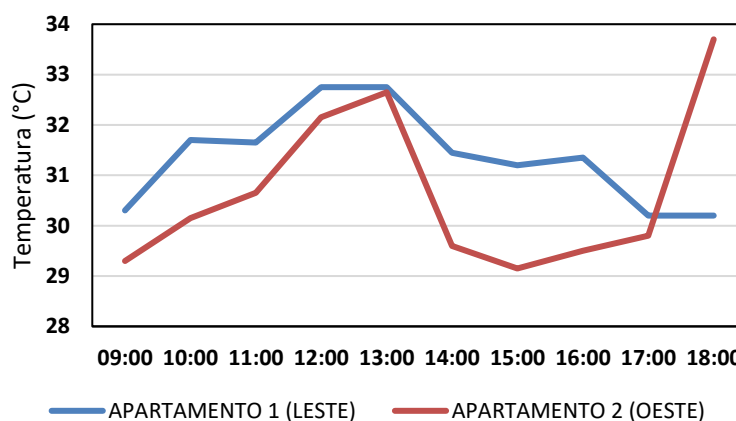
O valor da correlação para os resultados obtidos pelo equipamento da marca Instrutherm é de $R^2 = -0,986$. Enquanto que a correlação entre a temperatura e a umidade relativa do ar registradas pelo equipamento montado pela Internet das Coisas, o ESP8266, é de $R^2 = -0,993$. De forma geral, os resultados avaliados pelo segundo período de medição foi maior do que o primeiro período, possivelmente, este fato pode ser explicado pelas precipitações mais elevadas ocasionadas no último período de medição. No entanto, o comportamento entre as componentes climáticas dos dois períodos apresentaram-se muito semelhantes.

4.6 Diferença entre apartamento com orientações solares opostas

As orientações leste e oeste têm características similares em termos de insolação, embora em momentos diferentes do dia. As fachadas voltadas para o leste recebem sol pela manhã (do nascente ao meio dia). Nas fachadas voltadas para o oeste ocorre o contrário, recebem sol pela tarde (do meio-dia ao ocaso). Em geral, ambientes voltados para o oeste tendem a ser mais quentes do que os voltados para leste, apesar de receberem o mesmo número de horas de sol, porque recebem sol no período do dia em que a inércia térmica proveniente da noite anterior, chamada de frescor noturno, já foi vencida (MASCARÓ, 1985). No entanto, este trabalho testou a diferença entre dois apartamentos do mesmo pavimento e com as mesmas características arquitetônicas, porém com disposições solares opostas.

Para tanto, foram elaborados gráficos com dados de temperatura do último dia de medição com os dados registrados pelo equipamento da marca Instrutherm. O Gráfico 15 abaixo corresponde ao primeiro período de medição (mês de fevereiro). Pode-se observar que as temperaturas foram mais elevadas no apartamento 1 (voltado ao leste) durante boa parte do dia, até as 17h00, mas a partir deste horário houve, no apartamento 2, uma ascensão de 29,80°C até 33,70°C, aproximadamente 4°C até as 18h00. O apartamento 2 (voltado ao oeste) passou por uma queda de temperatura no período vespertino, que pode ser explicada devido à ocorrência de uma chuva rápida neste período.

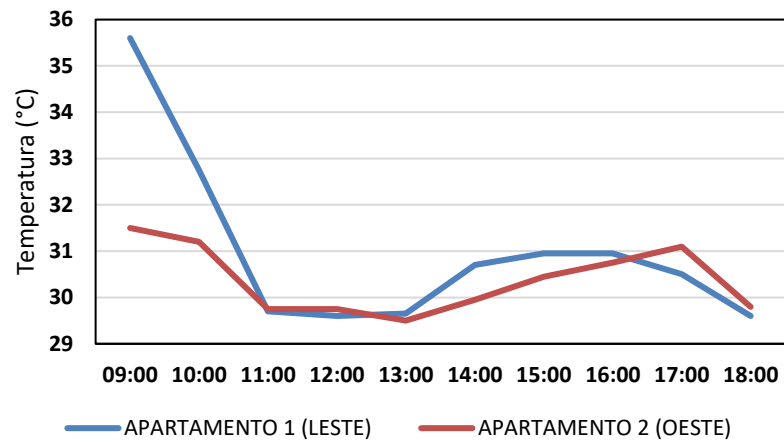
Gráfico 15 – Temperatura interna de apartamentos com diferentes orient. solares – fev./2019



Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 16 apresentam-se os dados de temperatura do último dia para cada apartamento, correspondente ao segundo período de medição (mês de abril). Os dados foram registrados pelo equipamento da marca Instrutherm. Pode-se observar que as temperaturas foram mais elevadas no apartamento 1 (voltado ao leste) até às 11h00, no período das 11h00 às 13h00 os dois apartamento apresentaram resultados bem semelhantes, e a partir das 13h00 até às 16h00 o apartamento 1 voltou a receber maiores temperaturas. Após as 16h00 (até às 18h00) o apartamento 2 (voltado ao oeste) permaneceu com temperaturas maiores do que o apartamento 1.

Gráfico 16 - Temperatura interna de apartamentos com diferentes orient. solares – abril/2019



Fonte: Autoria própria (2019).

Por fim, pode-se afirmar que a diferença entre os dois apartamentos, com orientações solares opostas (leste e oeste), é caracterizada pelo período da manhã com incidência solar intensa na fachada leste, enquanto que no período vespertino a radiação solar incide vigorosamente na fachada oeste. Como houve chuva nos dois períodos analisados, a diferença não mostrou-se significadamente alta no decorrer das medições. No entanto, o apartamento 1, orientação voltada ao leste, mostrou-se com temperaturas tão elevadas quanto o apartamento voltado ao oeste.

5 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES

A aplicação da norma de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013), é um grande avanço nas edificações habitacionais, pois determina que os profissionais envolvidos sejam responsáveis por atender o nível de desempenho especificado desde o projeto, por toda a vida útil da construção. No entanto, Borges (2013) afirma que embora o conceito seja simples de ser entendido, sua aplicação prática é difícil. Assim, na configuração atual do mercado, é notável a necessidade de novas tecnologias que sejam mais eficientes e que possam contribuir para que o setor continue a crescer.

Borges (2013) enfatiza que as empresas brasileiras, especialmente as de pequeno porte, não têm uma cultura de atendimento de normas técnicas e terão que evoluir tecnicamente para atender a NBR 15.575 (ABNT, 2013). Para tanto, ensaios são necessários para inserção das tecnologias inovadoras. Dessa forma, a análise da aplicação de Internet das Coisas nos procedimentos de medições determinados pela NBR 15575 (ABNT, 2013), contribuiu com a caracterização do entorno do empreendimento de forma mais acessível. Possibilitando a popularização do monitoramento das componentes climáticas no entorno da edificação, e consequentemente, o monitoramento do desempenho térmico do empreendimento, pois sabe-se que a caracterização dos dados das componentes climáticas são fundamentais para o atendimento do desempenho térmico das edificações.

Dentro da análise do desempenho térmico, demonstrou-se o não atendimento dos critérios estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013) para o empreendimento estudado, considerando os dois procedimentos realizados: método simplificado e medição *in loco*. Isso pode ser explicado pela prática construtiva encontrada nas construções de Palmas – TO, pois a escolha dos materiais utilizados na edificação (fachada em pele de vidro), assim como, a escolha de orientação das fachadas (fechamento transparente voltado ao oeste) não possuem uma concepção baseada no desempenho térmico, mesmo sabendo que o clima de Palmas possui características de desconforto térmico na maior parte do ano.

Foram esclarecidos conceitos importantes para o entendimento do desempenho térmico de uma edificação e como eles caracterizam o empreendimento. Parâmetros como a transmitância térmica, a capacidade térmica e a área mínima de ventilação dão insumo para análise das condições relativas ao conforto térmico oferecido ao usuário. A transmitância térmica demonstra a facilidade com que o calor é transmitido através do sistema em questão,

enquanto a capacidade térmica informa a quantidade de energia necessária para aumentar em uma unidade a temperatura.

Através da avaliação pelo método simplificado, aplicaram-se os conceitos disponíveis nas normas brasileiras para os dois sistemas construtivos encontrados na edificação a fim de se ter uma análise completa do comportamento térmico. Percebeu-se que todos os requisitos propostos pela norma de desempenho foram atendidos pela vedação vertical externa em alvenaria de blocos cerâmicos, enquanto que o vidro não atendeu nenhum dos requisitos avaliados. Vale ressaltar durante a avaliação pelo método de medições *in loco*, o apartamento apresentou baixo desempenho térmico, pois a temperatura interna nos apartamentos eram superiores à temperatura externa na maior parte do tempo. Este fato demonstra que a ABNT NBR 15.575 está branda em relação aos seus parâmetros de avaliação simplificada, visto que, do ponto de vista do autor como usuário, em dias quentes na cidade de Palmas é indispensável à utilização de condicionadores de ar.

Durante a avaliação do desempenho térmico, foram identificadas algumas lacunas no que diz respeito aos critérios e à aplicação da NBR 15575 (ABNT, 2013). No método simplificado, percebeu-se que a classificação geral do zoneamento bioclimático não considera especificidades locais e regionais do clima, tornando-se necessário inserir o contexto climático de Palmas – TO nas normas de desempenho em edificações vigentes. Semelhantemente aos resultados encontrados por Almeida, Reinado e Silva (2016), na medição *in loco*, pode-se citar como lacuna a utilização de apenas da temperatura como variável. As análises deste trabalho mostraram que a umidade está diretamente relacionada com os dados de temperatura. E também, para o dia típico, a norma não considera a influência de outras componentes climáticas, como a precipitação, que influenciou demasiadamente nesta pesquisa. Para uma análise de desempenho, a avaliação apenas do último dia, após a sequência de três dias, foi considerada bem reduzida nesta pesquisa.

Através da avaliação do desempenho térmico para apartamentos com diferentes orientações solares, leste e oeste, conclui-se que o apartamento voltado ao oeste recebeu incidência de radiações solares mais intensas em dois dias, conseqüentemente as temperaturas foram mais elevadas, pelo fato das condições climáticas retratarem céu aberto, com a presença de poucas nuvens. Nos demais dias, as condições de conforto térmico foram bem semelhantes para os dois apartamentos, diferenciando apenas o horário do pico de temperaturas máximas,

isto devido ao fato de que no período estudado houve precipitações, e o céu apresentava-se encoberto por nuvens.

Em relação ao estudo de aplicação de um novo equipamento para o procedimento de medições na avaliação do desempenho térmico, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), pode-se constatar que as respostas obtidas pelos três equipamentos foram analisadas estatisticamente, e nesta pesquisa, demonstrou-se que a Internet das Coisas tem futuro promissor não só para equipamentos de registro de temperatura e umidade, mas também para outras aplicações de determinação do desempenho das habitações. Este novo sistema de monitoramento trouxe vantagens econômicas, possibilitando que pequenas empresas, acadêmicos, e até mesmo usuários tenham condições de avaliar os empreendimentos de acordo com as normas vigentes.

Deve-se ter em vista as limitações desta pesquisa, pois é apenas válida para cidades que, como Palmas, encontram-se na zona bioclimática 7 e para empreendimentos que possuam características similares às apresentadas neste estudo. Para as demais zonas e características, indica-se a confecção de novos estudos a fim de verificar a validade e conformidade dos parâmetros particulares destas edificações. Em relação ao zoneamento apresentado pela normas de desempenho em edificações vigentes, visualizou-se necessidade de inserir o contexto climático de Palmas – TO, considerando suas especificidades e afins.

Outro ponto a ser considerado é o fato de as informações necessárias para a obtenção dos parâmetros para comparação dos níveis mínimos da ABNT NBR 15.575 não estarem consolidadas em um único documento. A norma faz sempre referência a outras normas, como a ABNT NBR 15.220, dispersando as informações e dificultando a utilização do documento. Dentre as limitações encontradas nesta pesquisa, teve-se a limitação do cronograma, pois percebeu-se importante observar o desempenho do edifícios ao longo de todas as estações do ano.

Considerando a norma em seu texto atual, sugere-se ainda a realização de mais pesquisas, considerando um maior número de dias de análise, além da aplicação do mesmo procedimento metodológico em outros edifícios de Palmas, situados em contextos (entornos) urbanos diferentes, tais como em proximidade ao lago e em proximidade aos parques e bosques. E também, sugere-se o teste de diferentes materiais de vedações, nestes diferentes contextos urbanos de Palmas, no decorrer de um ano inteiro, contribuindo para a avaliação do desempenho.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001-** Sistemas da Qualidade – Modelo para garantia da qualidade para projeto, produção, instalação e serviços associados. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220** – Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-3**, Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575** – Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ALECRIM, E. **O que é Internet das Coisas (Internet of Things)?**. 2017. Disponível em: <<https://www.infowester.com/iot.php>> Acesso em: 14 de março de 2019. Acesso em: 10/04/2019.

ALMEIDA, Y. F. de; REINALDO, R. L.; SILVA, L. F. G. da. **Análise de desempenho térmico de edificações:** um estudo de caso na cidade de Palmas, TO. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16, São Paulo, set. 2016. Anais.. Porto Alegre: ANTAC, 2016. P. 428-438.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of fundamentals**. Atlanta, GA: ASHRAE, 2013. CD-ROM

ASIN, A.; GASCON, D. **50 Sensor Applications for a Smarter World**. Libelium Comunicaciones Distribuidas, Technical Report, 2012.

BAUERMEISTER, Giovanni. **Guia do Usuário do ESP8266**. 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/guia-do-usuario-do-esp8266/>> Acesso em: 14 de março de 2019.

BÉRGAMO, L. R., **Norma de desempenho estimula mudanças na grade curricular e na estrutura dos cursos formação de engenheiros e arquitetos**. [S. I.]: Construção, 2014. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negociosincorporacao-construcao/155/norma-de-desempenho;-norma;-desempenho;-abnt;- norma-tecnica;-curso;-formacao;-312953-1.aspx>> Acesso em: 07 jul. 2014.

BIM DICTIONARY, **BIM/IoT Interfacing**. Disponível em: < <https://bimdictionary.com/>>. Acesso em 08 de jul. 2017.

BORGES, C. A. M.; SABBATINI, F. H. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/515. São Paulo: UPUSP, 2008.

BORGES, C. A. **O significado de desempenho nas edificações**. Construção Mercado, São Paulo, edição 103, fevereiro 2010.

BORGES, C. A. M. **A importância da NBR 15575 para melhoria da qualidade das habitações brasileiras**. AECweb, 2013. Disponível em: < https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-importancia-da-nbr-15575-para-melhoria-da-qualidade-das-habitacoes-brasileiras_7296>. Acesso em: 10/04/2019

CALLISTER, William. **Materials Science and Engineering - An Introduction**. 7.ed. York: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

CANDIDO C, LAMBERTS R., BITTENCOURT L., DEAR R.. **Aplicabilidade dos limites de velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos**. Revista Ambiente Construído. Porto Alegre, v.10, n.4, p.59-68, out/dez 2010.

CARDOSO, J.M. et. al (2018). **Aplicação De Conceitos Estatísticos No Refinamento De Cálculo Para O Dimensionamento De Lajes Em Concreto Armado**. Anais do XLVI do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) 2018.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção Fundamentos. **Análise dos critérios de atendimento à norma de desempenho ABNT NBR 15575**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção.- Brasília. CBIC, 2013a.124p.:il

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção Fundamentos. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção.- Brasília. CBIC, 2013b.311p.:il

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, out/dez. 2014

CORBIOLI, Nanci. **Construtoras estão descobrindo os caminhos para superar dúvidas e dificuldades para o atendimento da NBR 15.575**. Técnica, São Paulo, edição 235, p.28-35, outubro 2016.

CORDOVIL, L. A. B. L. **Estudo da ABNT NBR 15575 – “Edificações habitacionais – Desempenho” e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

DOWNING, D.; CLARK, J. **Estatística Aplicada**. 3 ed. Trad. Por Alfredo Alves de Farias. São Paulo: Editora Saraiva, 2010. 351p.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Plano decenal de expansão de energia 2026**. Relatório Brasil. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro – RJ: EPE, 2017.

EUROPEAN COMMISSION. **Vision and Challenges for Realising the Internet of Things**. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2010. 229 p.

EVANS, J. M.; Schiller, S. **Diseño bioambiental y arquitectura solar**. 3ª ed. Série de Ediciones Prévias. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Buenos Aires, Argentina. 1994.

EXPOSTI, K. D. **Classificação climática de Köppen-Geiger**. InfoEscola. Licenciatura em Geografia UNESP, 2013. Disponível em: < <https://www.infoescola.com/geografia/classificacao-climatica-de-koppen-geiger/>>. Acesso em: 15/03/2019

FERNANDES, E. M. G. P. **Estatística Aplicada**. Universidade do Minho, Braga, 1999.

FREITAS, A. O.; TAVARES, S. G.; SANTOS, R. S.; OLIVEIRA, M. C. A. **Estudos bioclimáticos e tecnologias para elaboração de projeto arquitetônico em Palmas (TO)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. Anais... Canela: ENTAC, 2010.

FREITAS, L. **Internet das Coisas na construção: 4 exemplos incríveis!** 2018. Disponível em: <<https://www.mega.com.br/blog/internet-das-coisas-na-construcao-4-exemplos-incriveis!-8262/>>. Acesso em: 10/03/2019

GOULART, S.V.G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. 1997. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Núcleo em Pesquisa em Construção/UFSC, Florianópolis.

GRAF, H. F. **Transmitância Térmica & Energia Incorporada na Arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma NBR 12721**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

GUBBI, J. et al. **Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions**. Future Generation Computer Systems, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013. doi:<https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>. 2013

HALO. **Tecnologia: qual o impacto e as aplicações da IoT na construção civil?** 2018. Disponível em: <<http://halonoriedade.com.br/qual-o-impacto-e-as-aplicacoes-da-iot-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 05/04/2019

HOUAISS, A. & M. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. 1 ed. Rio de Janeiro:Objetiva. 1256p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas temáticos**. 2011. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos>>. Acesso em: 21/11/2018

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa** (BDMEP). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

ISIKDAG, U. **Enhanced Building Information Models**. Springer, 2015

ISO 6241: 1984 - **Performance Standards in Building – principles for their preparation and factors to be considered**, London,1984.

ISO 9001: 1987 - **Quality management systems – Requirements**, Geneva,1987.

ISO 7726: 1998, **Ergonomics of the thermal environment—Instruments for measuring physical quantities**, London,1998.

JORGE, F. V. **A dinâmica pluvial do clima subtropical: variabilidade e tendência no sul do Brasil**. 181 p. Tese (Doutor em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição. São Paulo: ProLivros, 2013.

LAMBERTS, R.; DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, março de 2016.

LEVIN, Jack; FOX, James Alan; FORDE, David R.. **Estatística para ciências humanas**. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

LI, S.; DA XU, L.; ZHAO, S. **The internet of things: a survey**. Information Systems Frontiers, v. 17, n. 2, p. 243-259, 2015.

LIMA, T. B. **Análise de desempenho térmico de edificações habitacionais: desenvolvimento de interface BIM para avaliações automatizadas segundo as normas ABNT NBR 15575 e ABNT NBR 15220**. 86 p. Monografia (Graduação em Engenharia da Construção Civil). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

LORENZI, Luciani Somensi. **Análise Crítica e Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaios Experimentais de Desempenho à Luz da ABNT NBR 15575 (2013) para Edificações Habitacionais de Interesse Social Térreas**. 2013. 222. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MACHADO, F. A.; RUSCHEL, R. C. **Soluções integrando BIM e Internet das Coisas no ciclo de vida da edificação: uma revisão crítica**. PARC Pesq. em Arquit. e Constr., Campinas, SP, v. 9, n. 3, p. 204-222, set. 2018.

MACIEL, A. C. F. **Análise da Demanda Energética para Climatização de Fachadas Ventiladas para Regiões Climáticas Brasileiras**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD - 008A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 264p. 2018

MAHL, R. E.; ANDRADE, J. J. O. Aplicabilidade da norma NBR 15.575/2008 edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho: estudo de caso e análise crítica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. Anais... Canela: ENTAC, 2010.

MASCARÓ, Lúcia R. Energia na Edificação. São Paulo: Projeto, 1985.

MATTOS, T. L. **Análise do desempenho térmico de habitações populares da Microrregião de Guaratinguetá – SP**. 2015. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

MOBUSS. **Como a Internet das Coisas (IoT) pode transformar a gestão de obras na indústria da construção**. 2018. Disponível em: <<https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/internet-das-coisas-na-construcao/>>. Acesso em: 10/03/2019

MORAIS, José. **O que é ESP8266 - A Família ESP e o NodeMCU**. 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/o-ue-esp82-nodemcu/>> Acesso em: 14 de março de 2019.

NAKAMURA, J. **Minha casa na mira**. Revista Construção Mercado, São Paulo, v. 132, jul. 2012.

NUNES, G.C et. Al (2017). **Desenvolvimento de argamassa para alvenaria estrutural com reforço de fibras de aço curtas: para uma diminuição de fissuras**. Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2017.

OKATOMO, P. S. **Os impactos da norma brasileira de desempenho sobre o processo de projeto de edificações residenciais**. 2015. 160 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2015.

OLIVEIRA, R. R. **Uso do microcontrolador ESP8266 para automação residencial**. 55 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Escola Politécnica UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

PAZ, Luis Hildebrando Ferreira. **A Influência da vegetação sobre o clima urbano de Palmas – TO**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Brasília- DF, 2009. 169 f

PROJETEEE. **Componentes construtivos**. 2019. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/>>. Acesso em: 12/03/2019

RAC - Requisitos de Avaliação de Conformidade do PBEEDIFICA. 2013. Anexo Geral V – **Catálogo de Propriedades Térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Anexo da Portaria INMETRO Nº 50/ 2013. Disponível em: <file:///AnexoV_CatalogoPropriedadesTermicas%20v27NOV2017.pdf>. Acesso em: 10/04/2019.

RAJASEKAR, E.; RAMACHANDRAIAH, A. **Adaptive comfort and thermal expectations – a subjective evaluation in hot humid climate**. In: ADAPTING TO CHANGE: NEW THINKING ON COMFORT, 2010, Windsor. Proceedings. . p. 1 – 18. London: Network For Comfort And Energy Use In Buildings, 2010.

RIBEIRO, M. **Você sabe a importância da tecnologia na construção civil?** Fev. 2017. Disponível em: <<https://maiscontroleerp.com.br/tecnologia-na-construcao-civil/>> Acesso em: 05/04/2019

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting Buildings and Cities for Climate Change — A 21st Century Survival Guide**. Second Edition, Architectural Press, New York. Disponível em: http://library.uniteddiversity.coop/Ecological_Building/Adapting_Buildings_and_Cities_for_Climate_Change.pdf. Acesso em: 07/02/2019. 2009

RORIZ, M. **Desempenho térmico e as paredes de concreto (entrevista)**. Núcleo Parede de Concreto. 2014?. Disponível em: < <http://nucleoparededeconcreto.com.br/destaque-interno/desempenho-termico-e-as-paredes-de-concreto>>. Acesso em: 05/04/2019

SANTOS, M. B.; GOUVEIA, F. P. **Análise do desempenho térmico de habitações de interesse social construídas em paredes de concreto**: Um estudo de caso em Tucuruí – PA. Revista de Engenharia Civil, Minho, n. 55, p. 5-18, julho 2018.

SANTOS, L. C. **IoT (internet of things) na construção civil**. 2018. Disponível em: <<http://domtotal.com/noticia/1266453/2018/06/iot-internet-of-things-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 10/03/2019

SHIN, Herbert Berndt. **Norma de Desempenho NBR 15575**: Estudo das práticas adotadas por construtoras e dos impactos ocorridos no mercado da Construção Civil. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, L. F. G. **Percepção climática e conforto térmico: contribuição ao estudo interdisciplinar dos aspectos objetivos e subjetivos do clima em Palmas, TO** . Palmas, 2018. 550 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, 2018a

SILVA, L. F.G. **Anotações em sala de aula**. Disciplina de Conforto Térmico. Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, em 2018b.

SILVA, M. A. C. **Necessidades de revisão da ABNT NBR 15575 em relação ao desempenho térmico e lumínico de edificações habitacionais**. Março, 2018c. Disponível em:<<https://cbic.org.br/inovacao/2018/03/29/necessidades-de-revisao-da-abnt-nbr-15575-em>

relacao-ao-desempenho-termico-e-luminico-de-edificacoes-habitacionais/> Acesso em: 06/04/2019

SIQUEIRA, T. C. P. A.; AKUTSU, M. ; LOPES, J. I. E.; SOUZA, H. A. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, vol. 58, n. 2, abril/junho 2005.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma NBR 15575**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Brasília, 2013. Anais. Brasília: ANTAC, 2013.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **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, out/dez. 2014.

SOUZA, B. M. S. **Avaliação do Desempenho Térmico em Projeto de Unidade Habitacional Multifamiliar com Base na Metodologia da ABNT NBR 15.220/2005 e nos Requisitos da ABNT NBR 15.575/2013**. 40 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

SOUZA, J. L. P. **Desafios na implantação do nível superior da norma de desempenho em edificação residencial em novo Hamburgo/RS**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

SUCCAR, B. **Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders**. Automation in Construction, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>. 2009.

SUCCAR, B.; SALEEB, N.; SHER, W. **Model Uses: Foundations for Modular Requirements Clarification Language**. In: AUSTRALASIAN UNIVERSITIES BUILDING EDUCATION (AUBEA2016), 2016. Proc... Cairns, Australia, 2016.

TROMBINI, R. **Internet das coisas (IoT): o que é e onde aplicar**. Disponível em: <https://eescjr.com.br/blog/iot-o-que-e-e-onde-aplicar/?gclid=Cj0KCQjwg73kBRDVARIsAF-kEH9zJStAgm_slfo887mR5jXMu63Sqjtu8oN0C3ARdLdq9xc3dtqe1EaApMbEALw_wcB> Acesso em: 14 de março de 2019.

VERMESAN, O. et al. **Internet of things strategic research roadmap**. In: VERMESAN, O.; FRIESS, P. (Ed.). Internet of Things: Global Technological and Societal Trends. 1 ed. Aalborg: River Publishers, 2011, p.9-52.

VIANNA, E. O. Anotações em sala de aula, durante a Disciplina Elementos de Arquitetura e Urbanismo, ministrada no Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, em 2016.

VIANNA, E. O. **O Campo Térmico Urbano - Ilhas de Calor em Brasília – DF**. 2018. 267 p. Tese (Doutorado - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018