

UFAL | DEHA

Míryan Patrícia Tenório Ferreira

Orientadora: Juliana Oliveira Batista

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO COM BASE EM CRITÉRIOS NORMATIVOS EM APARTAMENTOS  
REPRESENTATIVOS DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA EM MACEIÓ – AL.**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Míryan Patrícia Tenório Ferreira

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO COM BASE EM CRITÉRIOS  
NORMATIVOS EM APARTAMENTOS REPRESENTATIVOS DO PROGRAMA  
MINHA CASA MINHA VIDA EM MACEIÓ – AL.**

Maceió  
2019

MÍRYAN PATRÍCIA TENÓRIO FERREIRA

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO COM BASE EM CRITÉRIOS  
NORMATIVOS EM APARTAMENTOS REPRESENTATIVOS DO PROGRAMA  
MINHA CASA MINHA VIDA EM MACEIÓ – AL.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Oliveira Batista

Maceió  
2019

**Catlogação na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4 - 661

F383a Ferreira, Míryan Patrícia Tenório.  
Avaliação do conforto térmico com base em critérios normativos em apartamentos representativos do programa minha casa minha vida em Maceió-AL / Míryan Patrícia Tenório Ferreira. – 2019.  
192 f.: il. color.

Orientadora: Juliana Oliveira Batista.  
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 169-176.

Apêndices: f. 177-190.

Anexos: f. 191-192.

1. Habitação de interesse social. 2. Conforto térmico. 3. Desempenho térmico. 4. Eficiência energética. 5. Programa Minha Casa Minha Vida – Maceió (AL).  
I. Título.

CDU: 728.1(813.5)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MÍRYAN PATRÍCIA TENÓRIO FERREIRA

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO COM BASE EM CRITÉRIOS  
NORMATIVOS EM APARTAMENTOS REPRESENTATIVOS DO PROGRAMA  
MINHA CASA MINHA VIDA EM MACEIÓ – AL.

Dissertação de mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e  
Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e  
Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas  
como requisito final para a obtenção do grau de  
Mestre em Arquitetura e Urbanismo

APROVADA em: 10/04/2019

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dra. JULIANA OLIVEIRA BATISTA  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



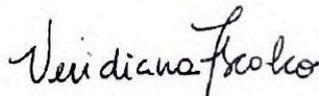
---

Prof. Dr. LEONARDO SALAZAR BITTENCOURT  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



---

Prof. Dra. MARIA LÚCIA GONDIM DA ROSA OITICICA  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



---

Prof. Dra. VERIDIANA ATANASIO SCALCO  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFSC

# AGRADECIMENTOS

---

Agradeço especialmente à minha mãe, **Patrícia**, por todo o carinho e apoio, pelo seu infindável amor e dedicação. Ao meu pai, **Cícero**, e ao meu irmão, **Mário**, pelo suporte e contribuição na minha formação pessoal. Sou grata especialmente ao meu irmão, pela ajuda na tradução do resumo deste trabalho.

Ao **Júnior**, pela paciência e companheirismo, pelos carinhos e sorrisos, que tornaram essa caminhada mais leve.

À minha orientadora, **Juliana Batista**, pelo exemplo de comprometimento, por todo o suporte e ensinamentos que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional desde a graduação.

Aos professores **Leonardo Bittencourt, Maria Lúcia Oiticica e Veridiana Scalco**, componentes da banca examinadora, pela disponibilidade e valiosas contribuições.

Ao funcionário do condomínio Village das Fontes, **Laelcio**, por me acompanhar, porta à porta, na busca pelos estudos de caso. Aos moradores das unidades habitacionais monitoradas, que abriram as portas de suas casas e possibilitaram a realização deste trabalho: **Bruno, Leila, Nina e Valquíria**.

Aos colegas do mestrado, em especial à **Jéssica**, por toda a troca de conhecimento e por dividir as angústias e conquistas deste período.

À **Suzany**, por ser prima, irmã e amiga em uma só pessoa. Grata pela ajuda na elaboração da capa deste trabalho.

Aos amigos que compartilharam comigo mais essa conquista. **Marianna, João, Ísis e Davi**, por se fazerem sempre presentes e proporcionarem momentos de risos e descontração em meio às dificuldades. **Binha, Bia, Biazinha, Carol, Cati, Manu e Taísa**, presentes que a arquitetura me deu, por todo o carinho e alegrias compartilhadas. **Aninha e Victor**, que me acompanham desde a infância, por permanecerem e compreenderem minhas ausências. **Lili, Min, Gabi e Nani**, por serem apoio e saudade constantes.

À **Capes**, pela bolsa de estudos concedida durante os dois anos de mestrado.

Com o intuito de promover inclusão social e reduzir o déficit habitacional, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), lançado em 2009, foi responsável pela construção de 30.780 unidades habitacionais (UHs) na cidade de Maceió entre 2009 e 2014. Na prática, o PMCMV atua em favor dos interesses individuais, sendo caracterizado por uma produção massiva que implica em condições térmicas inadequadas. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de habitação de interesse social multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida, localizada na cidade de Maceió/AL. Para tanto foi definido um estudo de caso relevante no contexto da produção do PMCMV na cidade de Maceió, que consiste em edificação de 3 pavimentos no bairro do Benedito Bentes. Foram selecionadas 4 UHs para o estudo, sendo duas no térreo (M002-TP e M007-TN) e duas no último pavimento (R202-CP e A207-CN), caracterizadas como “situação favorável” e “situação desfavorável” à insolação e à ventilação. Para a avaliação do desempenho térmico foi realizado o monitoramento da temperatura do ar no período do verão e medições de velocidade do ar. Os dados do monitoramento foram utilizados para identificar os limites da zona de conforto, de acordo com a ASHRAE Standard 55 (2017) e a temperatura efetiva nos ambientes, através do nomograma de temperatura efetiva. Por fim, estes dados foram confrontados com as avaliações da NBR 15575 (procedimento simplificado) e do RTQ-R (método prescritivo). Os resultados evidenciaram a influência da orientação e pavimento da UH e das condições de uso do ambiente nas avaliações. As UHs voltadas para o nascente registraram menor a quantidade de graus-hora de resfriamento e o menor percentual de horas em desconforto por calor: 30,72% no térreo (M007-TN) e 37,54% na cobertura (A207-CN). Estes foram os ambientes apresentaram os melhores níveis de eficiência energética pelo RTQ-R: nível C em ambos os pavimentos. Já as UHs voltadas para o poente apresentaram as maiores temperaturas e percentuais de horas em desconforto por calor: 57,45% no térreo (M002-TP) e 43,55% na cobertura (R202-CP). Estes ambientes apresentaram também as piores classificações segundo o RTQ-R: nível D no térreo e nível E na cobertura. Vale ressaltar que o ambiente M002-TP, com maior percentual de horas em desconforto, foi o único no qual as janelas permaneciam abertas a maior parte do tempo, sem a proteção de cortinas, resultando em maiores ganhos de calor devido à insolação direta e menor área para perda de calor que a cobertura. Na avaliação da NBR 15575 para o dia típico de verão, o apartamento térreo poente (M002-TP) foi o único ambiente que não atingiu o nível Mínimo. As medições de velocidade do ar evidenciaram o potencial de redução da temperatura efetiva interna em determinados pontos dos ambientes. No entanto, as avaliações do RTQ-R e da NBR 15575 determinam parâmetros apenas para o dimensionamento das aberturas, desconsiderando importantes aspectos que visam promover um bom aproveitamento da ventilação natural. Dessa forma, ficam evidentes as divergências existentes nos resultados das diferentes formas de avaliação, além da fragilidade na avaliação de alguns critérios como, por exemplo, a temperatura no dia típico de verão (NBR 15575) e a ventilação natural (NBR 15575 e RTQ-R), no que diz respeito à garantia do conforto térmico do usuário.

**Palavras-chave:** Conforto térmico. Habitação de interesse social. Desempenho térmico. Eficiência Energética. Programa Minha Casa Minha Vida – Maceió (AL).

The Minha Casa Minha Vida Program (PMCMV) was launched in 2009 with the intent of promoting social inclusion and overcome housing shortages and it was responsible for the construction of 30.780 housing unities in the City of Maceió between 2009 and 2014. In practice, the PMCMV acts in favor of private interests being characterized by a massive production that implies in inadequate thermal conditions. The aim of this work is to evaluate the thermal performance of a apartments building of the Minha Casa Minha Vida Program, located in the city of Maceió - AL. For this purpose, a relevant study case was defined in the context of the PMCMV production in the city of Maceió that consists of a 3 storey building in the Benedito Bentes neighborhood. Four unities were selected for the study, two on the ground floor (M002-TP e M007-TN) and two on the top floor (R202-CP e A207-CN), characterized as "favorable situation" and "unfavorable situation" due to insolation and ventilation. Air temperature monitoring and wind speed measurements were performed during the summer for the thermal performance evaluation. The monitoring data were used to identify the comfort zone limits according to the ASHRAE Standard 55 (2017) and the environment's effective temperature through the effective temperature nomogram. Finally, the data were compared with the evaluations of NBR 15575 (simplified procedure) and RTQ-R (prescriptive method). The results indicate the influence of the solar orientation and floor of the unities and the internal environment's use conditions in the evaluations. The east-facade unities registered the lowest amount of degree-hour of cooling and the lowest percentage of discomfort hours due to heat: 30,72% on the ground floor (M007-TN) and 37.54% on the top floor (A207-CN). These rooms were the ones that presented the best energy efficiency levels according to RTQ-: level C on both floors. The west-facade unities presented the highest temperatures and percentage of discomfort hours due to heat:57.45% on the ground floor (M002-TP) and 43.55% on the top floor (R202-CP). These rooms also presented the worst classifications according to the RTQ-R: levels D on the ground floor and level E on the top floor. It should be noted that the room M002-TP, that showed the highest percentage of discomfort hours, being the only room where the windows remained opened most of the time, without the protection of blinds, resulting in higher gains of heat due to direct insolation and smaller area for heat dissipation in compared to the top floor. The NBR 15575 evaluation for the typical summer day showed that the west-facade apartment on ground floor was the only room that did not achieve the minimal level. The measurement of wind speed indicated the potential for reduction of internal effective temperature at some places within the room. However, the evaluations of RTQ-R and NBR 15575 determine parameters for opening dimensions only, disregarding important aspects that aim to promote a good use of natural ventilation. Therefore, the divergences in the results of the different forms of evaluation are evident, as well as the fragility in the evaluation of some criteria such as, for example, the temperature of the typical summer day (NBR 15575) and the natural ventilation (NBR 15575 e RTQ-R), in terms of guaranteeing the user's thermal comfort.

**Keywords:** Thermal Comfort. Social housing. Thermal performance. Energy Efficiency. Minha Casa Minha Vida Program.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – (a) Localização da região Nordeste; (b) Localização do estado de Alagoas; (c) Localização do município de Maceió.....	16
Figura 2 – Divisão geomorfológica da zona urbana do município de Maceió, Alagoas.....	18
Figura 3 – Espacialização dos empreendimentos do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL, por faixa de renda.....	25
Figura 4 – Escala da quantidade de empreendimentos, por bairro, do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL.....	26
Figura 5 – Concentração de empreendimentos no bairro Cidade Universitária.....	28
Figura 6 – Concentração de empreendimentos no bairro Benedito Bentes.....	30
Figura 7 – Localização dos empreendimentos Faixa 1 e Faixa 2 no bairro do Benedito Bentes.....	31
Figura 8 – Localização do residencial Ouro Preto.....	32
Figura 9 – Esquema de avaliação disposto pelo RTQ-R.....	44
Figura 10 – Mapa da cidade de Maceió.....	54
Figura 11 – Imagem aérea do objeto de estudo.....	62
Figura 12 – Localização do objeto de estudo no bairro do Benedito Bentes.....	63
Figura 13 – Implantação dos Villages e Recantos.....	64
Figura 14 – Arranjo espacial dos objetos de estudo.....	65
Figura 15 – Planta baixa do pavimento tipo.....	66
Figura 16 – Esquema da trajetória solar e incidência dos ventos predominantes....	68
Figura 17 – Planta baixa das unidades habitacionais selecionadas.....	69
Figura 18 – Fechamentos laterais e aberturas para ventilação nas edificações selecionadas.....	71
Figura 19 – Equipamento HOB0 modelo UX100-003 da marca Onset, utilizado para as medições.....	72
Figura 20 – Identificação dos ambientes selecionados para o estudo.....	74
Figura 21 – Posicionamento dos equipamentos em planta baixa e corte.....	76
Figura 22 – Posicionamento do equipamento externo.....	77

Figura 23 – Proteção do equipamento HOBO externo. ....	77
Figura 24 – Localização e identificação das UHs selecionadas para o estudo.....	78
Figura 25 – Exemplo de aplicação da convenção adotada para a identificação das unidades habitacionais. ....	79
Figura 26 – Fotos dos equipamentos instalados no dormitório 02 do apartamento R202-CP.....	80
Figura 27 – Anemômetro modelo 45170, marca Extech, utilizado para as medições. ....	81
Figura 28 – Resistência térmica de algumas vestimentas.....	82
Figura 29 – Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas com vestimentas leves. ....	83
Figura 30 – Planilha de cálculo do desempenho da UH.....	90
Figura 31 – Rosa dos ventos com os quadrantes.....	91
Figura 32 – Planta baixa com indicação dos quadrantes de orientação geográfica disposto pelo RTQ-R. ....	92
Figura 33 – Carta solar das UHs voltadas para o poente (terminação 02). ....	96
Figura 34 – Carta solar das UHs voltadas para o nascente (terminação 07).....	97
Figura 35 – Planta baixa do ambiente com destaque para incidência dos ventos..	127
Figura 36 – Pontos de medição de velocidade do ar no dormitório M002-TP. ....	129
Figura 37 – Pontos de medição de velocidade do ar no dormitório M007-TN. ....	131
Figura 38 – Pontos de medição de velocidade do ar no dormitório R202-CP. ....	133
Figura 39 – Pontos de medição de velocidade do ar no dormitório A207-CN. ....	135
Figura 40 – Composição da coberta da edificação.....	139
Figura 41 – Composição das paredes da edificação.....	140
Figura 42 – Cores das paredes externas dos ambientes em estudo.....	141
Figura 43 – Fachadas frontais e laterais dos objetos de estudo.....	142
Figura 44 – Área efetiva de abertura para ventilação e iluminação.....	144
Figura 45 – Área efetiva de abertura para ventilação e iluminação.....	150
Figura 46 – Planta baixa com níveis de eficiência energética atingidos pelos ambientes.....	155
Figura 47: Especificações de projeto para a tipologia de edificações multifamiliares do PMCMV. ....	181
Figura 48 – Nomograma de temperatura efetiva, por dia de medição, da unidade M002-TP.....	185

Figura 49 – Nomograma de temperatura efetiva, por dia de medição, da unidade M007-TN.....	186
Figura 50 – Nomograma de temperatura efetiva, por dia de medição, da unidade R202-CP.....	187
Figura 51 – Nomograma de temperatura efetiva, por dia de medição, da unidade A207-CN. ....	188

# LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1 – Faixas de renda da primeira fase do PMCMV. ....	12
Tabela 2 – Características dos financiamentos do PMCMV por faixa de renda. ....	13
Tabela 3 – Faixas de renda do PMCMV de acordo com as fases do programa.....	14
Tabela 4 – Déficit habitacional em 2010.....	20
Tabela 5 – Quantidade de empreendimentos e unidades habitacionais (UHs), por faixa de renda, produzidas pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014. ....	22
Tabela 6 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão (NBR 15575).....	41
Tabela 7 – Transmitância térmica de paredes externas (NBR 15575). ....	42
Tabela 8 – Capacidade térmica de paredes externas (NBR 15575).....	42
Tabela 9 – Parâmetros admissíveis para áreas de abertura para ventilação em ambientes de permanência prolongada (NBR 15575).....	43
Tabela 10 – Parâmetros admissíveis para propriedades térmicas da cobertura. ....	43
Tabela 11 – Pré-requisitos específicos para a Zona Bioclimática 8 (RTQ-R).....	46
Tabela 12 – Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida na avaliação com base nos parâmetros estabelecidos pelo RTQ-R. ....	47
Tabela 13 – Normais climatológicas de Maceió, período 1981-2010. ....	55
Tabela 14 – Configuração arquitetônica dos empreendimentos multifamiliares Faixa 2.....	61
Tabela 15 – Composição e propriedades térmicas da envoltória. ....	70
Tabela 16 – Especificações técnicas do equipamento HOBO UX100-003.....	72
Tabela 17 – Resultados da aferição dos equipamentos de medição.....	73
Tabela 18 – Síntese das condições de monitoramento da temperatura e umidade do ar. ....	75
Tabela 19 – Síntese da convenção adotada para identificação das unidades habitacionais.....	79
Tabela 20 – Especificações técnicas do anemômetro modelo 45170, da Extech. ...	81
Tabela 21 – Síntese das condições de monitoramento da velocidade do ar.....	82

Tabela 22 – Parâmetros admissíveis para propriedades térmicas das paredes externas.....	84
Tabela 23 – Parâmetros admissíveis para áreas de abertura para ventilação. ....	85
Tabela 24 – Parâmetros admissíveis para propriedades térmicas da cobertura. ....	85
Tabela 25 – Dados dos dias típicos de verão e de inverno da cidade de Maceió/AL. ....	86
Tabela 26 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão. ....	87
Tabela 27 – Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para a Zona Bioclimática 8.....	88
Tabela 28 – Pré-requisitos de ventilação natural para a Zona Bioclimática 8. ....	88
Tabela 29 – Pré-requisitos de iluminação natural para a Zona Bioclimática 8.....	89
Tabela 30 – Definição dos quadrantes de acordo com a orientação geográfica. ....	91
Tabela 31 – Orientação geográfica das fachadas para fins de cálculo do RTQ-R, com base no norte verdadeiro. ....	91
Tabela 32 – Incidência solar direta em cada ambiente em estudo. ....	98
Tabela 33 – Síntese da temperatura do ar, amplitude térmica e amortecimento térmico mínimos, máximos e médios, por ambiente.....	105
Tabela 34 – Dias selecionados para análise. ....	107
Tabela 35 – Dados do monitoramento térmico no dia típico de verão (15/11/2018), por ambiente.....	110
Tabela 36 – Dados do monitoramento térmico no dia 21/02/2019 (temperaturas máximas externas), por ambiente.....	113
Tabela 37 – Dados do monitoramento térmico no dia 27/12/2018 (temperaturas mínimas externas), por ambiente. ....	115
Tabela 38 – Dados do monitoramento térmico no dia 08/12/2018 (maior amplitude térmica), por ambiente.....	118
Tabela 39 – Dados do monitoramento térmico no dia 22/01/2019 (menor amplitude térmica), por ambiente.....	121
Tabela 40 – Dados do monitoramento térmico no dia 28/01/2019 (maior ocorrência de precipitação), por ambiente. ....	123
Tabela 41 – Síntese dos resultados das medições de temperatura do ar nos dias selecionados para análise. ....	124
Tabela 42 – Ângulos de incidência dos ventos nas aberturas da UHs em estudo. ....	128

Tabela 43 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório M002-TP, no dia 18/12/2018. ....	130
Tabela 44 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório M002-TP, no dia 27/01/2019. ....	130
Tabela 45 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório M007-TN, no dia 18/12/2018. ....	132
Tabela 46 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório M007-TN, no dia 25/01/2019. ....	133
Tabela 47 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório R202-CP, no dia 11/01/2019. ....	134
Tabela 48 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório R202-CP, no dia 08/02/2019. ....	135
Tabela 49 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório A207-CN, no dia 01/02/2019. ....	136
Tabela 50 – Síntese dos resultados das medições de velocidade do ar. ....	138
Tabela 51 – Recomendações construtivas da NBR 15575 referentes às propriedades térmicas da cobertura. ....	140
Tabela 52 – Síntese da variação de cor da fachada dos objetos de estudo. ....	142
Tabela 53 – Absortância ponderada das paredes externas. ....	143
Tabela 54 – Recomendações construtivas da NBR 15575 referentes às propriedades térmicas das paredes. ....	143
Tabela 55 – Recomendações construtivas da NBR 15575 referentes às áreas de abertura para ventilação. ....	144
Tabela 56 – Recomendações de temperatura máxima para o dia típico de verão da NBR 15575. ....	146
Tabela 57 – Classificação do nível de desempenho dos ambientes no dia típico de verão. ....	146
Tabela 58 – Síntese dos resultados da classificação do nível de desempenho térmico por ambiente. ....	147
Tabela 59 – Recomendações construtivas do RTQ-R referentes às áreas de abertura para ventilação e iluminação. ....	150
Tabela 60 – Síntese do atendimento aos pré-requisitos da envoltória. ....	151
Tabela 61 – Planilha referente à envoltória, por ambiente. ....	152
Tabela 62 – Planilha referente aos pré-requisitos específicos, por ambiente. ....	153

Tabela 63 – Síntese da situação dos ambientes em relação aos limites da Zona de Conforto.....	160
Tabela 64 – Síntese dos critérios avaliados pela NBR 15575 e pelo RTQ-R.....	163
Tabela 65 – Localização e quantidade UHs dos empreendimentos Faixa 1 do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL.....	177
Tabela 66 – Localização e quantidade UHs dos empreendimentos Faixa 2 do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL.....	178
Tabela 67 – Localização e quantidade UHs dos empreendimentos Faixa 2 do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL.....	180
Tabela 68 – Ocorrência de Chuvas em dias com temperatura máxima abaixo de 30°C. .....	183
Tabela 69 – Ponderação da absorvância solar pela área para o ambiente R202-CP. .....	189
Tabela 70 – Ponderação da absorvância solar pela área para o ambiente M002-TP. .....	190
Tabela 71 – Ponderação da absorvância solar pela área para os ambientes M007-TN e A207-CN.....	190

# LISTA DE GRÁFICOS

---

Gráfico 1 – Proporção do déficit habitacional 2010 por componente.....	21
Gráfico 2 – Tipologias habitacionais dos empreendimentos produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.....	23
Gráfico 3 – Quantidade de empreendimentos por tipologia e faixa de renda produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.....	23
Gráfico 4 – Quantidade de UHs por tipologia e faixa de renda produzidas pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.....	24
Gráfico 5 – Consumo de energia elétrica por classe no ano de 2018. ....	35
Gráfico 6 – (a) Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil; (b) Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Nordeste.....	35
Gráfico 7 – Velocidade do vento em Maceió. ....	56
Gráfico 8 – Quantidade de empreendimentos por bairro, produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.....	58
Gráfico 9 – Tipologias habitacionais dos empreendimentos Faixa 2 produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014. ....	59
Gráfico 10 – Número de pavimentos dos empreendimentos da Faixa 2 produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014. ....	59
Gráfico 11 – Número de unidades habitacionais por pavimento dos empreendimentos da Faixa 2 produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014. ....	60
Gráfico 12 – Número de dormitórios dos empreendimentos da Faixa 2 produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014. ....	60
Gráfico 13 – Variação da temperatura externa.....	99
Gráfico 14 – Variação da temperatura externa, destacando-se temperaturas máximas abaixo de 30°C. ....	100
Gráfico 15 – Temperaturas horárias externas registradas através do equipamento HOBO, destacando-se o dia 08/12/2018 (maior amplitude térmica no período monitorado).....	101

Gráfico 16 – Temperaturas horárias externas registradas através do equipamento HOBO, destacando-se o dia 22/01/2019 (menor amplitude térmica no período monitorado).....	101
Gráfico 17 – Variação da temperatura do ar externa e no interior do ambiente M002-TP.....	102
Gráfico 18 – Variação da temperatura do ar externa e no interior do ambiente M007-TN.....	103
Gráfico 19 – Variação da temperatura do ar externa e no interior do ambiente R202-CP.....	104
Gráfico 20 – Variação da temperatura do ar externa e no interior do ambiente A207-CN.....	104
Gráfico 21 – Variação da temperatura do ar externa e no interior dos ambientes monitorados.....	105
Gráfico 22 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 13/11/2018 a 15/11/2018, destacando-se o dia típico de verão.....	108
Gráfico 23 – Variação da temperatura no dia típico de verão selecionado para análise (15/11/2018). .....	108
Gráfico 24 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 19/02/2019 a 21/02/2019.....	111
Gráfico 25 – Variação diária da temperatura do ar no dia 21/02/2019 (temperaturas máximas externas). .....	112
Gráfico 26 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 25/12/2018 a 27/12/2018.....	113
Gráfico 27 – Variação diária da temperatura do ar no dia 27/12/2019 (temperaturas mínimas externas). .....	114
Gráfico 28 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 06/12/2018 a 08/12/2018.....	116
Gráfico 29 – Variação diária da temperatura do ar no dia 08/12/2018 (maior amplitude térmica).....	117
Gráfico 30 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 20/01/2019 a 22/01/2019.....	119
Gráfico 31 – Variação diária da temperatura do ar no dia 22/01/2019 (menor amplitude térmica).....	120

Gráfico 32 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 26/01/2019 a 28/01/2019.....	122
Gráfico 33 – Variação diária da temperatura do ar no dia 28/01/2019 (maior ocorrência de precipitação).....	123
Gráfico 34 – Dia típico selecionado para análise.....	145
Gráfico 35 – Zona de conforto, segundo o método da ASHRAE Standard 55, para a cidade de Maceió/AL no período em estudo.....	156
Gráfico 36 – Zona de conforto adaptativo para a cidade de Maceió/AL no período em estudo, com destaque para a TBS externa.....	157
Gráfico 37 – Zona de conforto adaptativo com destaque para TBS do dormitório do apartamento M002-TP.....	158
Gráfico 38 – Zona de conforto adaptativo com destaque para TBS do dormitório do apartamento M007-TN.....	158
Gráfico 39 – Zona de conforto adaptativo com destaque para TBS do dormitório do apartamento R202-CP.....	159
Gráfico 40 – Zona de conforto adaptativo com destaque para TBS do dormitório do apartamento A207-CN.....	159
Gráfico 41 – Quantidade de horas em desconforto por ambiente.....	160
Gráfico 42 – Percentual de horas em desconforto por ambiente.....	161
Gráfico 43 – Grau médio por ambiente.....	161
Gráfico 44 – Variação da temperatura do ar externa e no interior dos ambientes monitorados em tamanho expandido.....	184

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
1.1.1	OBJETIVO GERAL	5
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
<b>1.2</b>	<b>ESTRUTURA DO TRABALHO</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>A PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO E A POLÍTICA HABITACIONAL BRASILEIRA</b>	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>A PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO DE MACEIÓ</b>	<b>16</b>
2.3.1	O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA EM MACEIÓ	21
<b>2.4</b>	<b>DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES</b>	<b>34</b>
2.4.1	CRITÉRIOS E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO	40
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA CIDADE DE MACEIÓ</b>	<b>54</b>
<b>3.2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS DO PMCMV (PERÍODO 2009 - 2014)</b>	<b>57</b>
<b>3.3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO</b>	<b>62</b>
<b>3.4</b>	<b>MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS INTERNAS E EXTERNAS</b>	<b>71</b>
<b>3.5</b>	<b>PARÂMETROS DE ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES ESTUDADAS</b>	<b>83</b>
3.5.1	CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ACORDO COM A NBR 15575	83
3.5.2	CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ACORDO COM O RTQ-R	87
3.5.1	ZONA DE CONFORTO DE ACORDO COM A ASHRAE STANDARD 55	93

<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>95</b>
<b>4.1</b>	<b>ANÁLISE DA INCIDÊNCIA SOLAR</b>	<b>95</b>
<b>4.2</b>	<b>MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DO AR</b>	<b>98</b>
4.2.1	DIA TÍPICO DE VERÃO: 15/11/2018	107
4.2.2	DIAS COM TEMPERATURAS MÁXIMAS EXTERNAS: 21/02/2019	110
4.2.3	DIAS COM TEMPERATURAS MÍNIMAS EXTERNAS: 27/12/2018	113
4.2.4	DIA COM MAIOR AMPLITUDE TÉRMICA: 08/12/2018	115
4.2.5	DIA COM MENOR AMPLITUDE TÉRMICA: 22/01/2019	118
4.2.6	DIA COM MAIOR OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO: 28/01/2019	121
4.2.7	CONSIDERAÇÕES SOBRE O MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DO AR	124
<b>4.3</b>	<b>MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DO AR</b>	<b>126</b>
4.3.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE AS MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DO AR	137
<b>4.4</b>	<b>AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO</b>	<b>139</b>
4.4.1	NORMA DE DESEMPENHO (NBR 15575)	139
4.4.2	REGULAMENTO TÉCNICO DE QUALIDADE PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS (RTQ-R)	148
4.4.2.1	Pré-requisitos Específicos da Envoltória	148
4.4.2.2	Cálculo do nível de Eficiência Energética da Envoltória	151
4.4.3	ASHRAE STANDARD 55	156
<b>4.5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ANÁLISES DE DESEMPENHO TÉRMICO</b>	<b>162</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>165</b>
<b>5.1</b>	<b>LIMITAÇÕES DO TRABALHO</b>	<b>167</b>
<b>5.2</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>167</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>169</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>177</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>191</b>

# 1 INTRODUÇÃO

---

Desde as primeiras manifestações de organização do homem em sociedade, o clima exerce forte influência em seus costumes (OLGYAY, 1998). Desta forma, a arquitetura advém de princípios intuitivos à prática de uma estruturação regionalista do método construtivo, tendo como ponto de partida a adequação da edificação ao clima e à cultura locais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A arquitetura tem, dentre outras funções, a capacidade de amenizar as sensações de desconforto impostas por adversidade climática e proporcionar condições ambientais tão confortáveis quanto o ambiente externo em climas amenos (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A partir do século XX, o processo de urbanização brasileiro começa a sofrer a interferência do desenvolvimento industrial. Neste período, o intenso processo de migração da população da área rural para as cidades agravou os problemas sociais e a dificuldade de acesso à moradia resultando, portanto, no crescimento de áreas ilegais. Houve ainda, associado ao desenvolvimento tecnológico, a proliferação de um *Estilo Internacional* na arquitetura, baseada na produção em larga escala sem levar em consideração as características climáticas locais. Assim, de forma a garantir o conforto ambiental no interior destas edificações, a arquitetura se tornou subordinada e dependente de mecanismos artificiais de iluminação e climatização (BRASIL, 2011a).

Com o intuito de reduzir o déficit habitacional, a partir da década de 1960 surgem os primeiros programas governamentais para promoção da habitação de interesse social (HIS). Na última década, o principal meio de produção habitacional para a população de baixa renda foi o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), lançado em 2009 pelo Governo Federal e responsável pela produção de 1 milhão de moradias em sua primeira fase.

Apesar de gerar uma expressiva quantidade de moradias, são recorrentes as críticas em torno do PMCMV, em especial referentes à qualidade das habitações e à

inserção urbana dos conjuntos habitacionais. Segundo Rolnik et. al (2015), um dos problemas do PMCMV é que, diante dos objetivos macroeconômicos por trás da sua criação, para viabilizar a produção de uma quantidade expressiva de habitações em um curto espaço de tempo foram feitas concessões em relação a inserção urbana dos empreendimentos.

Diante do investimento capitalista, os espaços urbanos se tornam cada vez mais lugares de troca, se caracterizando como mercadoria e sujeitos aos modos de uso e apropriação do mercado (CARLOS, 2001; HARVEY, 2013). Na história do processo de urbanização do Brasil, a questão fundiária atua como objeto definidor deste processo e, ainda, como barreira ao acesso a direitos sociais como habitação, por exemplo. Esta realidade, ditada pelo mercado imobiliário, limita a um contingente de pessoas abastadas a compra e incorporação dos lotes e decisões legais a respeito do uso e ocupação do solo, provocando a valorização e a desvalorização de áreas urbanas, que são refletidas nos preços e aluguéis dos imóveis na cidade (DUMONT, 2014).

A fragmentação<sup>1</sup> do espaço através da implantação do PMCMV corrobora a influência dos interesses privados na produção do espaço urbano. O mercado imobiliário contribui para a consolidação da realidade segregadora, atuando como fator determinante nas tomadas de decisões dos investimentos públicos e, conseqüentemente, na expulsão da população pobre, que não dispõe de recursos, da "cidade legal" para as áreas de desinteresse imobiliário, como as grotas e franjas da cidade.

As exigências realizadas pelo PMCMV têm sido insuficientes para garantir a qualidade dos projetos, que são modelos arquitetônicos reproduzidos em todo o território nacional, desvinculados dos condicionantes climáticos locais e que utilizam materiais de baixa qualidade, com o intuito de reduzir os custos e aumentar o lucro da iniciativa privada.

---

<sup>1</sup> A cidade fragmentada no Brasil é um reflexo do processo de urbanização, fundado nos preceitos do capitalismo, e que tem como base uma sociedade historicamente desigual (MONTE-MÓR, 2003; PINTAUDI, 2001). A cidade produzida de modo fragmentário colabora para uma formação urbana baseada em múltiplas centralidades, produzindo espaços pautados na diferenciação de classes e no uso exclusivo de bens comuns.

Além dos problemas de inserção urbana recorrentes nos empreendimentos do PMCMV, a reprodução em massa de modelos arquitetônicos, desvinculada do contexto local de implantação, acarreta em prejuízos ao desempenho térmico e, conseqüentemente, à eficiência energética das edificações.

A eficiência energética na arquitetura representa o potencial da edificação em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos seus usuários com um baixo consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Dessa forma, a edificação é mais eficiente energeticamente quando, ao comparar com outras edificações, proporciona condições semelhantes de conforto, porém com um menor consumo de energia.

No Brasil, em 1985, iniciaram-se as discussões para redução do consumo energético com a implantação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), instituído pelo Ministério de Minas e Energia e da Indústria e Comércio Exterior. Dezesseis anos depois, em 2001, foi decretada a Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001a), determinando o estabelecimento de níveis máximos de consumos e mínimos de eficiência para máquinas e aparelhos fabricados ou comercializados no país.

Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2018), o setor residencial foi responsável pelo consumo de 29% do total de energia elétrica utilizada no país em 2018, o qual, quando comparado aos demais setores, representa uma parcela significativa. Desse total, uma grande parcela do consumo energético residencial vem do uso de condicionadores de ar, que representa 20% do total na média nacional de consumo energético em residências. Na região Nordeste, este percentual chega a 27%, ou seja, residências com desempenho térmico inadequado conduzem a um maior consumo de energia elétrica para reestabelecer a sensação de conforto térmico.

Neste contexto, justificam-se investimentos no setor da construção civil que promovam a busca por soluções arquitetônicas energeticamente eficientes e climaticamente adequadas. Foi a partir da Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001a) que iniciou-se o surgimento de diversas normas, regulamentos e manuais em busca de melhorias quanto à eficiência energética no Brasil. No âmbito das edificações temos a NBR15220 (ABNT, 2005a) e NBR15575 (ABNT, 2013),

publicadas pela primeira vez em 2003 e 2008, respectivamente, e que tratam do desempenho de edificações. Já em 2009 e 2010, foram publicados os Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (INMETRO, 2010) e de Edificações Residenciais (INMETRO, 2012a), RTQ-C e RTQ-R respectivamente. Neles, são definidos os níveis de classificação e os procedimentos de avaliação da eficiência energética das edificações.

Diante do exposto, extraem-se três conceitos (desempenho térmico, eficiência energética e conforto térmico) que podem estar associados ao bem-estar do usuário. Para tanto, as edificações devem ser projetadas para um determinado nível de qualidade, proporcionando ambientes internos ao mesmo tempo confortáveis para o usuário e que gerem menor impacto ambiental.

Perante a necessidade emergente de desenvolvimento sustentável, busca-se o uso mais consciente dos recursos naturais e de novas tecnologias capazes de garantir a qualidade de vida das futuras gerações. Nessa esteira, maneiras de compreender e de fazer a arquitetura e as cidades do século XXI buscam sublinhar a preservação do meio ambiente como elemento dessa construção. Criam-se, deste modo, parâmetros tecnológicos e construtivos na arquitetura, com o auxílio de normas, regulamentos e certificações de cunho energético e ambiental, que atuam como importante ferramenta do setor energético em muitos países (MORISHITA, 2011).

A publicação de normativas nacionais denotam um importante avanço na melhoria da qualidade ambiental das edificações construídas no país. No entanto, as diferentes abordagens ainda demonstram fragilidade e imprecisão nas avaliações, quando comparadas entre si. Questiona-se, portanto, qual é o papel destas normas brasileiras na melhoria da qualidade ambiental e da eficiência energética de edificações residenciais e até que ponto as avaliações, obtidas através de cálculos numéricos, condizem com os dados reais.

Evidencia-se a importância de estudos que possibilitem avaliar a qualidade e adequação das edificações ao clima e contribuam para efetuar avanços nas normativas vigentes. O tema desta pesquisa diz respeito à análise do desempenho térmico de edificações habitacionais do PMCMV, traçando um paralelo entre o

conforto térmico do usuário, as normas de desempenho térmico e a solução arquitetônica adotada.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral do presente trabalho consiste em avaliar o conforto térmico de habitação de interesse social multifamiliar representativa da produção do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) na cidade de Maceió/AL.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar as tipologias arquitetônicas de habitações de interesse social do PMCMV encontradas na cidade de Maceió, Alagoas;
- Verificar a adequação da edificação às condições climáticas locais, a partir do monitoramento das variáveis ambientais internas e externas e da aplicação de normas e regulamentos vigentes no Brasil;
- Confrontar medições in loco e avaliações realizadas com base em normativas de conforto térmico a fim de verificar a coerência entre os resultados obtidos a partir de ambos os procedimentos.

## **1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A estrutura deste trabalho divide-se em cinco capítulos. Neste Capítulo 1 é apresentada a introdução, que expõe a justificativa e o contexto geral do tema da pesquisa, apontando também os objetivos (geral e específicos) do presente trabalho.

O Capítulo 2, intitulado Revisão Bibliográfica, aborda temáticas relevantes à compreensão do tema estudado, trazendo um histórico do processo de urbanização e políticas habitacionais, no Brasil e em Maceió, e apresentando mecanismos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações, a fim de identificar a relação existente entre o desempenho térmico das edificações e os limites de conforto dos usuários, discutindo aspectos referentes às normativas brasileiras de avaliação de desempenho térmico.

O Capítulo 3 descreve a metodologia aplicada para atingir os objetivos do trabalho. Neste capítulo é apresentada uma descrição e justificativa da escolha do objeto de estudo, além de expor os critérios e normas aplicadas na avaliação das edificações analisadas, determinando os procedimentos e ferramentas utilizados.

O Capítulo 4 consiste na análise dos resultados das avaliações do objeto de estudo, comparando os dados coletados entre si e verificando a coerência entre os diferentes critérios normativos utilizados.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, indicando suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

---

### 2.1 A PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO E A POLÍTICA HABITACIONAL BRASILEIRA

O contexto histórico de formação das cidades brasileiras evidencia a perpetuação da desigualdade social e impossibilidade de acesso à moradia digna por grande parte da população.

O processo de urbanização brasileiro se desenvolve a partir do século XVIII, quando “a casa da cidade torna-se a residência mais importante do fazendeiro ou do senhor de engenho, que só vai à propriedade rural no momento do corte e da moenda da cana” (BASTIDE, 1978 apud SANTOS, 1993). Este processo permanece em amadurecimento pelos séculos seguintes, passando a adquirir as características da atual urbanização apenas no século XX (SANTOS, 1993).

Já no início do século XIX, a situação da posse da terra enfrentava uma situação caótica no país, devido à ausência de um ordenamento jurídico que possibilitasse determinar os proprietários de terras no país (TAGLIETTI, 2005). Em 1850, a aprovação da Lei N° 601, conhecida como “Lei de Terras”, possibilitou a normatização agrária no Brasil. No entanto, a problemática da moradia começou a se agravar devido a expropriação das camadas menos favorecidas da sociedade: ficou instituído que o único meio de aquisição de terras devolutas seria a compra, tornando-se deslegitimado o acesso à terra através de posse ou ocupação (TAGLIETTI, 2005). Aliado a isto, com a abolição da escravidão em 1888, os escravos libertos migram para as cidades em busca de sobrevivência, as quais, despreparadas para abrigar o contingente populacional, crescem de forma desordenada (HOLZ; MONTEIRO, 2008).

Diante das condições sanitárias de expansão das cidades – ausência de infraestrutura, saneamento básico, e falta de moradia – os riscos à saúde pública foram acentuados, o que resultou em inúmeros surtos epidêmicos no final do século XIX. Sobre esse período, Maricato (2000) salienta:

As reformas urbanas, realizadas em diversas cidades brasileiras entre o final do século XIX e início do século XX, lançaram as bases de um urbanismo moderno “à moda” da periferia. Realizavam-se obras de saneamento básico para eliminação das epidemias, ao mesmo tempo em que se promovia o embelezamento paisagístico e eram implantadas as bases legais para um mercado imobiliário de corte capitalista. A população excluída desse processo era expulsa para os morros e franjas da cidade (MARICATO, 2000).

Neste contexto se desenvolveram as cidades brasileiras, nas quais a segregação é o “produto da separação da população por classe e renda no espaço”, espaço onde se instaura a desigualdade, exclusão e privação aos direitos urbanos individuais e coletivos da massa da população (DUMONT, 2014). A cidade, produzida de modo fragmentado, colabora para uma formação urbana baseada em múltiplas centralidades, na qual os limites entre o rural e o urbano, entre as centralidades e as periferias, se tornam cada vez mais difusos e passam a ser definidos por outros fatores que não apenas a sua localização na malha socioespacial (MONTE-MÓR, 2003; PINTAUDI, 2001).

Ferreira (2005) acrescenta, ainda, uma reflexão à respeito da implantação de infraestrutura urbana no Brasil, apontando para a priorização de áreas ocupadas pelas classes dominantes que acentuam a valorização do solo destes espaços e a desigualdade social, diante da escassez presente no restante da cidade. É evidenciada, portanto, as diferenciações produzidas pela ação do Estado, que canaliza os investimentos públicos para áreas de interesse do capital especulativo, gerando altos níveis de lucratividade para o setor privado e reproduzindo a segregação socioespacial.

Em outras palavras, o direito das pessoas à cidade foi subtraído. Às vezes, ele é subtraído por meio de ações do Mercado, às vezes, por meio de ações do governo, que expulsa as pessoas de onde elas vivem, às vezes, ele é subtraído por meios ilegais, violentos, ateando-se fogo a um prédio (HARVEY, 2009).

A partir do século XX, o processo de urbanização brasileiro começa a sofrer a interferência do desenvolvimento industrial, motivador de um grande volume de êxodo rural. A migração da população da área rural para as cidades agravou os problemas sociais e a dificuldade de acesso à moradia resultando, portanto, no crescimento de áreas ilegais.

Bonduki (2004) evidencia a força tomada pela temática da habitação social no período do governo Vargas (1930-45). Até então, o Estado liberal pouco interferia na

esfera privada. Porém, a carência de habitações de baixo custo, o desemprego, a baixa remuneração dos trabalhadores e a expansão descontrolada da malha urbana provocaram a deterioração das condições de vida na cidade, de modo que o Estado passa a intervir na problemática habitacional a fim de controlar a produção e o mercado de locação habitacional (BONDUKI, 2004).

É neste período que surgem as primeiras instituições públicas para tratar da questão habitacional. Os Institutos de Aposentadoria e Pensões (IAPs), órgãos vinculados a diversas categorias profissionais, eram responsáveis, dentre outras atribuições, pela produção de habitação: construíam conjuntos, alugavam e financiavam moradias aos seus associados (BONDUKI, 2004; FOLZ, 2002).

Segundo Bonduki (BONDUKI, 1994), a produção dos IAPs é significativa do ponto de vista da qualidade da intervenção com destaque para a introdução de apartamentos multifamiliares, que constituiu uma inovação na produção habitacional no Brasil; processos de construção racionalizados, realizados em série, buscando economia através da fabricação e standardização dos elementos construtivos; a introdução de soluções como pilotis, cobertura para atividades recreativas, fachadas pouco ornamentadas; a qualidade construtiva e o tamanho dos apartamentos e casas (BARON, 2011; BONDUKI, 1994).

Já em 1946, foi criada a Fundação da Casa Popular (FCP), sendo este o primeiro órgão federal que teve por objetivo principal solucionar o problema habitacional no Brasil. Diferentemente dos IAPs, que atendiam apenas os seus associados, a FCP buscava ofertar moradia a toda a população de baixa renda.

Após o golpe de Estado em 1964, os Institutos de Aposentadoria e Pensão e a Fundação da Casa Popular foram extintos e implementou-se o Banco Nacional da Habitação (BNH) com o intuito de “promover a construção e a aquisição da casa própria, especialmente pelas classes de menor renda” (BOLAFFI, 1982). Nesta conjuntura, as UHs produzidas pelos IAPs foram vendidas aos seus moradores, individualizando a propriedade e desconstruindo a ideia da habitação enquanto um serviço público (BONDUKI, 2004).

A partir de então foram priorizados investimentos para a construção de habitação para venda e, diante da busca pela redução dos custos, evidencia-se uma

produção habitacional em série e em larga escala entre as décadas de 1960 e 1980, resultando na redução dos tamanhos das UHs e espaços coletivos, com baixa qualidade de projeto e materiais, e desarticulação com o espaço urbano (FOLZ, 2002).

Quando o BNH buscou reduzir o custo da moradia para tentar atender a uma população que vinha se empobrecendo, ao invés de alterar o processo de gestão e produção que encarecia o produto final, apoiando iniciativas que a população já vinha promovendo, optou por rebaixar a qualidade da construção e tamanho da unidade, financiando moradias cada vez menores, mais precárias e distantes, que deixam saudades da qualidade dos conjuntos residenciais dos IAPs. Mesmo assim, estas soluções permaneciam inacessíveis à população de renda baixa que, sem alternativas, continuou a autoempreender a construção da casa, de modo cada vez mais improvisado, em loteamentos precários ou em favelas (BONDUKI, 2004, p. 320).

Em decorrência da crise econômica mundial do final dos anos 70, o país entrou em um período de grande instabilidade econômica, o que acarretou a extinção do BNH, em 1986 (MAGALHÃES, 2006; NOAL; JANCZURA, 2011). A partir de então, a Caixa Econômica Federal (CEF) incorporou todos os seus direitos e obrigações, com a função de gerir os recursos federais voltados para programas de habitação (BONATES, 2007; BRASIL, 1986). O período de transição, entre 1986 e o início do governo de Fernando Collor de Mello, foi assinalado por uma redução no volume de financiamentos habitacionais, provocando o crescimento das favelas e um déficit habitacional ainda mais elevado (RUBIN; BOLFE, 2014).

O Programa de Arrendamento Residencial (PAR), apresentado em 1999, foi a primeira política habitacional de destaque desde a extinção do BNH e, 10 anos depois, o Governo Federal lançou o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) através da Lei Federal nº 11.977 (BRASIL, 2009), alterada em 2011 pela Lei nº 12.424 (BRASIL, 2011b), com a finalidade de incentivar a produção e aquisição de novas unidades habitacionais, requalificação de imóveis urbanos e produção ou reforma de habitações rurais, para famílias com renda mensal de até dez salários mínimos” (BRASIL, 2009).

Elaborado pela Casa Civil e pelo Ministério da Fazenda, o PMCMV foi uma das principais ações do governo Lula em resposta à crise econômica internacional que eclodiu em 2008, para impulsionar a criação de empregos e os investimentos no setor da construção civil, que se apresentava em intenso crescimento desde 2006, mas vinha sofrendo os impactos da crise (ARANTES; FIX, 2009; KLINTOWITZ, 2011). No entanto, a sua elaboração foi feita em diálogo direto com representantes dos setores imobiliários e da construção civil, sem a participação popular, nem a mobilização do

Ministério das Cidades, que articula as políticas de habitação, saneamento, transportes e desenvolvimento urbano (FIX, 2011).

Diante deste contexto, o surgimento do PMCMV já demonstrava a implicação de problemas no âmbito do desenvolvimento urbano e social. Em 2009, perante o lançamento do programa, Maricato já apontava para os impactos a serem causados pela inserção urbana destes empreendimentos.

O pacote não se refere, entretanto, à matéria urbanística e deixa a desejar em relação aos temas da habitação social (se considerarmos tudo o que avançamos conceitualmente sobre esse tema no Brasil) [...] em matéria urbanística podemos prever, com toda a certeza, alguns impactos negativos que os novos conjuntos irão gerar por suas localizações inadequadas (MARICATO, 2009a).

## **2.2 O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA**

O Programa Minha Casa Minha Vida é composto por um conjunto de medidas estabelecidas por um “pacote habitacional”, o qual foi apresentado por um grupo de empresários do setor construtivo com a sugestão inicial da comercialização de 200 mil unidades habitacionais por meio de subsídios diretos ao comprador (ROLNIK, 2015).

No decorrer das negociações a meta foi elevada para a construção de um milhão de moradias na primeira fase do PMCMV, dentre as quais, 400 mil deveriam ser destinadas a famílias com renda entre 0 e 3 salários mínimos (SM), outros 400 mil, a famílias com renda de até 6 salários mínimos (SM) e, por fim, 200 mil a famílias com renda de 6 a 10 salários mínimos (SM), denominadas Faixa 1, Faixa 2 e Faixa 3, respectivamente (BONDUKI, 2009). Segundo Bonduki (2009), a meta atenderia a 14% do déficit habitacional acumulado na ocasião. No entanto, enquanto as faixas de renda 2 e 3 teriam suas demandas atendidas, as 400 mil unidades destinadas à faixa prioritária (0 a 3 salários mínimos), que concentra o maior déficit habitacional, seria atendida em, apenas, 6%.

**Tabela 1 – Faixas de renda da primeira fase do PMCMV.**

<b>Faixa de Renda</b>	<b>Fase 1</b>
Faixa 1	0 a 3 SM
Faixa 2	Até 6 SM
Faixa 3	6 a 10 SM

Fonte: Bonduki (2009), adaptado pela autora.

O Programa Minha Casa Minha Vida é composto por dois subprogramas: o PNHU (Programa Nacional de Habitação Urbana), que se destina à requalificação de imóveis e à produção ou aquisição de unidades em áreas urbanas para famílias com rendimentos mensais de até R\$ 5.000,00; e o PNHR (Programa Nacional de Habitação Rural), destinado a agricultores e trabalhadores rurais cuja renda bruta familiar anual não ultrapassasse R\$ 60.000,00. As fontes de recursos utilizadas no programa são o FGTS<sup>2</sup> (Fundo de Garantia do Tempo de Serviço), o FAR<sup>3</sup> (Fundo de Arrendamento Residencial), o FDS<sup>4</sup> (Fundo de Desenvolvimento Social) e ofertas públicas de recursos (MELO, 2017).

No âmbito do PNHU, para a Faixa 1 o financiamento se dava através do Fundo de Arrendamento Residencial (FAR), no qual a construtora define o terreno e o projeto de acordo com os parâmetros do programa e da legislação locais e a CEF distribui as unidades através de sorteio a partir de listas elaboradas pela Prefeitura do município. Para esta modalidade, os municípios devem realizar a doação de terrenos; quando possível, flexibilizar as normas urbanísticas, fazer a isenção tributária e desburocratização nos processos de aprovação e licenciamento. Uma outra forma de

<sup>2</sup> As operações de créditos com recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) são realizadas no âmbito do Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU) e visa atender às famílias com renda mensal de até R\$3.275 de modo a facilitar a aquisição, produção ou requalificação de imóvel residencial (MELO, 2017).

<sup>3</sup> Os recursos do FAR são destinados, também no âmbito do PNHU, à aquisição ou requalificação de imóveis para famílias com renda mensal de até R\$1.600,00, contemplando capitais estaduais e suas regiões metropolitanas; regiões metropolitanas de Campinas/SP e Baixada Santista/SP; municípios limítrofes à Teresina/PI; municípios pertencentes à Região Integrada de Desenvolvimento – RIDE, no Distrito Federal; municípios com população igual ou superior a 50 mil habitante; e municípios com população entre 20 mil e 50 mil habitantes, desde que apresentem: população urbana igual ou superior a 70%; taxa de crescimento populacional, entre 2000 e 2010, maior do que do Estado em que se localiza; e taxa de crescimento populacional, entre 2007 e 2010, maior do que 5%. (MELO, 2017).

<sup>4</sup> Os recursos do Fundo de Desenvolvimento Social (FDS) são destinados a famílias com renda mensal de até R\$1600,00 organizadas em entidades privadas sem fins lucrativos (associações, cooperativas, sindicatos, etc.), podendo ser concedido aos beneficiários (pessoa física) ou à Entidade Organizadora (pessoa jurídica). A área de atuação do Programa abrange todas as áreas urbanas localizados no território nacional (MELO, 2017).

financiamento para essa faixa de renda é o Fundo de Desenvolvimento Social (FDS) através do PMCMV Entidades (PMCMV-E), uma modalidade que permite a concessão de financiamentos às famílias organizadas por meio de cooperativas habitacionais, associações e outras entidades sem fins lucrativos. Para as Faixas 2 e 3 do PMCMV, o financiamento se dava através do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS), no qual a construtora apresenta o projeto à CEF que, por sua vez, realiza uma avaliação e autoriza a comercialização (ÁLVARES, 2018; MELO, 2017). Os meios de financiamento são sintetizados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Características dos financiamentos do PMCMV por faixa de renda.**

<b>Faixa de Renda</b>	<b>Financiamento</b>	<b>Características</b>
Faixa 1	FAR	Doação de terrenos do município, flexibilização das normas urbanísticas, isenção tributária e desburocratização nos processos de aprovação e licenciamento, distribuição das unidades por meio de sorteio.
	FDS	Concessão de financiamentos às famílias organizadas por meio de cooperativas habitacionais, associações e outras entidades sem fins lucrativos
Faixa 2 e Faixa 3	FGTS	Projeto é apresentado pela construtora, com possibilidade de escolha das unidades por meio dos compradores.

Fonte: Álvares (2018) e Melo (2017), adaptado pela autora.

O programa atingiu a meta de construção de um milhão de moradias em sua primeira fase, sofrendo uma revisão em setembro de 2011 para o lançamento da segunda fase. Em 2012, durante o primeiro mandato do governo Dilma Roussef, iniciou-se a segunda fase do Programa a partir da regulamentação do Decreto nº 7.795 (BRASIL, 2012a), com meta de construção de dois milhões de moradias, até o final de 2014, para a população com renda familiar de até R\$5.000,00 (BRASIL, 2012b). Com as metas da Fase 2 concluídas, em 2016 foram apresentadas as propostas da terceira fase do Programa, que incluiu a Faixa 1,5, voltada para famílias com renda entre R\$1.800,00 e R\$2.350,00 e apresenta ajustes nas rendas das demais faixas, conforme Tabela 3.

**Tabela 3 – Faixas de renda do PMCMV de acordo com as fases do programa.**

<b>Faixa de Renda</b>	<b>Fase 1</b>	<b>Fase 2</b>	<b>Fase 3</b>
Faixa 1	0 a 3 SM	Até R\$1.600,00	Até R\$1.800,00
Faixa 1,5	-	-	Até R\$2.600,00
Faixa 2	Até 6 SM	Até R\$3.100,00	Até R\$4.000,00
Faixa 3	6 a 10 SM	Até R\$5.000,00	Até R\$7.000,00

Fonte: Cartilhas do PMCMV (CEF, 2009, 2012, 2018), adaptado pela autora.

Apesar do grande montante de moradias construídas, são recorrentes as críticas em torno do PMCMV, em especial referentes à qualidade das habitações e a inserção urbana dos conjuntos habitacionais. As exigências do programa (Apêndice D) têm sido insuficientes para garantir a qualidade dos projetos, que são modelos arquitetônicos reproduzidos em todo o território nacional utilizando materiais de baixa qualidade, com o intuito de reduzir os custos e aumentar o lucro, o que, muitas vezes, acarreta o surgimento de patologias construtivas e necessidade de manutenção precoce, possivelmente provocados pela redução do custo e pela necessidade de uma produção acelerada (ÁLVARES, 2018; SILVA; GOMES, 2016). Aliado a isto, o “processo de produção de habitação que corre a todo vapor em nosso país está completamente desvinculado de um processo de qualificação da produção e gestão das cidades” (ROLNIK, 2012), refletindo a precariedade da política e da gestão urbanas na lógica de produção do PMCMV, que carrega consigo graves problemas de inserção urbana.

Para estimular a produção habitacional pelo mercado, foram agregadas medidas para desburocratização do processo, por meio de uma maior flexibilização na contratação das empresas, redução de exigências e eliminação de licitação para a obra, além de desoneração tributária para as construtoras (KLINTOWITZ, 2011; SOARES et al., 2013). Dessa forma, Klintowitz (2011) afirma que o PMCMV resultou em “uma política muito mais voltada para o atendimento dos interesses do mercado privado do que para os interesses sociais a que se destinam as políticas públicas”.

No âmbito do PMCMV, a Caixa Econômica Federal (CEF) atua como o agente operador do Programa, sendo responsável pela determinação dos parâmetros normativos, aprovação dos empreendimentos apresentados pelo mercado privado, liberação de recursos e concessão do crédito aos beneficiários finais. Já a construtora

ou incorporadora atua como provedor do serviço, sendo responsável pelo projeto do empreendimento como um todo, desde a determinação da localização dos empreendimentos, até a tipologia habitacional, número de unidades habitacionais de cada empreendimento, materiais a serem utilizados e todos os demais detalhes de projeto (KLINTOWITZ, 2011; SOARES et al., 2013). No caso da produção habitacional para a menor faixa de renda, a União aloca os recursos e solicita a apresentação de projetos e os municípios se responsabilizam pelo cadastro e seleção das famílias, além da disponibilização do terreno para a construção dos conjuntos, quando possível (SOARES et al., 2013).

Bonduki (1998) já alertava para a ação do Estado na subordinação aos interesses de reprodução do capital diante da formulação e financiamento de políticas habitacionais e urbanas que atendem as necessidades de mercado, utilizando, portanto, o planejamento urbano para assegurar o direito privado em detrimento da justiça social (DUMONT, 2014).

Perante o protagonismo da iniciativa privada na direção desta política habitacional, as construções passam a se submeter às questões de valores econômicos, visando a ampliação dos lucros dos empresários em detrimento da dimensão social da moradia. Dessa forma, atualmente, são os investidores imobiliários que promovem a periferação dos conjuntos habitacionais, posto que são eles que determinam a localização das habitações e a faixa de renda a que se destinam, conferindo ao Estado um papel secundário neste processo (SILVA; GOMES, 2016).

Neste contexto, as formas de controle do Governo Federal da produção habitacional do PMCMV se limitam à dados quantitativos, contabilizando a quantidade de unidades produzidas e a quantidade de domicílios reduzidos no déficit habitacional, desconsiderando, dessa forma, aspectos qualitativos dos empreendimentos, como: localização, presença de equipamentos públicos e outros aspectos inerentes à construção de uma moradia adequada<sup>5</sup> (KLINTOWITZ, 2011).

---

<sup>5</sup> Raquel Rolnik, enquanto relatora para o Direito à Moradia Adequada do Conselho de Direitos Humanos da ONU, afirma que uma moradia adequada deve, além de proteger contra frio, calor e intempéries, estar ligada a uma infraestrutura, oferecendo acesso a água e esgoto, rede de equipamentos de saúde, educação e cultura, possibilidades de desenvolvimento econômico e social, e acesso aos meios de vida, que, por sua vez, está diretamente ligado à localização da moradia (ROLNIK, 2011).

O combate ao déficit não pode se resumir apenas aos números. E desde os tempos do Banco Nacional da Habitação, o BNH, que foi criado pelos militares na década de 1960, a questão habitacional no Brasil foi quase sempre tratada como meramente quantitativa, e o sucesso ou fracasso dos programas medido pelo número de unidades construídas. É óbvio que deveria ter outros fatores envolvidos, como a maior articulação deles com políticas urbanas e sociais (MARICATO, 2009b).

Neste contexto, embora a produção do PMCMV possa agregar um importante valor de uso para os beneficiários do programa, a tendência de expansão urbana nas cidades, onde o valor da terra está intensamente atrelado à distinção entre centro e periferia, é manter o padrão periférico de segregação socioespacial. Aliado a isto, ainda com o intuito de baratear os custos e otimizar o lucro, há uma tendência de uma homogeneização tipológica das soluções arquitetônicas, sem a previsão de flexibilidade de uso e progressividade da construção o que resulta, na maioria das vezes, em adaptações inadequadas do ponto de vista ambiental e urbanístico, e descaracterização volumétrica dos empreendimentos (SILVA; GOMES, 2016).

### 2.3 A PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO DE MACEIÓ

O município de Maceió, capital do estado de Alagoas, se localiza na região nordeste do Brasil (Figura 1) e apresenta uma área territorial de 512,50km<sup>2</sup> de área do Município de Maceió, no entanto, apenas cerca de 200km<sup>2</sup> (39%) estão ocupados pela área urbana da capital (LOPES; JUNQUEIRA, 2005).

**Figura 1 – (a) Localização da região Nordeste; (b) Localização do estado de Alagoas; (c) Localização do município de Maceió.**



Fonte: Wikipedia, 2018, adaptado pela autora.

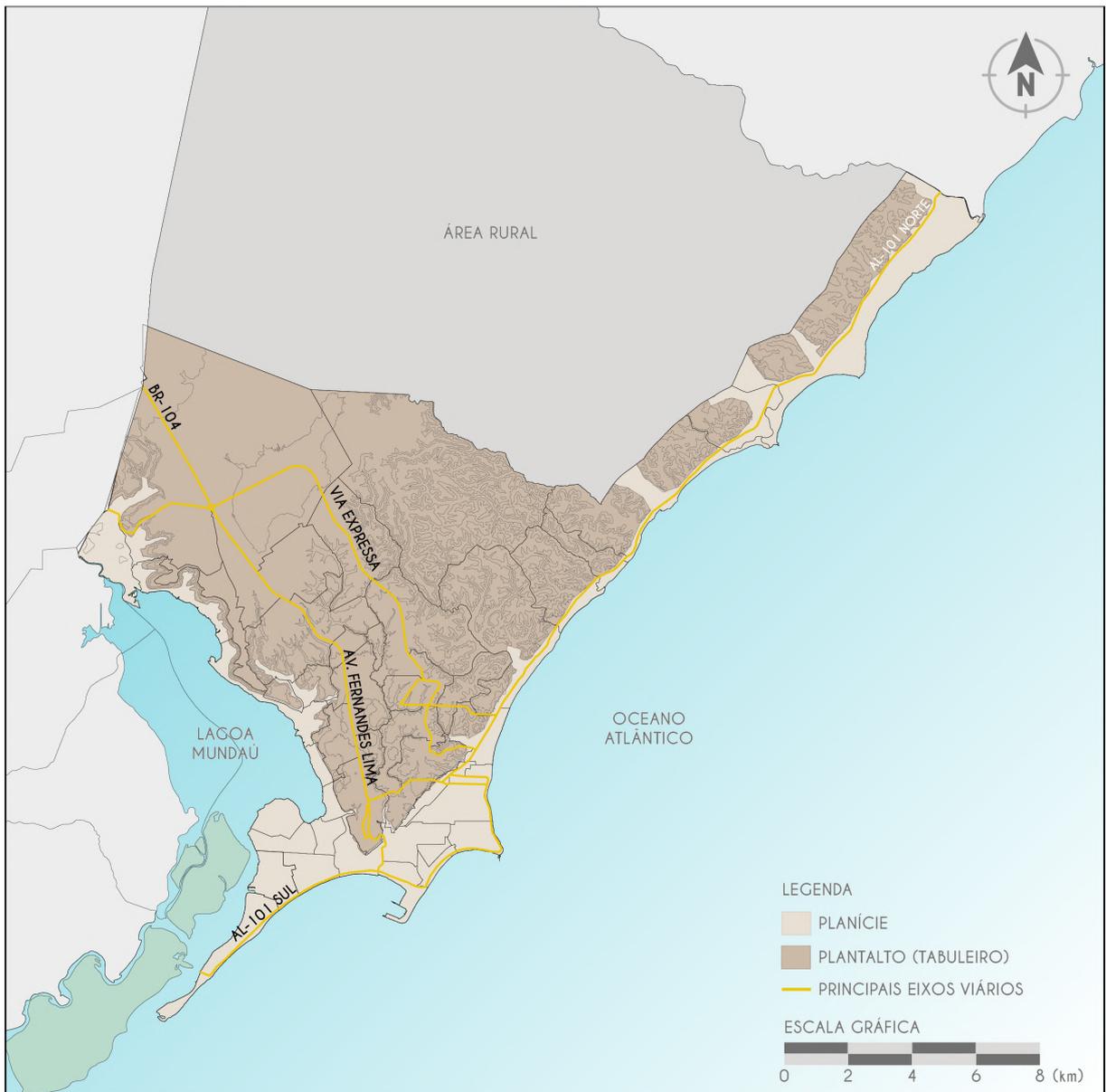
De acordo com o último Censo (IBGE, 2010a), Maceió possui uma população de 932.748 habitantes, dos quais 99,9% reside na área urbana do município. Em 1960, a população urbana era cerca de cinco vezes menor com um total 170.134

habitantes (IBGE, 2010b). Esse crescimento populacional acelerado se iniciou com o processo migratório campo-cidade, em virtude da alta mecanização do campo em Alagoas, o que acarretou o início da ocupação das áreas de encostas e grotas da cidade (ALENCAR, 2007).

O crescimento da cidade de Maceió se deu em função da sua configuração espacial: o mar e a lagoa Mundaú atuam como barreiras físicas à leste/sul e oeste, respectivamente, induzindo a expansão urbana para o norte, onde se encontra uma terceira barreira – os canaviais (LOPES; JUNQUEIRA, 2005).

O relevo da cidade se caracteriza em duas áreas distintas: a planície – litorânea e lagunar – e o planalto sedimentar. A Planície Litorânea estende-se de sudoeste a nordeste, enquanto a Planície Lagunar banha o contorno leste da cidade. As áreas de Planalto Sedimentar (Tabuleiro) estendem-se pela maior parte do município, formando um território repleto de vertentes íngremes, denominadas “grotas” e “encostas”, nas áreas de transição entre a planície e o planalto (MELO, 2017; SÁ, 2018).

**Figura 2 – Divisão geomorfológica da zona urbana do município de Maceió, Alagoas.**



Fonte: Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007), adaptado pela autora.

A ocupação do território de Maceió ocorreu inicialmente na área de planície, em virtude de fatores econômicos, e posteriormente na região dos Tabuleiros, cuja ocupação foi impulsionada pela expansão do tecido viário com a construção da Avenida Fernandes Lima, em 1917 e a Via Expressa (Avenida Menino Marcelo), em 1980.

Durante a segunda metade do século XIX a cidade ocupava apenas a região de Planície, tanto Lagunar quanto Litorânea. Esta ocupação era regida principalmente pelo fator econômico, visto que a atividade comercial estava concentrada em três pontos estratégicos: na lagoa (pela possibilidade de ligação com o interior e pela atividade extrativista), no Centro (no povoado) e no mar (atraído pelo porto, localizado na enseada de Jaraguá). [...] A partir do século XX, a expansão do tecido urbano passou a estar direcionada pela conformação de eixos viários que possibilitavam novos deslocamentos na cidade e a ocupação de áreas mais afastadas do núcleo central (COSTA, 2008, p. 16)

As características do relevo da cidade exerceram influência na ocupação do solo urbano, visto que a Planície Litorânea e os terrenos planos do Tabuleiro foram abarcados pelo mercado imobiliário formal, enquanto as grotas e encostas, áreas ambientalmente frágeis, foram ocupadas pela população mais pobre, evidenciando uma segregação socioespacial diante do incremento do preço da terra na cidade “formal”, que tende a excluir a maioria da população, estimulando outras alternativas de ocupação em áreas inadequadas e que colocam essa parcela da população em risco.

As ocupações regulares situam-se nas áreas planas da cidade, nos tabuleiros próximos ao centro, junto às praias e nas principais vias de acesso. Nas encostas, nas áreas baixas e alagadiças, nos grotões e áreas de preservação ambiental, na periferia e na fronteira entre os canaviais e a cidade estão as habitações precárias, os conjuntos residenciais, as habitações em situação de risco, as carentes de infraestrutura, principalmente de saneamento, com acessos inadequados e sem os equipamentos urbanos e comunitários necessários. O saneamento ambiental é um dos mais graves problemas da cidade, em especial nos assentamentos precários. A carência de infraestrutura urbana e comunitária agrava a exclusão social das famílias de baixa renda e dificulta o crescimento ordenado da malha urbana (LOPES; JUNQUEIRA, 2005).

Os contrastes socioeconômicos existentes no Estado de Alagoas são evidenciados nas deficiências de infraestrutura e na segregação físico-espacial da cidade de Maceió, em função de um crescimento urbano acelerado e desordenado (LOPES; JUNQUEIRA, 2005). Foram ocupadas áreas consideradas de risco, constituídas por construções irregulares, com baixo padrão construtivo e precariedade de infraestrutura urbana, o que gerou (e gera ainda hoje) degradação ambiental e vulnerabilidade para a população, que vive sob o risco de desmoronamento e inundações (ALENCAR, 2007).

A década de 70 foi marcada pela construção de grandes conjuntos habitacionais promovidos pelo poder público com o impulso do Banco Nacional da

Habitação (BNH). Os empreendimentos estimularam o crescimento da cidade para as áreas ao norte, expandindo o território em direção à região mais alta e periférica do Tabuleiro (ALENCAR, 2007; MELO, 2017). Em Maceió, o IPASEAL e a COHAB/AL<sup>6</sup> foram responsáveis pela produção de grande parte dos conjuntos habitacionais no período do BNH (entre 1965 e 1986), produzindo um total de 5.873 UHs distribuídas em 11 conjuntos e 19.602 UHs distribuídas em 26 conjuntos, respectivamente (MELO, 2017). Esta solução projetual de conjuntos habitacionais é uma vertente de produção habitacional recorrente até os dias atuais, em especial para empreendimentos do PMCMV.

De acordo com a Fundação João Pinheiro (2013), o déficit habitacional da cidade de Maceió no ano de 2010 era de 42.261 unidades, que correspondente a 34% do déficit habitacional do estado de Alagoas que, por sua vez, era de 124.063 unidades (Tabela 4). Além disso, mais de 150.000 domicílios em Maceió apresentaram inadequação domiciliar<sup>7</sup>.

**Tabela 4 – Déficit habitacional em 2010.**

<b>UF</b>	<b>Déficit absoluto (unidades)</b>	<b>Déficit relativo ao número total de domicílios (%)</b>
Brasil	6.940.691	12,1
Nordeste	2.111.517	14,1
Alagoas	13124.063	14,6
<b>Maceió</b>	<b>42.261</b>	<b>15,4</b>

Fonte: Fundação João Pinheiro (2013), adaptado pela autora.

No âmbito do déficit habitacional de Maceió em 2010, há uma predominância de situações de coabitação (42,9%) e aluguel excessivo (42%). Ao se comparar com as escalas municipal, regional e nacional, percebe-se que em Maceió a proporção de gastos excessivos com aluguéis é consideravelmente maior, enquanto a proporção de habitações precárias é menor (Gráfico 1).

<sup>6</sup> A atuação da COHAB/AL no âmbito habitacional se estendeu até 1999, sendo 71,2% das UHs produzidas durante o período de atuação do BNH e 28,8% após este período (MELO, 2017).

<sup>7</sup> São considerados inadequados os domicílios que não oferecem condições satisfatórias de habitabilidade. a inadequação é composta por três componentes: carência de infraestrutura urbana (água, energia elétrica, esgotamento sanitário ou coleta de lixo), ausência de banheiro exclusivo e adensamento excessivo de domicílios próprios. (FJP, 2013)

**Gráfico 1 – Proporção do déficit habitacional 2010 por componente.**



Fonte: Fundação João Pinheiro (2013), adaptado pela autora.

Diante deste cenário, desde sua origem, o PMCMV representava uma promessa de oferta de melhores condições habitacionais e, por conseguinte, melhor qualidade de vida para a população em todo o país. No entanto, a oferta das iniciativas formais de mercado se apresentam como uma contradição à realidade vivenciada na cidade: enquanto grande parte da população reside em condições inadequadas e até, por vezes, subumanas, o setor imobiliário produz maciçamente para a média e alta renda (LOPES; JUNQUEIRA, 2005). Na prática, percebe-se que o PMCMV atua em favor dos interesses individuais em detrimento da qualidade arquitetônica e urbanística das moradias. Em paralelo, observa-se uma periferização nas cidades vinculada à localização destes empreendimentos, resultando na segregação da população e privação de acesso à infraestrutura e serviços urbanos em virtude do valor da terra (ROLNIK, 2015).

### **2.3.1 O PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA EM MACEIÓ**

Dados disponibilizados pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2012c) e pela Caixa Econômica Federal (CEF, 2015), indicam a construção de 77 empreendimentos do PMCMV em Maceió (Gráfico 1), no período de 2009 a 2014, totalizando 30.780 unidades habitacionais (UHs) distribuídas entre as três faixas de renda (Tabela 5).

**Tabela 5 – Quantidade de empreendimentos e unidades habitacionais (UHs), por faixa de renda, produzidas pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.**

Faixa de Renda	Empreendimentos		Unidades Habitacionais (UHs)	
	Quantidade	Percentual	Quantidade	Percentual
Faixa 1	13 <sup>8</sup>	16,88%	11838	38,46%
Faixa 2	51 <sup>9</sup>	66,24%	16638	54,05%
Faixa 3	13 <sup>10</sup>	16,88%	2304	7,49%
<b>Total</b>	<b>77</b>		<b>30.780</b>	

Fonte: Base de dados do PMCMV (BRASIL, 2012c), Caixa Econômica Federal (CEF, 2015) e Sá (2018), adaptado pela autora.

Diante dos dados apresentados, destaca-se, portanto, uma predominância de empreendimentos destinados à Faixa 2, que compreende cerca de 66% da produção habitacional do período em estudo, enquanto os empreendimentos destinados às Faixas 1 e 3 compreendem cerca de 16% da produção total para cada faixa. No entanto, embora a quantidade de empreendimentos Faixas 1 e 3 sejam iguais, a quantidade de famílias atendidas na Faixa 1 chega a ser 5 vezes maior que na Faixa 3. Por outro lado, a Faixa 2 concentra o maior número de unidades habitacionais produzidas no período estudado (Tabela 5).

Quando comparado ao déficit absoluto no ano de 2010, na cidade de Maceió, a produção de 30.780 unidades atenderia, teoricamente, a 72,83% do déficit na ocasião (42.261 unidades). No entanto, a partir dos dados coletados não seria possível precisar quanto do déficit foi atendido por cada faixa de renda do PMCMV na cidade de Maceió.

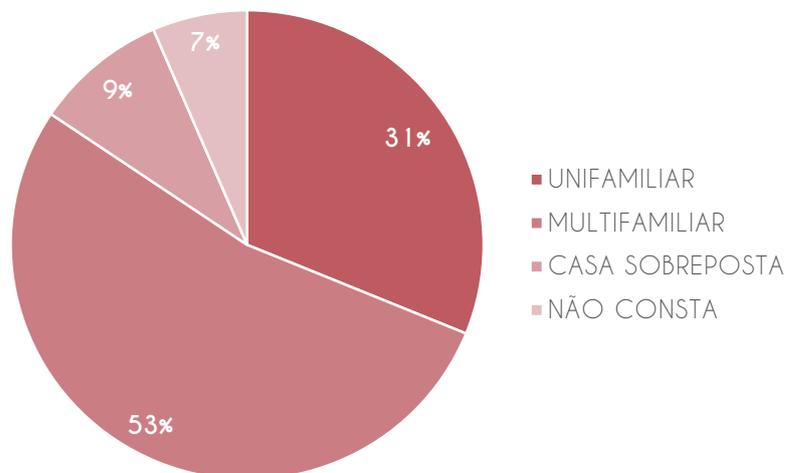
Dentre os 77 empreendimentos construídos até 2014, foram identificadas 3 tipologias habitacionais: unifamiliar (31%), multifamiliar (53%) e casa sobreposta (9%) (Gráfico 2), sendo a Faixa 01 composta, predominantemente, por empreendimentos unifamiliares e casas sobrepostas; a Faixa 2, que se destaca em relação à quantidade de empreendimentos e UHs, constituída 57% de empreendimentos multifamiliares e 32% de empreendimentos unifamiliares; e a Faixa 3 composta, quase totalmente, por empreendimentos multifamiliares (Gráfico 3).

<sup>8</sup> No apêndice A, pode-se encontrar uma lista com todos os empreendimentos Faixa 1 identificados.

<sup>9</sup> No apêndice B, pode-se encontrar uma lista com todos os empreendimentos Faixa 2 identificados.

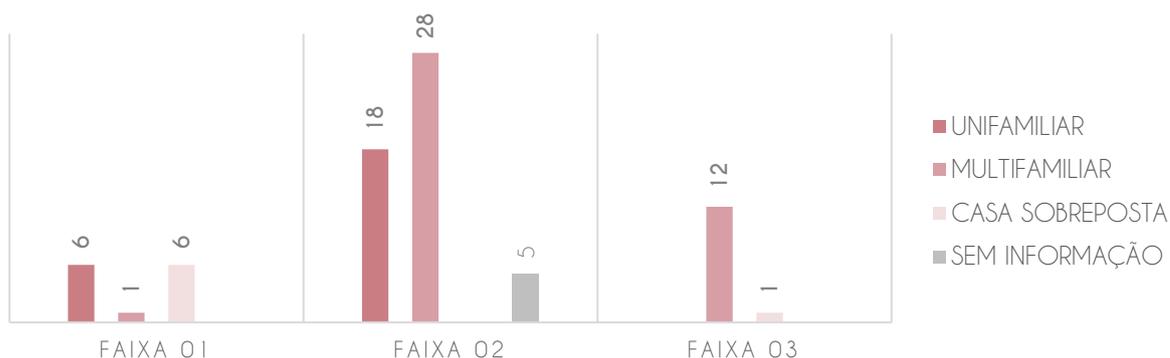
<sup>10</sup> No apêndice C, pode-se encontrar uma lista com todos os empreendimentos Faixa 3 identificados.

**Gráfico 2 – Tipologias habitacionais dos empreendimentos produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.**



Fonte: Base de dados do PMCMV (BRASIL, 2012c), Caixa Econômica Federal (CEF, 2015) e Sá (2018), adaptado pela autora.

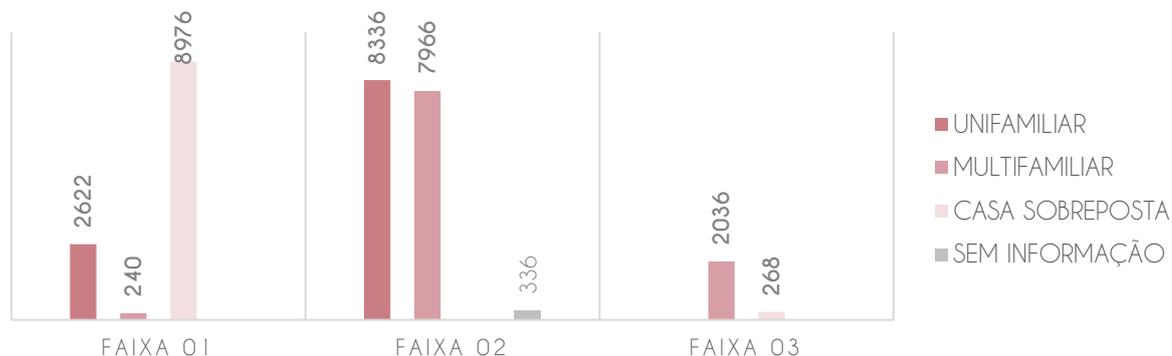
**Gráfico 3 – Quantidade de empreendimentos por tipologia e faixa de renda produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.**



Fonte: Base de dados do PMCMV (BRASIL, 2012c), Caixa Econômica Federal (CEF, 2015) e Sá (2018), adaptado pela autora.

Em relação à quantidade de unidades habitacionais, na Faixa 1 há uma predominância de casas sobrepostas (75%), enquanto a Faixa 2 apresenta equilíbrio de UHs em empreendimentos unifamiliares e multifamiliares, os quais, juntos, representam cerca de 90% do total de empreendimentos construídos nessa faixa. A Faixa 3 é representada por 90% de UHs em empreendimentos multifamiliares (Gráfico 4).

**Gráfico 4 – Quantidade de UHs por tipologia e faixa de renda produzidas pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.**



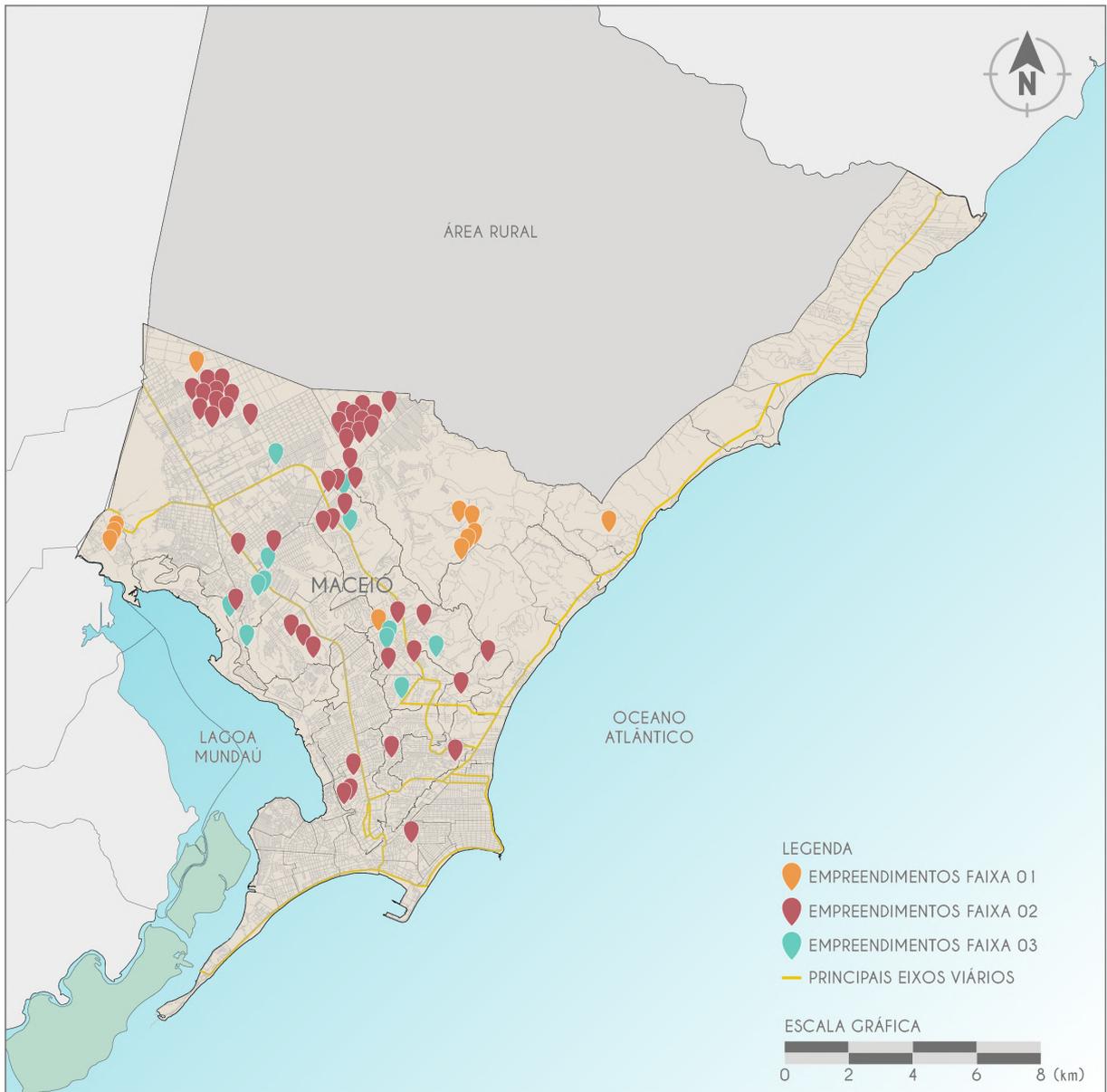
Fonte: Base de dados do PMCMV (BRASIL, 2012c), Caixa Econômica Federal (CEF, 2015) e Sá (2018), adaptado pela autora.

Com relação à localização dos empreendimentos, segundo Ferreira (2012), uma boa inserção urbana pode garantir melhor qualidade de vida, no entanto, grande parte dos empreendimentos do PMCMV promovem o espraiamento urbano, segregação socioespacial, bairros monofuncionais, formação de áreas isoladas ou desarticuladas da malha urbana: um padrão de crescimento considerado ambientalmente insustentável.

Neste sentido, de forma a compreender o contexto urbano em que se inserem as habitações, a Figura 3 ilustra a espacialização dos empreendimentos<sup>11</sup> do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió, evidenciando um vetor de inserção dos empreendimentos no eixo Norte-Sul da cidade.

<sup>11</sup> Não foi possível identificar no mapa a localização de 2 empreendimentos Faixa 1 e 5 empreendimentos Faixa 2 devido à ausência de informações.

**Figura 3 – Espacialização dos empreendimentos do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL, por faixa de renda.**



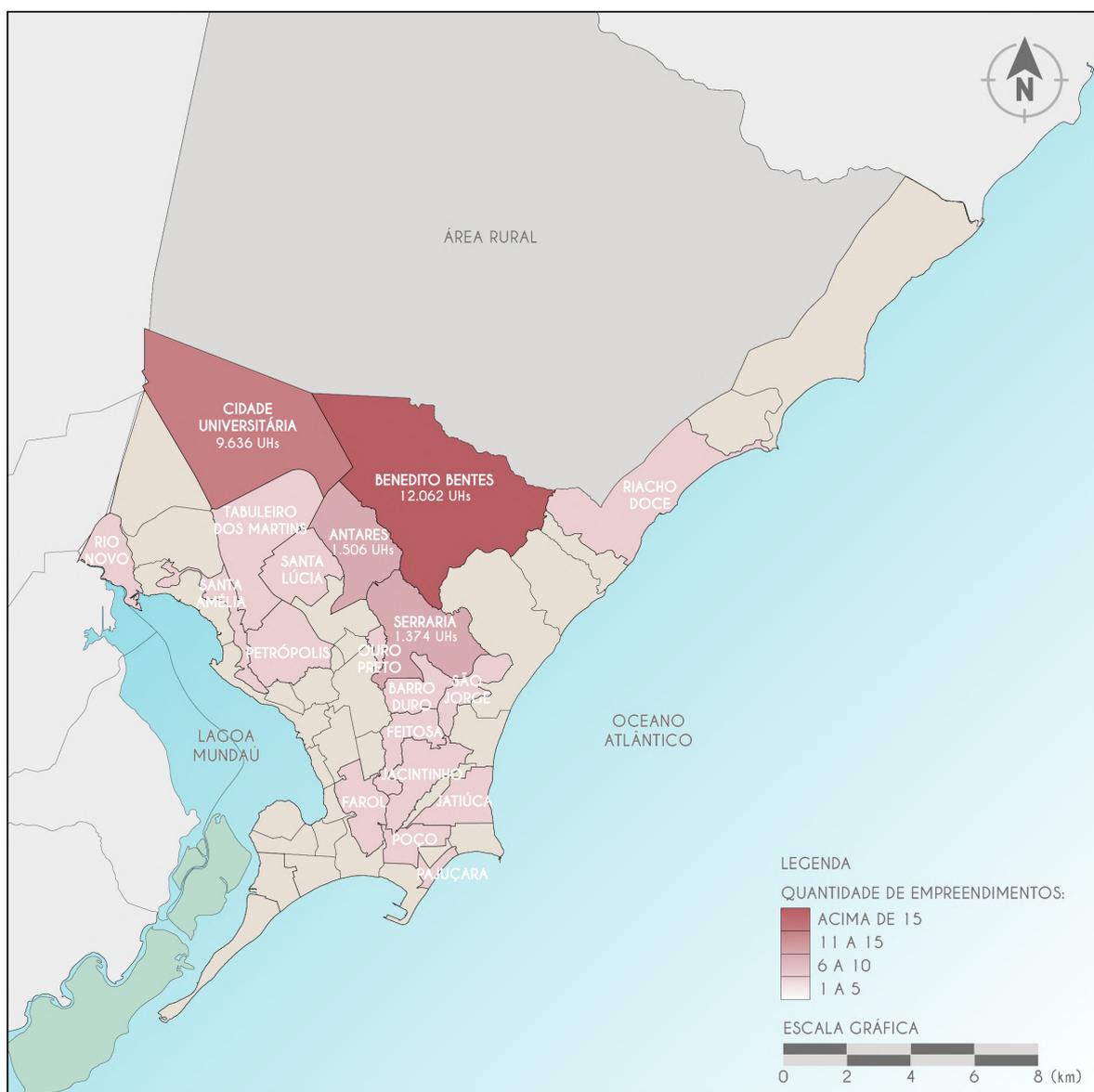
Fonte: Base de dados do PMCMV (BRASIL, 2012c), Caixa Econômica Federal (CEF, 2015) e Sá (2018), adaptado pela autora.

Em uma análise geral referente à localização dos empreendimentos nos limites da cidade, representados na Figura 3 de acordo com a faixa de renda a que se destinam, é possível perceber uma distribuição de empreendimentos Faixa 2 e Faixa 3 em toda a extensão do “eixo” citado. Em uma análise geral, para as faixas de renda 2 e 3, é possível identificar empreendimentos de menor porte inseridos em áreas centrais, na malha urbana já consolidada, e que apresentam proximidade com os principais eixos viários da cidade (Figura 3). Estes empreendimentos são, sem exceção, condomínios residenciais multifamiliares que apresentam um custo mensal destinado à manutenção do condomínio, pagamento de energia externa, água e

limpeza externa. Os custos agregados de condomínio, em conjunto com o valor das habitações com melhor localização na malha urbana, restringem o acesso da população de mais baixa renda, no âmbito do PMCMV. Dessa forma, os empreendimentos destinados à Faixa 1 se limitam às regiões periféricas e isoladas da cidade e se caracterizam pela construção em massa de tipologias unifamiliar ou casa sobreposta, configurando grandes conjuntos habitacionais monofuncionais.

É possível identificar na Figura 4 uma maior concentração de empreendimentos nos bairros Cidade Universitária e Benedito Bentes que, juntos, compreendem cerca de 61% dos empreendimentos Faixa 1 e 47% dos empreendimentos Faixa 2.

**Figura 4 – Escala da quantidade de empreendimentos, por bairro, do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL.**



Fonte: Base de dados do PMCMV (BRASIL, 2012c), Caixa Econômica Federal (CEF, 2015) e Sá (2018), adaptado pela autora.

Nos bairros do Benedito Bentes e Cidade Universitária, porção norte da cidade, identificam-se duas áreas com uma maior concentração de empreendimentos localizados em região periférica e mais distante do centro (Figura 3). Nesta região é visível o grande adensamento populacional, característica recorrente na implantação do PMCMV em todo o país, caracterizado pela produção em massa de habitação de interesse social com a implantação de grandes empreendimentos.

A primeira região, localizada no bairro Cidade Universitária, possui 10 empreendimentos Faixa 2 (Jardim Royal e Novo Jardim), idênticos e executados em módulos, e 1 empreendimento Faixa 1 (Residencial Maceió), sendo todos compostos por edificações unifamiliares caracterizadas pela reprodução de uma mesma solução arquitetônica. Sua localização é contígua à malha urbana existente, no entanto em área previamente desocupada, o que tornou necessária a extensão de vias e linhas de transporte público, causando a expansão da malha urbana e promovendo, conseqüentemente, o surgimento de outros empreendimentos na região. O acesso ao transporte público próximo aos empreendimentos é escasso, os pontos de ônibus, em sua maioria, se localizam nas margens dos conjuntos e contam com apenas uma ou duas linhas. Além disso, devido às grandes proporções dos empreendimentos e à ausência da previsão de áreas comerciais e de serviços, cria-se uma região monofuncional que, pela iniciativa dos próprios moradores da região, passa a abrigar comércios informais e serviços nas praças e interiores das moradias.

**Figura 5 – Concentração de empreendimentos no bairro Cidade Universitária.**



**Fonte:** Google Maps e CittaMobi (2018), adaptado pela autora.

Há, ainda, uma outra região que se destaca pela quantidade de empreendimentos e se localiza no bairro Benedito Bentes. Nesta região se localizam 10 condomínios, dentre os quais 6 são unifamiliares (Recantos) e 4 são multifamiliares (Villages). Estes empreendimentos foram entregues cercados por grades e hoje, no entanto, as grades estão sendo substituídas por muros de alvenaria: uma reprodução do modelo residencial da classe de alta renda, que suscita uma ruptura da malha

urbana, comprometendo a fluidez urbana<sup>12</sup> e a integração de usos e grupos sociais. Nesta esteira, evidencia-se o apelo mercadológico da “exclusividade” do morar em condomínios fechados, promovendo uma ilusão de maior segurança dentro dos muros e a privatização dos equipamentos urbanos como áreas de lazer com praças, parques e quadras.

Estes empreendimentos foram inseridos em uma região contígua à malha urbana existente, mas previamente desocupada e, para viabilizar o acesso dos moradores ao transporte público, foi necessária a implantação de uma linha de ônibus cujo itinerário perpassa todos os condomínios e finda no terminal de integração mais próximo. O percurso feito pelo veículo de transporte é prejudicado pelas condições das vias, ainda de barro em alguns trechos, posto que a pavimentação destas se limita aos acessos dos condomínios, evidenciando a desarticulação da implantação dos empreendimentos com o seu entorno (Figura 6). Nesta área, também monofuncional, identifica-se o surgimento de comércios informais, como forma de complementação da renda familiar, nos canteiros centrais próximos aos acessos dos condomínios e no interior das residências, tanto nas edificações unifamiliares, como nos apartamentos térreos dos edifícios multifamiliares.

---

<sup>12</sup> A fluidez urbana “é atingida quando se tem uma boa adequação à malha urbana existente, garantindo um diálogo harmonioso entre os eixos de circulação do conjunto e os existentes no entorno e descartando elementos de ruptura física e visual da paisagem e de isolamento do conjunto, como muros e grades” (FERREIRA, 2012).

**Figura 6 – Concentração de empreendimentos no bairro Benedito Bentes.**



**Fonte:** Google Maps e CittaMobi (2018), adaptado pela autora.

Além da segregação socioespacial encontrada no contexto da cidade, a partir da periferização dos empreendimentos da faixa de renda mais baixa, é evidente, ainda, a segregação socioespacial no perímetro do bairro. No caso do bairro do Benedito Bentes, onde há a maior concentração de empreendimentos, identifica-se centralização dos empreendimentos do PMCMV de acordo com a faixa de renda. O bairro, predominantemente residencial, apresenta um eixo viário onde se concentram

os principais serviços e acesso à transporte público. Percebe-se, portanto, que os empreendimentos Faixa 2 – à exemplo dos Recantos e Villages já citados – apresentam maior proximidade aos principais eixos viários, enquanto os empreendimentos Faixa 1 (Residencial José Aprígio Vilela, Morada do Planalto e Parque dos Caetés), inseridos no mesmo bairro, foram implantados em áreas afastadas, pouco (ou nada) ocupadas, promovendo, ainda mais, a formação de regiões monofuncionais e dificultando o acesso dos moradores à serviços, comércio, transporte e, conseqüentemente, trabalho (Figura 7). Dessa forma, a implantação destes empreendimentos, em áreas isoladas e desarticuladas da malha urbana, promove o espraiamento urbano e demanda a extensão das redes de infraestrutura

**Figura 7 – Localização dos empreendimentos Faixa 1 e Faixa 2 no bairro do Benedito Bentes.**



Fonte: Google Maps (2018), adaptado pela autora.

Uma exceção ao padrão periférico comum aos empreendimentos Faixa 1, é o Residencial Outro Preto, situado em bairro de mesmo nome. Sua localização é privilegiada, visto que foi implantado em uma região mais central e consolidada, em via que interliga os dois principais eixos viários da cidade (Figura 8). Embora a proposta do empreendimento tenha previsto apenas a construção de unidades de uso residencial, o seu entorno oferece diversos serviços e comércio. A região é atendida por cinco linhas de transporte público que passam pelos pontos de ônibus mais próximos.

**Figura 8 – Localização do residencial Ouro Preto.**



**Fonte:** Google Maps e CittaMobi (2018), adaptado pela autora.

Com exceção dos grandes conjuntos habitacionais implantados nas regiões periféricas da cidade, os empreendimentos Faixa 2 e Faixa 3, são, em sua maioria, formados por condomínios residenciais multifamiliares e localizados nas áreas mais centrais da cidade. Devido à sua localização privilegiada, por vezes inseridos em bairros mais valorizados pelo mercado imobiliário – como Pajuçara e Jatiúca –, estes

empreendimentos apresentam, em geral, maior facilidade de acesso à serviços e transportes.

A apropriação desigual do espaço urbano na cidade de Maceió pode ser verificada na maioria dos empreendimentos destinados às famílias com renda equivalente à Faixa 1. O mercado imobiliário contribui para a consolidação da realidade segregadora, atuando como fator determinante nas tomadas de decisões dos investimentos públicos e, conseqüentemente, na expulsão da população pobre, que não dispõe de recursos, da “cidade legal” para as áreas de desinteresse imobiliário, como as grotas e franjas da cidade.

Diante do exposto, a espacialização do PMCMV em Maceió revela uma produção urbana desigual, estruturando práticas de segregação social e valorização fundiária, aprofundando as desigualdades socioespaciais existentes na cidade. A valorização desigual do espaço, gerada pela ação do mercado imobiliário, sujeita a população de baixa renda a residir em áreas distantes, muitas vezes isoladas e precárias, diante das limitações financeiras que restringem a escolha da moradia em áreas com melhor infraestrutura.

A construção dos empreendimentos habitacionais do PMCMV para a população de média e baixa renda ficou a cargo do setor privado. As análises de implantação do PMCMV na cidade de Maceió, permite-nos afirmar que a produção habitacional está condicionada à viabilidade econômica dos empreendimentos, desvinculada da demanda habitacional e das dinâmicas urbanas. A escolha das áreas para implantação das habitações produzidas pelo Programa está diretamente ligada ao preço da terra e à infraestrutura urbana instalada, visto que a instalação das redes de água, luz e esgoto implicam em custos adicionais que refletem nos preços finais dos empreendimentos.

Além disso, é recorrente a reprodução em massa de um modelo arquitetônico – principalmente no âmbito das faixas de renda mais baixas – desvinculado do contexto climático em que se inserem, implicando em prejuízos à qualidade ambiental das edificações e, conseqüentemente, ao conforto e qualidade de vida dos usuários.

## 2.4 DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

O adequado desempenho térmico das edificações afeta o conforto dos usuários, contribuindo para proporcionar condições adequadas para o desenvolvimento de atividades cotidianas e para o sono, além de possibilitar economia de energia (CBIC, 2013).

O desempenho térmico de uma edificação está relacionado às trocas térmicas da edificação com o meio (COMIRAN, 2014). Dessa forma, o desempenho térmico depende de diversas características locais – como topografia, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento – e da edificação – como materiais constituintes do envelopamento (paredes e coberturas), orientação das fachadas e número de pavimentos. Além disto, a sensação de conforto térmico<sup>13</sup> depende, ainda, das condições de ventilação dos ambientes, que sofre influência da posição e dimensões das aberturas (CBIC, 2013; COMIRAN, 2014).

Dessa forma, utilizando de forma adequada as variáveis ambientais na busca por estratégias bioclimáticas<sup>14</sup> durante a etapa de concepção do projeto, é possível proporcionar melhores condições de conforto térmico e, conseqüentemente, redução no consumo de energia (MORONI, 2015).

Vale salientar que o usuário detém um importante papel neste contexto, posto que seus hábitos de consumo de energia podem interferir diretamente tanto no desempenho térmico e luminoso, quanto na eficiência energética das habitações (NASCIMENTO, 2016).

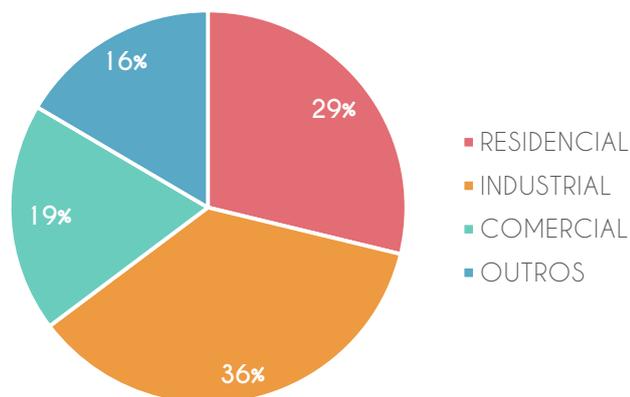
O setor residencial é, historicamente, um dos setores com maior consumo de energia elétrica, apresentando um dos maiores crescimentos de consumo anual, atrás apenas do setor industrial (BRASIL, 2018). No ano de 2018, 29% de todo o consumo de energia foi referente a edificações residenciais, conforme indicado no Gráfico 5.

---

<sup>13</sup> O nível de satisfação ou insatisfação depende de diversos fatores, desde as condições ambientais, até condições fisiológicas e psicológicas dos usuários. Portanto, em se tratando de conforto térmico, faz-se referência à uma condição média, que atende à maior parte das pessoas expostas a uma determinada condição (CBIC, 2013).

<sup>14</sup> A bioclimatologia consiste no estudo das relações entre o clima e o ser humano. Na arquitetura, o Projeto Bioclimático se caracteriza por tirar partido das condições climáticas, visando a adequação da arquitetura ao clima local (LABEEE, 2016).

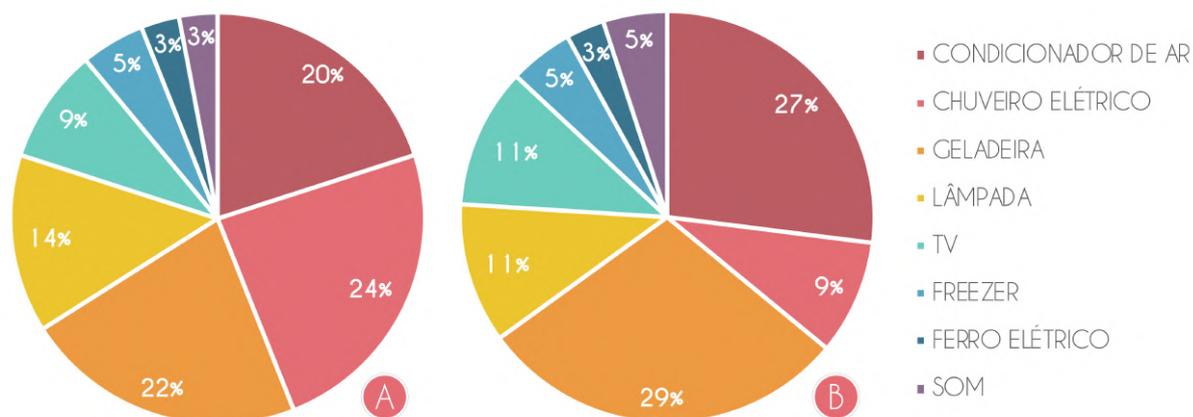
**Gráfico 5 – Consumo de energia elétrica por classe no ano de 2018.**



Fonte: Consumo anual de energia elétrica (BRASIL, 2018).

No Brasil, 80% do consumo de energia domiciliar é composto por quatro tipos de equipamentos, são eles: chuveiro elétrico, geladeira, (BRASIL, 2018) condicionador de ar (ar-condicionado ou aquecedor) e lâmpadas (Gráfico 6a). No Nordeste, região onde se insere a cidade de Maceió, o consumo relativo à TV e lâmpadas se igualam, representando 11% do consumo de energia (Gráfico 6b). O consumo relativo ao condicionamento de ar e à geladeira é 7% maior que a média nacional cada, enquanto o consumo do chuveiro elétrico, equipamento com a maior parcela de consumo à nível nacional, é cerca de 2,5 vezes menor que a média nacional. As diferenças no padrão de uso em relação à média nacional se dá em virtude do clima quente na região Nordeste, que contribui para o aumento no uso de condicionadores de ar, devido à necessidade de resfriamento dos ambientes, e menor necessidade de aquecimento de água (NASCIMENTO, 2016).

**Gráfico 6 – (a) Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil; (b) Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Nordeste.**



Fonte: Resultados PROCEL (2007), adaptado pela autora.

A década de 1970 foi marcada por uma crise energética mundial, a “crise do petróleo”, resultante do acelerado desenvolvimento industrial. Foi a partir de então que diversos países afetados pela crise começaram a implementar medidas de conservação de energia e menor impacto ambiental, buscando o desenvolvimento de fontes alternativas de energia e sistemas mais eficientes (CARDOSO, 2002; MENDES et al., 2005; NASCIMENTO, 2016). No setor da construção civil, responsável por uma parcela significativa do consumo de energia elétrica, países da Europa e os Estados Unidos começaram a financiar iniciativas que promovessem o desenvolvimento de edificações mais eficientes (MENDES et al., 2005).

Em 1985, no Brasil, foi criado o PROCEL pelos Ministérios de Minas e Energia (MME) e da Indústria e Comércio, cujo objetivo inicial foi a publicação e distribuição de manuais destinados à conservação de energia elétrica (MORONI, 2015). No entanto, uma pesquisa realizada por Janda e Busch (1994) demonstrou que o Brasil ficou na retaguarda dos países desenvolvidos em relação a avanços energéticos no setor da construção civil, não apresentando normatizações com o intuito de promover uma maior eficiência energética e um melhor desempenho das edificações no país. Ao contrário, o preço da eletricidade no país caiu durante a década de 1970 até o início dos anos 1990, o que incentivou o crescimento da demanda e gerou sérios problemas financeiros para as concessionárias de energia elétrica, o que resultou em um aumento significativo dos preços em meados da década de 1990 (GELLER et al., 1998).

No ano 2001, observou-se uma redução no consumo de energia elétrica no país, resultado do racionamento de energia imposto pelo governo em virtude dos poucos investimentos em ampliação do parque gerador nos anos anteriores e da escassez de chuvas registrada no ano 2000. Dentre as regiões mais atingidas destaca-se Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, que passaram por um período de racionamento durante os meses de maio a novembro de 2001, o que provocou uma diminuição no consumo de energia elétrica no país e gerou uma mudança nos hábitos da população, mesmo após o racionamento (MENDES et al., 2005)

Foi então que, a partir deste período de crise interna, o Brasil tomou as primeiras medidas legislativas com foco em eficiência energética com a publicação da Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001a), que trata da Política Nacional de Conservação e Uso

Racional de Energia, visando a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Conhecida como Lei da Eficiência Energética, ela estabelece níveis máximos de consumo, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes (BRASIL, 2001a). Regulamentada pelo Decreto 4.059 (BRASIL, 2001b), a Lei da Eficiência Energética criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) e, especificamente no âmbito das edificações, o “Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País” (GT-Edificações), criado para “regulamentar e elaborar procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações construídas no Brasil, visando ao uso racional da energia elétrica” (PBE EDIFICA, 2018).

Em 2003, foi instituído o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (Procel Edifica), um subprograma do Procel que tinha o objetivo de promover a eficiência energética nas edificações, viabilizando a Lei de Eficiência Energética (BRASIL, 2001a) por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica, contribuindo para a expansão, de forma energeticamente eficiente, do setor de edificações do país (PROCEL; ELETROBRÁS, 2015). Estima-se que, com os padrões instituídos pela Etiquetagem PBE Edifica, o potencial de redução de consumo pode chegar a 50% para novas edificações e até 30% para edificações já existentes e reformadas (PROCEL, 2018).

Hoje, existem diversos instrumentos para avaliação e melhoria do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil e no mundo, com a instituição de normas, regulamentos, certificações e/ou leis. Concernente ao desempenho térmico das edificações, em 2005 foi lançada a primeira versão da NBR 15220 (ABNT, 2005a) que se divide em cinco partes e apresenta métodos de cálculo de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2005b) e a definição do Zoneamento Bioclimático, que divide o país em 8 Zonas Bioclimáticas (ZB), apontando diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento passivo para habitações unifamiliares de interesse social. Ainda no âmbito nacional, em 2008 foi lançada a primeira versão da NBR 15575, conhecida como “norma de desempenho”, que entrou em vigor em maior de 2012 e sofreu revisão em 2013. A norma, agora voltada para edificações residenciais, estabelece

requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações, abrangendo desempenho térmico, acústico, lumínico e durabilidade (ABNT, 2013).

No âmbito do PBE Edifica, foram lançados os Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), lançado em 2009, e Residenciais (RTQ-R), em 2010. Ambos os documentos auxiliam na classificação das edificações em 5 níveis de eficiência, que vão de “A” – mais eficiente – a “E” – menos eficiente. À princípio, o processo de etiquetagem tinha um caráter voluntário, no entanto, em 2014, passou a ser obrigatório para os projetos de novas edificações públicas (PROCEL; ELETROBRÁS, 2015).

As normas de desempenho das edificações (ABNT, 2005a, 2013), bem como os Regulamentos Técnicos de Qualidade (INMETRO, 2012a), avaliam e/ou regulamentam os ganhos através das superfícies externas e aberturas existentes, e as condições de ventilação do ambiente, permitindo identificar os materiais construtivos mais adequados à determinada edificação, de acordo com a ZB em que está inserida, posto que os níveis de desempenho térmico de edificações são diretamente influenciados pelos materiais constituintes do envelopamento do edifício (LIMA, 2014; SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014).

Embora as publicações de normas e portarias no país denotem um importante avanço na melhoria do desempenho e eficiência energética das edificações, elas não garantem as melhores condições de conforto para o usuário. Para tanto, é necessário estar atento às variáveis ambientais, buscando estratégias bioclimáticas durante a concepção do projeto da edificação, gerando uma menor dependência de sistemas de condicionamento e iluminação artificial e, conseqüentemente, redução no consumo de energia (MORONI, 2015).

Diante do exposto, são extraídos três diferentes conceitos: desempenho térmico, eficiência energética e conforto térmico. Quando aplicados de forma associada, o desempenho térmico, tendo como meta a satisfação dos usuários, gera conforto térmico e, por consequência, a eficiência energética acontece quando estes objetivos são atendidos com um menor consumo de energia (NASCIMENTO, 2016).

A NBR 15220 foi a primeira norma brasileira a instituir parâmetros de adequação da arquitetura aos climas brasileiros, dispondo de recomendações referentes a estratégias bioclimáticas e prescrições para as propriedades térmicas dos componentes de paredes e coberturas, dimensões das janelas e necessidade de sombreamento das aberturas. Estas recomendações são dadas em função de um Zoneamento Bioclimático, definido pela norma com base nas características climáticas de cada região, classificada através da aplicação da Carta Bioclimática de Givoni (1992), adotando limites de temperatura e umidade do ar como critério de conforto (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999). Com o passar dos anos, surgiram outras normas considerando o princípio adaptativo, estimando o conforto em função temperatura operativa<sup>15</sup>.

Para definir as condições ambientais de conforto, são encontrados na literatura duas abordagens: a analítica e a adaptativa. A primeira, parte do pressuposto que as pessoas são biologicamente idênticas e, portanto, independente do país de origem, tem as mesmas preferências térmicas. Já a abordagem adaptativa considera o usuário como um agente ativo, defendendo que, quando ocorre desconforto devido às mudanças ambientais, são realizadas adaptações para reestabelecer as condições de conforto (LAMBERTS; XAVIER; VECCHI, 2016). A ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017) é uma norma norte-americana, publicada pela primeira vez em 1966, que trata das “condições ambientais térmicas para ocupação humana” e propõe três diferentes métodos de avaliação, abrangendo tanto a abordagem analítica, quanto a adaptativa.

A definição de um critério de conforto, em geral, é vinculada à temperatura do ar. A partir disso, pode ser determinado o desempenho térmico de uma edificação que, na maioria das vezes, é quantificado em função da temperatura, como acontece no RTQ-R e em diversas pesquisas acadêmicas. A NBR 15575, no entanto, não utiliza um critério de conforto, determinando o desempenho térmico da edificação em função da temperatura externa no dia típico de verão ou no dia típico de inverno.

---

<sup>15</sup> A Temperatura operativa é a temperatura uniforme de um invólucro preto imaginário, no qual o ocupante troca as mesmas quantidades de calor, por radiação e convecção, que no ambiente não uniforme real (ASHRAE, 2017).

## 2.4.1 CRITÉRIOS E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

Com base no exposto, a seguir serão apresentados os diferentes critérios e parâmetros presentes nas normativas brasileiras para a determinação do desempenho térmico de edificações segundo a Norma de Desempenho (NBR 15575) e o Regulamento Técnico de Qualidade para Edificações Residenciais (RTQ-R). Além disso, será apresentada a metodologia para a determinação dos limites de conforto baseada no método adaptativo da ASHRAE Standard 55. Estas metodologias servirão de base para avaliação das unidades habitacionais utilizadas como estudo de caso nesta dissertação.

### **NBR 15575 – Desempenho de edificações habitacionais**

O conjunto normativo NBR 15.575 (2013), conhecido como “norma de desempenho”, trata do desempenho de edificações habitacionais, instituindo parâmetros de avaliação do comportamento dos sistemas que compõem as edificações (COMIRAN, 2014). A norma apresenta uma sequência de Requisitos de desempenhos, Critérios de Desempenho e sus respectivos Métodos de Avaliação, se dividindo em seis partes (CBIC, 2013):

Com relação ao desempenho térmico, a norma estabelece requisitos gerais de acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro estabelecidos pela NBR 15.220 (ABNT, 2005a), apresentando os procedimentos para avaliação da adequação da edificação:

**Simplificado (normativo):** consiste na verificação do atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas de acordo com as partes 4 e 5 desta norma;

**Medição (informativo):** consiste na verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela Norma por meio de medições em edificações ou protótipos construídos;

**Simulação computacional:** consiste na verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela Norma por meio de simulação computacional, utilizando informações geográficas e dados climáticos locais.

Com relação às medições, a Norma estabelece que estas devem ser realizadas em edificações em escala real e o equipamento de medição deve ser posicionado no centro dos ambientes de permanência prolongada a uma altura de 1,20m do piso. Para a avaliação de edificações existentes no período do verão, devem ser priorizados os ambientes de permanência prolongada, localizados em uma ou mais unidades, que apresentem janela voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte. No caso de edificações multipiso, devem ser selecionadas unidades no último pavimento.

Com relação aos requisitos gerais, são apresentados critérios para a avaliação do desempenho no verão e no inverno, tendo como base um dia típico de verão/inverno. Para a ZB8, local onde se situa o objeto de estudo, a norma estabelece que não é necessário realizar a avaliação do desempenho térmico de projeto para o inverno e que, para o verão, o valor máximo diário da temperatura do ar interna de ambientes de permanência prolongada deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar externa (Tabela 6). Em Maceió, o dia típico corresponde a uma temperatura máxima diária de 32,2°C, portanto, para alcançar o nível Mínimo de desempenho, é necessário que a temperatura interna não ultrapasse este valor.

**Tabela 6 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão (NBR 15575).**

TEMPERATURA DO AR		
Zona Bioclimática	Critério de avaliação	Nível de Desempenho
ZB8	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	Mínimo (M)
	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1^{\circ}\text{C})$	Intermediário (I)
	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$	Superior (S)

T<sub>i,máx.</sub> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.  
T<sub>e,máx.</sub> é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

A Parte 4 da norma também dispõe de critérios concernentes ao desempenho térmico das edificações, apresentando requisitos para a verificação da adequação dos sistemas de vedações verticais, de acordo com a zona bioclimática que a edificação está inserida. Para tanto são apresentados três critérios: transmitância térmica, capacidade térmica e aberturas para ventilação.

Os parâmetros admissíveis são estabelecidos de acordo com a zona bioclimática. Para a transmitância térmica, na ZB8 são estabelecidos valores em função da absorvância solar das paredes, conforme indica Tabela 7.

**Tabela 7 – Transmitância térmica de paredes externas (NBR 15575).**

PROPRIEDADES TÉRMICAS - PAREDES			
Zona Bioclimática	Absortância solar	Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> K)	Nível de Desempenho
ZB1 e ZB2	-	$U \leq 2,50$	Mínimo (M)
ZB3, 4, 5, 6, 7 e 8	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Mínimo (M)
	$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

Quanto à capacidade térmica, de acordo com a Tabela 8, não há exigência para a Zona Bioclimática 8.

**Tabela 8 – Capacidade térmica de paredes externas (NBR 15575).**

PROPRIEDADES TÉRMICAS - PAREDES		
Zona Bioclimática	Capacidade térmica W/(m <sup>2</sup> K)	Nível de Desempenho
ZB1 a ZB7	$CT \geq 130$	Mínimo (M)
ZB8	Sem exigência	Mínimo (M)

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

Ainda na Parte 4, são estabelecidos os parâmetros mínimos admissíveis para as aberturas para ventilação nos ambientes de permanência prolongada, determinando dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna em relação à área do piso do ambiente. Para a ZB8, as aberturas devem ser grandes, correspondendo a, no mínimo 8% da área do piso do ambiente avaliado (Tabela 9).

**Tabela 9 – Parâmetros admissíveis para áreas de abertura para ventilação em ambientes de permanência prolongada (NBR 15575).**

VENTILAÇÃO NATURAL		
Zona Bioclimática	Abertura	Nível de Desempenho
ZB1 a ZB7	Aberturas médias: $A \geq 7\%$ da área de piso	Mínimo (M)
ZB8	Aberturas grandes $A \geq 12\%$ da área de piso (Região Norte) $A \geq 8\%$ da área de piso (Região Nordeste e Sudeste)	Mínimo (M)

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

Já na Parte 5 são estabelecidos os requisitos e critérios de desempenho térmico da cobertura, sendo estes valores em função da absorvância solar da cobertura na ZB8 (Tabela 10).

**Tabela 10 – Parâmetros admissíveis para propriedades térmicas da cobertura.**

PROPRIEDADES TÉRMICAS - COBERTA			
Zona Bioclimática	Absortância solar	Transmitância térmica $W/(m^2K)$	Nível de Desempenho
ZB1 e ZB2	-	$U \leq 2,3$	Mínimo (M)
ZB3 a ZB6	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,3$	Mínimo (M)
	$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,5$	
ZB7 e ZB8	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,3$ FT	Mínimo (M)
	$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,5$ FT	

O FT (valor de correção da transmitância) ou FV (fator de ventilação) é estabelecido na NBR 15220 (ABNT, 2005a), em função das dimensões das aberturas de ventilação nos beirais.

$FV = 1,17 - 1,07 \times h^{-1,04}$ , onde  $h$  é a altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros. Para cobertura sem forro ou com áticos não ventilados,  $FV = 1$ .

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

## RTQ-R: Regulamento Técnico de Qualidade para Edificações Residenciais

Por meio do RTQ-R é possível determinar o nível de eficiência energética de edificações residenciais, dispondo de procedimentos para a avaliação de Unidades Habitacionais Autônomas (UHs), Edificações Unifamiliares, Edificações Multifamiliares e Áreas de Uso Comum de Edificações Multifamiliares ou de

Condomínios Residenciais (INMETRO, 2012a). Para cada um deste itens, a etiquetagem de eficiência energética é feita conforme indica Figura 9.

**Figura 9 – Esquema de avaliação disposto pelo RTQ-R.**



**Fonte:** RTQ-R (INMETRO, 2012a), adaptado pela autora.

Na avaliação realizada para Unidades Habitacionais Autônomas, a determinação do nível de eficiência energética da envoltória pode ser realizada através de dois métodos: simulação ou prescritivo.

No Método de Simulação Computacional, é realizada a modelagem da geometria da edificação em softwares de simulação termo-energética, como Domus ou Design Builder, comparando os resultados de desempenho obtidos na simulação com os valores de referência das tabelas de classificação dos níveis de eficiência energética da envoltória. Já no Método Prescritivo, a pontuação total da UH é obtida por meio de equações, que classificam a eficiência da unidade com base em indicadores de consumo relacionados à envoltória e ao sistema de aquecimento de água.

Ambos os métodos de avaliação indicados no RTQ-R foram fundamentados em tipologias recorrentes no sistema construtivo brasileiro, buscando-se avaliar um grande leque de casos através de método prescritivo, sendo dispensado o método de simulação. Todavia, nos casos em que o método prescritivo não se fizer adequado em função de particularidades da edificação, faz-se necessário realizar sua avaliação através do método de simulação (INMETRO, 2012b). De acordo com Morishita (2011), a simulação só se faz necessária em casos de edificações que apresentem uma geometria complexa, nos quais as equações de avaliação da envoltória do RTQ-R não têm um resultado satisfatório. Deste modo, serão utilizados os procedimentos

dispostos pelo método prescritivo do RTQ-R para determinação do nível de eficiência energética da envoltória do objeto de estudo.

Neste método são estabelecidos pré-requisitos para a envoltória, que consistem em condições mínimas imprescindíveis para a obtenção dos níveis máximos de eficiência energética da edificação, ou seja, é mandatório o atendimento a essas exigências para garantir a possibilidade de alcançar os níveis “A” ou “B” em eficiência energética.

Os pré-requisitos se dividem em duas partes, são elas: os pré-requisitos gerais e os pré-requisitos específicos. Os pré-requisitos gerais exigem que, na presença de mais de uma unidade habitacional autônoma em um mesmo lote, deve ser implementada a medição individualizada, tanto de eletricidade, como de água. O não-atendimento a este pré-requisito implica em obtenção de, no máximo, nível “C”, contudo, essas condições só são pertinentes a edificações construídas após a publicação do RTQ, ou seja, o atendimento a esse pré-requisito só é obrigatório para edificações construídas a partir de 2010.

Já os pré-requisitos específicos se dividem em três partes, contemplando propriedades térmicas (transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies), ventilação natural e iluminação natural. Os ambientes de permanência prolongada<sup>16</sup> da edificação são avaliados separadamente e, à medida em que a eficiência energética se aproxima do nível “A”, mais rigorosos são os critérios a serem atendidos.

A avaliação do RTQ-R leva em consideração as condições climáticas da região em que a edificação se insere, utilizando como base a NBR 15.220 (ABNT, 2005a), que, como citado anteriormente, divide o território brasileiro em 8 (oito) Zonas Bioclimáticas. São determinados pelo regulamento diferentes parâmetros e equações para a avaliação do desempenho da envoltória, que se diferenciam de acordo com o clima de cada região.

Para a avaliação da eficiência energética da envoltória de edificações, os parâmetros das propriedades térmicas são baseados nas recomendações da NBR

---

<sup>16</sup> Configuram-se como ambientes de permanência prolongada (APP) sala e dormitórios.

15.220 (ABNT, 2005), enquanto os parâmetros de ventilação e iluminação naturais são estabelecidos pelo próprio RTQ-R, conforme indica Tabela 11.

**Tabela 11 – Pré-requisitos específicos para a Zona Bioclimática 8 (RTQ-R).**

PROPRIEDADES TÉRMICAS				
Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar	Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> K)	Capacidade térmica W/(m <sup>2</sup> K)
ZB8	Paredes	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
VENTILAÇÃO NATURAL				
Zona Bioclimática	Componente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso ( $A_v$ )		
ZB8	Ambientes de Permanência Prolongada (APP)	$A_v \geq 10,0\%$		
ILUMINAÇÃO NATURAL				
Zona Bioclimática	Componente	Percentual de abertura para iluminação em relação à área de piso ( $A_l$ )		
ZB8	Ambientes de Permanência Prolongada (APP)	$A_l \geq 12,5\%$		

Fonte: RTQ-R (INMETRO, 2012a), adaptado pela autora.

O não-atendimento aos pré-requisitos específicos pode interferir não só no Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente (EqNumEnvAmb), mas também no Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv) da UH, resultando na redução do nível de eficiência da edificação. Já o não-atendimento aos pré-requisitos gerais, incide diretamente na redução do nível de eficiência da UH.

A avaliação da edificação através do método prescritivo é dada por meio de equações específicas, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação se insere, conforme mencionado anteriormente. Essas equações resultam no

Equivalente Numérico (EqNum), que consiste em um número que representa o nível de eficiência energética de um sistema. O nível de eficiência de cada requisito é equivalente a uma pontuação correspondente, que pode apresentar um número inteiro (EqNum) ou fracionado (PT). Dessa forma, de acordo com a pontuação obtida, é atribuída uma classificação de eficiência energética, que pode variar do nível “A” (mais eficiente) ao “E” (menos eficiente), conforme disposto na Tabela 12.

**Tabela 12 – Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida na avaliação com base nos parâmetros estabelecidos pelo RTQ-R.**

Nível de Eficiência	EqNum <sup>17</sup>	Pontuação (PT) <sup>18</sup>
A	5	$PT \geq 4,5$
B	4	$3,5 \leq PT < 4,5$
C	3	$2,5 \leq PT < 3,5$
D	2	$1,5 \leq PT < 2,5$
E	1	$PT < 1,5$

**Fonte:** RTQ-R (INMETRO, 2012a), adaptado pela autora.

O Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv) representa o desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente, apresentando-se sob três variações: Equivalente Numérico da Envoltória para Resfriamento (EqNumEnvResfr), Aquecimento (EqNumEnvA), e Refrigeração (EqNumEnvRefrig).

O EqNumEnvResfr representa o desempenho da envoltória para o verão, EqNumEnvA representa o desempenho da envoltória para o inverno – dispensado no cálculo para a Zona Bioclimática 8 que, por não ter um inverno rigoroso, não apresenta necessidade de aquecimento – e o EqNumEnvRefrig representa o desempenho da envoltória quando condicionada artificialmente – apenas de caráter informativo e dispensado no cálculo do desempenho da envoltória. Já o EqNumAA, representa o tipo de sistema utilizado para aquecimento de água da edificação, que pode ser solar, a gás ou elétrico.

<sup>17</sup> Número representativo da eficiência ou do desempenho de um sistema.

<sup>18</sup> Pontuação total alcançada pela edificação.

## **ASHRAE Standard 55: Condições ambientais térmicas para ocupação humana**

A ASHRAE Standard 55 (2017), elaborada pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), é uma norma americana que trata das “condições ambientais térmicas para ocupação humana”. Foi publicada pela primeira vez em 1966 e sofreu diversas atualizações ao longo dos anos, sendo amplamente utilizada como referência para trabalhos científicos e para outras normas como, por exemplo, a NBR15.220 (NASCIMENTO, 2016).

Em sua última versão, a ASHRAE Standard 55 (2017) apresenta três modelos para a determinação da aceitabilidade das condições térmicas de um espaço ocupado, são eles o método gráfico da zona de conforto, o método analítico da zona de conforto e o método de determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços com ventilação natural controlada pelos usuários.

No modelo gráfico a temperatura operativa máxima e mínima é calculada em função da vestimenta (clo)<sup>19</sup> e da velocidade média do ar. Este método é destinado a ambientes nos quais os usuários apresentem atividade metabólica entre 1,0 e 1,3 met<sup>20</sup>, isolamento da roupa entre 0,5 e 1,0 clo e cuja velocidade média do ar não ultrapasse 0,20 m/s.

Já o modelo analítico é destinado a ambientes nos quais os usuários apresentem atividade metabólica entre 1,0 e 2,0 met e cuja velocidade média do ar não ultrapasse 0,20 m/s, fornecendo diretrizes para o cálculo do PMV<sup>21</sup> e PPD<sup>22</sup>.

Como um modelo alternativo aos clássicos PMV/PPD, a norma ASHRAE 55 (2017) incorporou o conceito de modelo adaptativo, o qual relaciona as temperaturas internas de conforto com o clima externo em ambientes naturalmente ventilados, levando em consideração a possibilidade de adaptação e controle diante das necessidades e preferências dos usuários.

---

<sup>19</sup> “clo” é a unidade de medida da resistência térmica da roupa. (1 clo = 0.155m<sup>2</sup> °C/W)

<sup>20</sup> “met” é a unidade de medida utilizada para descrever a energia produzida por unidade de área superficial de uma pessoa média em repouso (1 MET = 58W/m<sup>2</sup>)

<sup>21</sup> O PMV (Predicted Mean Vote) prevê o valor médio dos votos de sensação térmica (percepções auto-relatadas) de um grande grupo de pessoas, dentro de uma escala de sensação térmica, sendo aplicado apenas para ambientes mecanicamente resfriados/aquecidos (ASHRAE, 2017).

<sup>22</sup> O PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) estabelece uma previsão quantitativa do percentual de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas, determinado pelo PMV (ASHRAE, 2017).

A aplicabilidade do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2017) apresenta limitações, pois a norma exige que, para ambientes condicionados naturalmente, deve-se atender às seguintes condições:

- Não haver sistema de resfriamento mecânico instalado, bem como sistema de aquecimento em operação;
- Ocupantes devem apresentar taxas metabólicas que variam de 1,0 a 1,3 met;
- Ocupantes devem ter a liberdade de adaptar suas roupas às condições térmicas internas e/ou externas, em uma faixa de 0,5 a 1,0 clo;
- A temperatura do ar média externa predominante deve estar no intervalo de 10°C a 33,5°C.

Para a avaliação das condições térmicas aceitáveis dos ambientes (naturalmente ventilados e controlados pelos usuários), a ASHRAE Standard 55 (2017) utiliza a temperatura operativa ( $t_o$ ) como critério básico para o cálculo da Zona de Conforto, levando em consideração um nível mínimo de aceitabilidade<sup>23</sup> para o conforto térmico de 80%.

Diversos estudos indicam para a existência de divergências nos resultados das classificações obtidas por diferentes métodos de avaliação para uma mesma edificação. Loura et al. (2011) realizou análise comparativa entre o método simplificado da NBR15575/2008<sup>24</sup> e o método prescritivo do RTQ-R aplicados na classificação da envoltória de edificação multifamiliar localizada na cidade do Rio de Janeiro. No estudo, os autores identificaram que, enquanto na avaliação pelo RTQ-R a edificação obteve nível “B” para a envoltória, na avaliação pela NBR 15575 a edificação não chegou a atingir o nível “Mínimo” de desempenho.

Silva e Ghisi (2014) realizaram análise comparativa dos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575 aplicados a uma edificação unifamiliar de interesse social inserida no clima de Florianópolis, SC. Os resultados encontrados apontaram divergências na classificação tanto no período do inverno, como no período do verão. São apontados casos em que no verão é atingido o nível “E” através do RTQ-R,

---

<sup>23</sup> O nível de aceitabilidade refere-se a um ambiente térmico no qual a maioria substancial (mais de 80%) dos ocupantes acham termicamente aceitável (ASHRAE, 2017).

<sup>24</sup> Neste período, o documento ainda consistia no projeto de norma.

enquanto pela NBR 15575 a edificação atinge nível “Intermediário”. No inverno, a edificação atinge nível “B” pelo RTQ-R e não atende aos requisitos mínimos da NBR 15575. De acordo com os autores, essas discordâncias se dão devido à NBR 15575 ser mais exigente para o inverno, enquanto o RTQ-R é mais exigente para graus-hora de resfriamento (GHR)<sup>25</sup>.

Batista et al. (2013) também realizaram estudo comparativo dos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR15575. Da mesma forma, foram encontradas divergências nas classificações dos ambientes de uma edificação multifamiliar do PMCMV localizada na cidade de Maceió/AL, que se insere na ZB8. Enquanto os ambientes foram classificados como níveis “Intermediário” ou “Superior” através da avaliação da NBR 15575, os mesmos obtiveram nível “E” na avaliação pelo RTQ-R. Para as autoras, o procedimento da simulação adotado pela NBR 15575 apresenta limitações por se restringir a um dia típico e empregar uma taxa de ventilação fixa, enquanto o RTQ-R avalia a influência anual da temperatura, no entanto apresenta limitações em relação ao efeito da ventilação natural no interior dos ambientes.

A envoltória, a orientação e a altura da edificação são fatores de suma importância para o desempenho térmico da edificação. Aflaki, Mahyuddin e Baharum (2016) realizaram um estudo da ventilação unilateral em edificação multifamiliar de 17 pavimentos localizada em Kuala Lumpur, na Malásia, que apresenta um clima quente e úmido. Os autores identificaram que a temperatura do ar interna, a umidade relativa e a velocidade do ar sofrem influência da orientação e altura da UH, apresentando diferenças quando localizadas na mesma altura, porém em orientações diferentes. Comparando resultados de unidades na mesma orientação, mas em diferentes alturas, as diferenças de temperatura interna nas salas de estar das unidades inferior e superior nas orientações nordeste e sudeste foram de 1,2°C e 1,4 °C, respectivamente. A velocidade do ar interior seguiu a mesma tendência.

Triana (2016), com base nos parâmetros estabelecidos pelo RTQ-R, identificou que o comportamento termoenergético da unidade habitacional nos edifícios multifamiliares localizadas na ZB8 sofreu grande influência do pavimento no qual estava inserida a UH, identificando que os apartamentos localizados no térreo

---

<sup>25</sup> O GHR é a somatória da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base, quando a primeira está acima da temperatura de base. No RTQ-R este indicador é calculado para a temperatura base de 26°C para resfriamento (INMETRO, 2012a).

apresentaram melhor desempenho que os apartamentos na cobertura em virtude do contato com o solo.

Com relação à influência da envoltória no desempenho térmico da edificação, Moraes e Labaki (2015) analisaram a ventilação natural em um edifício do Programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Campinas/SP, dotado de aberturas com dimensões máximas indicadas pela NBR 15220-3. Verificou-se no estudo que, embora o tamanho das aberturas seja o único parâmetro de desempenho da ventilação natural estabelecido pela NBR 15220, a correta disposição dos blocos e das aberturas em relação aos ventos predominantes exercem maior influência no desempenho térmico que o tamanho das aberturas, questionando a existência de um parâmetro único (dimensionamento de aberturas) para avaliação da ventilação natural na NBR 15220.

Vale ressaltar que, assim como a NBR 15220, a NBR 15575 e o RTQ-R também utilizam como parâmetro de avaliação a área de abertura efetiva para ventilação, sem levar em consideração a localização das aberturas na fachada e a sua orientação em relação aos ventos predominantes.

Com relação aos componentes construtivos, Pereira e Ghisi (2009) realizaram uma investigação da influência das propriedades térmicas do envelope de edificações residenciais unifamiliares na cidade de Florianópolis, através de simulações computacionais, realizando variações nos materiais do envelope. Para tanto foram realizadas análises de correlação das porcentagens de horas de desconforto com os valores de transmitância, capacidade e atraso térmicos equivalentes, verificando que as menores horas de desconforto foram obtidas nos modelos com maiores valores de capacidade e de atraso térmicos no envelope. O estudo demonstrou que a propriedade que apresentou maior correlação com as horas de desconforto da edificação foi a capacidade térmica, enquanto a transmitância térmica foi a propriedade que apresentou menor correlação com o desconforto do modelo, com ou sem ventilação e ocupação.

Diante do exposto, pode-se afirmar que a publicação das normativas nacionais, bem como as pesquisas acadêmicas, denotam um importante avanço para o desenvolvimento de critérios e parâmetros adequados para a avaliação do desempenho térmico de edificações sujeitas às condições climáticas brasileiras. No

entanto, as abordagens ainda demonstram incoerências, quando comparadas entre si, diante das diferenças existentes em alguns critérios e parâmetros estabelecidos pelo RTQ-R e pela NBR 15575, demonstrando a necessidade e pertinência de estudos mais aprofundados das normativas brasileiras, a fim de oferecer respaldo para possíveis avanços neste sentido.

## 3 METODOLOGIA

---

Para desenvolver o estudo do desempenho térmico e eficiência energética de habitações de interesse social produzidas pelo PMCMV na cidade de Maceió-AL, a metodologia fundamentou-se na revisão bibliográfica que abordou os seguintes temas: produção do espaço urbano brasileiro, políticas habitacionais no Brasil, desempenho térmico e eficiência energética em edificações.

A primeira etapa metodológica para atingir o objetivo deste trabalho foi compreender o clima a partir da caracterização climática da cidade de Maceió. Em seguida, a partir do levantamento documental de toda a produção habitacional pelo PMCMV em Maceió, foi possível realizar a caracterização da amostra, que consistiu na segunda etapa metodológica.

Com base nos dados coletados e sistematizados, na terceira etapa definiu-se um objeto de estudo, conjunto habitacional multifamiliar, que se mostrasse relevante neste cenário, apresentando características representativas no âmbito da produção local do PMCMV. Em seguida, foram selecionadas as UHs a serem estudadas, em função das condições de insolação e a ventilação, levando-se em consideração as características climáticas da cidade de Maceió.

A quarta etapa consiste na realização de medições *in loco* para o monitoramento da temperatura e umidade do ar internas e externas, e medições pontuais de ventilação. Os dados coletados foram utilizados para a determinação da Zona de Conforto, segundo o método adaptativo da ASHRAE Standard 55, e, em paralelo, foram realizadas as avaliações de desempenho térmico e eficiência energética dos ambientes estudados, com base nos critérios estabelecidos na NBR 15575 e no RTQ-R, correspondente à quinta etapa.

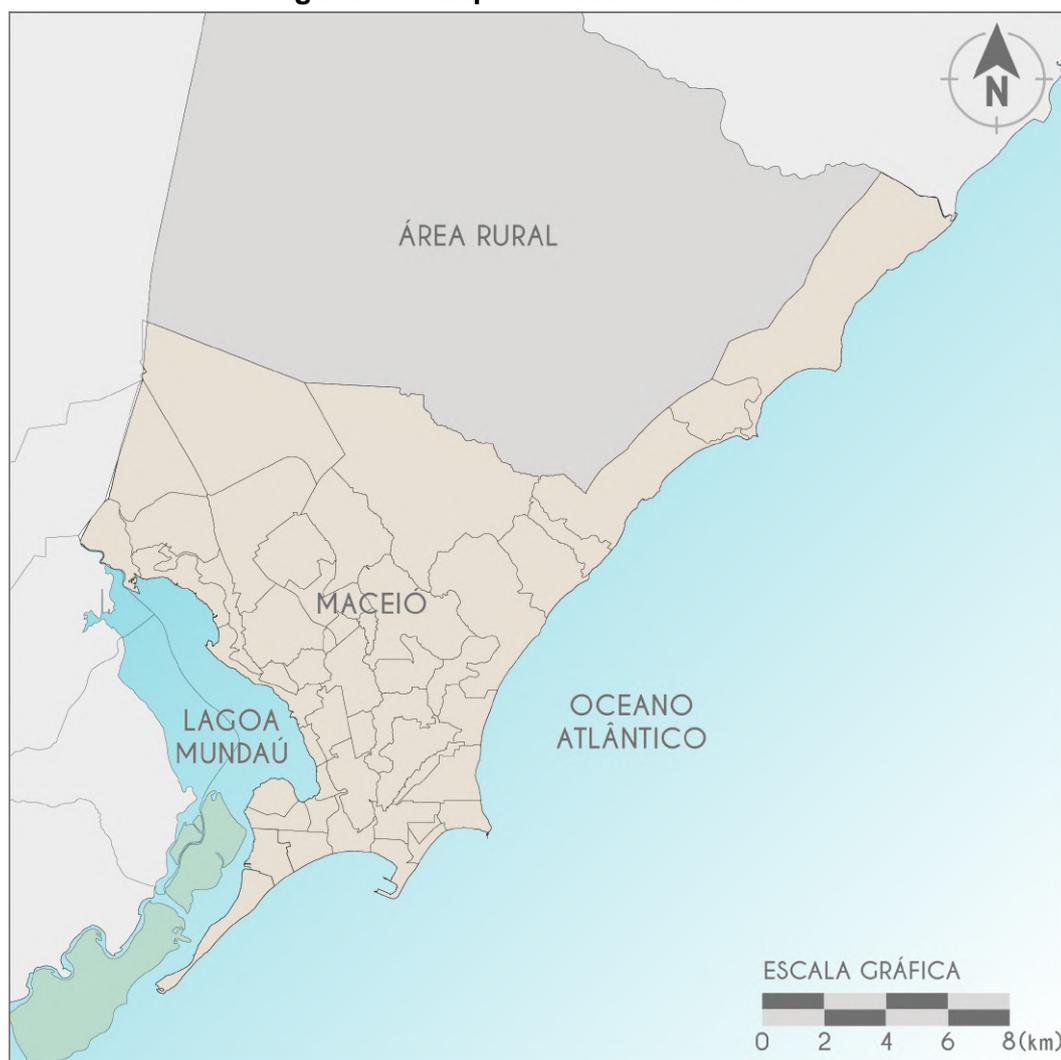
Na sexta e última etapa, os resultados obtidos através das medições *in loco* e das avaliações de desempenho térmico e eficiência energética foram analisados e confrontados, verificando a adequação das edificações estudadas às condições

climáticas locais e a coerência das recomendações dispostas em diferentes formas de avaliação do desempenho térmico.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA CIDADE DE MACEIÓ

A cidade de Maceió está situada entre a latitude 9°39'57" sul e longitude 35°44'07" oeste, no leste do estado de Alagoas (Figura 10). O clima se caracteriza como quente e úmido, apresenta incidência de radiação solar intensa e pequenas variações térmicas diárias, sazonais e anuais de temperatura, com duas estações do ano bem definidas: seca, que vai de outubro a janeiro (verão) e se caracteriza por altas temperaturas e baixa pluviosidade; e chuvosa, que vai de abril a julho (inverno) e se caracteriza pela alta pluviosidade e temperaturas mais baixas que o verão (MAIA, 2016).

**Figura 10 – Mapa da cidade de Maceió.**



**Fonte:** Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007), adaptado pela autora.

De acordo com a análise das Normais Climatológicas de 1981-2010 do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (INMET, 2018), Maceió apresenta uma temperatura média anual de 25,1°C que oscila de 26,5°C, em março, a 23,5°C, em julho e agosto, ou seja, uma variação anual de 3,0°C. Os meses tipicamente quentes são de novembro a fevereiro e tipicamente frios de junho a agosto (Tabela 13).

**Tabela 13 – Normais climatológicas de Maceió, período 1981-2010.**

Mês	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Precipitação total (mm)	Evaporação (mm)	Umidade Relativa (%)	Insolação total (h)	Nebulosidade (décimos)	Intensidade Vento (m.s <sup>-1</sup> )	Direção Vento (pontos cardiais)
<b>JAN</b>	26,0	30,2	22,4	83,0	113,3	75,9	241,4	0,6	3,5	E
<b>FEV</b>	26,2	30,4	22,6	72,9	102,1	74,2	218,6	0,7	3,3	E
<b>MAR</b>	26,5	30,2	22,7	117,4	105,1	74,9	209,6	0,7	3,1	SE
<b>ABR</b>	26,0	29,6	22,5	207,5	89,4	77,8	202,5	0,7	2,6	SE
<b>MAI</b>	25,1	28,5	22,0	296,9	82,4	81,1	198,5	0,7	2,4	SE
<b>JUN</b>	24,1	27,6	21,3	353,8	66,8	82,6	162,8	0,7	2,4	SE
<b>JUL</b>	23,5	27,0	20,5	265,2	74,0	82,8	169,2	0,8	2,4	SE
<b>AGO</b>	23,5	27,1	20,2	201,5	79,6	81,9	180,6	0,7	2,7	SE
<b>SET</b>	24,1	27,8	20,7	120,2	91,0	78,7	190,2	0,7	3,1	SE
<b>OUT</b>	25,1	29,0	21,2	61,6	98,3	76,1	220,4	0,7	3,6	SE
<b>NOV</b>	25,6	29,9	21,6	46,9	103,2	74,1	247,9	0,6	3,8	SE
<b>DEZ</b>	26,0	30,0	22,0	40,5	98,2	73,9	257,5	0,6	3,7	E
<b>ANO</b>	<b>25,1</b>	<b>28,9</b>	<b>21,6</b>	<b>1867,4</b>	<b>1103,4</b>	<b>77,8</b>	<b>2499,2</b>	<b>0,7</b>	<b>3,1</b>	

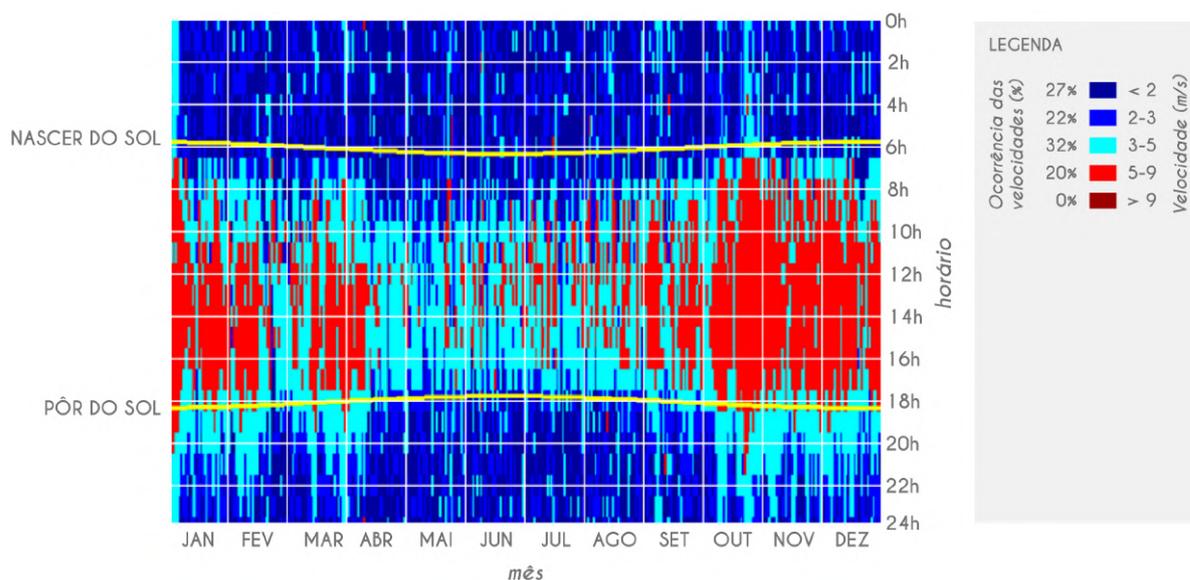
Fonte: INMET (2018).

Quanto ao índice de precipitação, os mais altos ocorrem entre os meses de abril e agosto, sendo a média anual de 1867,4mm (INMET, 2018). A cidade recebe a influência de grandes massas d'água provindas do Oceano Atlântico e do Complexo Estuarino Mundaú-Manguaba (ver Figura 10), o que confere à região uma alta umidade relativa do ar, com média anual de 77,8% e, aliado a uma latitude reduzida, recebe maior incidência de radiação solar ao longo do ano (BARBOSA; VECCHIA, 2009).

O regime de ventos na cidade sofre influência dos alísios, sendo os ventos Sudeste e Leste os mais frequentes e com as maiores velocidades durante todo o ano (Tabela 13). Com base em dados disponibilizados por Roriz (2012), Nascimento (2016) esquematizou um gráfico da velocidade do vento na cidade de Maceió durante o ano (Gráfico 7). Verifica-se que as velocidades do ar entre 3 e 5 m/s são predominantes durante todo o ano, com 32% de ocorrência. As velocidades mais baixas são registradas entre os meses de abril a agosto, apresentando predominância de valores abaixo de 5 m/s, sendo estes os meses com maiores índices de umidade relativa e com predominância de ventos sudeste (vide Tabela 13).

De acordo com o gráfico de velocidade do vento (Gráfico 7), entre os meses de setembro e março são registradas as maiores velocidades do ar, que podem chegar até 9 m/s. Maia (2016) identificou que, ao longo do ano, as direções predominantes dos ventos são leste e sudeste e que entre os meses de outubro e abril (primavera/verão) há uma predominância de ventos leste, enquanto entre os meses de maio e setembro (outono/inverno) há uma predominância de ventos sudeste. Além disso, identificou que o ciclo diário do vento é marcado por velocidades mínimas no amanhecer, alcançado aumentos significativos a partir das 10h e velocidades máximas sempre no fim da tarde. No período chuvoso (de abril a julho) é quando ocorrem os ventos mais fracos, apresentando uma maior quantidade de calmarias, enquanto no período seco (outubro a janeiro) ocorrem os ventos mais fortes (MAIA, 2016).

**Gráfico 7 – Velocidade do vento em Maceió.**



**Fonte:** Nascimento (2016), adaptado pela autora.

Dentre as principais estratégias projetuais para melhoria das condições térmicas das edificações em regiões de clima quente e úmido, recomenda-se o máximo de sombreamento das aberturas, de forma a evitar a incidência direta do sol e, conseqüentemente, ganhos de calor e o uso de superfícies leves e refletoras nas paredes e cobertura (ABNT, 2005a).

### **3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS DO PMCMV (PERÍODO 2009 - 2014)**

Para a determinação do estudo de caso mais relevante para a realização da análise de desempenho térmico, diante dos objetivos a serem alcançados, realizou-se um levantamento da produção habitacional realizada através do Programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL no período de 2009 a 2014. Os dados coletados permitiram traçar um perfil da produção do PMCMV no setor construtivo local para, a partir de então, determinar diretrizes para a escolha de um objeto de estudo relevante dentro do contexto da cidade.

À princípio, as edificações catalogadas constavam na Base de dados do PMCMV, do Ministério das cidades (BRASIL, 2012c), que foi disponibilizada por Sá (2018). Posteriormente, os dados encontrados na planilha foram complementados com informações obtidas através dos site da Caixa Econômica Federal (CEF, 2015), com a inclusão de empreendimentos contratados para a Faixa 01.

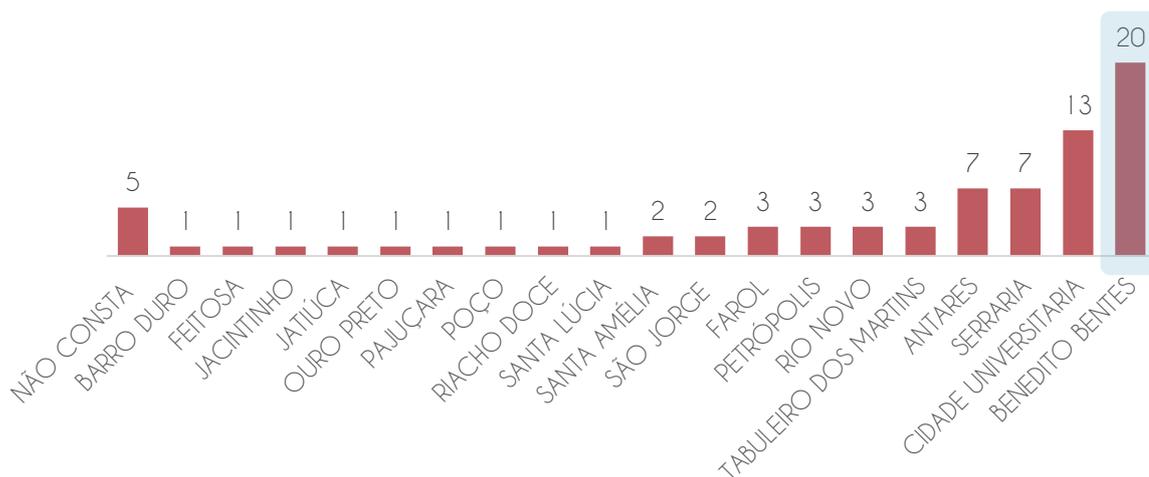
Para a caracterização dos empreendimentos, foram coletadas informações como: nome dos empreendimentos, faixa de renda a que se destinam e número de unidades habitacionais. Em seguida, foi realizada uma pesquisa online para a caracterização da amostra baseada no levantamento de informações adicionais dos empreendimentos como: localização, fotos, implantação, plantas baixas, número de pavimentos, número de unidades habitacionais por pavimento e número de dormitórios.

Fundamentada na caracterização da amostra, foram determinadas diretrizes que nortearam a escolha das edificações para a realização deste estudo. Estas consistiram na identificação das características predominantes das habitações já produzidas na cidade, indicando aspectos representativos de acordo com os critérios apresentados a seguir.

- Faixa de renda a que se destinam (faixa 1, faixa 2, faixa 3);
- Localização (bairro);
- Tipologia (unifamiliar, multifamiliar, casa sobreposta);
- Número de UHs total;
- Número de pavimentos;
- Número de UHs por pavimento;
- Implantação da edificação no terreno e seu entorno imediato.

Diante dos dados expostos no item 2.3.1, dentre os 77 empreendimentos do PMCMV identificados no período de 2009 a 2014 destaca-se uma predominância de empreendimentos voltados para a Faixa 2 (cerca de 66%), concentrando o maior número de UH's construídas (Tabela 5, p. 24). Com relação à espacialização dos empreendimentos do PMCMV destinados à faixa 2, identificou-se uma distribuição em 19 bairros<sup>26</sup>, havendo uma maior concentração nos bairros do Benedito Bentes e Cidade Universitária, conforme mostra o Gráfico 8. Quanto à tipologia, o Gráfico 9 aponta para uma predominância na produção de edifícios multifamiliares para a faixa de renda 2. Diante deste cenário, definiu-se que o objeto de estudo deveria representar um empreendimento multifamiliar localizado no bairro do Benedito Bentes.

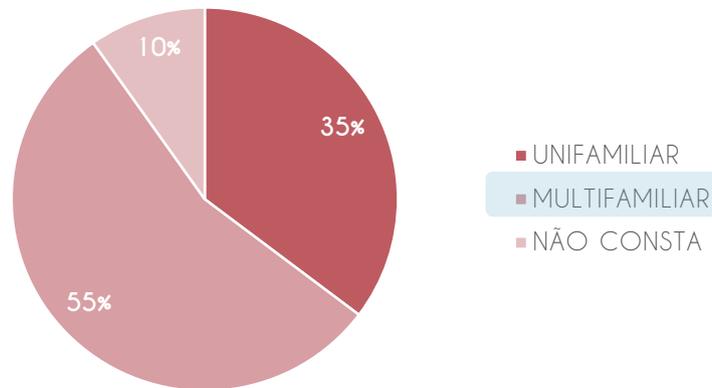
**Gráfico 8 – Quantidade de empreendimentos por bairro, produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.**



**Fonte:** Base de dados do PMCMV (BRASIL, 2012c) e Caixa Econômica Federal (CEF, 2015), adaptado pela autora.

<sup>26</sup> Não foi possível identificar a localização de 5 empreendimentos Faixa 2 devido à ausência de informações.

**Gráfico 9 – Tipologias habitacionais dos empreendimentos Faixa 2 produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.**

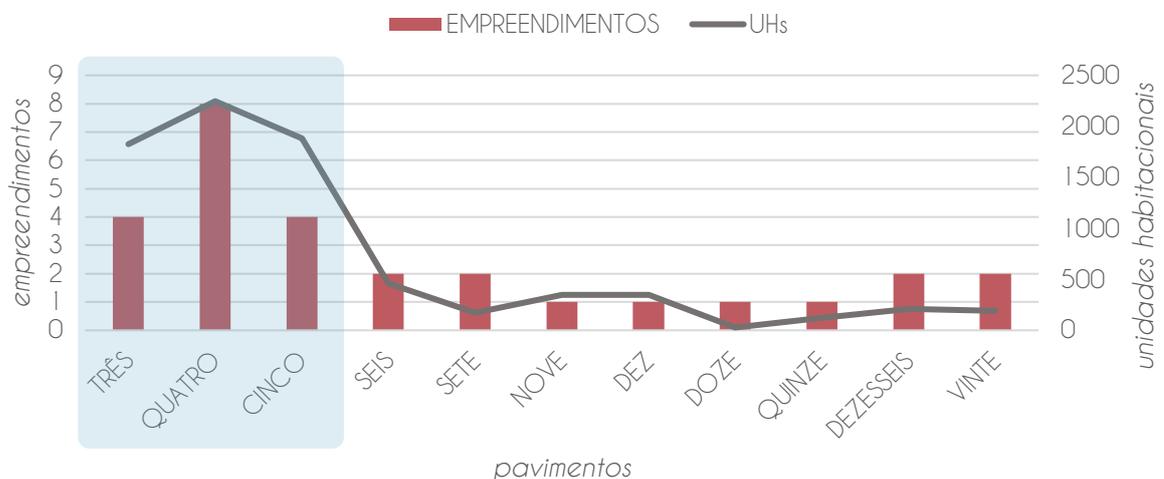


Fonte: A autora, 2018.

Quanto à configuração arquitetônica, para a escolha de um objeto de estudo representativo, foram levados em consideração os seguintes critérios: número de pavimentos, número de UHs por pavimento e número de dormitórios, verificando-se também quais as características predominantes na amostra.

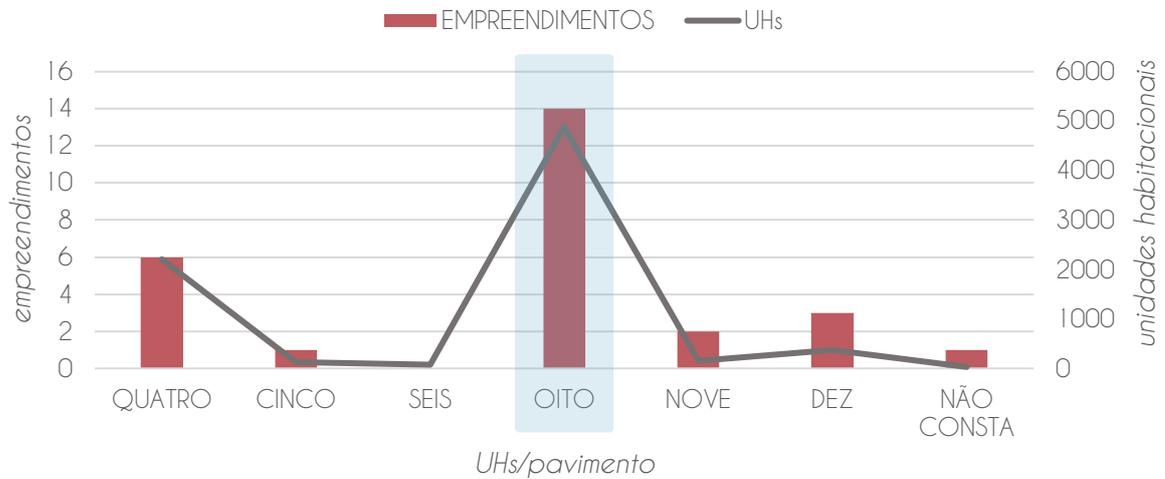
Quanto ao número de pavimentos, o Gráfico 10 demonstra que há uma predominância de empreendimentos com 4 pavimentos, num total de unidades habitacionais equivalente ao de empreendimentos com 3 e 5 pavimentos. Verificou-se também a predominância de edifícios com 8 UHs por pavimento (Gráfico 11) e um maior número de unidades com dois dormitórios, ou com dois e três dormitórios, conforme indica o Gráfico 12.

**Gráfico 10 – Número de pavimentos dos empreendimentos da Faixa 2 produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.**



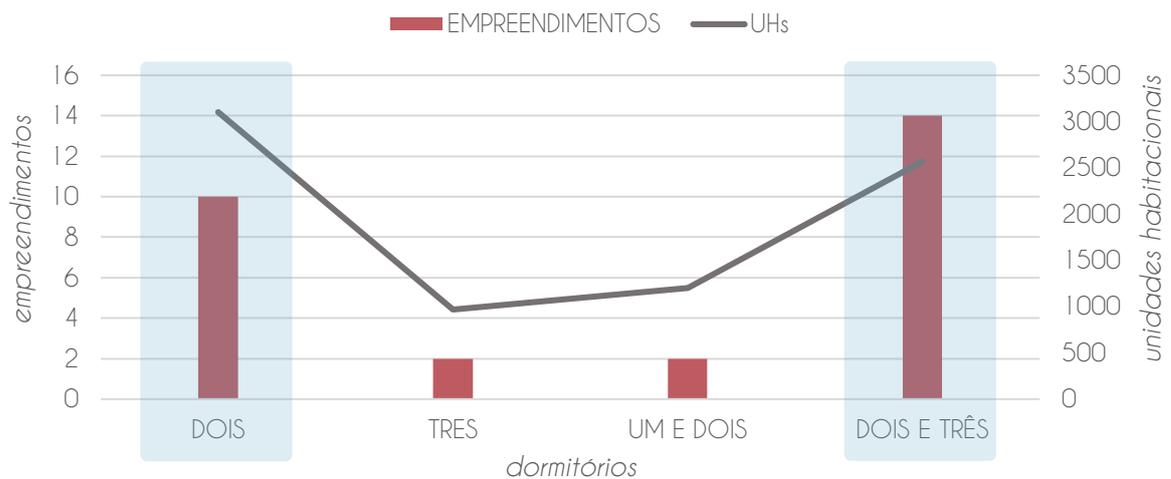
Fonte: A autora, 2018.

**Gráfico 11 – Número de unidades habitacionais por pavimento dos empreendimentos da Faixa 2 produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.**



Fonte: A autora, 2018.

**Gráfico 12 – Número de dormitórios dos empreendimentos da Faixa 2 produzidos pelo PMCMV na cidade de Maceió no período de 2009 a 2014.**



Fonte: A autora, 2018.

Na Tabela 14 foram listados todos os empreendimentos da Faixa 2 do PMCMV e suas respectivas características arquitetônicas a fim de identificar os empreendimentos que atendem aos critérios de seleção já expostos para a seleção do objeto de estudo.

**Tabela 14 – Configuração arquitetônica dos empreendimentos multifamiliares Faixa 2.**

Bairro	Empreendimento	N. UHs	N. Pavimentos	UH/Pavimento	N. Dormitórios
Benedito Bentes	Condomínio Residencial Village das Artes	480	3	8	2/3
	Condomínio Residencial Village da Alvorada	432	3	8	2/3
	Condomínio Residencial Village das Fontes	432	3	8	2/3
	Condomínio Residencial Village das Flores	480	3	8	2/3
	Bosque Dos Flamboiães -Módulo I	192	4	4	2
	Bosque Das Palmeiras - Módulo I	320	4	4	2
Antares	Residencial Pátio - Módulo I	128	16	8	2
	Condomínio Residencial Alvorada	70	5	-	2/3
	Residencial Maragogi: Parque das Galés	350	5	10	1/2
	Residencial Maragogi: Parque Paraíso das Águas	350	5	10	1/2
Serraria	Parque das Palmeira	180	20	9	2/3
	Ilhas Vivence Condomínio	252	16	8	2/3
	Sierra Park I Condomínio Clube	432	12	9	2/3
	Edifício Verde Vida	32	4	8	2
Farol	Edifício Nogueira de Ramuin	28	7	4	2
	Residencial Dilma Paiva	160	20	8	2/3
	Residencial Marques de Herval	30	6	5	2
Petrópolis	Residencial Parque Petrópolis I	28	4	4	2
	Residencial Parque Petrópolis II	160	4	4	2
	Residencial Parque Petrópolis III	30	4	4	2
São Jorge	Residencial Vista do Atlântico	280	7	8	2/3
	Residencial Alto da Boa Vista	180	5	6	3
Feitosa	Residencial Jardim Feitosa	160	4	8	2
Jacintinho	Condomínio Residencial Miramar	14	10	8	2/3
Poço	Edifício Residencial Solaris	120	15	8	3
Santa Amélia	Condomínio Mirante da Lagoa	360	6	10	2/3
Santa Lúcia	Jardim Brasileto	192	4	8	2/3
Tabuleiro dos Martins	Condomínio Residencial Cidade Jardim	504	9	8	2/3
Dentro dos critérios de seleção					
Fora dos critérios de seleção					

Fonte: A autora, 2018.

Os condomínios Village das Artes, Village das Flores, Village das Fontes e Village da Alvorada, Edifício Verde Vida e Jardim Brasileto são os únicos que atendem a todos os critérios de seleção apresentados: Faixa 2, multifamiliar, 3 ou 4 pavimentos e 8 UHs por pavimento. Dessa forma, diante da relevância quantitativa de UHs e da localização no bairro do Benedito Bentes (bairro com maior concentração de empreendimentos), foram selecionados como estudo de caso os quatro condomínios residenciais Village (das, Artes, das Flores, das Fontes e da Alvorada) para o desenvolvimento da pesquisa. Estes empreendimentos apresentam, em conjunto, uma amostra de 1824 unidades habitacionais.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Os condomínios Village das Artes, Village das Flores, Village das Fontes e Village da Alvorada se localizam no bairro do Benedito Bentes (Figura 12) e se caracterizam como condomínios residenciais compostos por edifícios multifamiliares de 3 pavimentos (Figura 11).

**Figura 11 – Imagem aérea do objeto de estudo.**



Fonte: Allyson Borges, 2018.

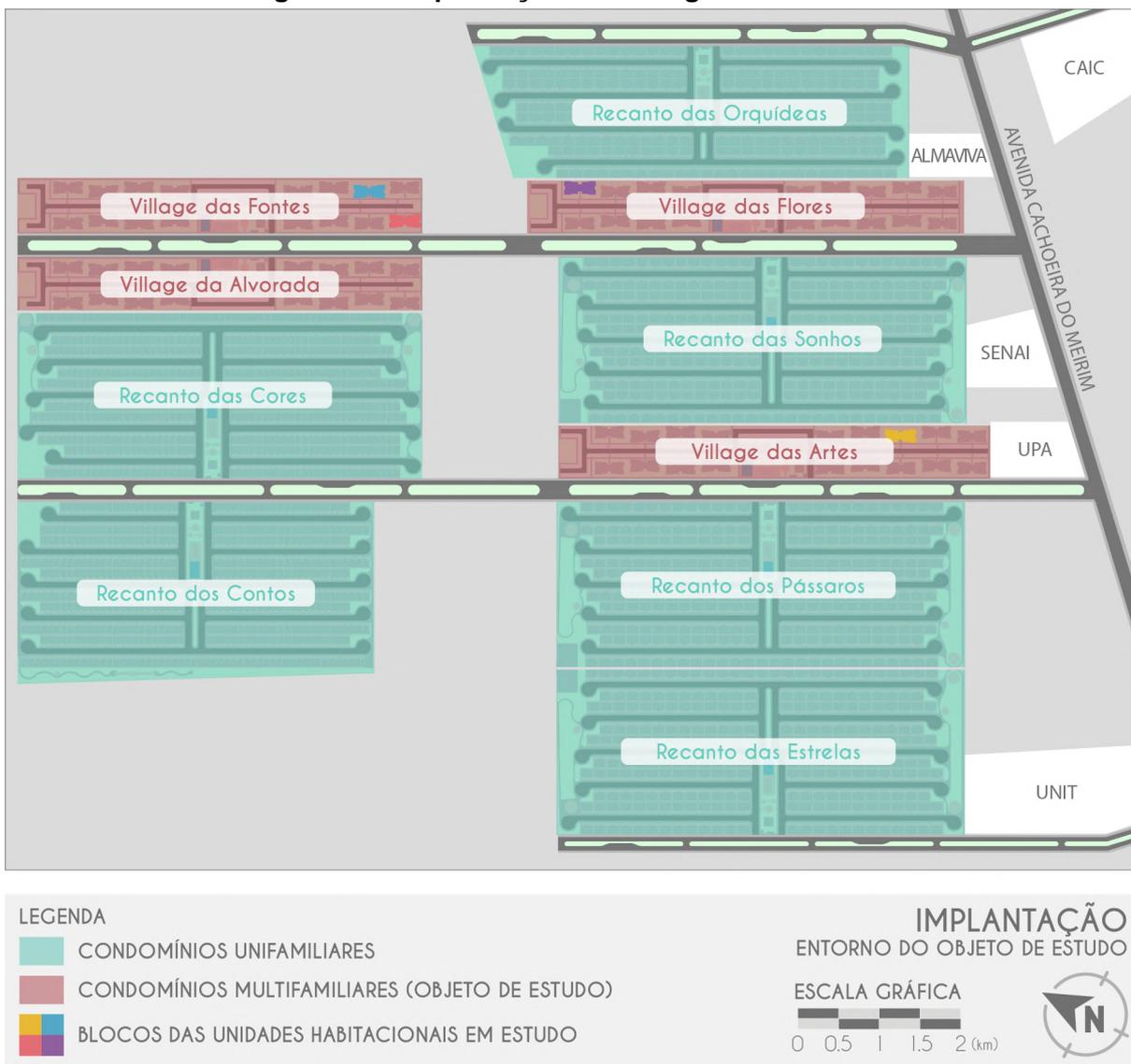
Figura 12 – Localização do objeto de estudo no bairro do Benedito Bentes.



Fonte: Google Maps, adaptado pela autora.

A implantação dos condomínios se dá em conjunto com outros 6 empreendimentos unifamiliares do Programa Minha Casa Minha Vida, são eles: Recanto das Cores, Recanto dos Contos, Recanto dos Pássaros, Recanto das Orquídeas, Recanto dos Sonhos e Recanto das Estrelas (Figura 13). Essa configuração espacial, intercalando unidades habitacionais unifamiliares e multifamiliares, confere ao espaço diferenças no gabarito das edificações, que podem agir em favor das condições ambientais no interior dos ambientes.

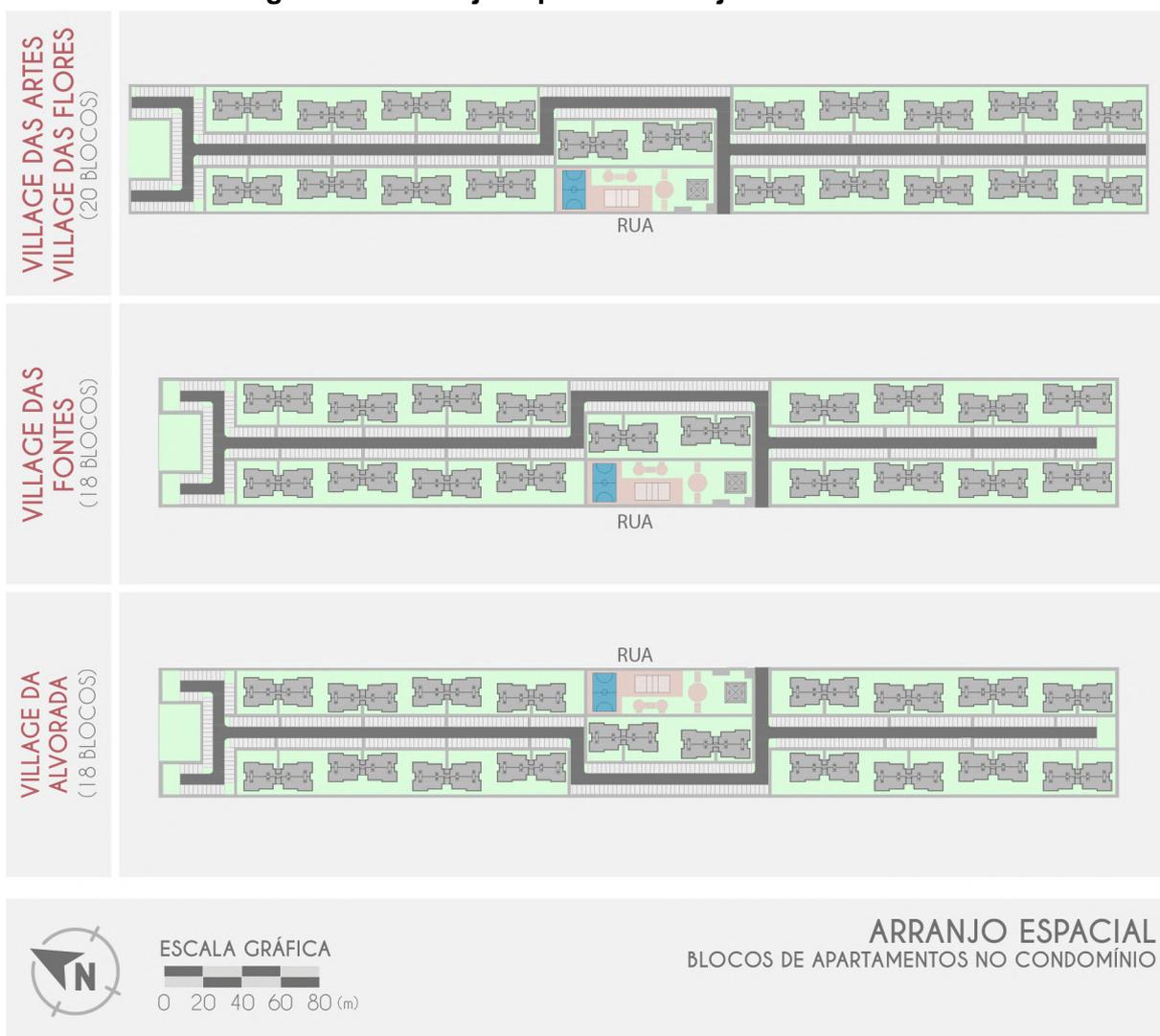
**Figura 13 – Implantação dos Villages e Recantos.**



Fonte: A autora, 2019.

Os condomínios foram implantados em duas diferentes posições, a partir do espelhamento do conjunto do arranjo espacial, podendo contar com 18 ou 20 blocos de apartamentos. Os condomínios Village das artes e Village das Flores foram implantados na mesma orientação e ambos possuem 20 blocos de apartamento. O condomínio Village das Fontes possui 18 blocos de apartamentos, assim como o Village da Alvorada, no entanto a implantação destes foi resultado do espelhamento da planta no eixo horizontal, conforme indica Figura 14.

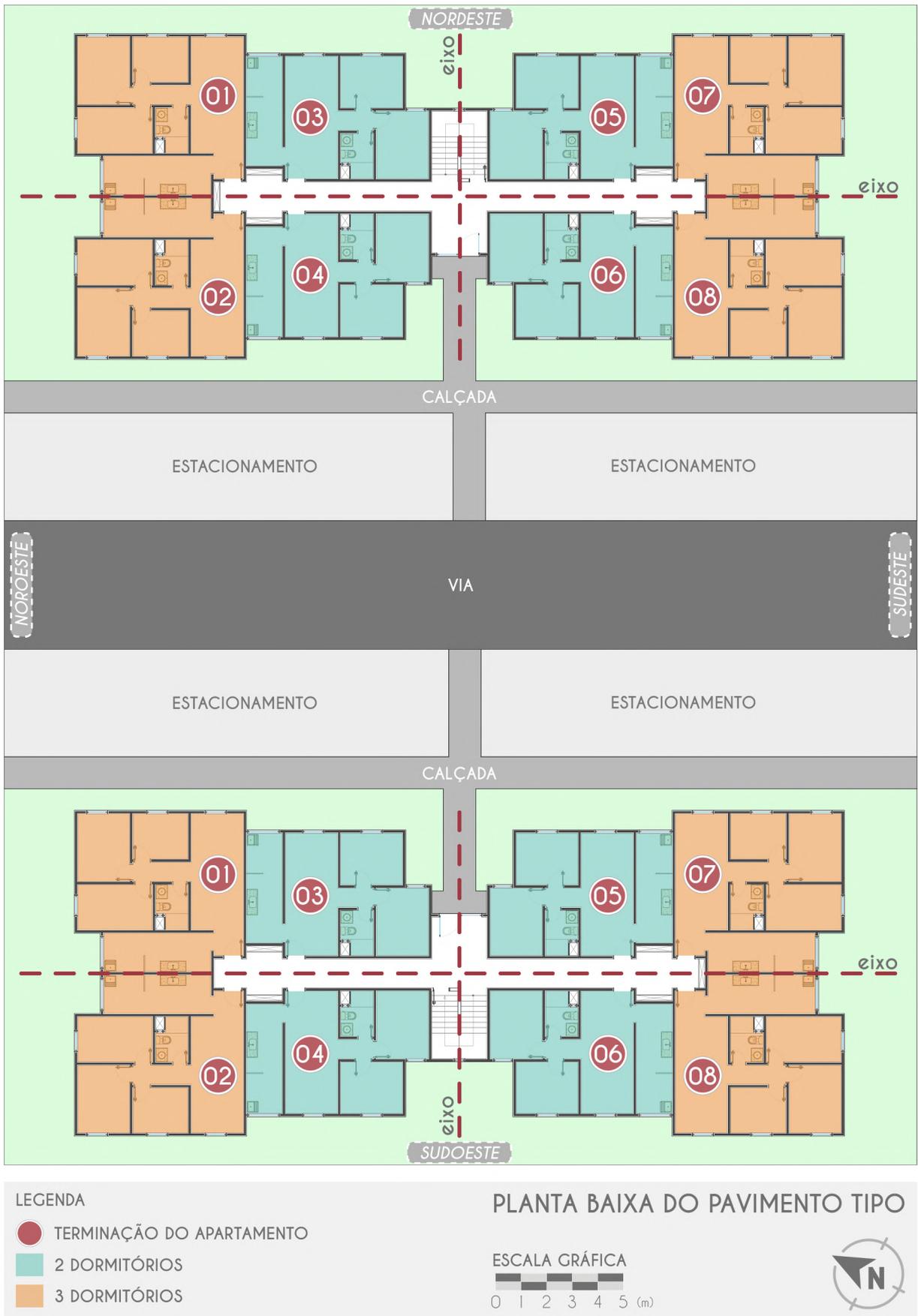
Figura 14 – Arranjo espacial dos objetos de estudo.



Fonte: A autora, 2019.

Todos os blocos de apartamentos apresentam configurações espaciais idênticas, sendo implantados no terreno em duas orientações diferentes, que consistem no espelhamento da planta baixa do edifício no eixo horizontal (Figura 15). A solução arquitetônica do bloco de apartamento apresenta 8 UHs por pavimento, possuindo dois ou três dormitórios. O pavimento tipo do edifício é composto pelo espelhamento das unidades habitacionais nos eixos horizontal e vertical, conforme indicados na Figura 15. A indicação do “Norte” nas figuras apresentadas neste trabalho consiste na representação do norte verdadeiro.

Figura 15 – Planta baixa do pavimento tipo.



Fonte: A autora, 2019.

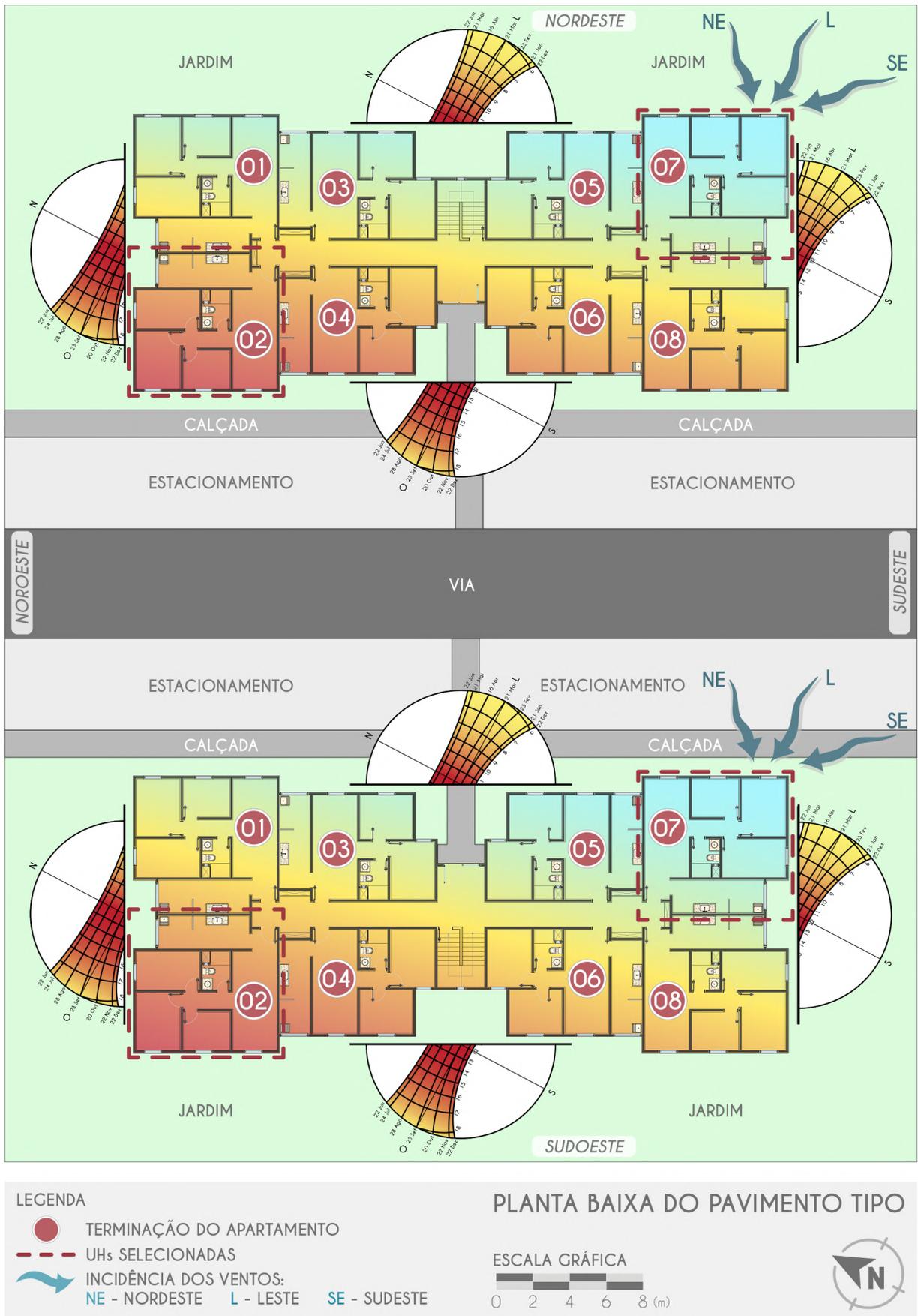
Essa configuração espacial do pavimento tipo, gerada a partir do espelhamento da planta baixa, implica em configurações com UHs expostas à incidência solar direta e mau aproveitamento da ventilação natural, predominante nas orientações Leste e Sudeste (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2008). A fim de definir as UHs a serem estudadas, foram observadas as condições de exposição solar das fachadas e aproveitamento da ventilação das unidades, buscando identificar a melhor e a pior situação de implantação com relação às condições de conforto térmico.

A Figura 16 ilustra as condições de insolação e ventilação dos edifícios. As unidades com terminações 01, 03, 05 e 07 recebem incidência solar direta no período da manhã (mais amena), enquanto as unidades opostas, de terminações 02, 04, 06 e 08 recebem incidência solar direta no período da tarde (mais intensa).

Levando-se em consideração a escolha de unidades em situações favoráveis e desfavoráveis ao aproveitamento dos recursos naturais de ventilação e insolação, verificou-se que as UHs com terminação 02, voltadas para sudoeste, possuem piores condições de insolação, recebendo incidência direta do sol durante a tarde e parte da manhã em sua fachada lateral (Figura 16). Estas UHs possuem três dormitórios e não recebem a incidência de ventos predominantes em nenhum ambiente, conforme indicado na Figura 16.

Com o intuito de estudar unidades habitacionais com mesmas configurações espaciais, dentre as UHs com três dormitórios foram selecionadas também as unidades com terminação 07, voltadas para nordeste. Estas unidades recebem incidência direta do sol apenas no período da manhã e, aliado a isto, apresentam um melhor aproveitamento da ventilação natural, quando comparada às demais unidades.

Figura 16 – Esquema da trajetória solar e incidência dos ventos predominantes.



Fonte: A autora, 2019.

Em suma, a título de comparação entre a influência do contato com o solo e com a cobertura no desempenho térmico dos ambientes, foram selecionadas as unidades com terminações 02 (voltadas para sudoeste e em situação desfavorável) e 07 (voltadas para nordeste e em situação favorável) localizadas no térreo e no último pavimento para o desenvolvimento do estudo.

Como dito anteriormente, os apartamentos possuem mesmas dimensões e distribuição espacial, diferindo entre si apenas com relação à orientação das fachadas e ao contato com o solo e a cobertura, aspectos relevantes para o desempenho térmico das unidades habitacionais. Todas as unidades estudadas apresentam uma área útil de 49,11m<sup>2</sup>, constituída por sala de estar e jantar conjugadas, cozinha, área de serviço, três dormitórios e um banheiro. A Figura 17 apresenta a planta baixa da unidade habitacional com terminação 07, sendo a terminação 02 resultante da rotação de 180° da planta ilustrada.

**Figura 17 – Planta baixa das unidades habitacionais selecionadas.**

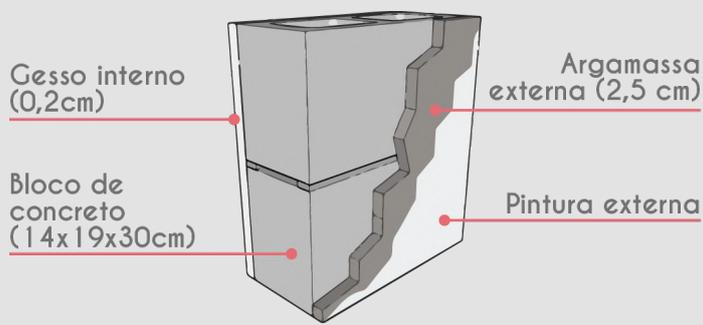
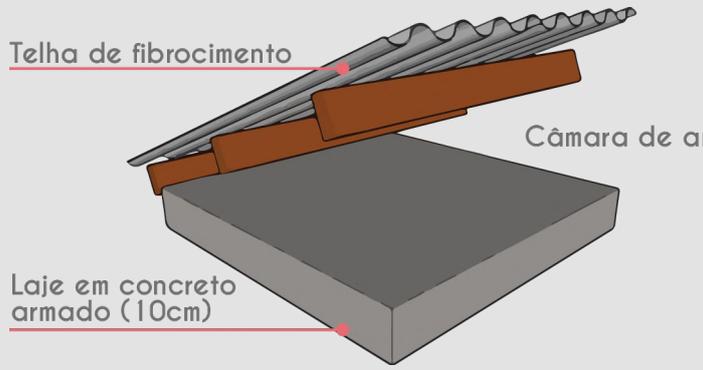


Fonte: A autora, 2019.

Com relação à envoltória da edificação, o sistema construtivo empregado nas edificações é de alvenaria estrutural em blocos de concreto, com blocos de 14x19x30 cm emboçados e rebocados nas faces interna e externa. Quanto à cobertura, consiste em laje em concreto armado e coberta em telha ondulada de fibrocimento.

Quanto à absorptância ( $\alpha$ ), foi adotado 0,59 para a cobertura (SILVEIRA; MARINOSKI; LAMBERTS, 2012), conforme indicado no Anexo A. No caso das paredes, nos ambientes em estudo são encontradas três cores, sendo necessária a ponderação da absorptância pela área. As cores se distribuem na fachada da seguinte forma: uma faixa horizontal no alinhamento das janelas na cor cinza, e duas faixas verticais na quina da edificação (uma na cor cinza e uma em cor variável). A faixa vertical varia de acordo com o bloco da UH, nos ambientes em estudo essa faixa pode ser amarela, azul ou verde. Dessa forma, de acordo com as tonalidades das cores das fachadas, foram adotados os seguintes valores de absorptância solar ( $\alpha$ ): banco = 0,162, cinza = 0,611, amarelo = 0,35, azul = 0,489 e verde = 0,64 (DORNELLES, 2008), conforme indicações do Anexo B.

**Tabela 15 – Composição e propriedades térmicas da envoltória.**

COMPONENTES CONSTRUTIVOS		
Componente	Composição	Propriedades Térmicas
<b>Paredes</b>	 <p>Gesso interno (0,2cm) Bloco de concreto (14x19x30cm) Argamassa externa (2,5 cm) Pintura externa</p>	<p><math>U = 2,86 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})</math>  <math>CT = 222 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})</math>  <math>\alpha = \text{variável}</math></p>
<b>Cobertura</b>	 <p>Telha de fibrocimento Câmara de ar Laje em concreto armado (10cm)</p>	<p><math>U = 2,06 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})</math>  <math>CT = 233 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})</math>  <math>\alpha = 0,59</math></p>

Fonte: Catálogo de Propriedades Térmicas (INMETRO, 2013), adaptado pela autora.

Quanto às aberturas, as janelas são em alumínio e vidro liso, apresentam duas folhas, sendo uma fixa e uma de correr e suas dimensões variam de acordo com o ambiente.

**Figura 18 – Fechamentos laterais e aberturas para ventilação nas edificações selecionadas.**



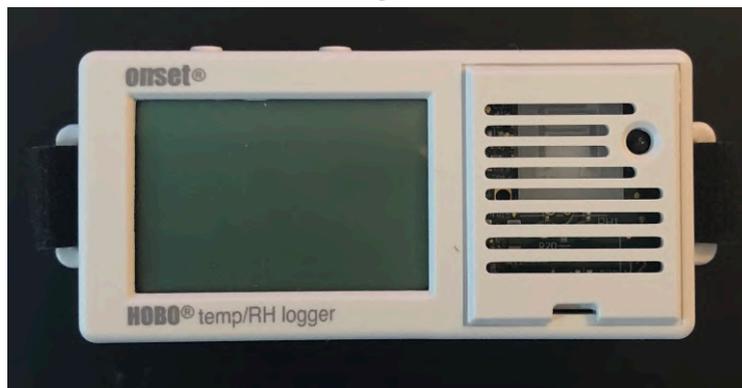
Fonte: A autora, 2018.

### **3.4 MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS INTERNAS E EXTERNAS**

Para o clima quente e úmido, caso da cidade de Maceió, o maior desconforto se dá por calor. Portanto, o monitoramento das variáveis ambientais externas e internas de temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa do ar (UR) foi realizado no período do verão, com registros em intervalos horários no período entre 01/11/2018 e 21/02/2019.

O monitoramento foi realizado com o auxílio de termo-higrômetros digitais com armazenamento de dados (*datalogger*) da marca Onset, modelo HOBO UX100-003 (Figura 19), que registram e armazenam dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar em ambientes, a partir de configurações prévias, determinadas pelo usuário. As especificações do modelo podem ser observadas na Tabela 16.

**Figura 19 – Equipamento HOBO modelo UX100-003 da marca Onset, utilizado para as medições.**



Fonte: A autora, 2018.

**Tabela 16 – Especificações técnicas do equipamento HOBO UX100-003.**

	Temperatura do ar	Umidade Relativa do ar
<b>Resolução</b>	0,024°C (a 25°C)	0,07% (a 25°C)
<b>Faixa de medição</b>	-20°C a 70°C	15% a 95% (sem condensação)
<b>Precisão</b>	±0,21°C (de 0°C a 50°C)	±3,5% (de 25% a 85%) ±5% (abaixo de 25% e acima de 85%)

Fonte: Manual do usuário (ONSET, 2018a).

Antes de iniciar as medições, foi realizada a aferição dos equipamentos para identificar possíveis diferenças nas medições dos equipamentos HOBOS utilizados. Para tanto, cinco aparelhos foram dispostos em um compartimento isolado, utilizando uma caixa de isopor para evitar possíveis interferências do entorno, durante o período de 28h. Os equipamentos HOBOS foram programados para realizar registros de 10 em 10 minutos, sendo descartados os primeiros 60 minutos registrados. Os dados registrados de temperatura e umidade do ar foram transferidos para uma planilha eletrônica para a realização do cálculo dos desvios padrões entre os valores máximos, mínimos e médios registrados por cada equipamento.

De acordo com as especificações do fabricante, o nível de precisão do equipamento para TBS é de  $\pm 0,21^\circ\text{C}$  para temperaturas de  $0^\circ$  a  $50^\circ\text{C}$ , enquanto o nível e precisão para UR é de  $\pm 3,5\%$  para umidades relativas entre 25% e 85% (ONSET, 2018a). Dessa forma, na Tabela 17 pode-se observar que os resultados dos

desvios padrões<sup>27</sup> encontram-se dentro dos limites aceitáveis de precisão do equipamento.

**Tabela 17 – Resultados da aferição dos equipamentos de medição.**

Equipamento	TBS (°C)			UR (%)		
	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
HOBO 1	24,30	25,18	26,21	61,88	63,31	65,69
HOBO 2	24,27	25,16	26,24	60,48	61,84	64,15
HOBO 3	24,27	25,16	26,24	60,76	62,18	64,43
HOBO 4	24,27	25,17	26,24	62,29	63,79	66,08
HOBO 5	24,30	25,17	26,24	62,11	63,48	65,80
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,013</b>	<b>0,007</b>	<b>0,011</b>	<b>0,824</b>	<b>0,856</b>	<b>0,875</b>

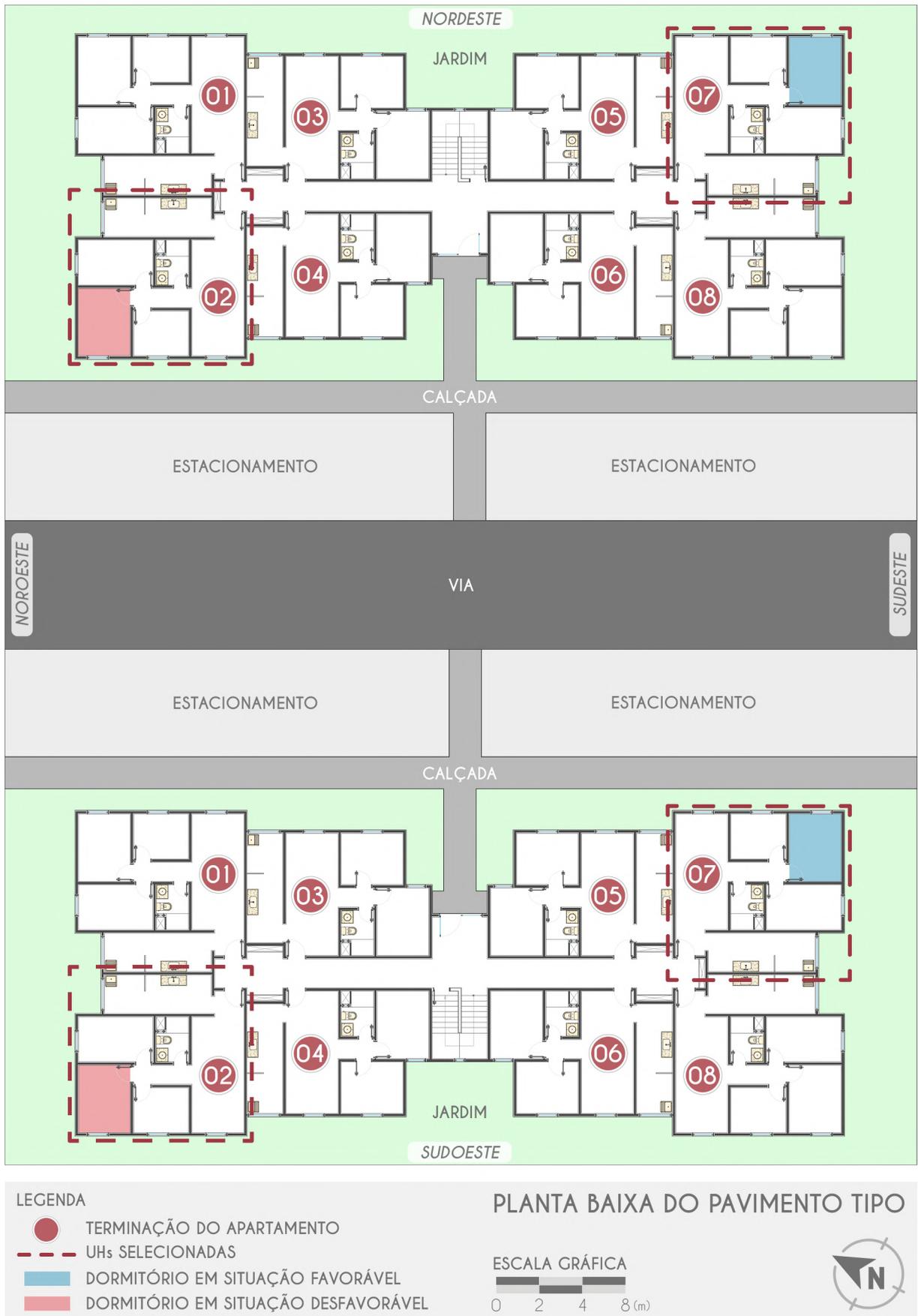
Fonte: A autora, 2018.

Para o estudo, foi instalado um equipamento em cada ambiente monitorado e um equipamento na área externa às edificações. A norma de desempenho (ABNT, 2013) estabelece que os equipamentos devem ser instalados no centro dos ambientes monitorados, a uma altura de 1,20m do piso. Além disso, estabelece-se que os ambientes monitorados devem, preferencialmente, ser de permanência prolongada, apresentar uma parede voltada para oeste e outra voltada para norte e se localizarem no último andar para medições em edificações multipiso.

Diante disto, determinou-se o monitoramento de um dormitório em cada unidade habitacional, sendo duas no térreo e duas na cobertura, permitindo a comparação de uma mesma solução arquitetônica com diferentes formas de aproveitamento dos recursos naturais e suas implicações no desempenho térmico dos ambientes, de acordo com a orientação e o pavimento da UH (Figura 20).

<sup>27</sup> O desvio padrão consiste em uma medida do grau de dispersão de um conjunto de dados. Quanto mais próximo de 0 for o desvio padrão, mais homogêneo é o conjunto de dados. Para garantir a precisão das medições realizadas pelos equipamentos, o desvio padrão não poderia ultrapassar o valor de  $\pm 0,21^\circ\text{C}$  para TBS, e de  $\pm 3,5\%$  para UR, que são os níveis de precisão especificados pelo fabricante.

Figura 20 – Identificação dos ambientes selecionados para o estudo.



Fonte: A autora, 2018.

Os ambientes foram monitorados em suas condições normais de uso e, embora recomendado pela norma (ABNT, 2013), a instalação dos equipamentos no centro do ambiente a uma altura de 1,20m apresentaria incômodo na vida cotidiana dos moradores, estando também sujeita à interferências de crianças e animais, não sendo, portanto, considerada uma altura segura nestas condições (BARBOSA, 2017).

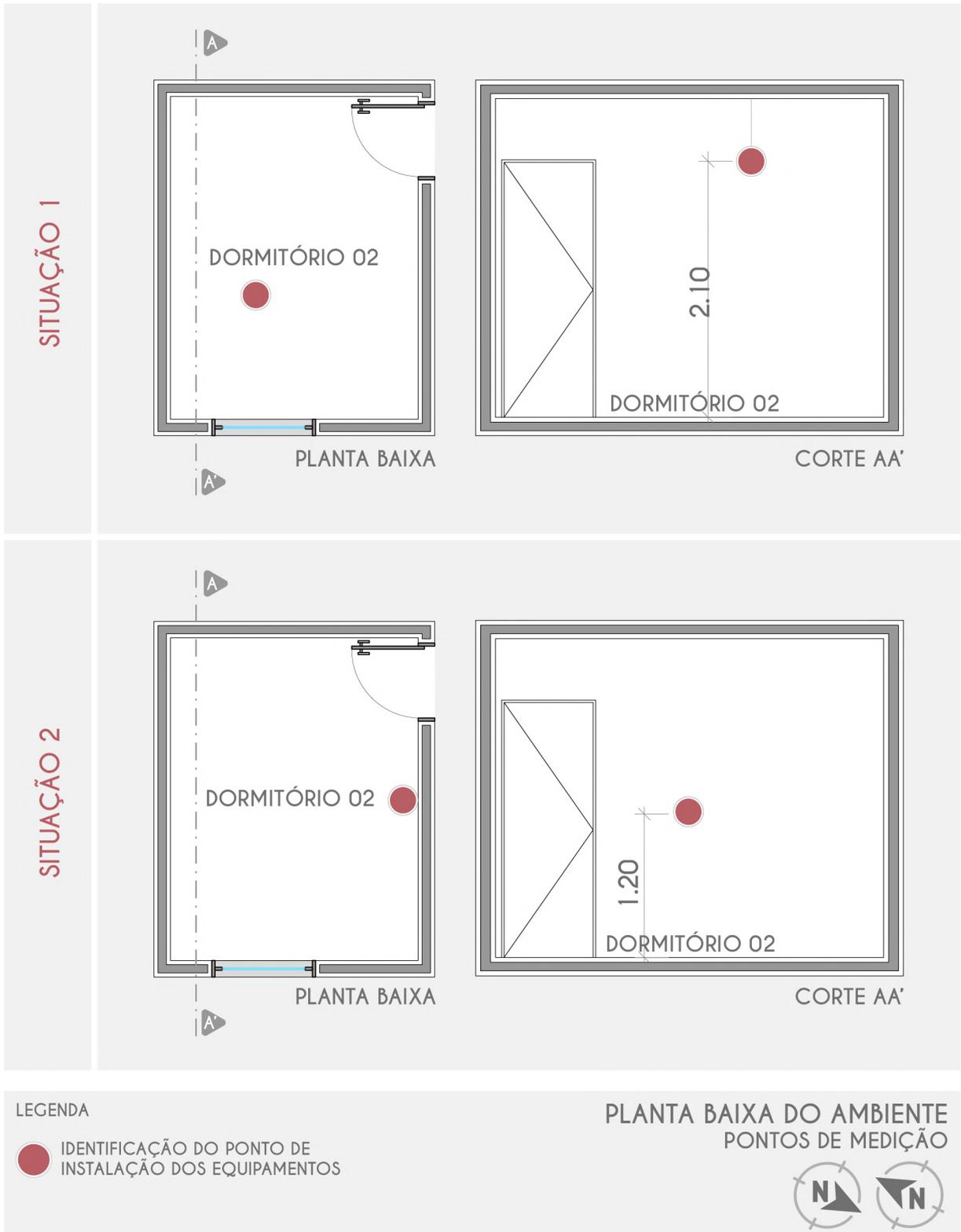
À princípio, os equipamentos foram instalados pendurados no teto (Situação 1), a uma altura de 2,10m do piso, um pouco deslocado do centro do ambiente devido à presença de um ponto de iluminação central (Figura 21). Posteriormente julgou-se adequado o reposicionamento dos equipamentos para uma altura equivalente ao plano do usuário (Situação 2), posicionando-os em uma parede interna, isolado por uma camada de isopor, a uma altura de 1,20m do piso, conforme recomendação da NBR 15575 (ABNT, 2013). As condições de medição da temperatura e umidade relativa do ar foram sintetizadas na 18 e ilustrada na Figura 21.

**Tabela 18 – Síntese das condições de monitoramento da temperatura e umidade do ar.**

<b>Equipamento</b>		HOBO UX100-003 Onset
<b>Intervalo de medição</b>		1 hora
<b>Período de medição</b>		Verão (01/11/2018 à 21/02/2019)
<b>Posição dos equipamentos internos</b>	<b>Situação 1</b>	Pendurado no teto à 2,10 metros do piso, próximo ao centro do ambiente
	<b>Situação 2</b>	Colado no eixo central de parede interna, isolado por um isopor, à 1,20 metros do piso
<b>Condições de uso do ambiente</b>		Janela e porta aberta

Fonte: A autora, 2019.

Figura 21 – Posicionamento dos equipamentos em planta baixa e corte.



Fonte: A autora, 2019.

Já o equipamento instalado na área externa foi posicionado em local protegido da insolação direta, ficando embaixo da coberta de um bicicletário, próximo à guarita do empreendimento Village das Artes (Figura 22). Além disso, o equipamento foi

colocado dentro de uma proteção confeccionada em garrafa PET e revestida internamente com papel alumínio (Figura 23). A proteção criada para o equipamento externo foi utilizada por Marques (2008) em estudo de desempenho térmico de edificações unifamiliares na cidade de Imbituba/SC.

**Figura 22 – Posicionamento do equipamento externo.**



Fonte: A autora, 2019.

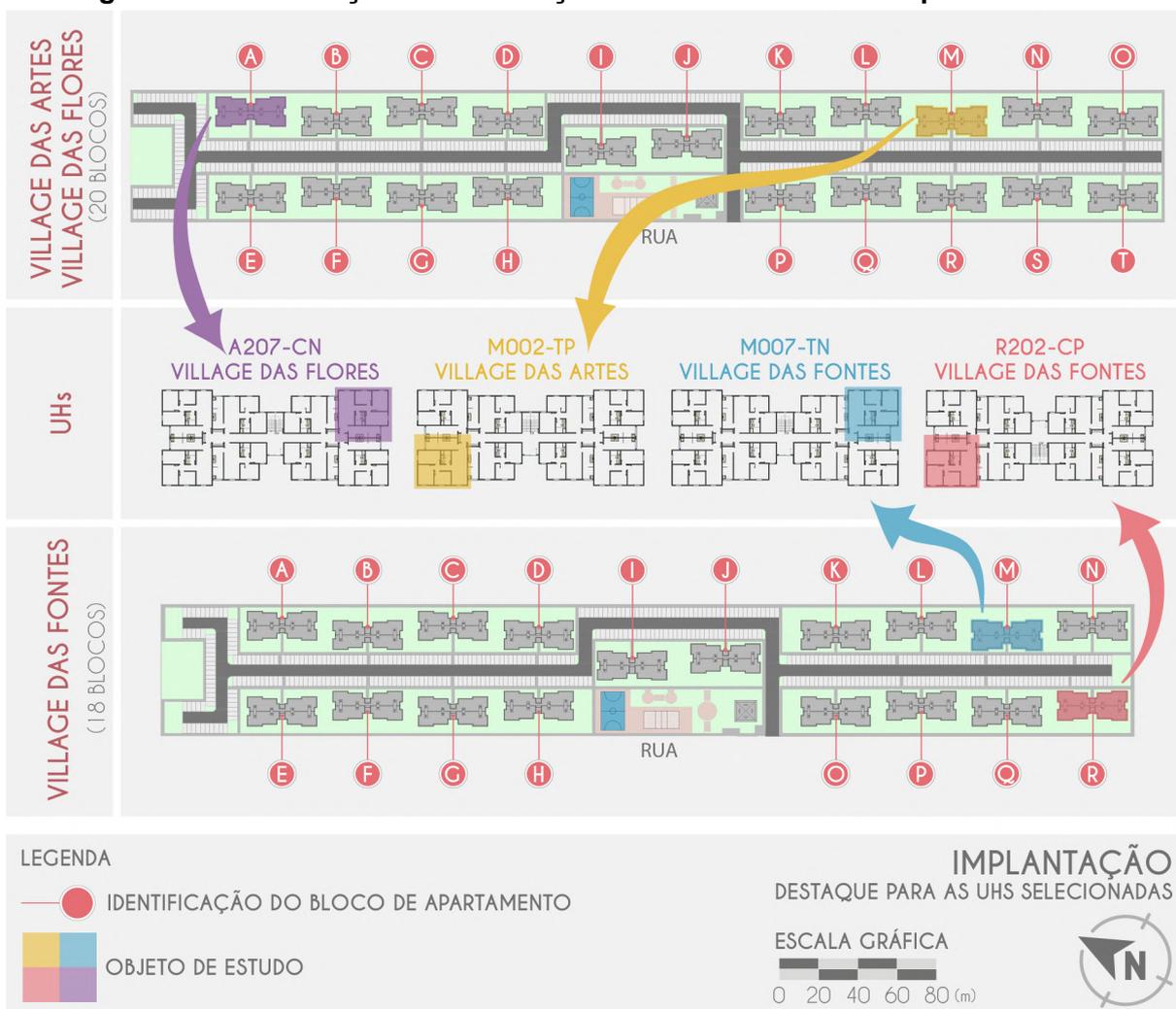
**Figura 23 – Proteção do equipamento HOBO externo.**



Fonte: A autora, 2018.

Os equipamentos de registro da temperatura interna das unidades habitacionais foram instalados em diferentes blocos e condomínios (Figura 24). As unidades estudadas foram: M002-TP, localizada no condomínio Village das Artes, bloco M, pavimento térreo, poente (situação desfavorável); M007-TN, localizada no condomínio Village das Fontes, bloco M, pavimento térreo, nascente (situação favorável); R202-CP, localizada no condomínio Village das Fontes, bloco R, pavimento cobertura, poente (situação desfavorável); A207-CN, localizada no condomínio Village das Fontes, bloco R, pavimento cobertura, nascente (situação favorável). As localizações das unidades selecionadas para o estudo estão indicadas na Tabela 19.

**Figura 24 – Localização e identificação das UHs selecionadas para o estudo.**



Fonte: A autora, 2019.

Para facilitar a identificação dos ambientes estudados, adotou-se uma convenção na qual diferentes cores foram assinaladas para cada ambiente e siglas que indicam o posicionamento do ambiente de acordo com o bloco, o pavimento, a

terminação e a orientação de cada apartamento, conforme ilustra exemplo da Figura 25. Com relação ao pavimento, “T” refere-se ao térreo, enquanto “C” refere-se à cobertura; com relação à orientação, atribuiu-se a nomenclatura “N”, que refere-se à nascente, para os ambientes que recebem insolação no período da manhã nas fachadas nordeste e sudeste (ao nascer do sol), enquanto a nomenclatura “P”, que refere-se à poente, foi atribuída para os ambientes que recebem insolação no período da tarde nas fachadas noroeste e sudoeste (ao pôr do sol). A Tabela 19 sintetiza as informações referentes às nomenclaturas adotadas para identificação dos ambientes.

**Figura 25 – Exemplo de aplicação da convenção adotada para a identificação das unidades habitacionais.**



Fonte: A autora, 2019.

**Tabela 19 – Síntese da convenção adotada para identificação das unidades habitacionais.**

Ambientes	Pavimento	Orientação	Cor
<b>M002-TP</b>	Térreo (T)	Poente (P)	<b>Amarelo</b>
<b>M007-TN</b>	Térreo (T)	Nascente (N)	<b>Azul</b>
<b>R202-CP</b>	Cobertura (C)	Poente (P)	<b>Rosa</b>
<b>A207-CN</b>	Cobertura (C)	Nascente (N)	<b>Roxo</b>

Fonte: A autora, 2019.

Como dito anteriormente, os equipamentos foram instalados no teto e posteriormente reposicionados na parede interna do ambiente. A Figura 26 demonstra o equipamento instalado no ambiente R202-CP, destacando a situação 1 (equipamento pendurado no teto) e a situação 2 (equipamento na parede). O posicionamento dos equipamentos nos demais ambientes foi realizado de forma similar, com exceção do apartamento M007-TN que, a fim de evitar interferências, o equipamento foi mantido pendurado no teto, longe do alcance de uma criança que dormia no ambiente monitorado.

**Figura 26 – Fotos dos equipamentos instalados no dormitório 02 do apartamento R202-CP.**



Fonte: A autora, 2019.

Para a configuração dos parâmetros de medição e leitura dos dados armazenados nos equipamentos HOBOS, foi utilizado o software HOBOWare Free (ONSET, 2018b), transferindo-se os dados obtidos para planilhas eletrônicas para posterior análise.

Após a realização das medições, calcularam-se as máximas, médias e mínimas diárias, amplitude térmica e amortecimento térmico que possibilitaram uma visão do comportamento térmico no interior das edificações no período de monitoramento. Já as variáveis externas obtidas nestas medições foram utilizadas para caracterização do microclima local no período do verão e identificação do dia típico de verão, sendo utilizadas, ainda, em comparação com as variáveis internas na avaliação do desempenho térmico da edificação.

Os resultados obtidos através das medições *in loco* de temperatura e umidade foram utilizados para a determinação da Zona de Conforto, segundo o método adaptativo da ASHRAE Standard 55, e confrontados com os resultados das

avaliações de desempenho térmico e eficiência energética através dos métodos estabelecidos pela NBR 15575 (2013), pelo RTQ-R (2012a).

Além do monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar, foram realizadas medições pontuais de velocidade do ar no interior dos ambientes com o auxílio de um anemômetro da marca Extech, modelo 45170 (Figura 27), cujas especificações podem ser observadas na Tabela 20. Estas medições permitirão compreender as interações existentes entre a temperatura, a umidade e a velocidade do ar, levando-se em consideração a orientação das UHs.

**Figura 27 – Anemômetro modelo 45170, marca Extech, utilizado para as medições.**



Fonte: Extech Instruments, 2018.

**Tabela 20 – Especificações técnicas do anemômetro modelo 45170, da Extech.**

Velocidade do ar	
<b>Resolução</b>	0,1 m/s
<b>Faixa de medição</b>	0,4 m/s a 30,0 m/s
<b>Precisão</b>	±3% F.S. (<=3937ft/min) ±4% F.S. (>3937ft/min)

Fonte: Manual do usuário (EXTECH, 2018).

Conforme apresentado no Gráfico 7, a ocorrência de maiores velocidades do ar na cidade de Maceió corresponde ao período de setembro a março, sendo outubro o mês com as velocidades mais altas. Dessa forma, foram realizadas medições de velocidade do ar por um período de 1h ou 2h, de acordo com a disponibilidade dos moradores.

As medições foram realizadas em dois pontos de cada um dos ambientes monitorados, localizados de acordo com o layout do mobiliário. O equipamento foi posicionado a uma altura de cerca de 1,20m, registrando a velocidade do ar máxima e mínima em um intervalo de 3 minutos, repetindo o mesmo procedimento a cada 15 minutos em cada um dos pontos de medição (Tabela 21).

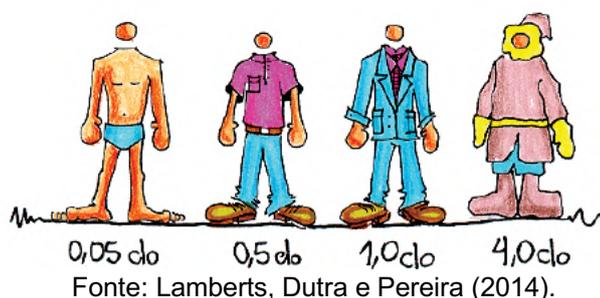
**Tabela 21 – Síntese das condições de monitoramento da velocidade do ar.**

<b>Equipamento</b>	Anemômetro 45170 Extech
<b>Duração das medições</b>	3 minutos de aquisição de dados, durante 1 ou 2 horas
<b>Intervalo de medição</b>	A cada 15 minutos
<b>Período de medição</b>	Verão (dias variados)
<b>Posição do equipamento</b>	1,20 metros do piso com equipamento apontando para a entrada do ar
<b>Pontos de medição</b>	2 pontos por ambiente (1 no eixo central da entrada de ar e 1 variável, de acordo com o layout do ambiente)
<b>Condições de uso do ambiente</b>	Janela e porta abertas

Fonte: A autora, 2019.

Com o intuito de identificar a interferência da umidade relativa (UR) e velocidade do ar na sensação térmica do usuário, foi utilizado o Nomograma de Temperatura Efetiva (KOENIGSBERGER et al., 1980) para vestimentas com índice de resistência térmica de 0,5 clo, compatíveis com o clima de Maceió (Figura 28).

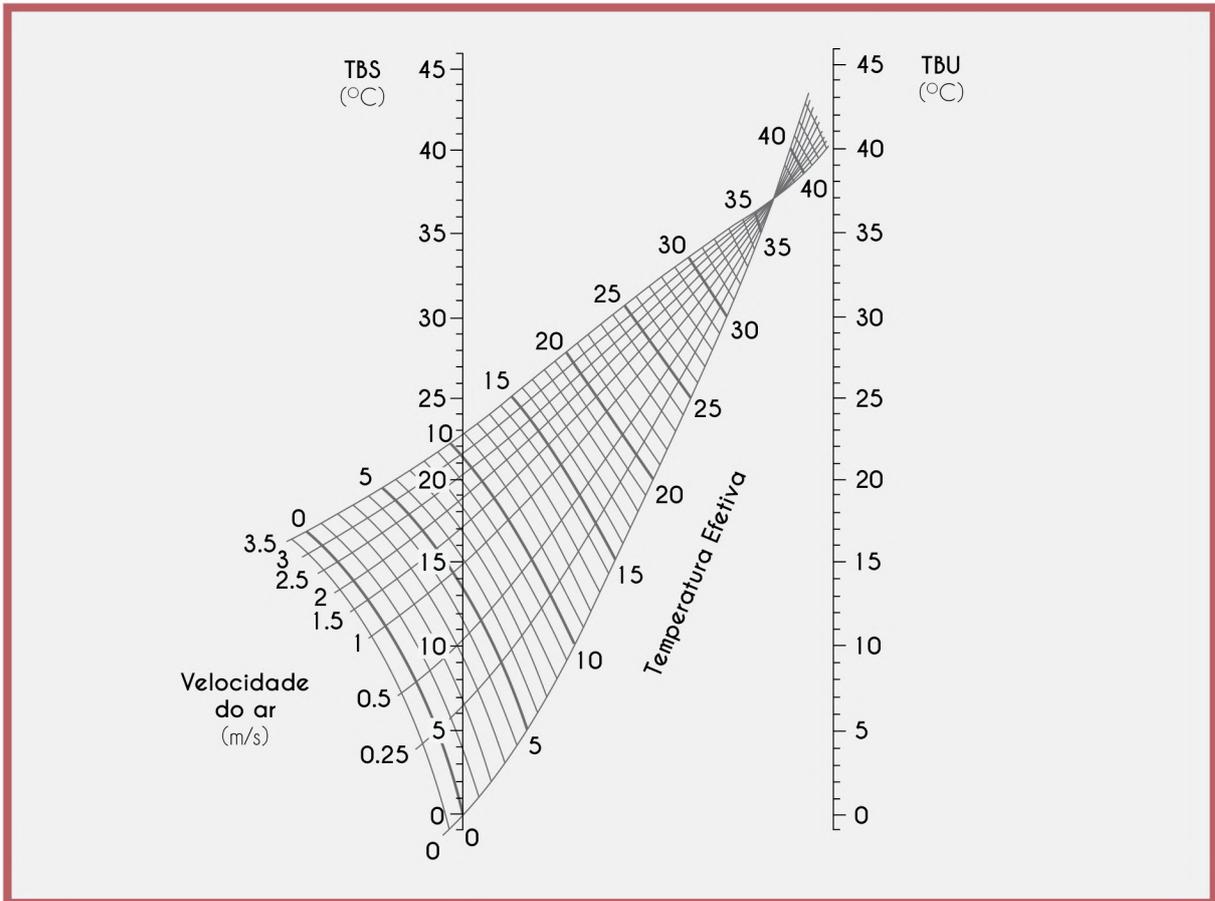
**Figura 28 – Resistência térmica de algumas vestimentas.**



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Para encontrar a temperatura efetiva, foi traçada uma linha no Nomograma de Temperatura Efetiva (Figura 29) ligando a Temperatura de Bulbo Seco (TBS) – obtida através dos registros de temperatura do ar – à Temperatura de Bulbo Úmido (TBU) – obtida através do software AgaisPsico (UFV, 2019), a partir dos dados de TBS e UR. Em seguida, encontrou-se o ponto no qual a curva que indica a velocidade do ar interseccionou a reta que uniu TBS e TBU.

**Figura 29 – Nomograma de Temperatura Efetiva para pessoas com vestimentas leves.**



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

O procedimento para encontrar as temperaturas efetivas foi realizado apenas para os horários nos quais haviam registros simultâneos de temperatura e umidade do ar (através dos equipamentos HOBOS) e de velocidade do ar (através do anemômetro).

Para compreender a dinâmica de uso dos ambientes monitorados, foram aplicados, ainda, questionários aos usuários das edificações, disponível no Apêndice E deste trabalho.

### **3.5 PARÂMETROS DE ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES ESTUDADAS**

#### **3.5.1 CLASSIFICAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ACORDO COM A NBR 15575**

A norma de Desempenho para Edificações Habitacionais (ABNT, 2013) classifica o desempenho térmico de uma edificação de acordo com o atendimento a

requisitos, em função das propriedades termo-físicas dos elementos construtivos e das áreas de abertura para ventilação, de acordo com a Zoneamento Bioclimático Brasileiro, disposto pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005a).

Neste estudo, a classificação do desempenho térmico de acordo com a NBR 15575 foi obtida através do procedimento 1, que consiste na forma simplificada. Neste procedimento são estabelecidos os requisitos e critérios para os sistemas de vedações e coberturas. Além disso, foram realizadas medições, que consistem no procedimento 2, com o intuito de verificar os requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575-1, sendo este método de caráter meramente informativo.

Na avaliação de desempenho térmico através do procedimento simplificado, utilizado neste trabalho, analisam-se os elementos da envoltória como paredes, aberturas e cobertura, de acordo com a zona bioclimática definida na NBR15220-3 (ABNT, 2005a).

Para tanto, são dispostos critérios para a obtenção do nível de desempenho mínimo (M) para cada requisito. O primeiro requisito diz respeito às propriedades térmicas das paredes, conforme disposto na Tabela 22 para a Zona Bioclimática 8.

**Tabela 22 – Parâmetros admissíveis para propriedades térmicas das paredes externas.**

PROPRIEDADES TÉRMICAS - PAREDES			
Zona Bioclimática	Absortância solar	Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> K)	Nível de Desempenho
ZB 8	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Mínimo (M)
	$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

Com relação à ventilação natural, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece áreas mínimas de abertura para ventilação em ambientes de permanência prolongada em edificações localizadas na ZB8 na região nordeste do país (Tabela 23).

**Tabela 23 – Parâmetros admissíveis para áreas de abertura para ventilação.**

VENTILAÇÃO NATURAL		
Zona Bioclimática	Abertura	Nível de Desempenho
ZB 8	Aberturas grandes $A \geq 8\%$ da área de piso (Região Nordeste)	Mínimo (M)

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

Para a obtenção do percentual de abertura efetiva para ventilação (A) deve-se aplicar a Equação 1 para cada ambiente de permanência prolongada.

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

onde

- A é o percentual de abertura para ventilação em relação à área do piso do ambiente (%);
- $A_A$  é área efetiva de abertura para ventilação, considerando apenas as aberturas que permitam a livre circulação do ar ( $m^2$ );
- $A_P$  é área do piso do ambiente ( $m^2$ ).

No que diz respeito aos requisitos da cobertura, são estabelecidos parâmetros relacionados às propriedades térmicas da mesma, conforme disposto na Tabela 24 para a Zona Bioclimática 8.

**Tabela 24 – Parâmetros admissíveis para propriedades térmicas da cobertura.**

PROPRIEDADES TÉRMICAS - COBERTA			
Zona Bioclimática	Absortância solar	Transmitância térmica $W/(m^2K)$	Nível de Desempenho
ZB 8	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,3$ FV	Mínimo (M)
	$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,5$ FV	
	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 1,5$ FV	Intermediário (I)
	$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,0$ FV	
	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 1,0$ FV	Superior (S)
	$\alpha > 0,4$	$U \leq 0,5$ FV	

O fator de ventilação (FV) é estabelecido na NBR 15220 (ABNT, 2005a), em função das dimensões das aberturas de ventilação nos beirais.

$FV = 1,17 - 1,07 \times h^{-1,04}$ , onde  $h$  é a altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros. Para cobertura sem forro ou com áticos não ventilados,  $FV = 1$ .

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

Para a avaliação de desempenho térmico através do procedimento de medição é verificado o atendimento aos critérios de temperatura de bulbo seco em um dia típico de inverno ou verão. Para a medição, a NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda a instalação do equipamento no centro do ambiente a 1,20m de altura em relação ao piso. No entanto, devido à inconveniência deste posicionamento no cotidiano dos moradores e levando em consideração o layout dos ambientes monitorados, o posicionamento dos equipamentos se deu de duas formas, já especificadas anteriormente: à princípio os equipamentos foram pendurados no teto a uma altura de 2,10m do piso, deslocados do centro do ambiente devido a presença de uma luminária, em seguida os equipamentos foram relocados para o eixo central de uma parede interna, a uma altura de 1,20m do piso.

Para efeito da avaliação por medição, o dia típico se caracteriza pelos valores de temperatura do ar externos, medidos no local, sendo recomendado trabalhar com uma sequência de três dias com características semelhantes utilizando os dados do terceiro dia para análise. São definidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013) os dias típicos de algumas cidades brasileiras, apresentando dados climáticos para a cidade de Maceió conforme indicado na Tabela 25.

**Tabela 25 – Dados dos dias típicos de verão e de inverno da cidade de Maceió/AL.**

<b>Período</b>	<b>Temperatura diária (°C)</b>	<b>Amplitude diária de temperatura (°C)</b>	<b>Temperatura de Bulbo Úmido (°C)</b>	<b>Radiação solar (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Nebulosidade (décimos)</b>
<b>Verão</b>	Máx. 32,2	8,2	24,6	5138	6
<b>Inverno</b>	Mín. 17,8	7,5	21,7	4513	6

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

No caso da Zona Bioclimática 8, é dispensável o monitoramento no período do inverno, sendo necessário que no verão as condições térmicas no interior do edifício sejam melhores ou iguais às do ambiente externo para o dia típico de verão (Tabela 26).

**Tabela 26 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.**

TEMPERATURA DO AR		
Zona Bioclimática	Critério de avaliação	Nível de Desempenho
<b>ZB8</b>	$T_{i,m\acute{a}x} \leq T_{e,m\acute{a}x}$	Mínimo (M)
	$T_{i,m\acute{a}x} \leq (T_{e,m\acute{a}x} - 1^{\circ}\text{C})$	Intermediário (I)
	$T_{i,m\acute{a}x} \leq (T_{e,m\acute{a}x} - 2^{\circ}\text{C})$	Superior (S)

$T_{i,m\acute{a}x}$ . é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.  
 $T_{e,m\acute{a}x}$ . é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

Dessa forma, como parâmetro de avaliação, foi adotada a diferença entre a temperatura interna máxima ( $T_{i,m\acute{a}x}$ ) e temperatura externa máxima ( $T_{e,m\acute{a}x}$ ) no dia típico de verão, correspondente a  $32,2^{\circ}\text{C}$  para a cidade de Maceió (Tabela 25). Portanto, para alcançar o desempenho mínimo, a  $T_{i,m\acute{a}x}$  deve ser menor que  $T_{e,m\acute{a}x}$ . Para alcançar desempenho Intermediário, a  $T_{i,m\acute{a}x}$  não deve ultrapassar  $31,2^{\circ}\text{C}$  e para alcançar desempenho Superior, a  $T_{i,m\acute{a}x}$  não deve ultrapassar  $30,2^{\circ}\text{C}$ .

### **3.5.2 CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ACORDO COM O RTQ-R**

O Regulamento Técnico de Qualidade para Edificações Residenciais (RTQ-R) estabelece parâmetros para a classificação do nível de eficiência energética de edificações residenciais, que podem ser Unidades Habitacionais Autônomas (UHs), Edificações Unifamiliares, Edificações Multifamiliares e Áreas de Uso Comum.

Para o estudo de caso, foram realizadas avaliações para Unidades Habitacionais Autônomas, nas quais puderam ser examinados os requisitos mínimos de desempenho térmico da envoltória, a eficiência do sistema de aquecimento de água e as eventuais bonificações. Neste estudo, no entanto, foram realizadas avaliações apenas para a envoltória dos ambientes estudados e, diante da geometria simplificada da edificação em estudo, optou-se pela aplicação do método prescritivo para a avaliação da envoltória.

O RTQ-R estabelece pré-requisitos relacionados às propriedades térmicas (transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies),

ventilação natural e iluminação natural. Para a avaliação da eficiência energética, os parâmetros das propriedades térmicas são baseados nas recomendações da NBR 15.220 (ABNT, 2005), enquanto os parâmetros de ventilação e iluminação naturais são estabelecidos pelo próprio RTQ-R.

Para a avaliação da envoltória foi necessário realizar um levantamento quantitativo e caracterizar os elementos constituintes da mesma para confrontar com os pré-requisitos da envoltória determinados pelo RTQ-R para cada Zona Bioclimática. Para a Zona Bioclimática 8, na qual se insere a cidade de Maceió, os pré-requisitos de absorvância solar, transmitância e capacidade térmica foram avaliados de acordo com a Tabela 27.

**Tabela 27 – Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para a Zona Bioclimática 8.**

PROPRIEDADES TÉRMICAS				
Zona Bioclimática	Componente	Absorvância solar	Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> K)	Capacidade térmica W/(m <sup>2</sup> K)
ZB8	Paredes	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: RTQ-R (INMETRO, 2012a), adaptado pela autora.

O pré-requisito de ventilação natural está relacionado ao percentual mínimo de abertura efetiva para ventilação por ambiente, sendo avaliado de acordo com a Tabela 28.

**Tabela 28 – Pré-requisitos de ventilação natural para a Zona Bioclimática 8.**

VENTILAÇÃO NATURAL		
Zona Bioclimática	Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso ( $A_v$ )
ZB8	Ambientes de Permanência Prolongada (APP)	$A_v \geq 10\%$

Fonte: RTQ-R (INMETRO, 2012a), adaptado pela autora.

Além disso, é necessário que 50% + 1 dos banheiros de cada unidade habitacional possuam aberturas que permitam a ventilação natural e que estas aberturas permitam o controle da ventilação. Um outro pré-requisito relacionado à ventilação natural é atender à proporção de ventilação cruzada, proporcionada pelas aberturas externas e internas, indicada pela Equação 2.

$$\left(\frac{A_2}{A_1}\right) \geq 0,25 \quad (2)$$

onde

$A_1$  somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m<sup>2</sup>);

$A_2$  somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m<sup>2</sup>).

Já o pré-requisito de iluminação natural está relacionado ao percentual mínimo de abertura efetiva para iluminação por ambiente, sendo avaliado de acordo com a Tabela 29.

**Tabela 29 – Pré-requisitos de iluminação natural para a Zona Bioclimática 8.**

ILUMINAÇÃO NATURAL		
Zona Bioclimática	Ambiente	Percentual de abertura para iluminação em relação à área de piso ( $A_i$ )
ZB8	Ambientes de Permanência Prolongada (APP)	$A_i \geq 12,5\%$

Fonte: RTQ-R (INMETRO, 2012a), adaptado pela autora.

Os dados obtidos através do levantamento quantitativo foram transpostos para a planilha de cálculo do desempenho da UH (Figura 30), disponibilizada pelo Labeee no site do PBE Edifica (PBE EDIFICA, 2017).

**Figura 30 – Planilha de cálculo do desempenho da UH.**

Zona Bioclimática	ZB		ZB8
Ambiente	Identificação	adimensional	
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	
	Contato com solo	adimensional	
	Sobre Pilotis	adimensional	
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	
	αcob	adimensional	
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	
	αpar	adimensional	
Característica construtiva	CTbaixa	binário	
	CTalta	binário	
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	
	SUL	m <sup>2</sup>	
	LESTE	m <sup>2</sup>	
	OESTE	m <sup>2</sup>	
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m <sup>2</sup>	
	SUL	m <sup>2</sup>	
	LESTE	m <sup>2</sup>	
	OESTE	m <sup>2</sup>	
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	
	Somb	adimensional	
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	
	Pé Direito	m	
	C altura	adimensional	
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	
	vid	binário	
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	<b>GHR</b>	<b>°C.h</b>	
Consumo Relativo para Aquecimento	<b>CA</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>.ano</b>	Não de aplica
Consumo Relativo para Refrigeração	<b>CR</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>.ano</b>	

Fonte: PBE EDIFICA (2017), adaptado pela autora.

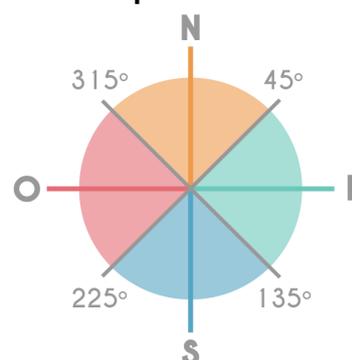
No caso de edificações com orientações de fachadas oblíquas, para identificar a orientação das paredes e aberturas para o preenchimento da planilha de cálculo do desempenho da UH, o RTQ-R determina uma análise da implantação da edificação dentro de um quadrante, definido de acordo com o Norte geográfico conforme indicam Tabela 30 e Figura 31.

**Tabela 30 – Definição dos quadrantes de acordo com a orientação geográfica.**

Orientação Geográfica	Quadrante
<b>NORTE</b>	de 0° a 45,0° e de 315,1° a 360,0°
<b>LESTE</b>	de 45,1° a 135,0°
<b>SUL</b>	de 135,1° a 225,0°
<b>OESTE</b>	de 225,1° a 315,0°

Fonte: RTQ-R (INMETRO, 2012a), adaptado pela autora.

**Figura 31 – Rosa dos ventos com os quadrantes.**



Fonte: RTQ-R (INMETRO, 2012a), adaptado pela autora.

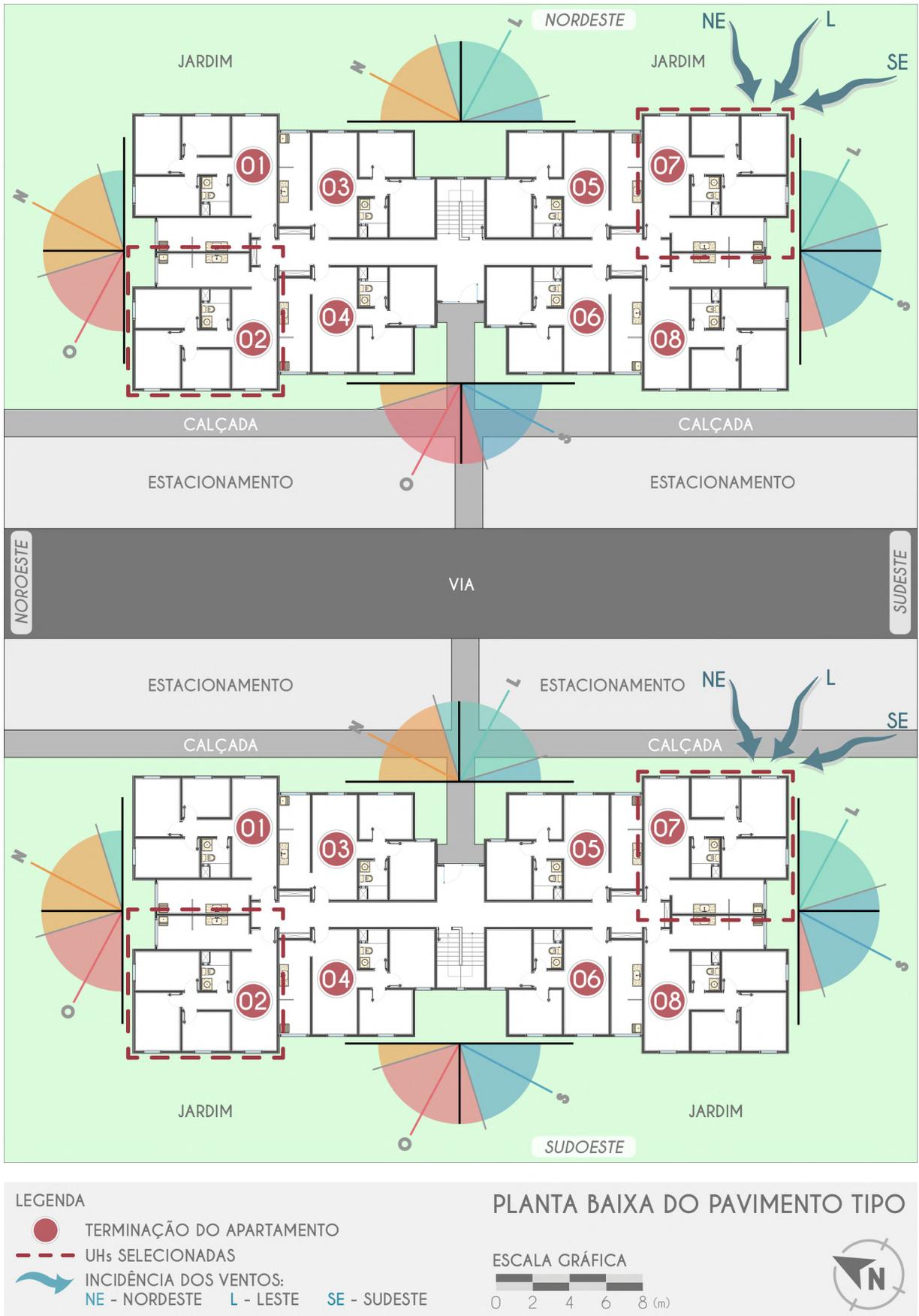
Na Figura 32 foi inserida a rosa dos ventos, disponibilizada pelo RTQ-R, na planta baixa do empreendimento para identificação do quadrante de orientação geográfica que as fachadas se inserem. Dessa forma, para o preenchimento da planilha de cálculo do desempenho da UH, as *orientações geográficas reais*, de acordo com o norte verdadeiro, correspondem à *orientações geográficas equivalentes*, de acordo com as disposições do RTQ-R. As informações foram sintetizadas por fachada na Tabela 31, com base na Figura 32.

**Tabela 31 – Orientação geográfica das fachadas para fins de cálculo do RTQ-R, com base no norte verdadeiro.**

Orientação Geográfica Real (norte verdadeiro)	Orientação Geográfica Equivalente de acordo com o RTQ-R (preenchimento da planilha da UH)
NOROESTE	NORTE
NORDESTE	LESTE
SUDESTE	SUL
SUDOESTE	OESTE

Fonte: A autora, 2019.

**Figura 32 – Planta baixa com indicação dos quadrantes de orientação geográfica disposto pelo RTQ-R.**



Fonte: A autora, 2019.

### 3.5.1 ZONA DE CONFORTO DE ACORDO COM A ASHRAE STANDARD 55

Para determinar as condições de conforto aceitáveis em ambientes naturalmente ventilados segundo os critérios da ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017), foi realizada uma análise da temperatura operativa do ambiente em relação à faixa de conforto estabelecida pelo método adaptativo.

O método do conforto adaptativo foi aplicado para o cálculo da Zona de Conforto com base nas Equações 3 e 4 para a determinação dos limites superior e inferior, respectivamente, levando em consideração um nível de aceitabilidade para o conforto térmico de 80%.

$$\text{Limite superior (}^{\circ}\text{C):} \quad t_o = 0.31 \times t_{pmo} \times 21.3 \quad (3)$$

$$\text{Limite inferior (}^{\circ}\text{C):} \quad t_o = 0.31 \times t_{pmo} \times 14.3 \quad (4)$$

onde

$t_o$  limite superior ou inferior da temperatura operativa no interior do ambiente;  
 $t_{pmo}$  temperatura média prevalente no exterior.

Para a aplicação das Equações 3 e 4 foi necessário determinar a temperatura média prevalente no exterior ( $t_{pmo}$ ), determinada com base nos sete dias antes do dia em questão. Dessa forma, para determinar a  $t_{pmo}$  do primeiro dia do período de medição, foram levadas em consideração as medições de temperatura do ar externas nos sete dias que o antecederam, conforme Equação 5 (ABNT, 2008).

$$t_{pmo} = 0.34 t_{od-1} + 0.23 t_{od-2} + 0.16 t_{od-3} + 0.11 t_{od-4} + 0.08 t_{od-5} + 0.05 t_{od-6} + 0.03 t_{od-7} \quad (5)$$

onde

$t_{pmo}$  temperatura média prevalente no exterior;  
 $t_{od-1}$  temperatura média do dia anterior ao dia em questão;  
 $t_{od-2}$  temperatura média do dia anterior ao dia anterior, e assim por diante.

Diante da determinação dos limites da Zona de Conforto, foi possível determinar a quantidade de horas que a temperatura do ar interna ultrapassou os limites de conforto de cada ambiente, bem como a somatória de graus que ficaram fora da faixa considerada de conforto, ou seja, a quantidade de graus-hora em

desconforto. Além disso, foi possível estabelecer a porcentagem de horas confortáveis e desconfortáveis e calcular o grau médio de cada ambiente, a partir da divisão entre o somatório de graus-hora e a quantidade de horas em desconforto.

# 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

---

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos através do monitoramento das variáveis ambientais (temperatura, umidade e velocidade do ar), da avaliação do desempenho térmico da NBR 15575, da classificação do nível de eficiência energética do RTQ-R e da Zona de Conforto Adaptativo da ASHRAE Standard 55.

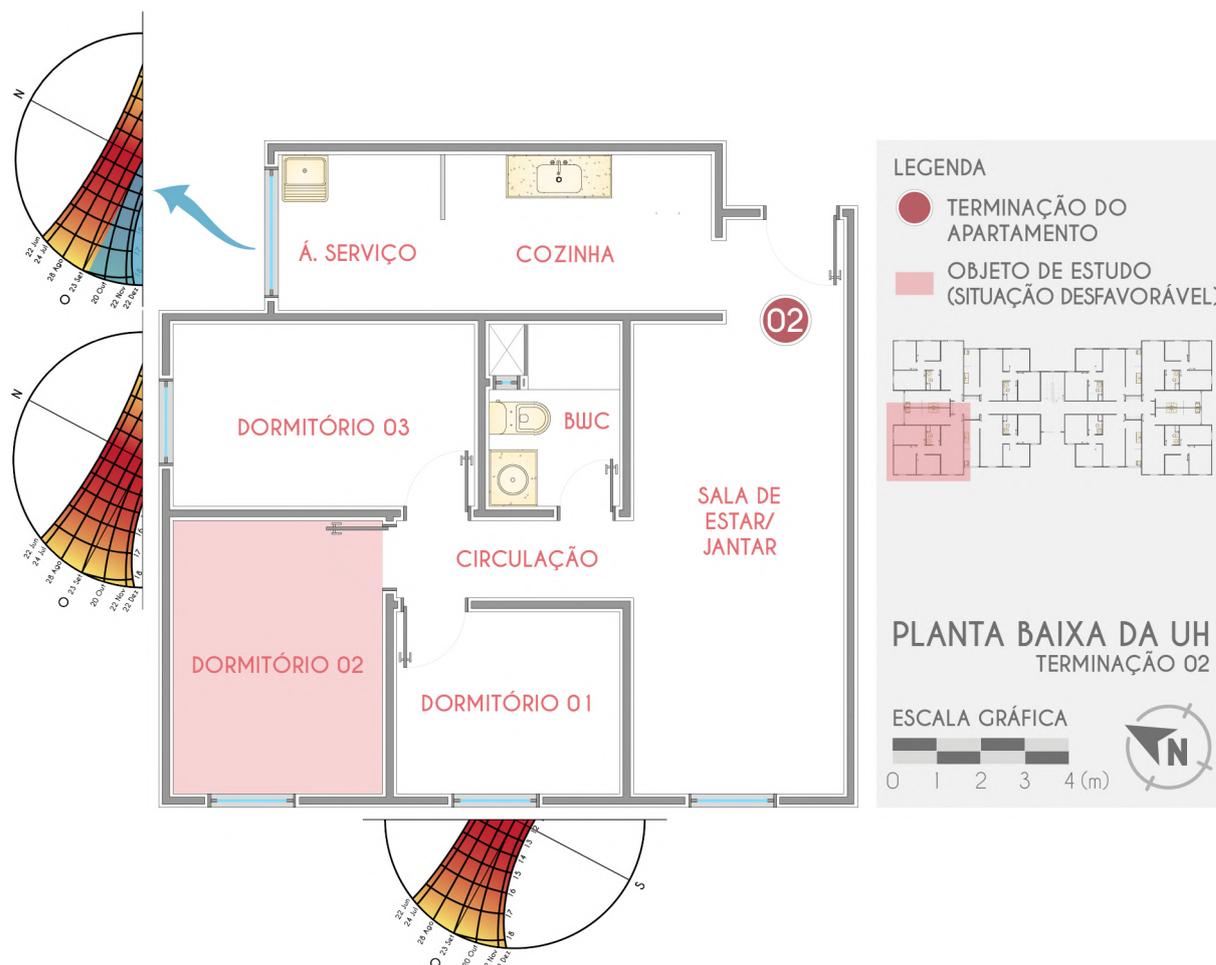
## 4.1 ANÁLISE DA INCIDÊNCIA SOLAR

Para a análise da incidência solar nos ambientes em estudo, foi realizado um estudo com o auxílio da carta solar da cidade de Maceió/AL nas unidades voltadas para poente (fachadas noroeste e sudoeste) e nascente (fachadas nordeste e sudeste). As UHs, independentemente do pavimento em que se encontram, apresentam a mesma configuração espacial e ausência de dispositivos de sombreamento, portanto, as cartas solares, tanto para o pavimento térreo quanto para o pavimento cobertura, apresentam os mesmos resultados. Além disso, embora os blocos de apartamentos sejam implantados a partir do espelhamento de uma mesma planta no eixo horizontal, as unidades habitacionais em estudo que possuem a mesma terminação apresentam as mesmas condições de insolação.

Devido à ausência de dispositivos de sombreamento nas fachadas, os dormitórios em estudo recebem incidência solar direta em um período do dia. No caso das unidades habitacionais com a fachada principal voltada para sudoeste, na qual se localizam as aberturas dos dormitórios (01 e 02) e da sala de estar, recebem incidência solar direta no período da tarde durante todo o ano, tanto no térreo como na cobertura (vide Figura 33). A parede lateral do dormitório em estudo também recebe insolação durante toda a tarde e, no inverno, também no período da manhã das 8h às 12h. O dormitório 03, localizado ao lado do banheiro, recebe incidência solar direta durante toda a tarde e em alguns horários da manhã entre março e

setembro. A cozinha desta UH também recebe sol neste período, no entanto ela é sombreada pela geometria do próprio edifício durante a tarde entre os meses de setembro e março.

**Figura 33 – Carta solar das UHs voltadas para o poente (terminação 02).**



Fonte: A autora, 2018.

Nas unidades habitacionais com a fachada principal voltada para nordeste, os dormitórios também não possuem dispositivos de sombreamento, recebendo incidência solar direta no período da manhã durante todo o ano, tanto no térreo como na cobertura (vide Figura 34). A parede lateral do dormitório em estudo também recebe insolação durante toda a manhã e no mês de dezembro, também no início da tarde entre 12h e 14h. O terceiro dormitório e a cozinha recebem incidência solar direta durante a manhã, no entanto, o sombreamento exercido pela própria edificação impede a incidência solar direta na cozinha entre os meses de março e setembro no período da tarde.

**Figura 34 – Carta solar das UHs voltadas para o nascente (terminação 07).**



Fonte: A autora, 2018.

Dessa forma, as unidades habitacionais com terminações 07 (M007-TN e A207-CN), que possuem a fachada principal voltada para nordeste, tendem a apresentar condições mais favoráveis ao conforto térmico. Nesta condição, os ambientes recebem a incidência solar no período da manhã, quando as temperaturas são mais amenas, e maior incidência de ventos predominantes na cidade de Maceió (leste e sudeste), favorecendo a redução na absorção e acúmulo de calor no ambiente.

Já nas unidades habitacionais com terminações 02 (M002-TP e R202-CP) com a fachada principal voltada para sudoeste ocorre o oposto. Os ambientes recebem incidência solar no período da tarde, horário com temperaturas mais elevadas e, aliado a isto, não há a incidência de ventilação natural predominante, contribuindo para a deterioração das condições de conforto térmico nestes ambientes.

Com base na análise das cartas solares, a Tabela 17 sintetiza os horários de insolação das paredes frontal e lateral dos ambientes em estudo, de acordo com a sua orientação, nos solstícios de verão e de inverno. Percebe-se que os ambientes M002-TP e R202-CP recebem incidência solar durante toda a tarde no verão e durante toda a manhã e tarde no inverno. Já os ambientes M007-TN e A207-CN recebem incidência solar durante a toda a manhã tanto no verão, quanto no inverno.

**Tabela 32 – Incidência solar direta em cada ambiente em estudo.**

<b>Ambientes</b>	<b>Orientação da Fachada</b>	<b>Horas de Insolação Verão</b>	<b>Horas de Insolação Inverno</b>
<b>M002-TP</b>	Sudoeste	11:30 – 18:00	13:00 – 18:00
	Noroeste	14:00 – 18:00	08:00 – 18:00
<b>M007-TN</b>	Nordeste	06:00 – 11:30	06:00 – 13:00
	Sudeste	06:00 – 14:00	06:00 – 08:00
<b>R202-CP</b>	Sudoeste	11:30 – 18:00	13:00 – 18:00
	Noroeste	14:00 – 18:00	08:00 – 18:00
<b>A207-CN</b>	Nordeste	06:00 – 11:30	06:00 – 13:00
	Sudeste	06:00 – 14:00	06:00 – 08:00

Fonte: A autora, 2019.

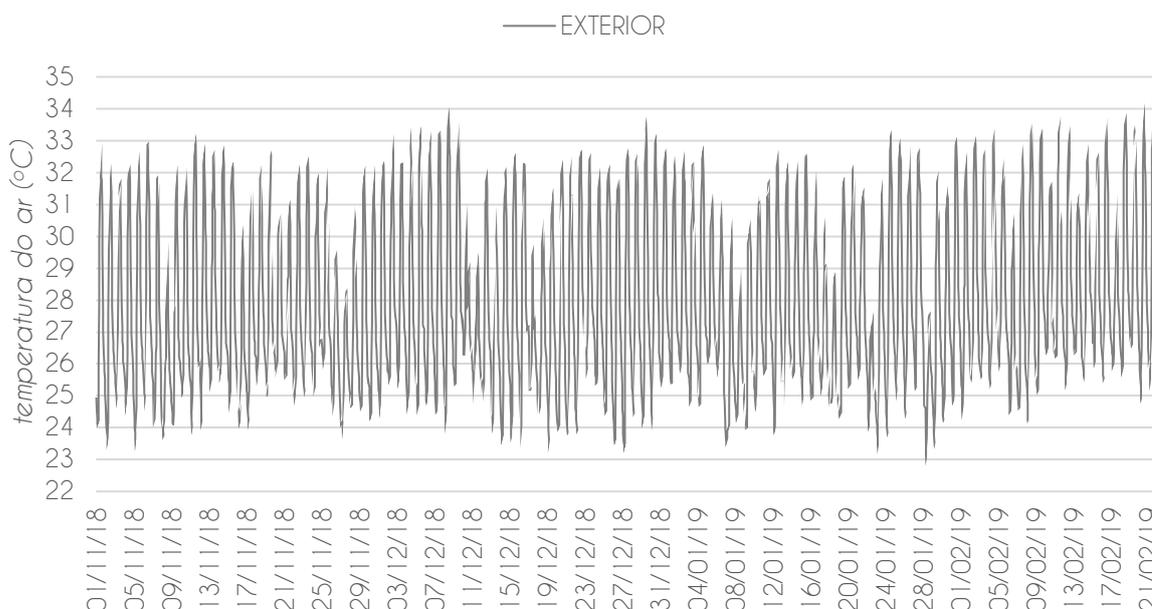
## **4.2 MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DO AR**

O monitoramento da temperatura do ar foi realizado em 4 apartamentos localizados nos condomínios Village das Flores, Village das Fontes e Village das Artes. Em cada apartamento foram realizados registros de temperatura do ar em dormitórios que possuem características construtivas idênticas, no entanto se localizam em pavimentos e orientações diversas, sendo todos ventilados naturalmente e sob condições normais de ocupação. Além disso, foi instalado um equipamento de monitoramento na área externa, localizado no bicicletário do condomínio Village das Artes. Dessa forma, foram instalados um total de cinco equipamentos, modelo HOBO (Figura 19), configurados para a realização de registros horários no período de 01.11.2018 até 21.02.2019.

Em relação às temperaturas externas, é possível identificar um padrão de comportamento diário, no qual as temperaturas mais altas, salvo exceções, são atingidas entre as 12:00 e as 13:00 da tarde, enquanto as temperaturas mais baixas

são atingidas entre 05:00 e 06:00 da manhã. No período em que foram realizadas as medições, a temperatura externa máxima foi igual a 34,58°C no dia 21/02/19 às 11:00 da manhã e a mínima foi igual a 22,81°C no dia 28/01/19 às 09:00 da manhã, enquanto a média do período foi de 27,86°C (Gráfico 13).

**Gráfico 13 – Variação da temperatura externa.**

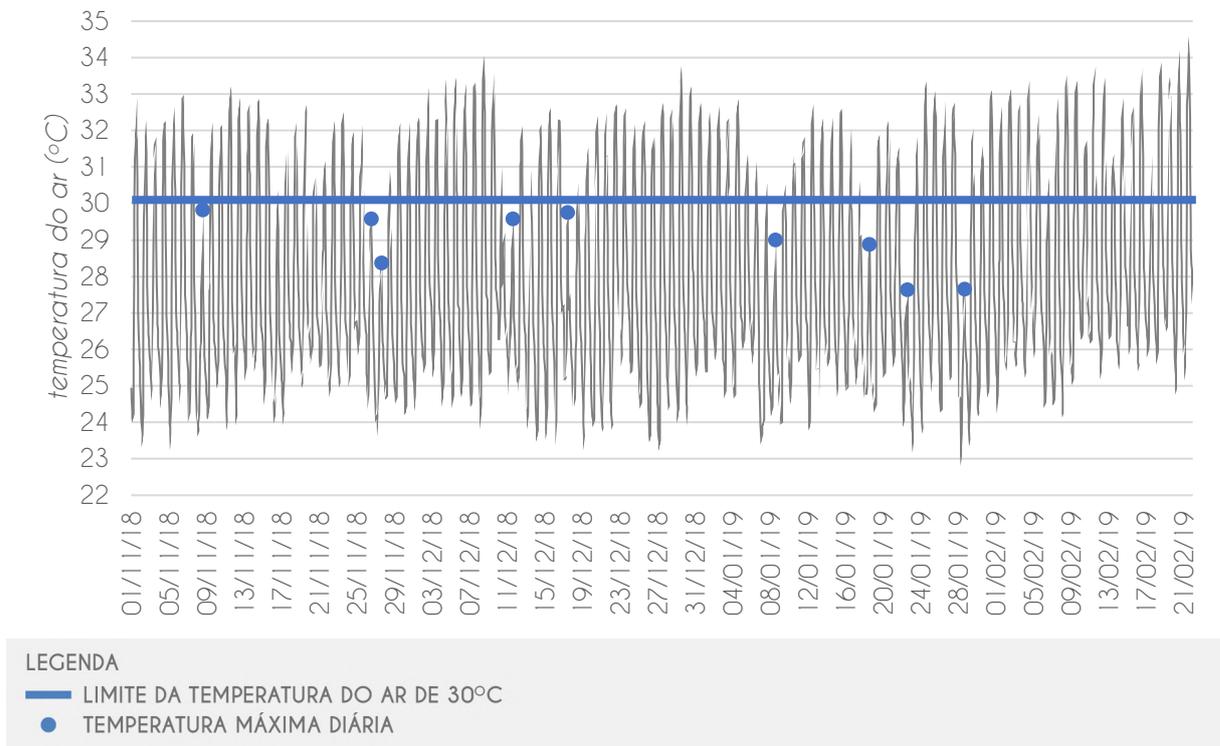


Fonte: A autora, 2019.

No período, é possível perceber uma considerável redução nas temperaturas máximas diárias em determinados dias, em destaque no Gráfico 14. Nestes dias, os registros marcaram temperaturas máximas abaixo dos 30 °C. Com base em dados da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática (INMET, 2019), localizada na Universidade Federal de Alagoas<sup>28</sup>, identificou-se a ocorrência de chuvas nos referidos dias, sendo este o provável motivo da redução nos registros de temperatura máxima (Apêndice F).

<sup>28</sup> A Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Maceió localiza-se a um raio de cerca de 3,6km de distância do ponto de medição no qual o equipamento HOBO foi instalado. A distância foi estimada através de ferramenta de medição disponibilizada no site Google Earth Web.

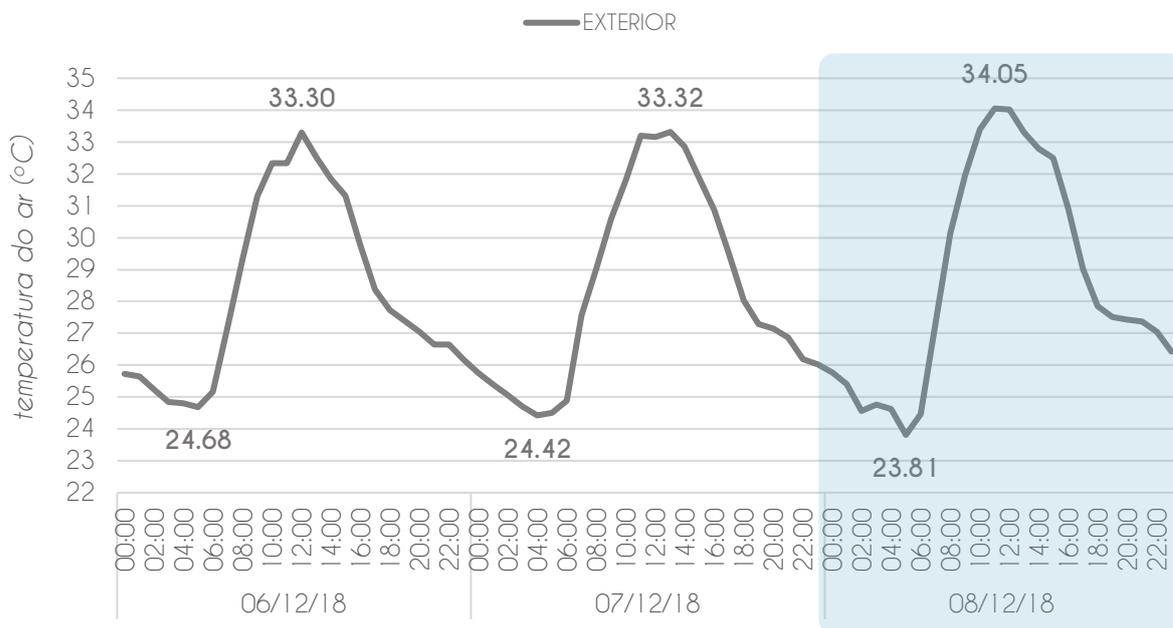
**Gráfico 14 – Variação da temperatura externa, destacando-se temperaturas máximas abaixo de 30°C.**



Fonte: A autora, 2019.

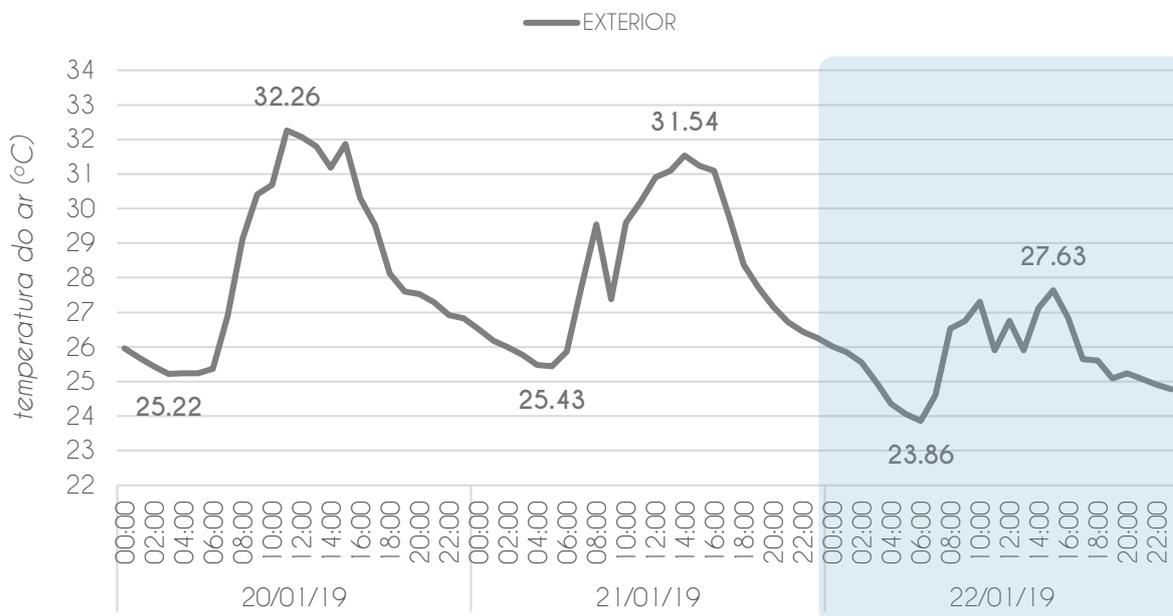
Um outro aspecto a ser destacado é a amplitude térmica diária, ou seja, a diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima registradas durante o dia. No período em estudo, a maior amplitude térmica externa identificada ocorreu no dia 08/12/18, no qual foi registrada a temperatura máxima de 34,05°C e mínima de 23,81°C. Diante disto, os registros do dia em questão resultam em uma amplitude térmica de 10,24°C (Gráfico 15). Já a menor amplitude térmica refere-se ao dia 22/01/19 que apresentou uma redução considerável na temperatura máxima quando comparada aos demais dias do período. Neste dia, a temperatura máxima registrada foi de 27,63°C, enquanto a mínima foi de 23,86°C, resultando em uma amplitude térmica de 3,77°C (Gráfico 16).

**Gráfico 15 – Temperaturas horárias externas registradas através do equipamento HOBO, destacando-se o dia 08/12/2018 (maior amplitude térmica no período monitorado).**



Fonte: A autora, 2019.

**Gráfico 16 – Temperaturas horárias externas registradas através do equipamento HOBO, destacando-se o dia 22/01/2019 (menor amplitude térmica no período monitorado).**



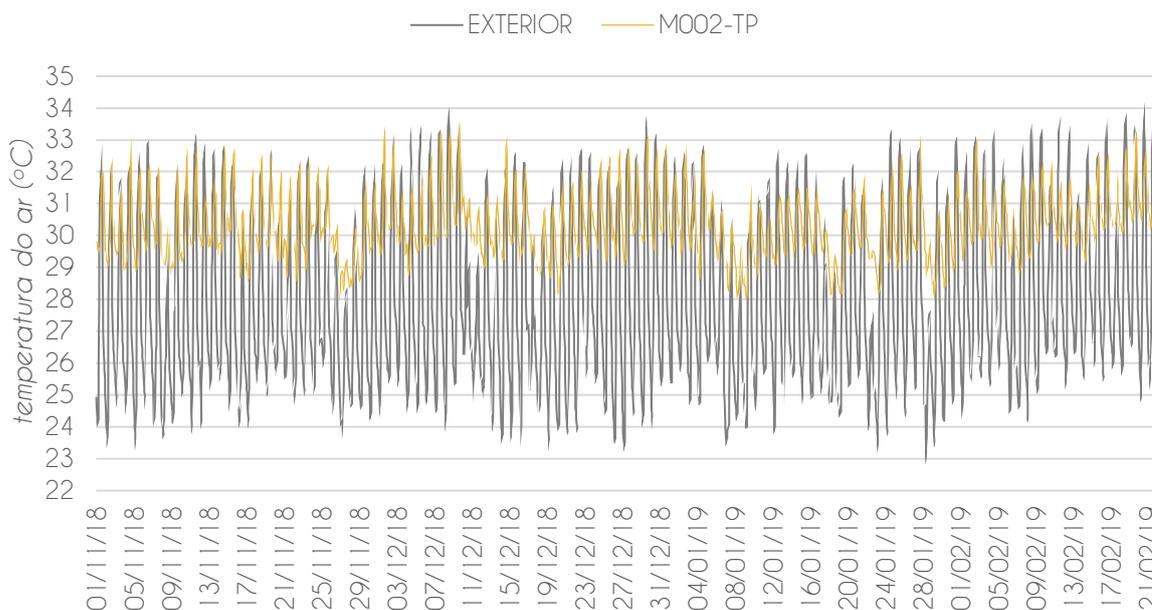
Fonte: A autora, 2019.

Embora os ambientes internos sejam semelhantes do ponto de vista construtivo, a posição de cada um dos dormitórios monitorados resulta em comportamentos térmicos distintos, diante das diferentes condições de insolação e ventilação, além das diferentes condições de uso. Foi possível identificar tais

comportamentos a partir dos resultados do monitoramento ambiental, observando a variação das temperaturas internas ao longo de todo o dia.

O dormitório monitorado no apartamento M002-TP, localizado no nível térreo poente, apresentou temperatura máxima interna registrada de 33,58°C no dia 09/12/18 às 16:00, enquanto a temperatura externa correspondente registrada foi inferior, sendo igual a 31,52°C. A temperatura mínima registrada foi de 27,93°C, às 22:00 do dia 26/11/18 enquanto a média do período foi igual a 30,24°C (Gráfico 17). No período noturno, as temperaturas internas do ambiente monitorado são reduzidas, no entanto os valores registrados se mantêm superiores às temperaturas externas, verificando-se diferenças que variam de 3,09°C a 6,12°C entre as mínimas diárias interna e externa. A amplitude térmica variou de 0,90°C a 4,60°C e o amortecimento térmico<sup>29</sup> variou entre -1,99°C e 3,32°C.

**Gráfico 17 – Variação da temperatura do ar externa e no interior do ambiente M002-TP.**



Fonte: A autora, 2019.

O apartamento M007-TN, localizado no nível térreo nascente, apresentou temperatura interna inferior em relação ao apartamento M002-TP, em virtude da orientação do ambiente monitorado. No dormitório do apartamento M007-TN, a temperatura máxima interna registrada foi de 32,23°C no dia 19/02/19 às 12:00,

<sup>29</sup> O amortecimento térmico em relação às temperaturas máximas diárias consiste na diferença entre a temperatura máxima registrada no interior da edificação e temperatura máxima externa. Dessa forma, o sinal negativo indica que a temperatura interna foi inferior à externa, enquanto o sinal positivo indica que a temperatura interna foi superior à externa.

enquanto a temperatura externa correspondente foi superior, registrando 33,27°C (Gráfico 18). A temperatura mínima registrada foi de 27,56°C, às 18:00 do dia 10/11/18 enquanto a média do período foi igual a 29,60°C. A amplitude térmica variou entre 0,57°C e 3,56°C, enquanto amortecimento térmico variou entre -3.00°C e 2.31°C.

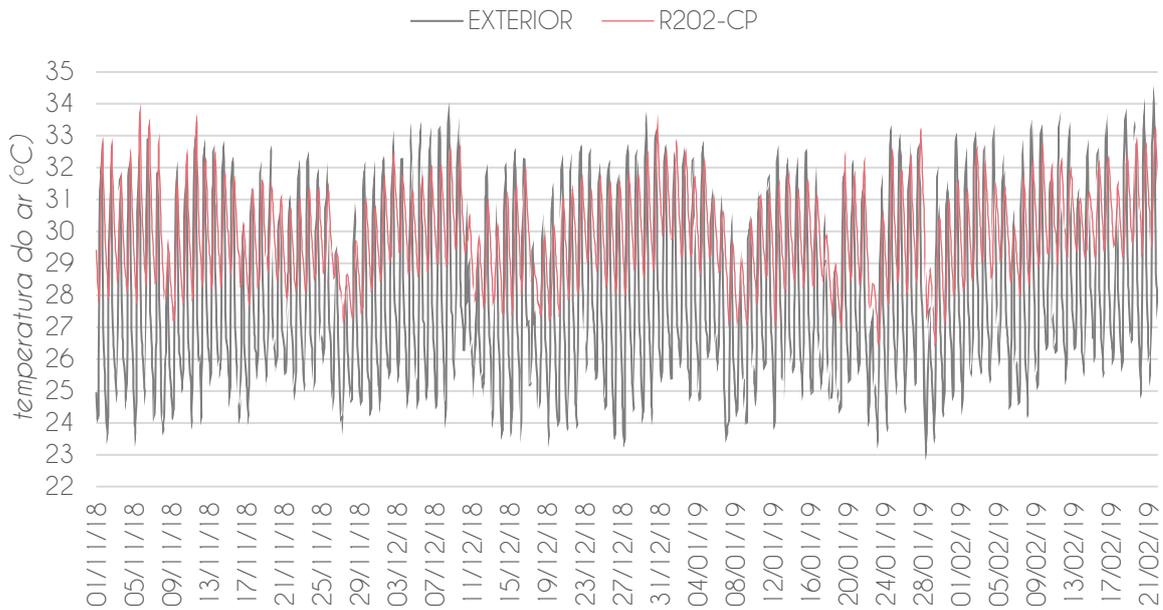
**Gráfico 18 – Variação da temperatura do ar externa e no interior do ambiente M007-TN.**



Fonte: A autora, 2019.

O apartamento R202-CP, localizado no nível cobertura poente, apresentou temperatura máxima interna registrada de 34,03°C no dia 05/11 às 16:00, enquanto a temperatura externa correspondente foi de 30,33°C. A temperatura mínima registrada foi de 26,38°C, às 07:00 do dia 29/01 enquanto a média do período foi igual a 29,79°C (Gráfico 19). A amplitude térmica variou entre 1,41°C e 6,32°C, enquanto a diferença entre a temperatura interna e a temperatura externa variou entre -2,09°C e 3,55°C.

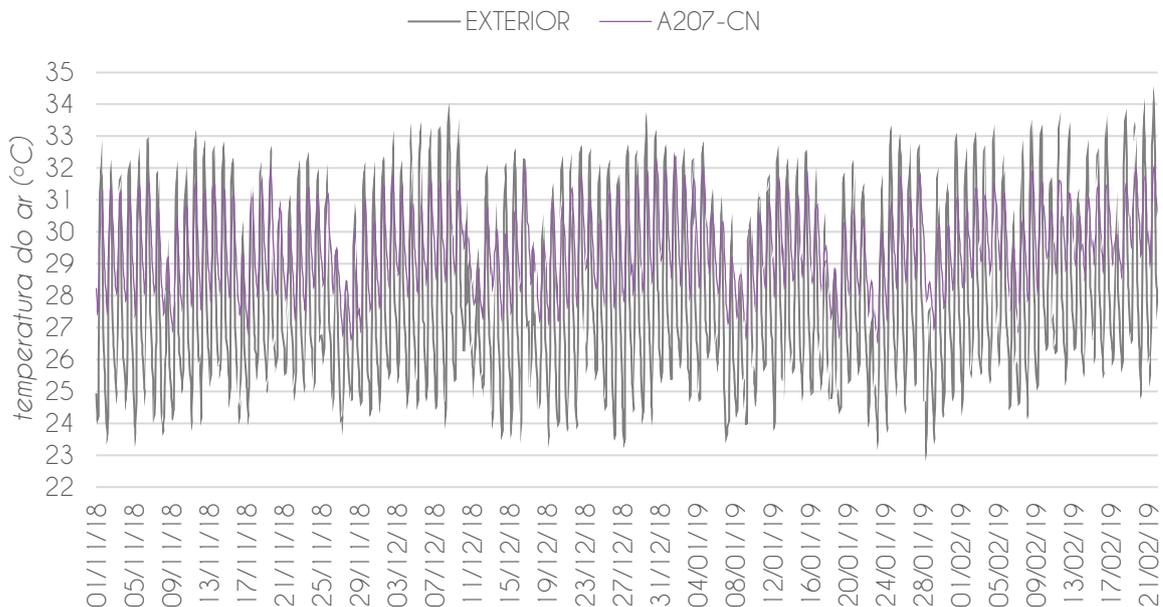
**Gráfico 19 – Variação da temperatura do ar externa e no interior do ambiente R202-CP.**



Fonte: A autora, 2019.

O dormitório do apartamento A207-CN, voltado para o nascente no nível cobertura, apresentou temperatura máxima interna registrada de 32,42°C no dia 30/12 às 16:00, enquanto a temperatura externa correspondente foi de 30,73°C. A temperatura mínima registrada foi de 26,48°C, às 06:00 do dia 23/01 enquanto a média do período foi igual a 29,47°C (Gráfico 20). A amplitude térmica variou entre 1,20°C e 5,33°C, enquanto a diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna variou entre -2,49°C e 2,69°C.

**Gráfico 20 – Variação da temperatura do ar externa e no interior do ambiente A207-CN.**



Fonte: A autora, 2019.

Os dados apresentados anteriormente foram sintetizados na tabela a seguir, apresentando os registros, por ambiente, referentes à temperatura do ar, amplitude térmica e amortecimento térmico (Tabela 33).

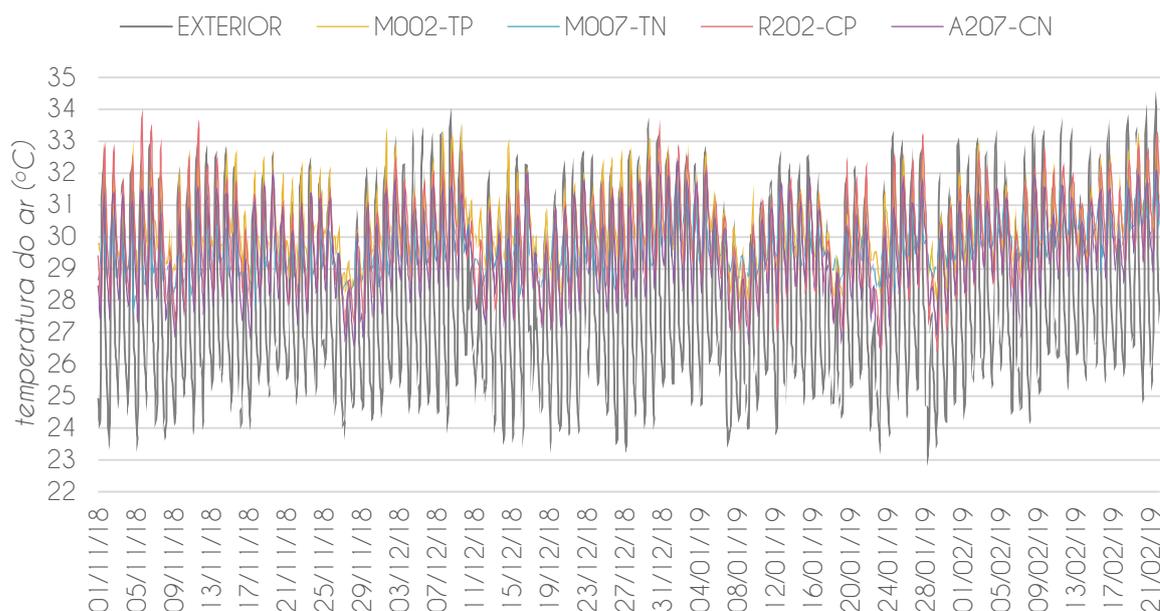
**Tabela 33 – Síntese da temperatura do ar, amplitude térmica e amortecimento térmico mínimos, máximos e médios, por ambiente.**

Ambientes	Temperatura do ar (°C)			Amplitude térmica (°C)			Amortecimento térmico $T_{INT} - T_{EXT}$ (°C)		
	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.	Méd.	Mín.	Máx.	Méd.
<b>EXTERIOR</b>	22,81	34,58	27,86	3,77	10,24	7,54	-	-	-
<b>M002-TP</b>	27,93	33,58	30,24	0,90	4,60	2,72	3,32	- 1,99	- 0,23
<b>M007-TN</b>	27,56	32,23	29,43	0,57	3,56	1,66	2,31	- 3,00	- 1,65
<b>R202-CP</b>	26,97	34,03	29,79	1,41	6,32	3,45	3,55	- 2,09	- 0,47
<b>A207-CN</b>	26,48	32,42	29,36	1,24	4,59	3,20	2,69	- 2,49	- 1,12

Fonte: A autora, 2019.

Em uma análise geral do comportamento da temperatura do ar nos quatro ambientes internos, com base no Gráfico 21 (ver Apêndice G para versão expandida), pode-se identificar alguns aspectos que serão destacados em seguida.

**Gráfico 21 – Variação da temperatura do ar externa e no interior dos ambientes monitorados.**



Fonte: A autora, 2019.

Conforme esperado, a orientação dos ambientes influenciou no comportamento da temperatura interna, sendo registradas temperaturas mais amenas nos ambientes voltados para o nascente, os quais recebem insolação apenas no período da manhã, são eles os apartamentos M007-TN e A207-CN (Gráfico 21).

Os apartamentos M002-TP e R202-CP, voltados para o poente, apresentam os picos mais altos de temperatura. O apartamento M002-TP apresentou temperatura mínima diária superior aos demais ambientes monitorados (Tabela 33) e, ainda, os picos mais elevados de temperatura, especialmente a partir da segunda quinzena de novembro. No apartamento R202-CP, embora também apresente temperaturas máximas elevadas, durante a noite há uma queda na temperatura, apresentando registros de temperaturas mínimas mais amenas que o M002-TP e a maior amplitude térmica dentre os ambientes monitorados (Tabela 33). Ambos os dormitórios, de acordo com os moradores, são utilizados apenas para dormir. No entanto, embora a orientação dos ambientes seja a mesma, o pavimento em que se inserem e as formas de uso das aberturas contribuem para os diferentes comportamentos da temperatura interna. O M002-TP, localizado no térreo, permanece com a janela aberta durante o dia e a noite, fechando apenas em casos de chuva forte. Por ser localizado no térreo, este apartamento apresenta perda de calor apenas através das paredes e do piso, o que impede uma maior redução nas temperaturas mínimas, diferente do R202-CP que, localizado na cobertura, perde (e ganha) calor também através da coberta. Além disto, no apartamento R202-CP a janela permanece a maior parte do tempo fechada, sendo aberta esporadicamente aos fins de semana, durante o dia.

Com relação aos apartamentos voltados para nascente, o dormitório M007-TN apresentou a menor amplitude térmica dentre os quatro ambientes, ou seja, a menor variação de temperatura diária (Tabela 33). Dessa forma, os picos de temperatura máxima deste dormitório foram os mais baixos quando comparados aos demais ambientes monitorados, enquanto as temperaturas mínimas se mantiveram acima das mínimas dos apartamentos localizados no pavimento cobertura, são eles o A207-CN e o R202-CP (Gráfico 21). O apartamento A207-CN, também voltado para nascente, alcança as temperaturas mais baixas dentre os apartamentos estudados, no entanto os picos mais elevados de temperatura superam os valores encontrados no apartamento M007-TN, de mesma orientação, porém localizado no nível térreo. Dessa forma, posto que ambos os dormitórios apresentam condições similares de uso –

sendo utilizados apenas para dormir e permanecendo com as janelas fechadas a maior parte do tempo – destaca-se novamente a influência da cobertura nas trocas de calor: o apartamento M007-TN se encontra em situação mais isolada, posto que as trocas de calor são realizadas apenas através das paredes, enquanto o apartamento A207-CN, na cobertura, apresenta uma maior variação na temperatura diária, com maiores ganhos e perdas de calor que o apartamento M007-TN.

Com base nos dados do monitoramento da temperatura, foi possível selecionar alguns dias relevantes para uma análise mais aprofundada do comportamento térmico. Dessa forma, foram investigados 6 dias diferentes – apresentados em conjunto com os 2 dias que o antecedem –, destacados na Tabela 34.

**Tabela 34 – Dias selecionados para análise.**

<b>Característica</b>	<b>Período</b>	<b>Dia analisado</b>
<b>Dia típico de verão</b>	13/11/2018 – 15/11/2018	15/11/2018
<b>Dias com temperaturas máximas externas</b>	19/02/2019 – 21/02/2019	21/02/2019
<b>Dias com temperaturas mínimas externas</b>	25/12/2018 – 27/12/2019	27/12/2019
<b>Dia com maior amplitude térmica</b>	06/12/2018 – 08/12/2018	08/12/2018
<b>Dia com menor amplitude térmica</b>	20/01/2019 – 22/01/2019	22/01/2019
<b>Dia com maior precipitação</b>	26/01/2019 – 28/01/2019	28/01/2019

Fonte: A autora, 2019.

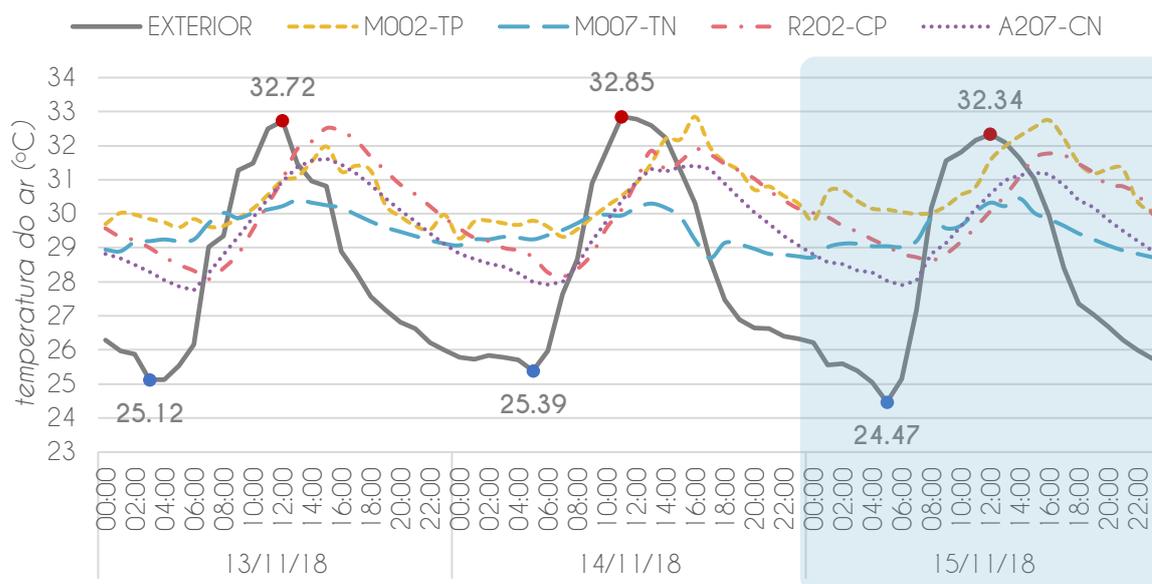
#### **4.2.1 DIA TÍPICO DE VERÃO: 15/11/2018**

Diante dos dados do monitoramento de temperatura do ar, tendo como base as recomendações da NBR 15575 para a escolha do dia típico, foram selecionados três dias consecutivos que apresentaram comportamentos semelhantes na variação da temperatura diária, levando em consideração a escolha de dias com aspectos de variação de temperatura do ar que se repetem durante a maior parte do período monitorado, configurando um padrão de comportamento.

De acordo com a NBR 15575, o dia típico de verão para a cidade de Maceió se caracteriza por apresentar temperatura externa máxima de 32,2°C e amplitude térmica de 8,2°C, recomendando selecionar uma sequência de três dias com características semelhantes para realizar a análise do último dia.

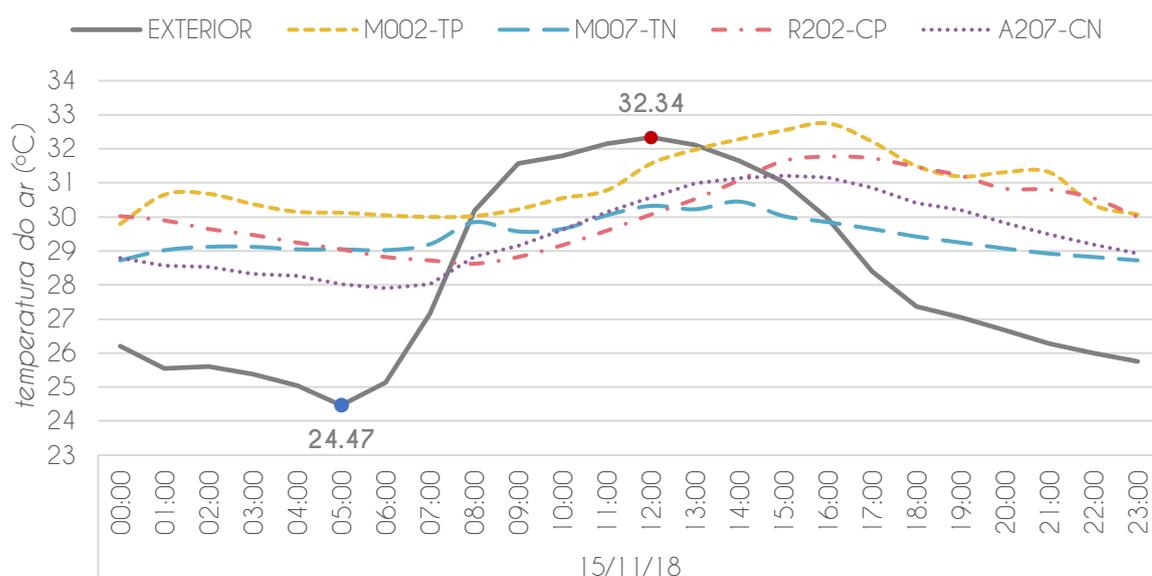
Dessa forma, o Gráfico 22 apresenta uma sequência de três dias que vai do dia 13/11/2018 a 15/11/2018, sendo este último selecionado como dia típico de verão para o estudo, em destaque no Gráfico 23. No dia 15/11 (dia típico de verão) a temperatura máxima externa foi igual a 32,34°C, sendo precedido por dois dias com temperaturas máximas iguais a 32,72°C e 32,85°C, conforme indicadas no Gráfico 22.

**Gráfico 22 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 13/11/2018 a 15/11/2018, destacando-se o dia típico de verão.**



Fonte: A autora, 2019.

**Gráfico 23 – Variação da temperatura no dia típico de verão selecionado para análise (15/11/2018).**



Fonte: A autora, 2019.

Em uma breve análise do comportamento da temperatura do ar nos ambientes internos no dia típico de verão (Gráfico 23), verifica-se que, dentre os quatro ambientes monitorados, os que apresentam as temperaturas mais elevadas são os apartamentos M002-TP e o R202-CP que, em virtude da orientação (poente), recebem insolação direta no período da tarde e não recebem incidência dos ventos predominantes para a cidade de Maceió (leste e sudeste). A diferença entre as temperaturas máximas internas no dia típico de verão foram de 0,98°C entre os apartamentos voltados para poente e de 0,76 °C entre os apartamentos voltados para o nascente.

O apartamento M002-TP apresenta as temperaturas mais elevadas durante todo o dia e noite. O apartamento R202-CP, embora apresente picos elevados de temperatura durante o dia, no período da manhã exibe uma redução na temperatura, alcançando valores mais baixos que o apartamento M002-TP, poente e localizado no térreo, e maior amplitude térmica.

O apartamento M007-TN, voltado para o nascente, é o que apresenta a menor variação de temperatura diária, ou seja, menor amplitude térmica. Já o apartamento A207-CN apresenta picos de temperatura mais elevados que o apartamento M007-TN, devido aos ganhos de calor pela cobertura. Durante a noite, o ambiente M007-TN atinge as temperaturas mais baixas quando comparado aos demais.

A Tabela 35 indica os dados de temperatura do ar, amplitude, amortecimento e atraso térmicos<sup>30</sup>, por ambiente, no dia típico de verão, apontando para o apartamento M002-TP com as piores condições térmicas e o apartamento M007-TN com as melhores condições. É possível perceber, portanto, que o ambiente M002-TP apresenta as piores condições de temperatura neste dia, com temperatura máxima interna mais elevada que a externa. Por outro lado, o apartamento M007-TN apresenta as melhores condições de temperatura e o maior amortecimento térmico, no entanto exibe também o menor atraso térmico. Ambos os apartamentos, localizados no térreo, apresentam um maior isolamento em relação ao ambiente externo por apresentarem contato através das paredes e do solo, no entanto, os ganhos de calor no apartamento M002-TP, que permanece com as janelas abertas,

---

<sup>30</sup> O atraso térmico consiste no tempo transcorrido entre a temperatura máxima do ar atingida no ambiente externo e a temperatura máxima do ar atingida no ambiente interno.

são elevados durante todo o dia e, portanto, este isolamento gera uma menor perda de calor. Já no apartamento M007-TN as janelas permanecem fechadas a maior parte do tempo e, diante do isolamento da unidade, os ganhos e perdas de calor são menores. Além disso, nesta unidade os maiores ganhos de calor são pela manhã, quando há incidência solar direta, o que explica o fato desta unidade atingir o pico máximo de temperatura do ar antes.

**Tabela 35 – Dados do monitoramento térmico no dia típico de verão (15/11/2018), por ambiente.**

Ambientes	Temperatura do ar (°C)			Amplitude Térmica (°C)	Amortecimento Térmico (°C)	Atraso Térmico (horas)
	Mín.	Máx.	Méd.			
EXTERIOR	24,47	32,34	28,12	7,87	-	-
M002-TP	29,80	32,75	30,94	2,95	0,41	4
M007-TN	28,72	30,45	29,42	1,73	- 1,89	2
R202-CP	28,62	31,77	30,12	3,15	- 0,56	4
A207-CN	27,91	31,21	29,51	3,31	- 1,13	3

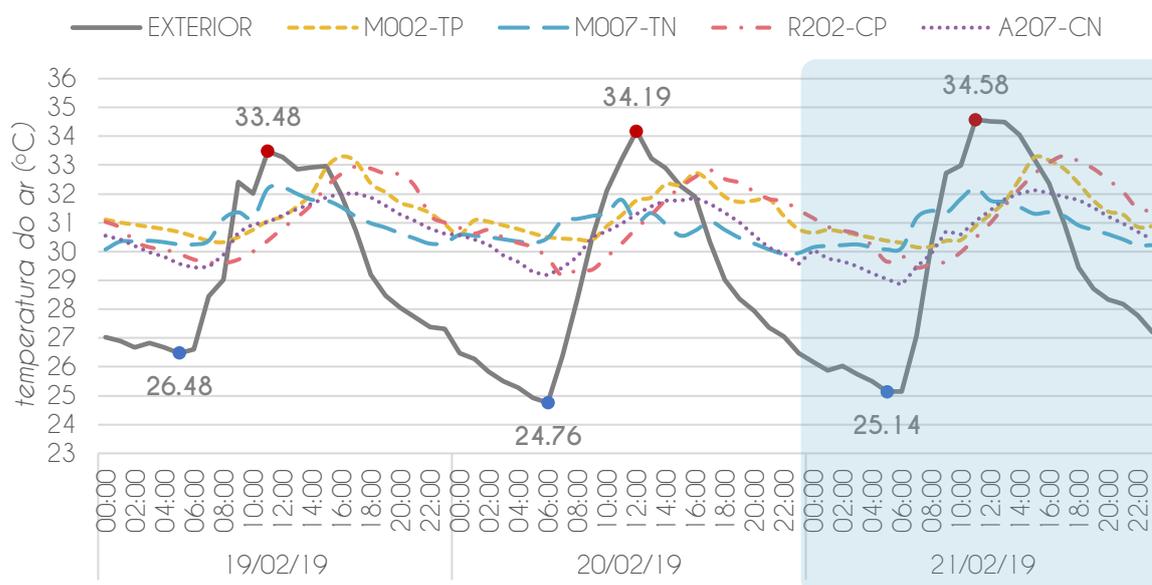
Fonte: A autora, 2019.

#### 4.2.2 DIAS COM TEMPERATURAS MÁXIMAS EXTERNAS: 21/02/2019

Ainda com base nos dados do monitoramento ambiental, foi selecionado para análise um intervalo de três dias consecutivos que apresentam altas temperaturas para o período de monitoramento, que consiste nos dias 19/02/2019, 20/02/2019 e 21/02/2019.

No dia 21/02 a temperatura máxima externa foi igual a 34,58°C, sendo precedido por dois dias com temperaturas máximas iguais a 33,48°C e 34,19°C, conforme indicadas no Gráfico 24.

**Gráfico 24 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 19/02/2019 a 21/02/2019.**

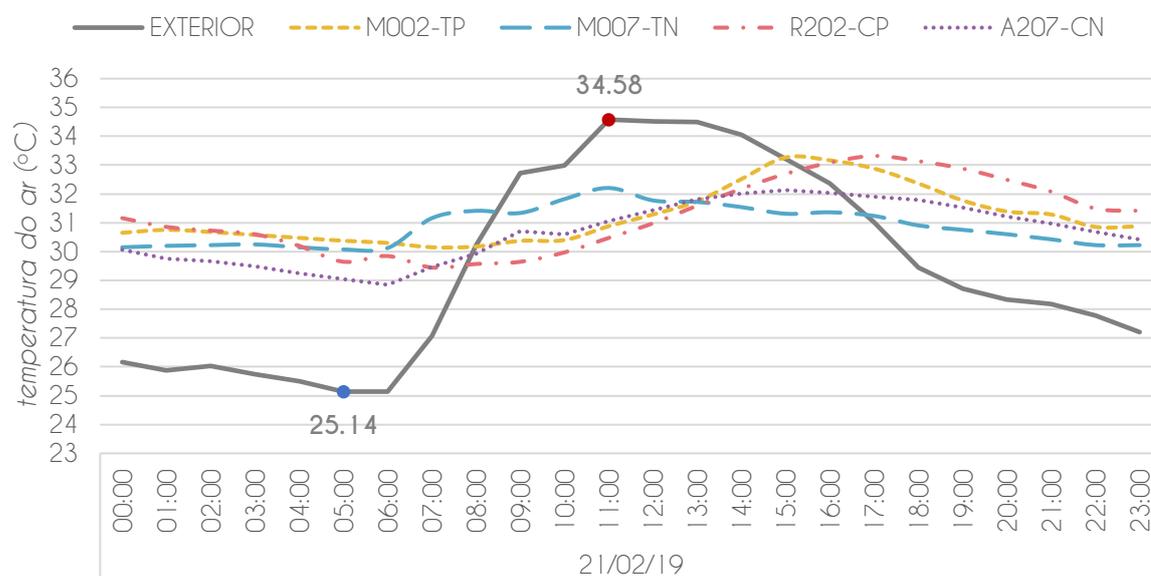


Fonte: A autora, 2019.

Tomando o dia 21/02 como referência para a análise, percebe-se que, novamente, os ambientes que apresentam as temperaturas mais altas são o M002-TP e o R202-CP, orientado à poente. O apartamento R202-CP, no entanto, apresenta uma queda maior na temperatura mínima, pois, devido ao contato com a cobertura, os ambientes no último pavimento apresentam maiores perdas de calor. Dessa forma, o apartamento R202-CP apresenta, também, uma maior amplitude térmica (Gráfico 25). O apartamento M007-TN (térreo/nascente), novamente apresentou a menor amplitude térmica, no entanto, o apartamento A207-CN (cobertura/nascente) exibiu temperatura média diária mais baixa que o apartamento M007-TN, diante de maiores reduções na temperatura mínima devido ao contato com a cobertura (Gráfico 25).

Ainda observando o Gráfico 25, destaca-se que a temperatura de ambos os apartamentos voltados para o nascente (M007-TN e A207-CN) começa a se elevar a partir das 6:00 da manhã, devido a exposição à insolação neste período. Este fator explica o fato do ambiente M007-TN atingir seu pico máximo de temperatura horas antes dos demais apartamentos, coincidindo com o momento da temperatura máxima externa, enquanto os demais ambientes apresentam atraso térmico de 4 ou 6 horas (Tabela 36).

**Gráfico 25 – Variação diária da temperatura do ar no dia 21/02/2019 (temperaturas máximas externas).**



Fonte: A autora, 2019.

A Tabela 36 apresenta de forma sintética os dados de temperatura do ar, amplitude, amortecimento e atraso térmicos, por ambiente no dia 21/02/2019, apontando para o apartamento R202-CP com as piores condições de temperatura do ar, amplitude térmica e amortecimento térmico. Já o apartamento A207-CN é apontado com as melhores condições de temperatura e amortecimento. Vale ressaltar que ambos os apartamentos se localizam no pavimento cobertura e, portanto, possuem maior área em contato com o ambiente externo, apresentando maiores ganhos e perdas de calor que os apartamentos localizados no pavimento térreo.

**Tabela 36 – Dados do monitoramento térmico no dia 21/02/2019 (temperaturas máximas externas), por ambiente.**

Ambientes	Temperatura do ar (°C)			Amplitude térmica (°C)	Amortecimento térmico (°C)	Atraso térmico (horas)
	Mín.	Máx.	Méd.			
EXTERIOR	25,14	34,58	29,44	9,44	-	-
M002-TP	30,15	33,27	31,22	3,12	- 1,31	4
M007-TN	30,07	32,21	30,88	2,14	- 2,37	0
R202-CP	29,45	33,32	31,23	3,88	- 1,26	6
A207-CN	28,85	32,13	30,66	3,29	- 2,45	4

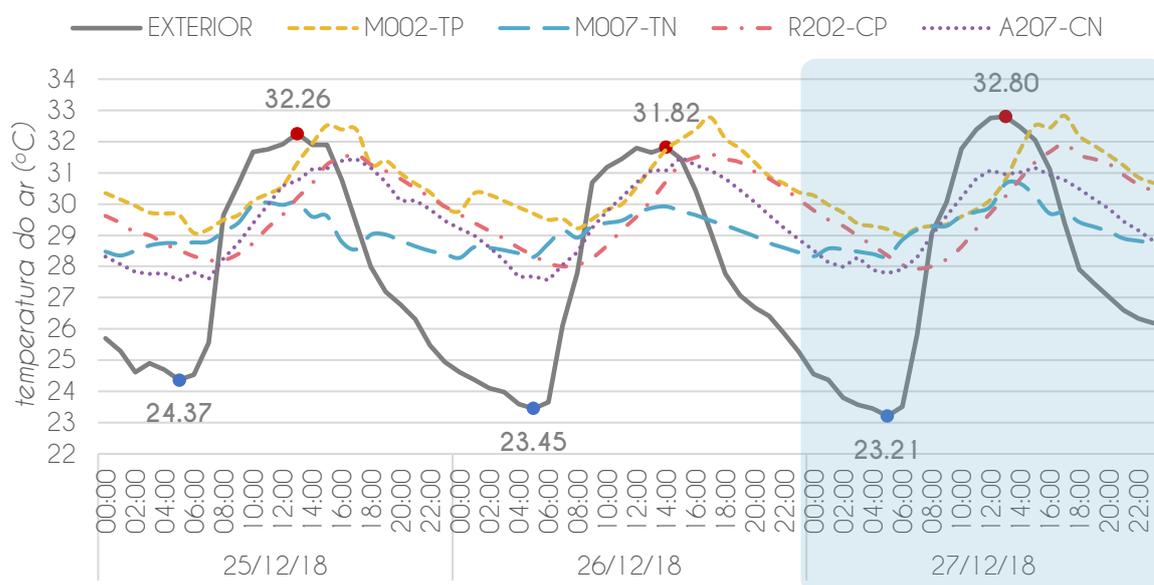
Fonte: A autora, 2019.

#### 4.2.3 DIAS COM TEMPERATURAS MÍNIMAS EXTERNAS: 27/12/2018

O período entre os dias 25/12/2018 e 27/12/2018 foi selecionado para análise por consistir em um período de três dias consecutivos que apresentam baixa temperatura mínima externa em comparação com o período monitorado, sendo dias sem a ocorrência de chuvas.

No dia 25/12 a temperatura mínima externa foi igual a 23,21°C, sendo precedido por dois dias com temperaturas mínimas iguais a 24,37°C e 23,45°C, conforme indicadas no Gráfico 26.

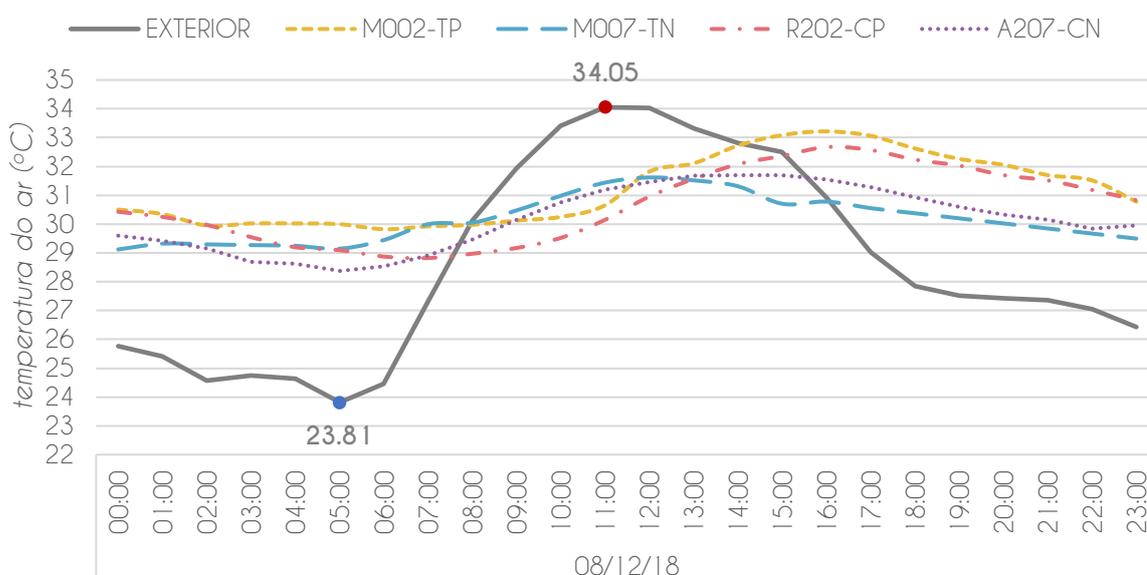
**Gráfico 26 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 25/12/2018 a 27/12/2018.**



Fonte: A autora, 2019.

Analisando o terceiro e último dia do período (27/12/2018), percebe-se que o ambiente com as temperaturas mais altas é o M002-TP, orientado à poente. O apartamento R202-CP, apesar de também apresentar altas temperaturas, possui uma queda maior na temperatura mínima e, portanto, a maior amplitude térmica dos ambientes analisados (Gráfico 27). O apartamento M007-TN, novamente apresentou a menor amplitude térmica e o maior amortecimento térmico, no entanto, o apartamento A207-CN exibiu uma queda maior na temperatura mínima que o apartamento M007-TN, correspondendo a uma diferença de 0,55°C (Tabela 37). Vale ressaltar, no entanto, que os equipamentos utilizados para as medições possuem imprecisões, podendo apresentar diferenças que correspondem a  $\pm 0,21^\circ\text{C}$ .

**Gráfico 27 – Variação diária da temperatura do ar no dia 27/12/2019 (temperaturas mínimas externas).**



Fonte: A autora, 2019.

Ainda observando o Gráfico 27, destaca-se que o ambiente A207-CN inicia uma elevação na temperatura interna horas antes dos demais apartamentos, devido a exposição à insolação no período da manhã. Dessa forma, este ambiente atinge seu pico máximo de temperatura 2h após a temperatura máxima externa ser atingida (Tabela 37).

Sinteticamente, são apresentados na Tabela 37 os dados de temperatura do ar, amplitude, amortecimento e atraso térmicos, por ambiente, no dia em estudo. Os dados apontam para o apartamento M002-TP com as piores condições de temperatura do ar e menor amortecimento térmico, enquanto o apartamento M007-

TN é apontado com as melhores condições de temperatura, atingindo a menor máxima e menor média diária, maior amortecimento térmico e menor amplitude térmica.

**Tabela 37 – Dados do monitoramento térmico no dia 27/12/2018 (temperaturas mínimas externas), por ambiente.**

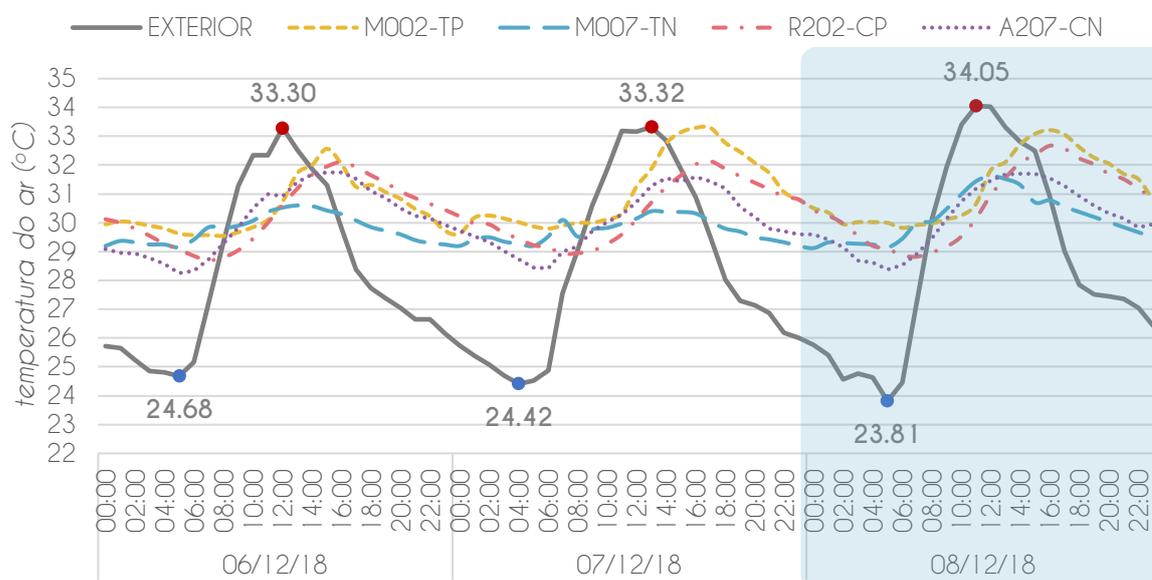
Ambientes	Temperatura do ar (°C)			Amplitude térmica (°C)	Amortecimento térmico (°C)	Atraso térmico (horas)
	Mín.	Máx.	Méd.			
EXTERIOR	23,21	32,80	27,82	9,59	-	-
M002-TP	<b>29,00</b>	<b>32,83</b>	<b>30,54</b>	3,83	<b>0,03</b>	<b>4</b>
M007-TN	28,33	<b>30,65</b>	<b>29,24</b>	<b>2,33</b>	<b>- 2,15</b>	<b>1</b>
R202-CP	27,93	31,93	29,86	<b>4,00</b>	- 0,88	<b>4</b>
A207-CN	<b>27,78</b>	31,16	29,51	3,38	- 1,64	2

Fonte: A autora, 2019.

#### 4.2.4 DIA COM MAIOR AMPLITUDE TÉRMICA: 08/12/2018

No Gráfico 28 é apresentado o dia com a maior amplitude térmica registrada no período de medição, dia 08/12/2018, e os dois dias que o antecedem, 06/12/2018 e 07/12/2018. No dia 08/12, a temperatura máxima externa foi igual a 34,05°C e a mínima foi de 23,81°C, sendo precedido por dois dias com temperaturas máximas iguais a 33,30°C e 33,32°C (Gráfico 28). A amplitude térmica da temperatura do ar externa no dia 08/12, em destaque no gráfico, foi de 10,24°C, a maior de todo o período de monitoramento.

**Gráfico 28 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 06/12/2018 a 08/12/2018.**

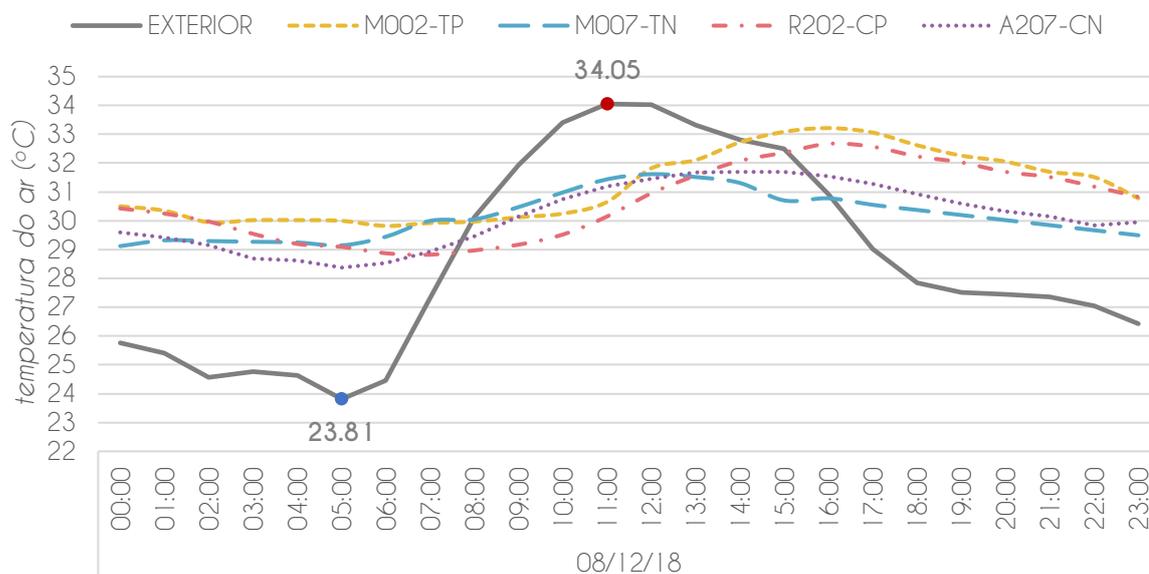


Fonte: A autora, 2019.

No dia 08/12, os ambientes com as temperaturas mais elevadas registradas foram o M002-TP e o R202-CP, voltados para o poente, no entanto o apartamento R202-CP apresenta uma redução maior na temperatura mínima registrada e, portanto, uma maior amplitude térmica (Gráfico 29). O apartamento M007-TN novamente apresentou a menor amplitude térmica e o maior amortecimento térmico, no entanto, o apartamento A207-CN (cobertura/nascente) exibiu uma queda maior na temperatura mínima que o apartamento M007-TN (térreo/nascente) (Gráfico 27).

Os apartamentos M007-TN e A207-CN apresentam as temperaturas mais baixas na maior parte do dia, no entanto, no período entre 8:00 e 12:00 as temperaturas são mais elevadas que os apartamentos voltados para o poente. Isso se explica pelo fato de ambos os apartamentos receberem incidência direta solar no período da manhã, ganhando, portanto, mais calor. O apartamento M007-TN (térreo), novamente apresentou a menor amplitude térmica, enquanto o apartamento A207-CN (cobertura) exibiu a temperatura mínima diária mais baixa (Gráfico 29).

**Gráfico 29 – Variação diária da temperatura do ar no dia 08/12/2018 (maior amplitude térmica).**



Fonte: A autora, 2019.

A Tabela 38 apresenta de forma sintética os dados de temperatura do ar, amplitude, amortecimento e atraso térmicos, por ambiente no dia 08/12/2018. Os dados apontam que o apartamento M002-TP apresentou as piores condições de temperatura do ar e amortecimento térmico. Já o apartamento M007-TN é apontado com as melhores condições de temperatura, amplitude térmica e amortecimento térmico.

Ainda observando a Tabela 38, destaca-se que os ambientes M007-TN e A207-CN atingem seu pico máximo de temperatura algumas horas antes dos demais apartamentos, pois recebem maior incidência solar pela manhã e, dessa forma, os ganhos de calor ocorrem horas antes que os apartamentos voltados para o poente (Tabela 38).

**Tabela 38 – Dados do monitoramento térmico no dia 08/12/2018 (maior amplitude térmica), por ambiente.**

Ambientes	Temperatura do ar (°C)			Amplitude térmica (°C)	Amortecimento térmico (°C)	Atraso térmico (horas)
	Mín.	Máx.	Méd.			
EXTERIOR	23,81	34,05	28,60	10,24	-	-
M002-TP	29,82	33,22	31,19	3,40	- 0,84	5
M007-TN	29,12	31,62	30,16	2,50	- 2,43	1
R202-CP	28,82	32,67	30,65	3,85	- 1,38	5
A207-CN	28,38	31,70	30,17	3,32	- 2,36	3

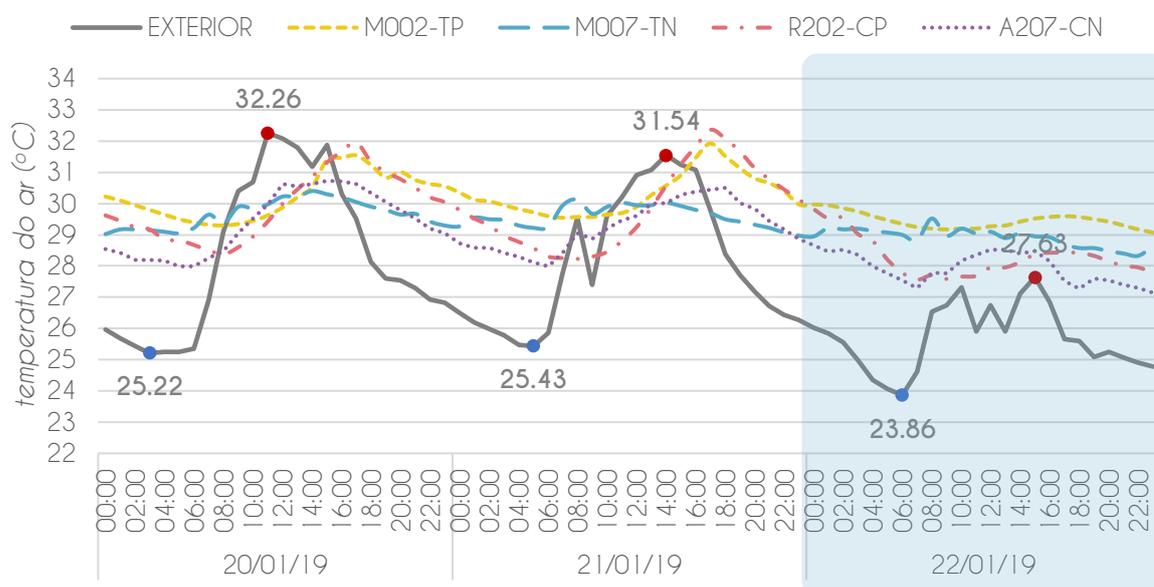
Fonte: A autora, 2019.

#### 4.2.5 DIA COM MENOR AMPLITUDE TÉRMICA: 22/01/2019

A menor amplitude térmica externa identificada em todo o período de medição ocorreu no dia 22/01/2019, apresentado no Gráfico 30 juntamente com os dois dias que o antecedem.

No dia 22/01, segundo os dados do INMET (2019), foi registrada a ocorrência de 23.4mm de chuva, sobretudo no período da tarde e da noite. Neste dia, a temperatura máxima externa foi igual a 27,63°C e a mínima foi igual a 23,86°C, sendo precedido por dois dias com temperaturas máximas iguais a 32,26°C e 31,54°C (Gráfico 28). A amplitude térmica da temperatura do ar externa no dia 22/01, em destaque no gráfico, foi de 3,77°C, a menor de todo o período.

**Gráfico 30 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 20/01/2019 a 22/01/2019.**



Fonte: A autora, 2019.

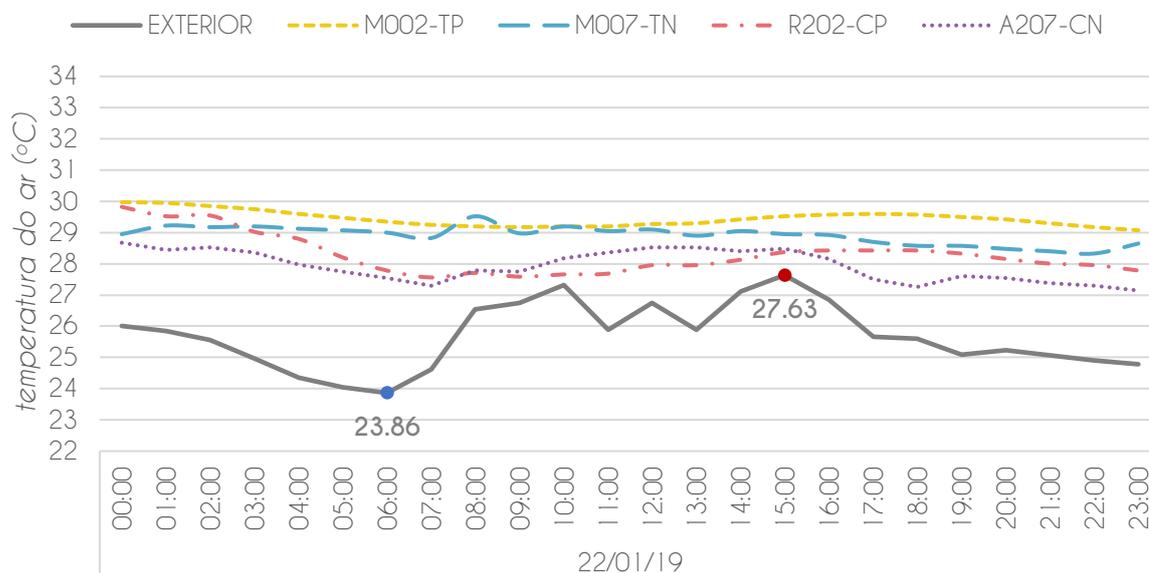
Em uma breve análise do Gráfico 31, referente a variação da temperatura interna e externa no dia 22/01, percebe-se um comportamento diferenciado dos demais apresentados, evidenciando uma oscilação na temperatura externa, especialmente entre as 08:00 da manhã e as 17:00 da tarde, apresentando elevações e reduções sucessivas.

Com relação à temperatura interna, todos os ambientes monitorados apresentaram registros de temperaturas mais elevadas que o ambiente externo durante todo o dia. As temperaturas mais altas registradas foram nos ambientes localizados no nível térreo, M002-TP e M007-TN, sendo o primeiro as mais altas dentre os 4 apartamentos. Já os ambientes localizados na cobertura (A207-CN e R202-CP) registraram as temperaturas mais baixas durante quase todo o dia, pois a incidência de chuva na cobertura reduz a temperatura superficial, o que favorece a redução da temperatura do ar interna nos ambientes da cobertura.

As temperaturas máximas registradas no ambiente interno ocorreram às 00:00 nos ambientes M002-TP, R202-CP e A207-CN, e às 08:00 no ambiente M007-TN, ou seja, 15 horas e 7h antes de ser atingida a temperatura máxima externa, respectivamente (Tabela 39). Diante da ocorrência de chuvas, a temperatura do ar diminuiu ao longo do dia, no entanto, dentro das edificações, continuou a ocorrer

ganhos de calor devido a presença de pessoas, equipamentos, iluminação, entre outros.

**Gráfico 31 – Variação diária da temperatura do ar no dia 22/01/2019 (menor amplitude térmica).**



Fonte: A autora, 2019.

A Tabela 39 apresenta de forma sintética os dados de temperatura do ar, amplitude, amortecimento e atraso térmicos, por ambiente no dia 22/01/2019. Os dados apresentados na tabela apontam para o apartamento M002-TP com as piores condições de temperatura do ar e amortecimento térmico, no entanto apresenta a menor amplitude térmica. Este ambiente, localizado no térreo, possui uma menor área em contato com o ambiente externo que os apartamentos da cobertura, o que dificulta a perda de calor. Já o apartamento A207-CN é apontado com as melhores condições de temperatura e amortecimento térmico. Este ambiente, localizado no pavimento cobertura, efetua trocas de calor através das paredes e também da coberta, o que provocou uma redução na temperatura do ar interna.

**Tabela 39 – Dados do monitoramento térmico no dia 22/01/2019 (menor amplitude térmica), por ambiente.**

Ambientes	Temperatura do ar (°C)			Amplitude térmica (°C)	Amortecimento térmico (°C)	Atraso térmico (horas)
	Mín.	Máx.	Méd.			
EXTERIOR	23,86	27,63	25,68	3,77	-	-
M002-TP	29,07	29,97	29,44	0,90	- 2,34	-15 <sup>31</sup>
M007-TN	28,33	29,52	28,91	1,20	- 1,89	-7
R202-CP	27,56	29,82	28,28	2,26	- 2,19	-15
A207-CN	27,14	28,67	27,94	1,53	- 1,04	-15

Fonte: A autora, 2019.

#### 4.2.6 DIA COM MAIOR OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO: 28/01/2019

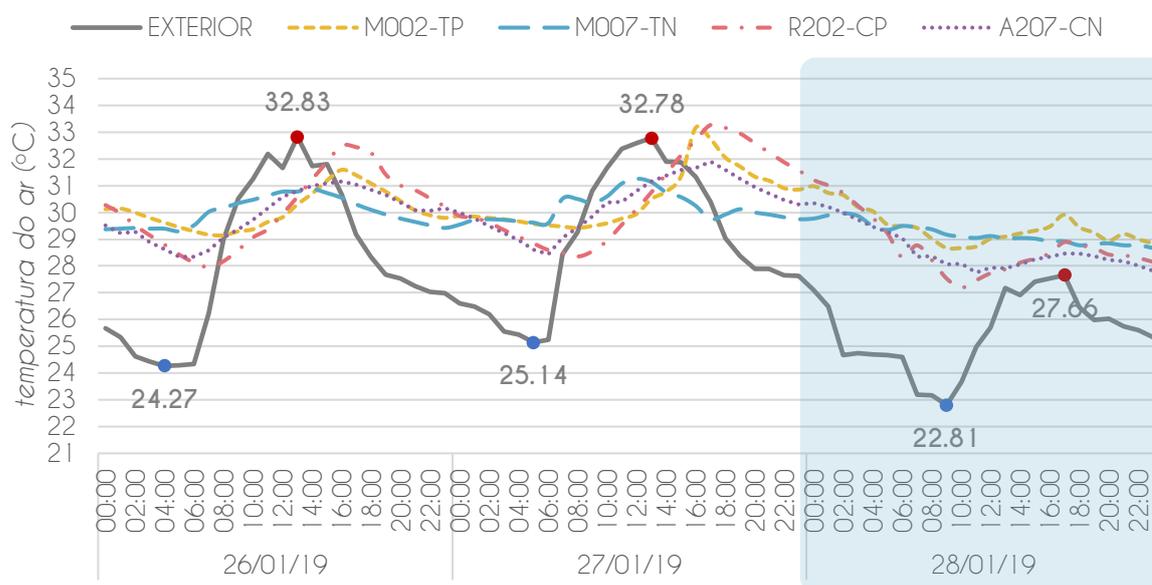
O dia 28/01/2019 apresentou ocorrência de chuva atípica para esta época do ano, o que exerceu influência nas temperaturas do ar registradas neste dia. De acordo com os dados da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática (INMET, 2019), neste dia foi indicada a ocorrência de um total de 44 mm de chuva. Com base nas Normais Climatológicas, apresentadas na Tabela 13 (tópico 3.1, página 54), a precipitação apontada para o mês de janeiro é de 83mm. Ou seja, em apenas um dia ocorreu mais da metade da quantidade de chuva usual para todo o mês de janeiro.

As chuvas, segundo os dados do INMET (2019), ocorreram sobretudo às 5:00 da manhã (15.4 mm), e entre as 10:00 e 11:00 da manhã (15.8 mm). O Gráfico 32 apresenta uma sequência de três dias consecutivos que vai do dia 26/01/2019 a 28/01/2019, sendo este último o dia com maior ocorrência de chuvas, em destaque no Gráfico 33.

No dia 28/01, a temperatura máxima externa foi igual a 27,66°C, sendo precedido por dois dias com temperaturas máximas iguais a 32,78°C e 32,83°C, conforme indicadas no Gráfico 32.

<sup>31</sup> Quando negativo, o atraso térmico indica que a temperatura máxima do ar interna foi atingida antes da temperatura máxima do ar externa.

**Gráfico 32 – Variação diária da temperatura do ar externa e interna durante o período de 26/01/2019 a 28/01/2019.**

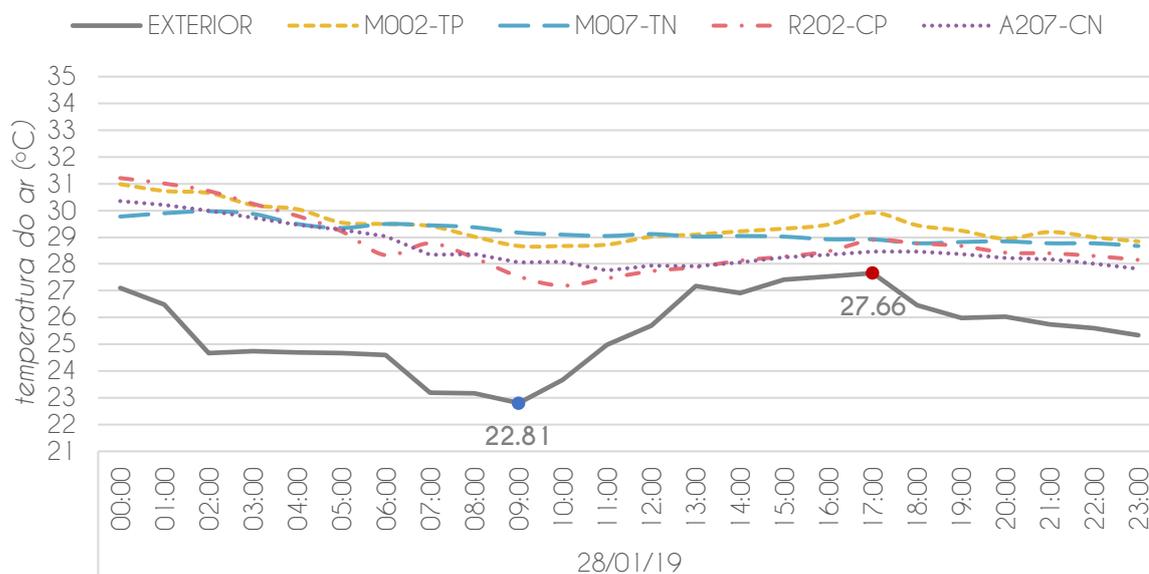


Fonte: A autora, 2019.

Analisando o Gráfico 33, referente a variação de temperatura do ar no dia 28/01, percebe-se que as temperaturas internas superaram as externas durante todo o dia nos quatro apartamentos monitorados, apresentando uma diferença entre as máximas externa e internas que varia entre 2,31 e 3,55 (Tabela 40). Neste dia, as temperaturas máximas internas foram atingidas durante a madrugada em todos os ambientes, às 00:00 nos apartamentos M002-TP, R202-CP e A207-CN, e às 02:00 no apartamento M007-TN, antes do início das chuvas, ou seja, 17 horas e 15 horas antes, respectivamente, de atingir a temperatura máxima externa (Tabela 40). No decorrer do dia percebe-se que há uma queda na temperatura do ar em todos os ambientes, apontando um leve aumento por volta das 17:00, mesmo horário em que é atingida a temperatura máxima externa.

O ambiente M002-TP apresenta as temperaturas mais elevadas durante quase todo o dia. Enquanto os apartamentos R202-CP e A207-CN, ambos localizados na cobertura, apresentam as temperaturas mais baixas a partir das 05:00 da manhã. Nesse caso, considerando que a temperatura do ar externa não apresenta picos elevados e a incidência de chuva na cobertura reduz a temperatura superficial, as trocas de calor nos ambientes do nível cobertura são benéficas para a redução da temperatura do ar interna em comparação com os ambientes localizados no térreo, que apresentam temperaturas mais altas.

**Gráfico 33 – Variação diária da temperatura do ar no dia 28/01/2019 (maior ocorrência de precipitação).**



Fonte: A autora, 2019.

De forma sintética, a Tabela 40 indica os dados de temperatura do ar, amplitude, amortecimento e atraso térmicos, por ambiente, no dia em questão. Dessa forma, pode-se observar que, assim como os demais dias analisados, o apartamento M007-TN apresentou a menor amplitude térmica e, além disso, a temperatura máxima mais baixa e o maior amortecimento térmico dentre os ambientes analisados. Por outro lado, o apartamento R202-CP exibiu a maior amplitude térmica e menor amortecimento térmico.

**Tabela 40 – Dados do monitoramento térmico no dia 28/01/2019 (maior ocorrência de precipitação), por ambiente.**

Ambientes	Temperatura do ar (°C)			Amplitude térmica (°C)	Amortecimento térmico (°C)	Atraso térmico (horas)
	Mín.	Máx.	Méd.			
EXTERIOR	22,81	27,66	25,52	4,85	-	-
M002-TP	28,67	30,98	29,45	2,31	3,32	-17
M007-TN	28,67	29,97	29,20	1,30	2,31	-15
R202-CP	27,19	31,21	28,74	4,02	3,55	-17
A207-CN	27,76	30,35	28,61	2,59	2,69	-17

Fonte: A autora, 2019.

#### 4.2.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DO AR

Diante dos gráficos de temperatura do ar do período de medição e dos dias analisados foi possível identificar a influência da orientação e do pavimento de localização da UH no comportamento da variação da temperatura do ar interna em relação à externa. A Tabela 41 apresenta uma síntese dos resultados apresentados nos dias selecionados para análise.

**Tabela 41 – Síntese dos resultados das medições de temperatura do ar nos dias selecionados para análise.**

Dia analisado	Temperatura média diária do ar		Amplitude térmica		Amortecimento térmico	
						
<b>Dia típico de verão</b> (15/22/2018)	M007-TN	M002-TP	M007-TN	A207-CN	M007-TN	M002-TP
<b>Dias com temperaturas máximas externas</b> (21/02/2019)	A207-CN	R202-CP	M007-TN	R202-CP	A207-CN	R202-CP
<b>Dias com temperaturas mínimas externas</b> (27/12/2018)	M007-TN	M002-TP	M007-TN	R202-CP	M007-TN	M002-TP
<b>Dia com maior amplitude térmica</b> (08/12/2018)	M007-TN	M002-TP	M007-TN	R202-CP	M007-TN	M002-TP
<b>Dia com menor amplitude térmica</b> (22/01/2019)	A207-CN	M002-TP	M002-TP	R202-CP	A207-CN	M002-TP
<b>Dia com maior precipitação</b> (28/01/2019)	A207-CN	M002-TP	M007-TN	R202-CP	M007-TN	R202-CP

 Melhores condições       Piores condições

Fonte: A autora, 2019.

Com base nos dados apresentados, ficou evidente que os ambientes voltados para o nascente, conforme esperado, apresentaram temperaturas mais amenas que

os ambientes voltados para o poente, pois recebem insolação apenas no período da manhã e a incidência de ventos predominantes leste e sudeste. Destaca-se que, para os dias analisados, as unidades M007-TN e A207-CN (nascente) apresentam as temperaturas mais altas no período da manhã, horários de incidência direta do sol, e atingem a máxima horas antes dos demais ambientes, apresentando os menores atrasos térmicos, em especial a unidade localizada no térreo (M007-TN). Já os apartamentos voltados para poente (M002-TP e R202-CP) apresentam as temperaturas mais altas no período da tarde e um maior atraso térmico nos dias analisados.

Ainda com relação aos apartamentos voltados para o nascente, por receberem insolação durante a manhã (ver cartas solares na Figura 34), quando a temperatura é mais amena, estas unidades apresentam menores ganhos calor que as unidades voltadas para poente e, portanto, um maior amortecimento térmico.

Além disto, há uma diferença entre os ambientes localizados no térreo e na cobertura. As UHs localizadas no térreo apresentam um maior isolamento, pois possuem contato com o exterior através das paredes e do solo, que apresenta uma temperatura mais estável, enquanto as UHs localizadas no último pavimento sofrem influência adicional da cobertura, que, por sua vez, recebe incidência de sol e vento. Esta situação fica evidente ao se comparar as unidades no térreo e cobertura. Os ambientes A207-CN (nascente) e R202-CP (poente), localizados na cobertura, possuem uma maior área em contato com o ambiente externos, portanto, apresentam maiores ganhos e perdas de calor que ambos os ambientes localizados no térreo, resultando em temperaturas mínimas mais baixas e uma maior amplitude térmica.

A unidade M007-TN, além de ser mais isolada devido a sua implantação no pavimento térreo e estar voltada para o nascente, permanece com a janela fechada a maior parte do tempo, resultando na menor variação de temperatura e, por consequência, menor amplitude térmica, quando comparada às demais unidades.

As sensações térmicas do usuário, no entanto, dependem de outros fatores além da temperatura do ar. A ventilação natural, por exemplo, quando bem aproveitada, pode ser responsável por melhores condições de conforto térmico do usuário mesmo diante de temperaturas mais elevadas.

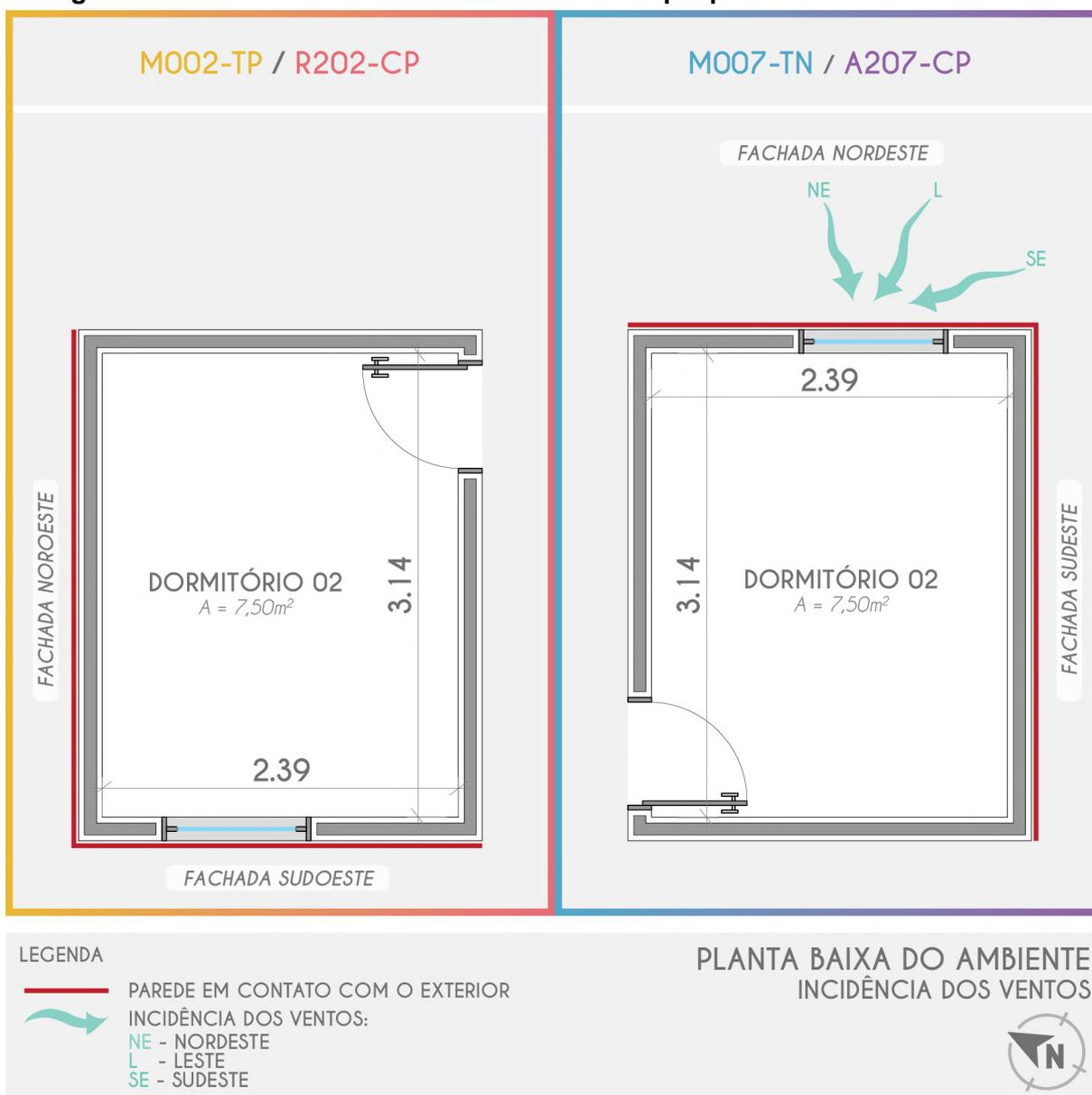
### 4.3 MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DO AR

Sabe-se que para o clima quente e úmido, caso da cidade de Maceió, a ventilação natural é uma estratégia que pode proporcionar um efeito de resfriamento fisiológico, minimizando a sensação de desconforto mesmo com a elevação da temperatura do ar no interior do ambiente, posto que o limite da temperatura de conforto é elevado em função do aumento da velocidade do ar (GIVONI, 1994).

Diante disto, foram realizadas medições pontuais de velocidade do ar nos 4 apartamentos em dias e horários estabelecidos em conjunto com os moradores, de acordo com as suas disponibilidades. Cada medição teve duração de 3 minutos, com intervalos de 15 minutos, por um período de 1 ou 2 horas, em dois pontos de cada dormitório analisado. Para a realização das medições, o equipamento foi posicionado a uma altura de cerca de 1,20m do piso, perpendicular à direção do vento.

Todos os dormitórios, como já especificado, possuem a mesma configuração espacial, apresentando uma área de 7,50m<sup>2</sup>, dimensões de 2,39 x 3,14 metros e pé direito de 2,60 metros (Figura 35). O ambiente conta com uma janela de 1,00 x 1,00 metros, composta por duas folhas de correr, e uma porta de giro de dimensões 0,86 x 2,10 metros. As diferenças apresentadas entre as UHs consistem no pavimento da edificação em que estão localizadas e na orientação da fachada. Ambas as aberturas (janela e porta) dos ambientes analisados foram mantidas abertas durante as medições de velocidade do ar.

Figura 35 – Planta baixa do ambiente com destaque para incidência dos ventos.



Fonte: A autora, 2019.

Quanto à incidência dos ventos, as unidades voltadas para o poente não recebem ventos predominantes, enquanto as unidades voltadas para o nascente recebem ventilação vinda de leste, sudeste e nordeste (Figura 35), com ângulos de incidência descritos na Tabela 42.

**Tabela 42 – Ângulos de incidência dos ventos nas aberturas da UHs em estudo.**

Ambientes	Orientação da Janela	Ângulo de incidência dos ventos predominantes em relação à fachada		
		NE	L	SE
M002-TP	Sudoeste	-	-	-
M007-TN	Nordeste	107°	62°	17°
R202-CP	Sudoeste	-	-	-
A207-CN	Nordeste	107°	62°	17°

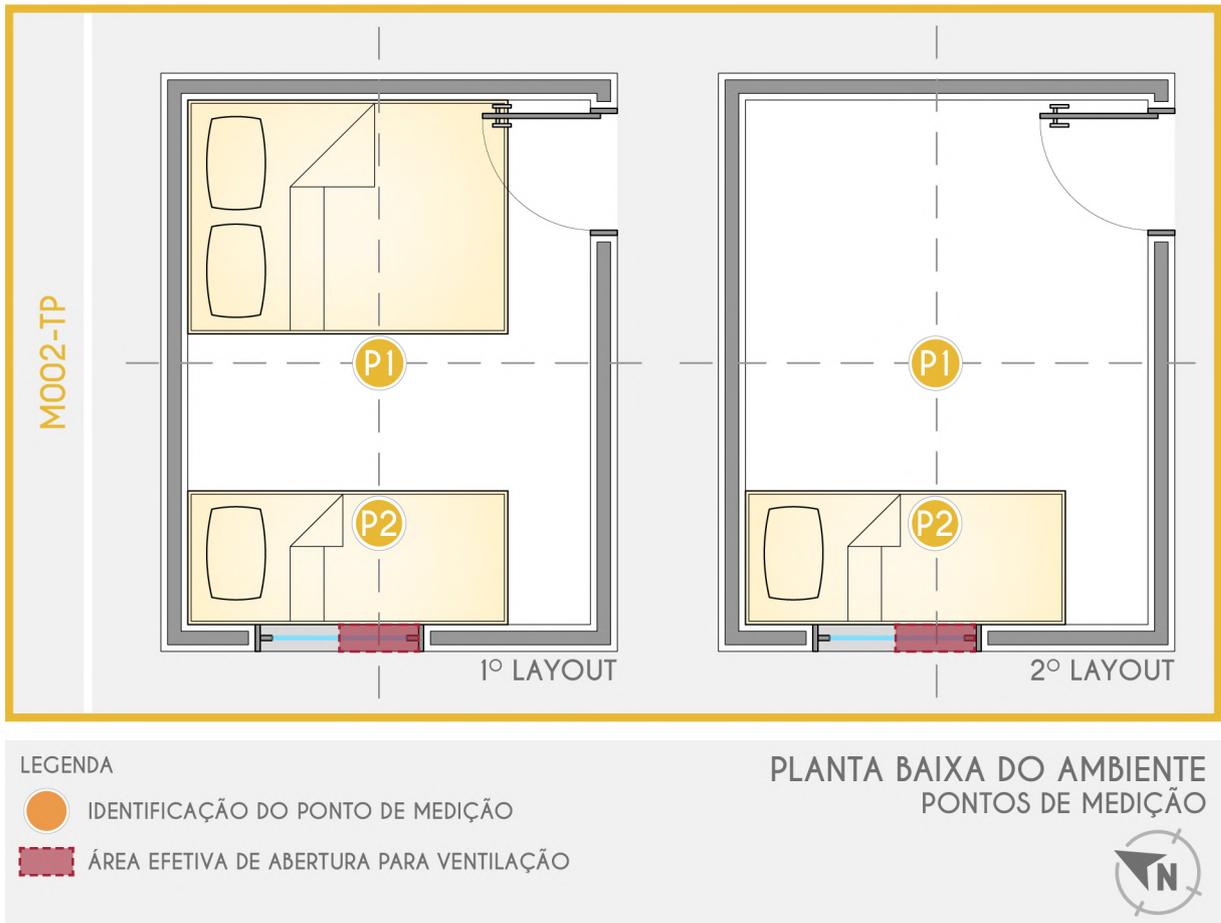
Fonte: A autora, 2019.

Para encontrar a Temperatura Efetiva (TE) foram utilizados os dados de Temperatura de Bulbo Seco (TBS) e Temperatura de Bulbo Úmido (TBU), em função de velocidades do ar medidas em cada ponto de medição do ambiente. Estes dados foram transpostos para o Nomograma de Temperatura Efetiva, que podem ser encontrados no Apêndice H deste trabalho.

Para a definição dos pontos de medição foi levado em consideração o layout dos ambientes. O ponto 1 (P1) foi locado no centro do ambiente, que coincide com o eixo da abertura da janela (área por onde há passagem efetiva de ventilação), enquanto o ponto 2 (P2) variou de acordo com a disposição do mobiliário e será especificado para cada ambiente a seguir.

No dormitório M002-TP, foram realizadas medições no período da tarde nos dias 18/12/2018 e 27/01/2019, com duração de 1h e 2h, respectivamente. Foram determinados dois pontos de medição, sendo o ponto P1 localizado no centro do ambiente e o ponto P2 mais próximo à janela, em cima da cama de solteiro (Figura 36). Este dormitório sofreu alterações no layout ao longo do período de monitoramento, na primeira medição de velocidade do ar o ambiente contava com duas camas, sendo uma de casal e uma de solteiro (1º Layout), já na segunda medição, a cama de casal havia sido removida, permanecendo apenas a de solteiro (2º Layout), conforme Figura 36. No entanto, essas modificações não implicaram em alterações nos pontos de medição, que permaneceram os mesmos.

Figura 36 – Pontos de medição de velocidade do ar no dormitório M002-TP.



Fonte: A autora, 2019.

Conforme esperado, diante da orientação da abertura deste ambiente (sudoeste), não foram identificadas velocidades significativas do ar nos dias em que foram realizadas as medições, posto que não há incidência de ventos predominantes (leste e sudeste) nesta fachada.

No dia 18/12, no período entre 15:30 e 16:30, a velocidade mínima e máxima do ar foi de 0,0 m/s, ou seja, não foi identificada a entrada de vento no ambiente neste período. No momento da medição o ambiente recebia incidência solar direta em seu interior e às 16:00 foi registrado pelo termo-higrômetro uma temperatura do ar interna de 30,73°C e umidade relativa do ar de 61,97%.

Transpondo as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido para o Nomograma de temperatura efetiva, no momento da medição foram obtidos os mesmos resultados em ambos os pontos, devido à ausência de velocidade do ar. Dessa forma, a temperatura efetiva encontrada às 16:00 para os pontos 1 e 2 foi de 26,80°C.

**Tabela 43 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório M002-TP, no dia 18/12/2018.**

<b>M002-TP – 18/12/2018</b>							
<b>Hora</b>	<b>TBS (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>TBU (°C)</b>	<b>Velocidade do ar (m/s)</b>		<b>TE (°C)</b>	
				<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>
16:00	30,73	61,97	24,82	0,0	0,0	<b>26,80</b>	<b>26,80</b>

Fonte: A autora, 2019.

No dia 27/01, no período entre 15:00 e 17:00, a velocidade do ar máxima registrada foi de 0,4 m/s. Neste dia, não foi identificada velocidade do ar no ponto P1, no entanto no ponto P2 foi registrada velocidade do ar de 0,4 m/s às 15:00 e às 15:15, e de 0,2 m/s às 15:45. Nos demais horários a velocidade do ar foi de 0,0 m/s. Simultaneamente às medições de velocidade do ar, o equipamento HOBO realizava os registros horários de temperatura do ar, que variou entre 31,34°C e 33,17°C, e de umidade relativa do ar, que variou entre 50,84% e 57,12% (Tabela 44).

A temperatura efetiva nos horários de medição variou entre 25,90°C e 27,50°C. Às 15:00, no ponto P1 a velocidade do ar registrada foi de 0,0 m/s, resultando em uma TE de 26,80°C. No mesmo momento, no ponto P2 foi registrada uma velocidade de 0,4 m/s, o que implicou na redução da TE em quase 1°C (Tabela 44). Nos demais horários, devido à velocidade nula do ar, as temperaturas efetivas se igualaram em ambos os pontos.

**Tabela 44 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório M002-TP, no dia 27/01/2019.**

<b>M002-TP – 27/01/2019</b>							
<b>Hora</b>	<b>TBS (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>TBU (°C)</b>	<b>Velocidade do ar (m/s)</b>		<b>TE (°C)</b>	
				<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>
15:00	31,34	57,12	24,48	0,0	0,4	<b>26,80</b>	<b>25,90</b>
16:00	33,17	50,84	24,82	0,0	0,0	<b>27,50</b>	<b>27,50</b>
17:00	32,75	53,31	24,96	0,0	0,0	<b>27,40</b>	<b>27,40</b>

Fonte: A autora, 2019.

No dormitório M007-TN, foram realizadas medições no período da tarde nos dias 18/12/2018 e 25/01/2018, com duração de 2h. Neste ambiente também foram determinados dois pontos de medição, sendo o ponto P1, novamente, locado no centro do ambiente e o ponto P2 mais próximo à porta, em cima da cama, conforme Figura 37.

**Figura 37 – Pontos de medição de velocidade do ar no dormitório M007-TN.**



Fonte: A autora, 2019.

O dia 18/12 apresentou céu com muitas nuvens, não sendo registrada a ocorrência de chuvas e descrito pela moradora como um dia quente e “parado”, ou seja, um dia com baixa velocidade do ar. Neste dia, as medições aconteceram entre 13:00 e 15:00, sendo a velocidade do ar máxima registrada de 2,6 m/s. As velocidades mais altas e frequentes registradas ocorreram no ponto P2, variando entre 0,0 m/s e 2,6 m/s, enquanto no ponto P1 variaram entre 0,0 m/s e 1,1 m/s, com ocorrências menos frequentes que no ponto P2. No momento da medição da velocidade do ar, foram feitos registros horários da temperatura e da umidade relativa do ar através do termo-higrômetro, que variaram entre 28,75°C e 29,32°C e entre 66,02% e 67,93%, respectivamente, no período entre 13:00 e 15:00 (Tabela 45).

Na Tabela 45 estão expostos os valores de temperatura e velocidade do ar identificados em cada ponto de medição. Às 13:00, a velocidade do ar no ponto P1 foi de 0,0 m/s, com temperatura efetiva de 26,10°C. No mesmo horário, no ponto P2, a velocidade do ar foi de 2,3 m/s, o que ocasionou uma redução na temperatura efetiva de 4,2°C. Às 14:00, a velocidade do ar foi nula em ambos os pontos, resultando em temperatura efetiva de 26,20°C. Já às 15:00, foi registrada uma velocidade de 1,1 m/s no ponto P1 e 2,6 m/s no ponto P2, ambas as velocidades mais altas registradas neste dia. Neste momento, no ponto P1, a temperatura efetiva foi de 23,00°C, enquanto no ponto P2 foi de 20,90°C, ou seja, uma redução de 2,10°C.

**Tabela 45 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório M007-TN, no dia 18/12/2018.**

M007-TN – 18/12/2018							
Hora	TBS (°C)	UR (%)	TBU (°C)	Velocidade do ar (m/s)		TE (°C)	
				P1	P2	P1	P2
13:00	29,20	66,68	24,25	0,0	2,3	<b>26,10</b>	<b>21,90</b>
14:00	29,32	66,02	24,25	0,0	0,0	<b>26,20</b>	<b>26,20</b>
15:00	28,75	67,93	24,05	1,1	2,6	<b>23,00</b>	<b>20,90</b>

Fonte: A autora, 2019.

No dia 25/01, no período entre 13:00 e 15:00, foram identificadas velocidades do ar mais altas que no dia 18/12, além de ocorrerem rajadas de vento com maior frequência. Neste dia, no ponto P1, a velocidade máxima registrada foi de 4,2 m/s, enquanto a média das máximas foi de 1,73 m/s. Já no ponto P2, a velocidade máxima do ar foi igual a 3,5 m/s, no entanto a média das máximas foi mais elevada que no ponto P1, sendo igual a 2,28 m/s, o que demonstra que neste ponto foram registradas velocidades do ar mais elevadas. Neste dia, a temperatura e umidade relativa do ar variaram entre 30,07°C e 30,63°C e entre 61,55% e 64,95%, respectivamente, no período entre 13:00 e 15:00.

No dia 25/01, às 13:00, a velocidade do ar de 0,2 m/s no ponto P1 resultou em uma TE de 26,20°C, enquanto a velocidade do ar de 2,2 m/s no ponto P2, resultou em uma TE de 23,00°C: uma diferença de 3,20°C na sensação térmica do usuário. Neste dia, a menor temperatura efetiva registrada foi de 22,40°C às 14:00 no ponto P2 e a maior foi de 26,20°C às 13:00 no ponto P1 (Tabela 46).

**Tabela 46 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório M007-TN, no dia 25/01/2019.**

M007-TN – 25/01/2019							
Hora	TBS (°C)	UR (%)	TBU (°C)	Velocidade do ar (m/s)		TE (°C)	
				P1	P2	P1	P2
13:00	30,30	64,95	24,95	0,2	2,2	<b>26,20</b>	<b>23,00</b>
14:00	30,63	61,55	24,65	2,3	2,8	<b>22,90</b>	<b>22,40</b>
15:00	30,07	62,95	24,40	0,3	2,2	<b>25,50</b>	<b>22,50</b>

Fonte: A autora, 2019.

No dormitório R202-CP, foram realizadas medições no período da tarde nos dias 11/01/2019 e 08/02/2019, com duração de 1h e 2h, respectivamente. Novamente, foram determinados dois pontos de medição, sendo o ponto P1 no centro do ambiente e em cima da cama e o ponto P2 mais próximo à janela, conforme Figura 38.

**Figura 38 – Pontos de medição de velocidade do ar no dormitório R202-CP.**



Fonte: A autora, 2019.

No dia 11/01, no período entre 17:30 e 18:30, não foi identificada a entrada de ventilação no ambiente neste período, embora por vezes fosse possível sentir uma brisa leve na pele, não atingia velocidade suficiente para girar a ventoinha do equipamento. Neste dia, foi registrado pelo termo-higrômetro uma temperatura do ar de 30,68°C e umidade relativa do ar de 55,04% às 18:00, no interior do ambiente.

A temperatura efetiva às 18:00 no dia 11/01/2019 foi de 26,20°C em ambos os pontos de medição, com velocidade do ar igual a 0,0 m/s (Tabela 47).

**Tabela 47 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório R202-CP, no dia 11/01/2019.**

R202-CP – 11/01/2019							
Hora	TBS (°C)	UR (%)	TBU (°C)	Velocidade do ar (m/s)		TE (°C)	
				P1	P2	P1	P2
18:00	30.68	55.04	23.53	0,0	0,0	<b>26,20</b>	<b>26,20</b>

Fonte: A autora, 2019.

No dia 08/02, no período entre 17:40 e 19:40, a velocidade do ar máxima registrada foi de 0,4 m/s. No ponto P1 a velocidade do ar registrada foi de 0,0 m/s em quase todo o período, com exceção da medição realizada às 17:45, que apresentou velocidade máxima de 0,3 m/s. Já no ponto P2, a velocidade variou entre 0,0 m/s e 0,4 m/s, sendo mais frequente a incidência de vento, embora leve, neste ponto. Neste dia, a temperatura e a umidade relativa do ar internas registradas foram de 31,65°C e 59,71% às 18:00, respectivamente, e de 31,52°C e 62,17% às 19:00, respectivamente.

No dia 08/02 as medições ocorreram entre 17:40 e 19:40. Durante este período foram realizados registros de temperatura e umidade do ar às 18:00 e às 19:00, que corresponderam a uma velocidade do ar de 0,0 m/s no ponto P1 e de 0,2 m/s no ponto P2. Dessa forma, a diferença entre a temperatura efetiva com velocidade do ar nula e com velocidade do ar de 0,2 m/s foi de 0,4°C em ambos os horários (Tabela 48).

**Tabela 48 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório R202-CP, no dia 08/02/2019.**

R202-CP – 08/02/2019							
Hora	TBS (°C)	UR (%)	TBU (°C)	Velocidade do ar (m/s)		TE (°C)	
				P1	P2	P1	P2
18:00	31,65	59,71	25,22	0,0	0,2	<b>27,30</b>	<b>26,90</b>
19:00	31,52	62,17	25,55	0,0	0,2	<b>27,40</b>	<b>27,00</b>

Fonte: A autora, 2019.

No dormitório A207-CN, foram realizadas medições no período da tarde no dia 01/02/2019, com duração de 2h. Da mesma forma que os demais ambientes, foram determinados dois pontos de medição, sendo o ponto P1 localizado no centro do ambiente e o ponto P2 mais próximo à porta, em cima da cama, conforme Figura 39.

**Figura 39 – Pontos de medição de velocidade do ar no dormitório A207-CN.**



Fonte: A autora, 2019.

No dia 01/02 as medições aconteceram entre 14:15 e 15:15. Neste dia, a velocidade máxima registrada no ponto P1 foi de 2,8 m/s, enquanto a média das

máximas foi de 1,02 m/s neste ponto. Já no ponto P2, a velocidade máxima do ar foi igual a 2,7 m/s, no entanto a média das máximas foi mais elevada que no ponto P1, sendo igual a 2,02 m/s, o que demonstra que neste ponto foram registradas velocidades do ar mais elevadas. No momento da medição da velocidade do ar foram feitos registros horários da temperatura e da umidade relativa do ar através do termo-higrômetro, que variaram entre 30,33°C e 30,48°C e entre 64,60% e 66,26%, respectivamente, nos horários de 15:00 e 16:00.

Na Tabela 49 estão expostos os valores de temperatura e velocidade do ar identificados em cada ponto de medição, bem como as temperaturas efetivas resultantes. Às 15:00, a velocidade do ar máxima no ponto P1 foi de 0,3 m/s, com temperatura efetiva de 26,00°C. No mesmo horário, no ponto P2, a velocidade do ar máxima foi de 1,9 m/s, com temperatura efetiva de 23,30°C, o que demonstra uma redução de 2,7°C na TE resultante. Já às 16:00, foi registrada uma velocidade de 0,2 m/s no ponto P1 e 2,7 m/s no ponto P2. Neste momento, os resultados de temperatura efetiva foram de 26,50°C e 22,70°C, respectivamente, ou seja, apresentou uma diferença de 3,80°C entre os dois pontos de medição (Tabela 49).

**Tabela 49 – Dados utilizados para os cálculos das Temperaturas Efetivas no dormitório A207-CN, no dia 01/02/2019.**

A207-CN – 01/02/2019							
Hora	TBS (°C)	UR (%)	TBU (°C)	Velocidade do ar (m/s)		TE (°C)	
				P1	P2	P1	P2
15:00	30,33	64,60	24,92	0,3	1,9	<b>26,00</b>	<b>23,30</b>
16:00	30,48	66,26	25,33	0,2	2,7	<b>26,50</b>	<b>22,70</b>

Fonte: A autora, 2019.

### 4.3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DO AR

Diante dos dados de velocidade do ar e temperatura efetiva dos dias de medição, foi possível verificar a influência da ventilação natural na sensação térmica do usuário.

O ambiente M002-TP apresentou as temperaturas efetivas (TE) mais altas e as velocidades do ar mais baixas. Neste ambiente, foram registradas velocidades do ar apenas no ponto P2, mais próximo à janela, apresentando uma média de 0,13 m/s das velocidades máximas registradas neste ponto. A temperatura efetiva demonstrou uma redução máxima de 0,90°C no ponto P2, quando comparado ao ponto P1, no momento em que atingiu velocidade do ar 0,4 m/s.

O ambiente M007-TN apresentou as velocidades do ar mais altas no momento da medição, resultando em diferenças na temperatura efetiva que variaram de 0,5°C até 4,2°C entre um ponto e outro. Neste ambiente, as maiores velocidades foram registradas no ponto P2, que apresentou uma média das velocidades máximas registradas de 1,44 m/s no dia 18/12 e de 2,28 m/s no dia 25/01.

No ambiente R202-CP, as velocidades máximas do ar permaneceram abaixo do 0,5 m/s, apresentando uma média de 0,15 m/s das velocidades máximas registradas no dia 08/01. Assim como em M002-TP, neste ambiente só foram registradas velocidades do ar no ponto P2, mais próximo à janela, que exibiu uma redução de 0,40°C na temperatura efetiva em relação ao ponto P1, no qual a velocidade do ar foi de 0,0 m/s.

Já o ambiente A207-CN apresentou diferenças de 2,7°C e 3,8°C na temperatura efetiva nos pontos de medição. Neste ambiente, as médias das velocidades máximas registradas foram de 1,02 m/s no ponto P1 e 2,02 m/s no ponto P2.

Os resultados referentes à avaliação das medições de velocidade do ar a partir dos dados apresentados foram sintetizados na Tabela 50.

**Tabela 50 – Síntese dos resultados das medições de velocidade do ar.**

<b>Ambientes</b>	<b>Resultados das medições de velocidade do ar</b>
<b>M002-TP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há incidência de ventos predominantes;</li> <li>- No ponto P1, a velocidade do ar foi nula;</li> <li>- No ponto P2, apresentou redução na temperatura efetiva de 0,90°C com velocidade do ar igual a 0,4 m/s;</li> <li>- Velocidades do ar mais baixas que nos demais ambientes;</li> <li>- Temperaturas efetivas mais altas que nos demais ambientes.</li> </ul>
<b>M007-TN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incidência de ventos predominantes;</li> <li>- Velocidades mais elevadas no ponto P2;</li> <li>- Apresentou reduções na temperatura efetiva que variou de 0,5°C a 4,2°C entre os pontos de medição.</li> <li>- Velocidades do ar mais altas que nos demais ambientes;</li> <li>- Temperaturas efetivas mais baixas que nos demais ambientes.</li> </ul>
<b>R202-CP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há incidência de ventos predominantes;</li> <li>- No ponto P1, a velocidade do ar foi nula;</li> <li>- No ponto P2, houve um potencial de redução da temperatura efetiva de 0,40°C com velocidade do ar igual a 0,2 m/s;</li> </ul>
<b>A207-CN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incidência de ventos predominantes;</li> <li>- Velocidades mais elevadas no ponto P2;</li> <li>- Apresentou reduções na temperatura efetiva de 2,7°C e de 3,8°C entre os pontos de medição.</li> </ul>

Fonte: A autora, 2019.

Com as avaliações realizadas, ficou evidente o potencial de redução da temperatura efetiva com o aumento da velocidade do ar, podendo contribuir para a otimização do aproveitamento da ventilação natural a partir de um estudo para a disposição do mobiliário do espaço, posto que foram identificadas maiores velocidades do ar em determinados pontos do ambiente em função da abertura da janela e da direção de incidência dos ventos. Nos ambientes estudados, as menores velocidades do ar foram registradas no centro do ambiente, enquanto os pontos próximos à porta (saída de vento) e próximos à janela (entrada de vento) apresentaram maiores velocidades. Além disso, os ambientes com melhor aproveitamento da ventilação natural apresentaram diferenças significativas na temperatura efetiva de cada ponto, que chegaram até 4,2°C.

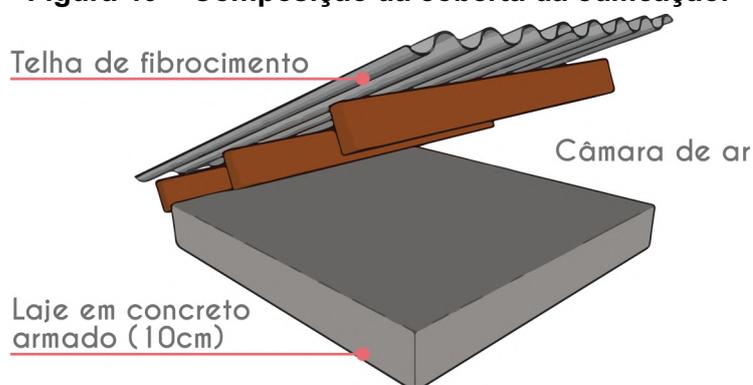
## 4.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

### 4.4.1 NORMA DE DESEMPENHO (NBR 15575)

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos na avaliação do desempenho das unidades habitacionais em estudo, pelo método simplificado da NBR 15575. Conforme visto anteriormente, a Norma de Desempenho dispõe de recomendações a respeito das propriedades do envelope construtivo (paredes e cobertura).

A cobertura da edificação é composta, em sua maior parte, por telha de fibrocimento e por uma pequena parcela de laje impermeabilizada, na região da caixa d'água e na marquise localizada no acesso. Dessa forma, todos os ambientes de permanência prolongada (APP) têm cobertura composta por telha ondulada de fibrocimento com câmara de ar e laje em concreto armado, conforme Figura 40. Essa composição apresenta transmitância térmica ( $U$ ) de  $2,06 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  e capacidade térmica ( $C_T$ ) de  $233 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$  (INMETRO, 2013). Em relação à absorvância ( $\alpha$ ), foi adotado  $0,59$ , conforme indicações constantes no Anexo A.

**Figura 40 – Composição da coberta da edificação.**



Fonte: Catálogo de Propriedades Térmicas (INMETRO, 2013), adaptado pela autora

Diante dos parâmetros estabelecidos pela NBR 15575, não há exigência para Capacidade Térmica para a ZB8. Dessa forma, quando a absorvância solar é maior que  $0,4$ , a transmitância deve ser menor ou igual a  $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  para a obtenção do nível Mínimo de desempenho. Portanto, as propriedades térmicas da cobertura se mostraram insuficientes para a classificação de desempenho Mínimo (Tabela 51).

**Tabela 51 – Recomendações construtivas da NBR 15575 referentes às propriedades térmicas da cobertura.**

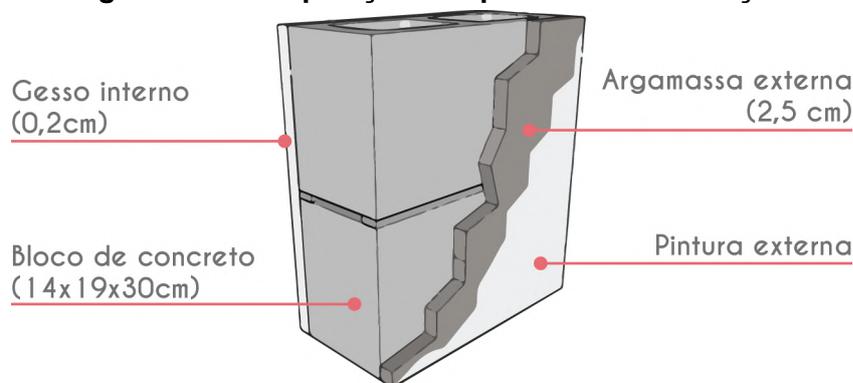
PROPRIEDADES TÉRMICAS - COBERTURA				
Componente	Absortância solar	Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> K)	Capacidade térmica kJ/(m <sup>2</sup> K)	Nível de desempenho (NBR 15575)
Recomendações (NBR 15575)	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,3$ FT	-	Mínimo (M)
	$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,5$ FT	-	
Cobertura (Todas as UHs)	$\alpha = 0,59$	$U = 2,06$ <sup>32</sup>	$C_T = 233$	<b>Inferior</b>

FT é o valor de correção da transmitância, estabelecido pela NBR 15.220 (ABNT, 2005a).

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

As paredes da edificação são compostas por uma camada de gesso interno, uma camada de bloco de concreto de 14x19x30cm e uma camada de argamassa externa, apresentando transmitância térmica (U) de 2,86 W/(m<sup>2</sup>K) e capacidade térmica (C<sub>T</sub>) de 222 kJ/(m<sup>2</sup>K), conforme Figura 41 (INMETRO, 2013).

**Figura 41 – Composição das paredes da edificação.**

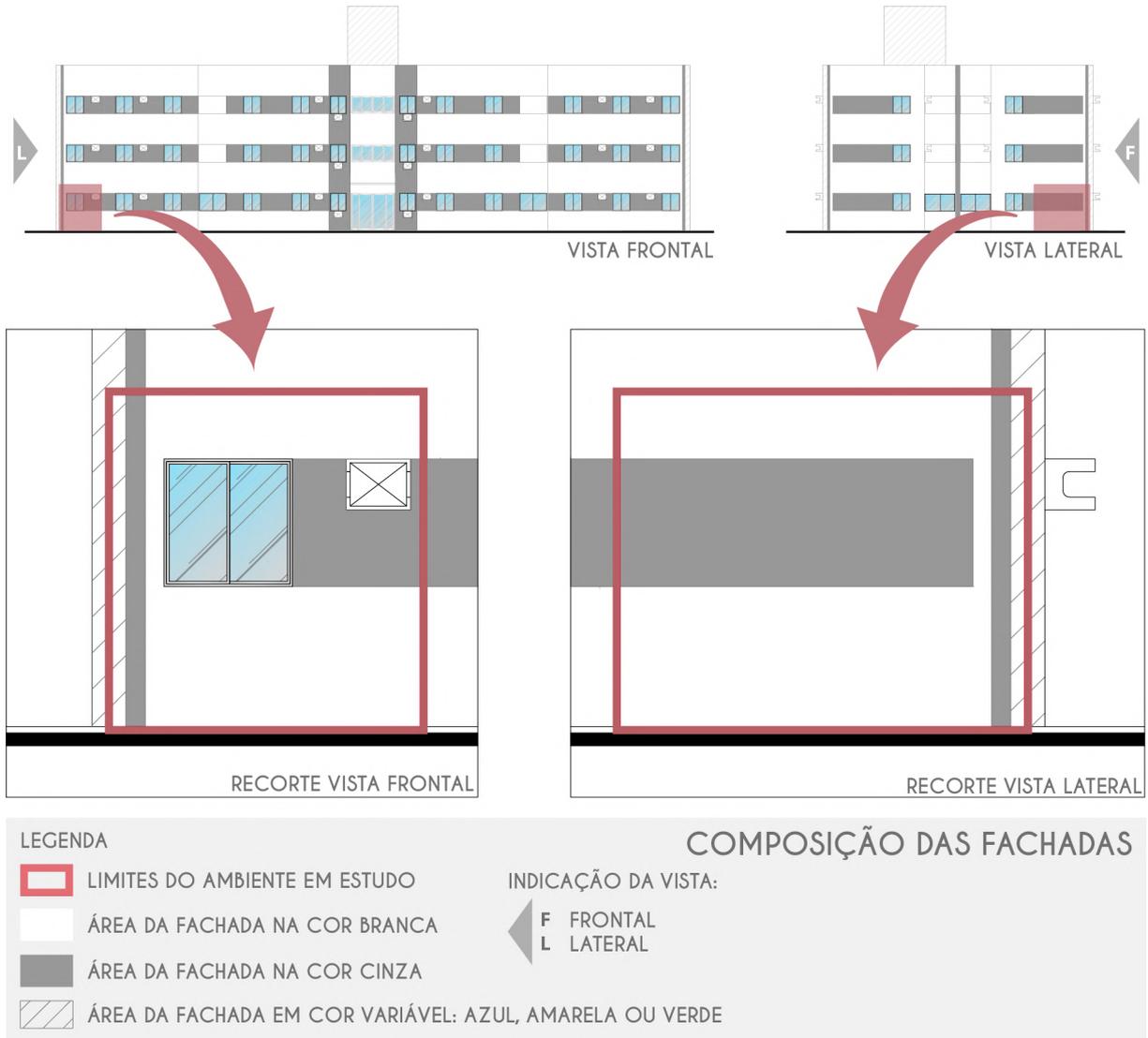


Fonte: Catálogo de Propriedades Térmicas (INMETRO, 2013), adaptado pela autora.

Quanto à absortância, neste caso foi necessário realizar a ponderação pela área, visto que há uma variedade de cores nas superfícies externas das paredes dos dormitórios. Todos as UHs estudadas apresentam a mesma composição de cores na fachada, sendo a maior parte branca, com a adição de uma faixa horizontal na cor cinza escuro, acompanhando o desenho da janela, e duas faixas verticais na lateral da janela, sendo uma cinza escuro e uma de cor variável, conforme ilustra Figura 42.

<sup>32</sup> O fator de correção (FT) utilizado para a determinação da transmitância térmica foi 1, conforme indicação da NBR 15220, visto que não há átrio ventilado na edificação.

**Figura 42 – Cores das paredes externas dos ambientes em estudo.**



Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 43 estão ilustradas as cores que compõem as fachadas de cada objeto de estudo, incluindo a variação de cor de cada bloco de apartamento, sintetizada na Tabela 52.

**Figura 43 – Fachadas frontais e laterais dos objetos de estudo.**



Fonte: A autora, 2019.

**Tabela 52 – Síntese da variação de cor da fachada dos objetos de estudo.**

Ambiente	Pavimento	Cor da Fachada
<b>M002-TP</b>	Térreo	Amarelo
<b>M007-TN</b>	Térreo	Verde
<b>R202-CP</b>	Cobertura	Azul
<b>A207-CN</b>	Cobertura	Verde

Fonte: A autora, 2019.

Dessa forma, para o cálculo da absorção das paredes externas dos ambientes em estudo, foram adotados os seguintes valores de absorção solar ( $\alpha$ ): branco (0,162), cinza (0,611) e amarelo (0,252), conforme indicações constantes no Anexo B. Diante disto, foi feita a ponderação de acordo com a área de parede ocupada por cada cor, resultando nos valores constantes na Tabela 53.

**Tabela 53 – Absortância ponderada das paredes externas.**

Ambiente	Absortância solar ponderada ( $\alpha$ )
M002-TP	0,319
M007-TN	0,326
R202-CP	0,320
A207-CN	0,326

Fonte: A autora, 2019.

Com base nos parâmetros estabelecidos pela NBR 15575 para a ZB8, assim como para a cobertura, também não há recomendação para a Capacidade Térmica das paredes e, quando a absortância solar é menor ou igual a 0,6, a transmitância deve ser menor ou igual a 3,7 W/(m<sup>2</sup>K). Portanto, visto que as paredes apresentam transmitância térmica de 2,86 W/(m<sup>2</sup>K), todos os ambientes estudados atenderam às exigências de desempenho Mínimo, conforme indica Tabela 54.

**Tabela 54 – Recomendações construtivas da NBR 15575 referentes às propriedades térmicas das paredes.**

PROPRIEDADES TÉRMICAS - PAREDES					
Componente	Absortância solar	Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> K)	Capacidade térmica kJ/(m <sup>2</sup> K)	Nível de desempenho (NBR 15575)	
Recomendações (NBR 15575)	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,7$	-	Mínimo (M)	
	$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,5$	-		
Paredes	<b>M002-TP</b> (Fachada Amarela)	$\alpha = 0,319$	$U = 2,86$	$C_T = 222$	<b>Mínimo</b>
	<b>M007-TN / A207-CN</b> (Fachada Verde)	$\alpha = 0,326$	$U = 2,86$	$C_T = 222$	<b>Mínimo</b>
	<b>R202-CP</b> (Fachada Azul)	$\alpha = 0,320$	$U = 2,86$	$C_T = 222$	<b>Mínimo</b>

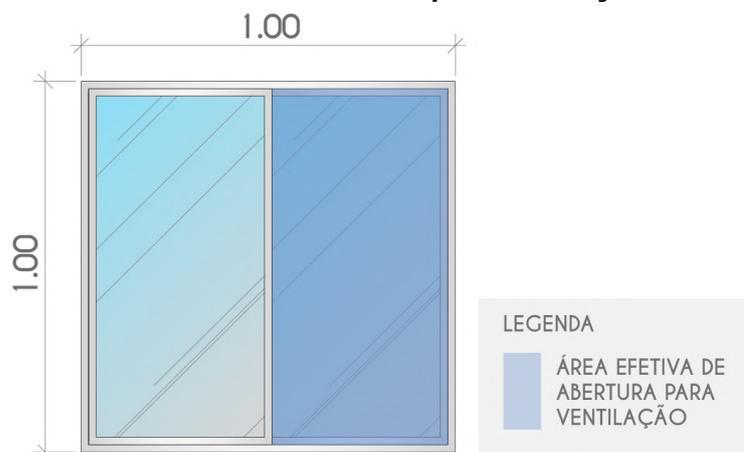
Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

Quanto à ventilação natural, a NBR 15575 estabelece que, para alcançar o desempenho Mínimo na Zona Bioclimática 8, os ambientes devem apresentar aberturas grandes, correspondentes a, no mínimo, 8% de área de abertura para ventilação em relação à área útil do piso.

Cada dormitório apresenta uma janela de 1,00 x 1,00 metros, com abertura do tipo correr, caixilhos em alumínio e folhas em vidro simples. A área efetiva de abertura

para ventilação é contabilizada com a esquadria aberta, sendo descontada a área referente à folha fixa da esquadria e a área dos caixilhos, conforme indica Figura 44.

**Figura 44 – Área efetiva de abertura para ventilação e iluminação.**



Fonte: A autora, 2019.

Os ambientes em estudo são idênticos e apresentam área útil de  $7,50\text{m}^2$ , sendo necessário, portanto, no mínimo  $0,60\text{m}^2$  de abertura para ventilação, ou seja, 8% da área do piso. No entanto, a área efetiva de abertura para ventilação nos ambientes é de  $0,45\text{m}^2$ , o que corresponde a 6% da área do piso, não atendendo, portanto, ao critério Mínimo de desempenho da ventilação natural (Tabela 55).

**Tabela 55 – Recomendações construtivas da NBR 15575 referentes às áreas de abertura para ventilação.**

VENTILAÇÃO NATURAL				
Componente	Área do piso ( $\text{m}^2$ )	Área efetiva de ventilação ( $\text{m}^2$ )	Percentual da área de piso (%)	Nível de desempenho (NBR 15575)
Recomendações (NBR 15575)	-	-	$\geq 8$	Mínimo (M)
Abertura (Todas as UHs)	7,70	0,45	6	<b>Inferior</b>

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

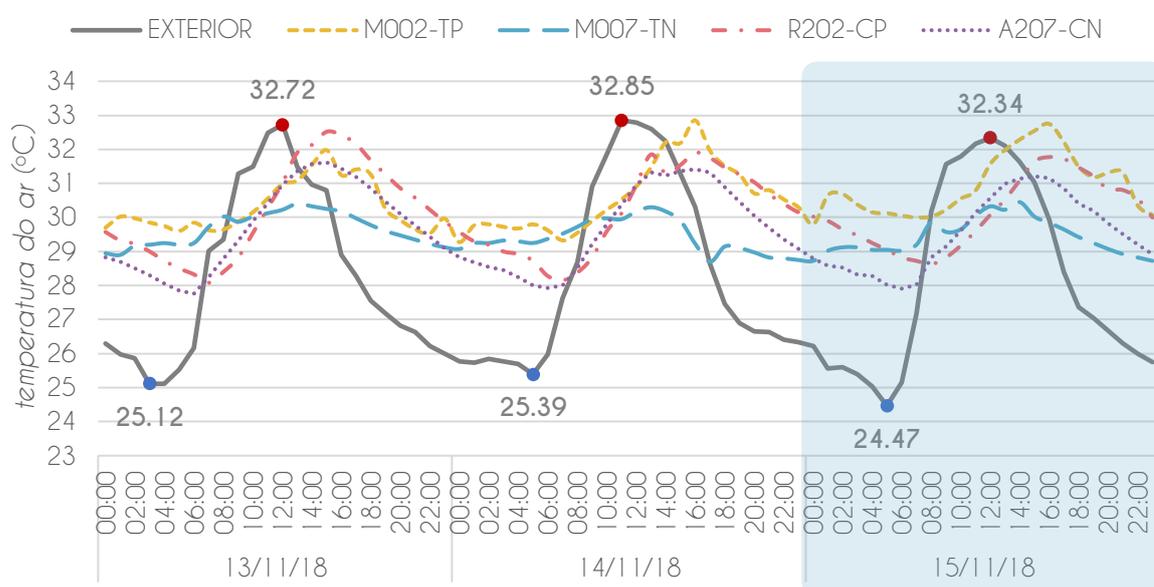
A avaliação do desempenho térmico por meio do método de medição estabelecido pela NBR 15575 determina que a classificação do desempenho do ambiente é realizada através da comparação entre os valores máximos e mínimos das temperaturas internas e externas nos dias típicos de verão e inverno. Para a Zona Bioclimática 8, na qual se insere a cidade de Maceió, é dispensável a avaliação para inverno, sendo necessário avaliar apenas para o dia típico de verão, que se

caracteriza por apresentar temperatura máxima de 32,2°C. Dessa forma, na análise do desempenho por medição, o dia selecionado deve corresponder ao dia típico estabelecido pela norma, sendo recomendada a utilização de uma sequência de três dias com características semelhantes para uma análise do terceiro dia.

Para a escolha do dia típico foram analisadas as medições de temperatura externa registradas através de armazenadores de dados do tipo Hobo no período de 01/11/2018 a 21/02/2019, levando-se em consideração os parâmetros estabelecidos pela NBR 15575. No entanto, ao analisar os intervalos em que a temperatura externa não ultrapassou os 32,2°C por 3 dias consecutivos, verificou-se que estes dias não correspondem ao “padrão” de variação de temperatura diária ocorrida na maior parte do período de monitoramento e, portanto, correspondem a dias atípicos quando comparados de forma global dentro deste período.

Foram selecionados 3 dias nos quais o comportamento de variação da temperatura diária consiste em um padrão que se repete durante grande parte do período monitorado, no entanto a temperatura máxima atingida ultrapassa os 32,2°C estabelecidos pela NBR 15575 para a cidade Maceió. O dia típico selecionado foi 15/11, em destaque no Gráfico 34, apresentando temperatura máxima externa de 32,34°C, sendo precedido por dois dias com temperaturas máximas iguais a 32,72°C e 32,85°C. Dessa forma, o dia típico selecionado apresenta 0,14°C a mais na temperatura máxima externa em relação à recomendação da NBR 15575.

**Gráfico 34 – Dia típico selecionado para análise.**



Fonte: A autora, 2019.

O Gráfico 34 ilustra a variação das temperaturas internas e externa entre os dias 13/11 e 15/11, indicando as temperaturas máximas externas diárias. Tendo como base as recomendações da NBR 15575 de desempenho no verão, indicadas na Tabela 56, foram realizadas comparações entre as temperaturas máximas externas diárias e as temperaturas máximas registradas nos ambientes internos, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 57.

**Tabela 56 – Recomendações de temperatura máxima para o dia típico de verão da NBR 15575.**

Período	Critério de avaliação	Nível de Desempenho (NBR 15575)
Recomendações para o verão (NBR 15575)	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx}$	Mínimo (M)
	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1^{\circ}\text{C})$	Intermediário (I)
	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$	Superior (S)

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013), adaptado pela autora.

**Tabela 57 – Classificação do nível de desempenho dos ambientes no dia típico de verão.**

Ambiente	Temperatura máxima (°C)	Diferença em relação à temperatura externa (°C)	Nível de Desempenho (NBR 15575)
EXTERIOR	32,34	-	-
M002-TP	32,75	+ 0,41	Inferior
M007-TN	30,45	- 1,89	Intermediário
R202-CP	31,77	- 0,56	Mínimo
A207-CN	31,21	- 1,13	Intermediário

Fonte: A autora, 2019.

De acordo com o procedimento de medição definido pela NBR 15575, os ambientes internos analisados apresentaram diferentes classificações de desempenho térmico. Verifica-se na Tabela 57 que três dentre os quatro ambientes analisados obedeceram ao critério de classificação disposto na norma, sendo dois ambientes classificados como intermediário (M007-TN e A207-CN) – ambos orientados à nordeste, sendo um na cobertura e um no térreo –, e um ambiente classificado como mínimo (R202-CP) – orientado à sudoeste e localizado na cobertura. O ambiente M002-TP apresentou temperatura interna superior à externa, portanto não atendeu ao requisito mínimo da NBR 15575.

A Tabela 58 apresenta de forma sintética a classificação do desempenho para cada ambiente de acordo com o critério avaliado: cobertura, paredes, abertura para ventilação e temperatura máxima interna em relação à temperatura máxima externa para o dia típico de verão.

**Tabela 58 – Síntese dos resultados da classificação do nível de desempenho térmico por ambiente.**

Ambiente	Cobertura	Paredes	Aberturas para ventilação	Temperatura no dia típico de verão
M002-TP	-	Mínimo	Inferior	Inferior
M007-TN	-	Mínimo	Inferior	Intermediário
R202-CP	Inferior	Mínimo	Inferior	Mínimo
A207-CN	Inferior	Mínimo	Inferior	Intermediário

Fonte: A autora, 2019.

Diante do exposto, verifica-se que os ambientes monitorados no último pavimento não atingiram o nível de desempenho Mínimo para a cobertura, não obedecendo aos critérios dispostos na NBR 15575, bem como as áreas de abertura para ventilação de todos os ambientes. As paredes de todos os ambientes obtiveram classificação de desempenho mínima, enquanto a análise da temperatura através do procedimento de medições apresentou resultados variados de acordo com o ambiente: dois ambientes foram classificados como Intermediário, um ambiente como Mínimo e um ambiente não obedeceu aos critérios mínimos de classificação.

Vale ressaltar que a NBR 15575 sugere que a classificação através de medições deve ser realizada para o ambiente em situação mais desfavorável segundo a norma, estabelecendo que deve ser monitorado o ambiente na cobertura, com uma parede voltada para oeste e uma parede voltada para norte. O apartamento R202-CP se enquadra nestes requisitos e foi classificado como nível Mínimo de desempenho para a temperatura no dia típico de verão. Por outro lado, o apartamento M002-TP, que não se enquadra nos parâmetros estabelecidos pela norma para o monitoramento, apresentou desempenho inferior ao R202-CP.

#### **4.4.2 REGULAMENTO TÉCNICO DE QUALIDADE PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS (RTQ-R)**

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos na avaliação da eficiência energética das unidades habitacionais em estudo pelo método prescritivo do RTQ-R. Serão avaliados os quatro dormitórios já apresentados (ambiente de permanência prolongada), sendo eles posicionados em duas orientações: dois no pavimento térreo e dois no pavimento cobertura.

Vale ressaltar que os parâmetros aqui avaliados dizem respeito ao desempenho térmico da envoltória do ambiente, não sendo avaliados os seguintes aspectos: a classificação da envoltória da UH, eficiência do sistema de aquecimento de água e possíveis bonificações.

##### **4.4.2.1 PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS DA ENVOLTÓRIA**

Os pré-requisitos específicos da envoltória se dividem em três partes, são elas: propriedades térmicas (transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies), ventilação natural e iluminação natural e se fundamentam nas recomendações do Zoneamento Bioclimático Brasileiro disposto pela NBR 15220 (ABNT, 2005a).

As avaliações destes pré-requisitos são feitas, separadamente, para cada ambiente de permanência prolongada (APP) e, quando não atendidos, implicam na restrição do nível de eficiência a ser atingido, ora somente na classificação do ambiente, ora na classificação geral da envoltória.

A edificação deve obedecer às propriedades de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância determinadas para a Zona Bioclimática 8. O não atendimento a estes pré-requisitos implica no alcance máximo de nível "C" para os indicadores de graus-hora para resfriamento e de consumo relativo para refrigeração. Em caso de diversidades de materiais e cores, é necessário ponderar os valores correspondentes a cada componente em função da área ocupada para se obter o resultado.

Os valores de referência dispostos pelo RTQ-R para as propriedades térmicas da cobertura e das paredes são os mesmos da NBR 15575, já apresentados na Tabela 51 e na Tabela 54. Dessa forma, as paredes atenderam aos pré-requisitos, no entanto a cobertura a coberta não atendeu. Portanto, os ambientes localizados no último pavimento podem atingir, no máximo, nível “C”.

Quanto à ventilação natural, o RTQ-R determina que os ambientes de permanência prolongada, na Zona Bioclimática 8, devem apresentar pelo menos 10% de área de abertura para ventilação, em relação à área útil do ambiente<sup>33</sup>. O não atendimento a este pré-requisito implica no alcance máximo de nível C do ambiente para resfriamento.

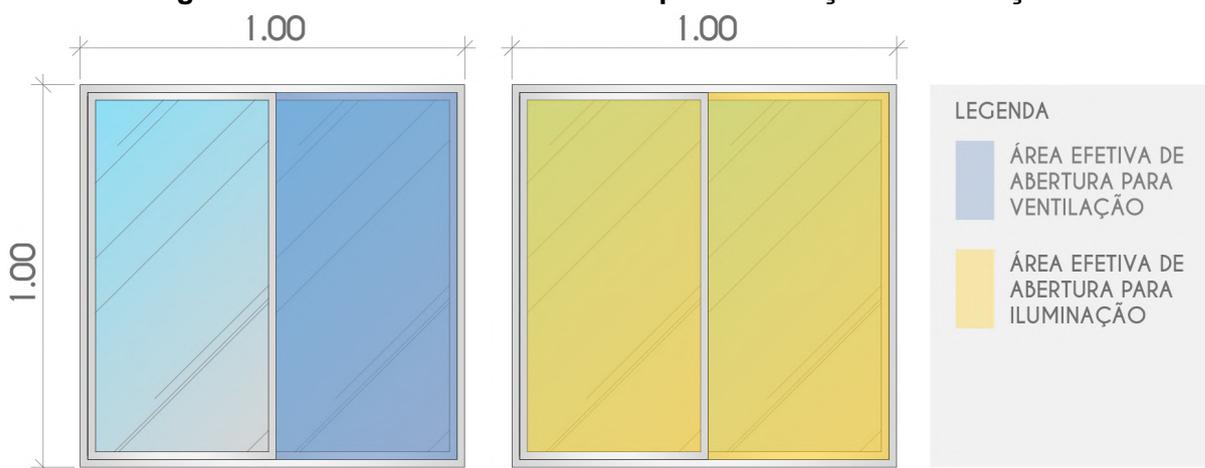
Quanto à iluminação natural, os ambientes de permanência prolongada, na Zona Bioclimática 8, devem apresentar pelo menos 12,5% de área de abertura para iluminação, em relação a área útil do ambiente. O não atendimento a este pré-requisito também implica no alcance máximo de nível C do ambiente para resfriamento, aquecimento e refrigeração.

As esquadrias encontradas nos dormitórios, conforme especificado anteriormente, possuem 1,00 x 1,00m com abertura do tipo correr, caixilhos em alumínio e folhas em vidro simples. A Figura 45 indica a região da esquadria a ser considerada para o cálculo da área efetiva de abertura para ventilação e iluminação, respectivamente, sendo contabilizada a área da esquadria aberta. No caso da área efetiva de abertura para ventilação é descontada a área referente à folha fixa da esquadria e a área dos caixilhos, enquanto área efetiva de abertura para iluminação desconsidera apenas a área dos caixilhos, posto que a luz passa por toda a região envidraçada, conforme ilustra Figura 45.

---

<sup>33</sup> A área útil do ambiente é medida internamente e corresponde a toda área do ambiente possível de ser ocupada, desconsiderando as áreas de parede e vazios.

**Figura 45 – Área efetiva de abertura para ventilação e iluminação.**



Fonte: A autora, 2019.

O ambiente apresenta área útil de 7,50m<sup>2</sup>, sendo necessário, portanto, no mínimo 0,75m<sup>2</sup> de abertura para ventilação (10%) e 0,9375m<sup>2</sup> (12,5%) de abertura para iluminação. Dessa forma, visto que a área efetiva de abertura para ventilação é de 0,45m<sup>2</sup> e para iluminação é de 0,865m<sup>2</sup>, o ambiente não atendeu a estes pré-requisitos, podendo atingir no máximo nível “C” (Tabela 59).

**Tabela 59 – Recomendações construtivas do RTQ-R referentes às áreas de abertura para ventilação e iluminação.**

VENTILAÇÃO E ILUMINAÇÃO					
Critério	Área do piso (m <sup>2</sup> )	Área efetiva de abertura (m <sup>2</sup> )	Percentual da área do piso (%)	Percentual da área do piso recomendado (%)	Atendeu ao pré-requisito? (RTQ-R)
Ventilação	7,70	0,45	6	≥ 10	<b>Não</b>
Iluminação	7,70	0,865	11,53	≥ 12	<b>Não</b>

Fonte: RTQ-R (INMETRO, 2012a), adaptado pela autora.

Diante do exposto, pode-se concluir que todos os ambientes atenderam aos pré-requisitos de propriedades térmicas das paredes, no entanto todos os demais pré-requisitos não foram atendidos (propriedades térmicas da cobertura, percentual de abertura para ventilação e percentual de abertura para iluminação), conforme sintetiza Tabela 60.

**Tabela 60 – Síntese do atendimento aos pré-requisitos da envoltória.**

<b>Ambiente</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Paredes</b>	<b>Aberturas para ventilação</b>	<b>Aberturas para iluminação</b>
<b>M002-TP</b>	-	Sim	Não	Não
<b>M007-TN</b>	-	Sim	Não	Não
<b>R202-CP</b>	Não	Sim	Não	Não
<b>A207-CN</b>	Não	Sim	Não	Não

Fonte: A autora, 2019.

Após a avaliação dos pré-requisitos realizou-se um levantamento das áreas de parede e aberturas, disponível no Apêndice I, para o cálculo da eficiência energética de cada unidade habitacional, descrito a seguir.

#### **4.4.2.2 CÁLCULO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA**

Para a obtenção da classificação da UH, utilizou-se a Planilha de cálculo do desempenho da UH, desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações (CB3E), para auxiliar o processo de classificação das unidades habitacionais autônomas pelo método prescritivo. Nela, é possível avaliar o desempenho dos ambientes de acordo com os pré-requisitos, bonificações e sistema de aquecimento de água, para a determinação da pontuação total da edificação (PBE EDIFICA, 2017).

Para este trabalho, foi realizada a classificação apenas do ambiente em análise e não da unidade habitacional como um todo. Para tanto, foram preenchidos na tabela os dados referentes à envoltória e aos pré-requisitos da envoltória, conforme Tabela 61 e Tabela 62, respectivamente. Para cada ambiente é apresentada uma classificação de desempenho para Resfriamento (verão), Aquecimento (inverno), que não se aplica à ZB8, e Refrigeração, apenas à título informativo para ambientes condicionados artificialmente, o que não corresponde ao caso dos ambientes em estudo, que são ventilados naturalmente.

**Tabela 61 – Planilha referente à envoltória, por ambiente.**

Zona Bioclimática	ZB		ZB8	ZB8	ZB8	ZB8
Ambiente	Identificação		M002-TP	M007-TN	R202-CP	A207-CN
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	7.50	7.50	7.50	7.50
Situação do piso e cobertura	Cobertura		0	0	1	1
	Contato com solo		1	1	0	0
	Sobre Pilotis		0	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	2.06	2.06	2.06	2.06
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	233.00	233.00	233.00	233.00
	acob		0.59	0.59	0.59	0.59
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	2.86	2.86	2.86	2.86
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	222.00	222.00	222.00	222.00
	qpar		0.32	0.33	0.32	0.33
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	7.16	0.00	7.16	0.00
	SUL	m <sup>2</sup>	0.00	7.16	0.00	7.16
	LESTE	m <sup>2</sup>	0.00	5.21	0.00	5.21
	OESTE	m <sup>2</sup>	5.21	0.00	5.21	0.00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
	SUL	m <sup>2</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
	LESTE	m <sup>2</sup>	0.00	1.00	0.00	1.00
	OESTE	m <sup>2</sup>	1.00	0.00	1.00	0.00
Características das Aberturas	Fvent		0.45	0.45	0.45	0.45
	Somb		0.00	0.00	0.00	0.00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	12.57	12.57	12.57	12.57
	Pé Direito	m	2.60	2.60	2.60	2.60
	C altura		0.346	0.346	0.346	0.346
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0	0
	vid	binário	0	0	0	0
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	0	0	0	0
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	D	C	E	C
			12715	8819	15168	11265
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
			0.000	0.000	0.000	0.000
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	E	D	D	D
			66.774	65.788	64.647	63.647

Fonte: Planilha de cálculo do desempenho da UH (PBE EDIFICA, 2017), adaptado pela autora.

Os dados inseridos na tabela apresentada são similares entre as diferentes unidades habitacionais, posto que os ambientes apresentam a mesma configuração espacial. As alterações entre um ambiente e outro consistem na “Situação do piso e cobertura”, diferenciando as unidades localizadas no térreo e cobertura; e na orientação das “Áreas de paredes externas do ambiente” e “Áreas de aberturas externas”, preenchidas de acordo com a orientação da UH.

Com base nos dados inseridos na planilha, os ambientes voltados para leste (M007-TN e A207-CN, destacados em azul e roxo, respectivamente) obtiveram os melhores resultados para Resfriamento, alcançando nível “C”. O ambiente R202-CP (destacado em rosa), localizado na cobertura e voltado para poente, apresentou o pior resultado, alcançando nível “E” para Resfriamento. Já o ambiente M002-TP (destacado em amarelo), localizado no térreo e voltado para poente, alcançou nível “D” para Resfriamento. Com relação ao consumo relativo para Refrigeração, o nível máximo atingido pelos ambientes foi “D”.

Após a classificação com base nos elementos da envoltória, foi avaliado o atendimento aos pré-requisitos específicos da envoltória, conforme Tabela 62.

**Tabela 62 – Planilha referente aos pré-requisitos específicos, por ambiente.**

Pré-requisitos por ambiente						
	Ambiente	Identificação	M002-TP	M007-TN	R202-CP	A207-CN
Pré-requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e apar atendem?	Sim	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Não	Não	Não	Não
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Sim	Sim	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Não	Não	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?	-	-	-	-
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	0.865	0.865	0.865	0.865
		Ai/Auamb (%)	11.53	11.53	11.53	11.53
		Atende 12,5%?	Não	Não	Não	Não
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	0.45	0.45	0.45	0.45
		Av/Auamb (%)	6.00	6.00	6.00	6.00
		Atende % mínima?	Não	Não	Não	Não
		Tipo de abertura	Correr	Correr	Correr	Correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Sim	Sim	Sim	Sim
		Atende?	Sim	Sim	Sim	Sim
	Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Envoltória para Verão		D	C	E
			2.00	3.00	1.00	3.00
Envoltória para Inverno			Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
			Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Envoltória se Refrigorada Artificialmente			E	D	D	D
			1.00	2.00	2.00	2.00

Fonte: Planilha de cálculo do desempenho da UH (PBE EDIFICA, 2017), adaptado pela autora.

Conforme visto anteriormente, o não atendimento aos pré-requisitos implicam em uma classificação máxima nível “C”. No entanto, como nenhum ambiente alcançou uma melhor classificação, não foram alterados os níveis de classificação dos ambientes, que permaneceram os mesmos após a avaliação dos pré-requisitos da envoltória (Tabela 62).

As classificações obtidas pelos ambientes denotam uma forte interferência da orientação do ambiente e do pavimento no qual se localiza a unidade habitacional. As unidades voltadas para leste obtiveram a melhor classificação (nível “C”) tanto na unidade M007-TN, no térreo (destacada em azul), como unidade A207-CN, na cobertura (destacada em roxo) (Figura 46). No entanto, percebe-se uma diferença nos valores de graus-hora para resfriamento (GHR): enquanto a unidade do térreo apresentou um resultado de 8804°C.h, a unidade da cobertura teve um resultado quase 30% maior (11250°C.h). Essa diferença, embora alta, não foi suficiente para causar uma redução no nível de eficiência energética do ambiente localizado na cobertura.

Os ambientes voltados para oeste obtiveram classificações mais baixas que os voltados para leste. O ambiente R202-CP, na cobertura (destacado em rosa), foi classificado como nível “E”, enquanto o ambiente M002-TP, no térreo (destacado em amarelo), foi classificado como nível “D” (Figura 46). Agora, de forma mais clara, percebe-se uma melhoria na classificação do ambiente em função do contato com o solo.

Figura 46 – Planta baixa com níveis de eficiência energética atingidos pelos ambientes.



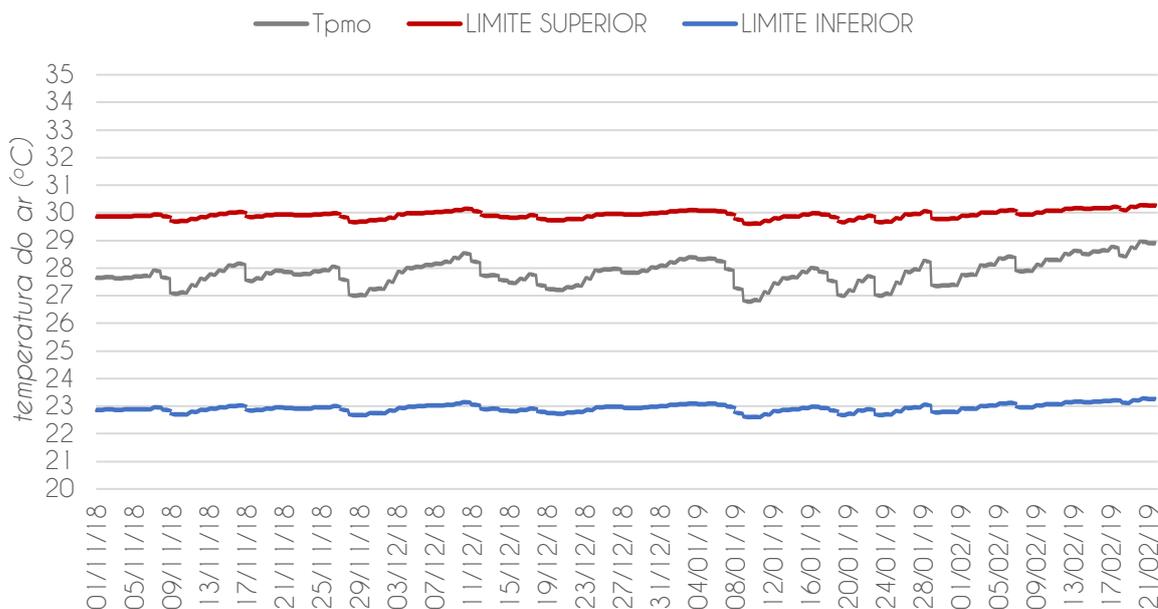
Fonte: A autora, 2019.

#### 4.4.3 ASHRAE STANDARD 55

Foram realizados cálculos, de acordo com os parâmetros dispostos pela ASHRAE Standard 55, para identificar a Zona de Conforto em ambientes naturalmente ventilados.

O Gráfico 35 exibe a Zona de Conforto para a cidade de Maceió no período de 01/11/2018 à 21/02/2019. Para a obtenção dos limites superior e inferior de temperatura para a zona de conforto, foi realizado o cálculo da temperatura média prevalente no exterior ( $T_{pmo}$ ), tendo como base as médias diárias de temperatura do ar externa obtidas através dos registros efetuados com o auxílio de *dataloggers* do tipo HOBO.

**Gráfico 35 – Zona de conforto, segundo o método da ASHRAE Standard 55, para a cidade de Maceió/AL no período em estudo.**



Fonte: A autora, 2019.

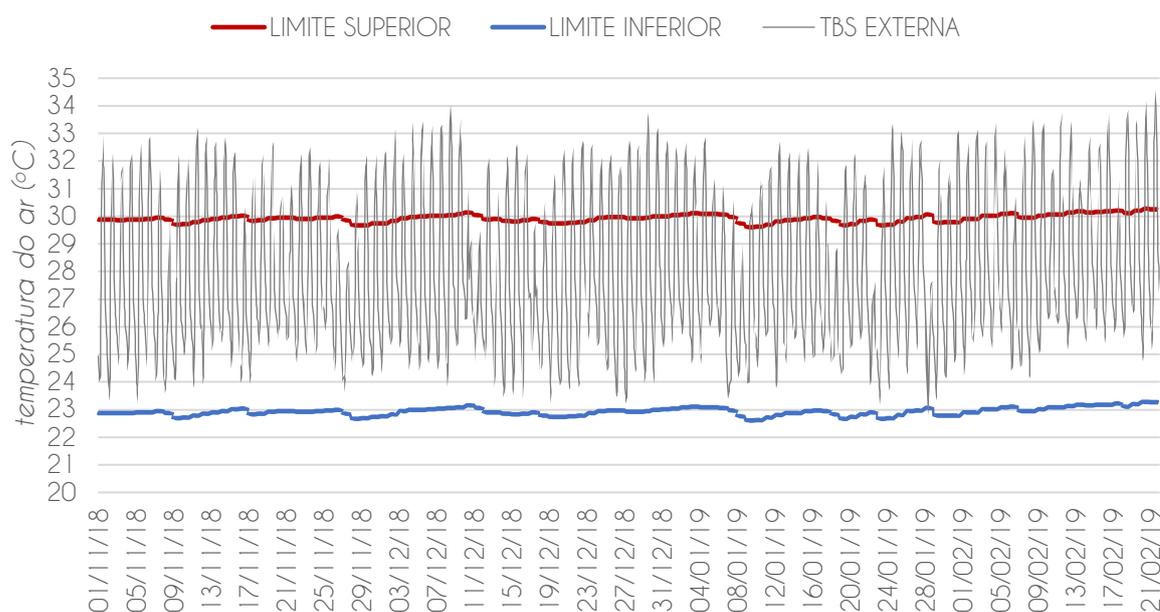
O limite superior de temperatura no período em estudo é de, em média, 29,93°C, variando entre 29,60°C e 30,28°C. Já o limite inferior apresenta uma média de 22,93°C, variando entre 22,60°C e 23,28°C.

Devido à indisponibilidade de equipamentos de medição da temperatura de globo, necessária para o cálculo da temperatura radiante média, nas análises referentes às condições de conforto térmico do ambiente interno, considerou-se que

a temperatura radiante média é, aproximadamente, igual à temperatura do ar e, conseqüentemente, igual à temperatura operativa (DANTAS, 2015).

Diante disto, o Gráfico 36 ilustra o comportamento da temperatura de bulbo seco externa durante o dia no período de monitoramento em comparação com os limites superior e inferior de conforto.

**Gráfico 36 – Zona de conforto adaptativo para a cidade de Maceió/AL no período em estudo, com destaque para a TBS externa.**

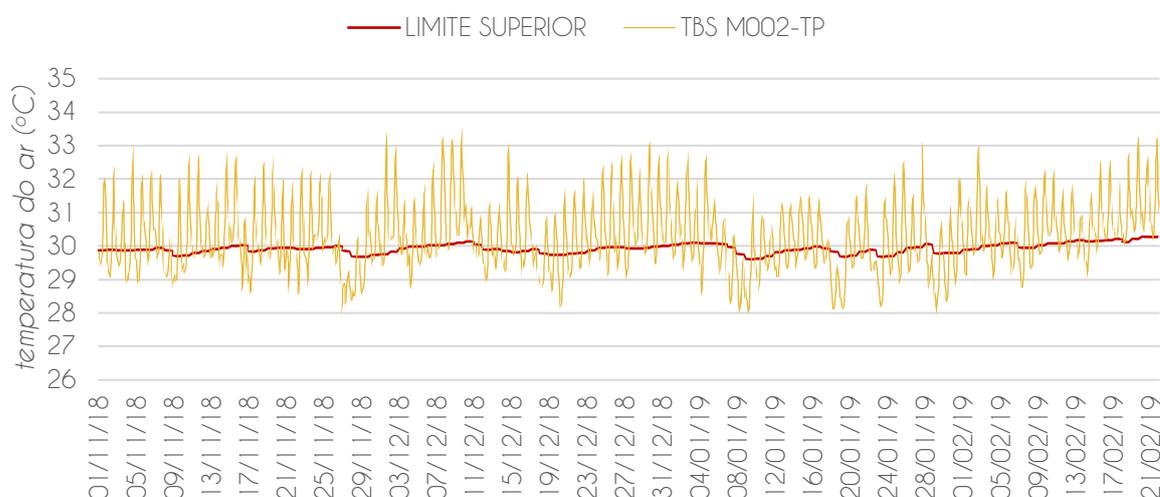


Fonte: A autora, 2019.

Do Gráfico 37 ao Gráfico 40 são expostas a variação da temperatura de bulbo seco no interior dos ambientes estudados para identificação do percentual de horas inseridas dentro e fora da zona de conforto.

O apartamento M002-TP apresentou maior quantidade de horas em desconforto dentre os 4 ambientes analisados. Neste dormitório o limite superior foi excedido em 1558 horas de um total de 2712 horas monitoradas, ou seja, 57,45% das horas, apresentando excedente de até 3,67°C (Gráfico 37).

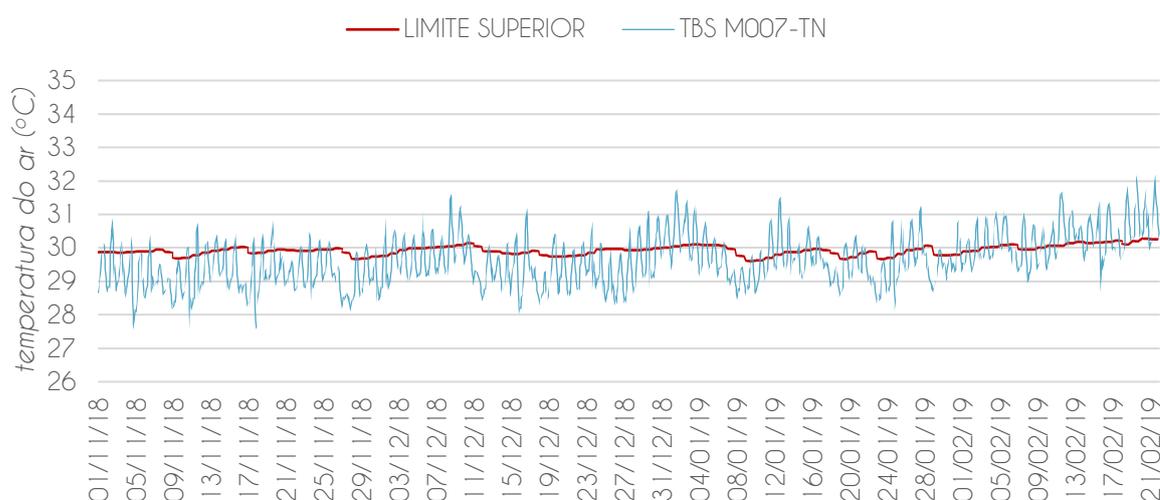
**Gráfico 37 – Zona de conforto adaptativo com destaque para TBS do dormitório do apartamento M002-TP.**



Fonte: A autora, 2019.

O apartamento M007-TN, por outro lado, apresentou a menor quantidade de horas em desconforto dentre os 4 ambientes analisados. No entanto, as temperaturas mínimas internas não apresentaram muita redução, exibindo a menor amplitude térmica quando comparado aos demais ambientes estudados. Dessa forma, neste dormitório o limite superior foi excedido em 833 horas, um total 30,72% das horas monitoradas estão fora da zona de conforto, apresentando temperatura máxima excedente de 2,03°C (Gráfico 38).

**Gráfico 38 – Zona de conforto adaptativo com destaque para TBS do dormitório do apartamento M007-TN.**

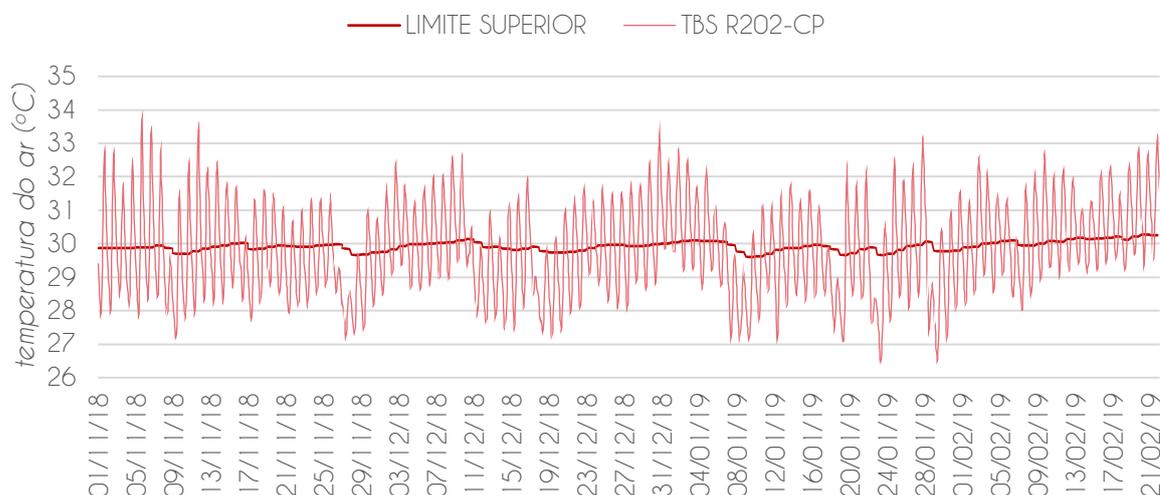


Fonte: A autora, 2019.

No apartamento R202-CP, o limite superior foi excedido em 1181 horas, ou seja, 43,55% das horas estão fora da zona de conforto (Gráfico 39). A temperatura

excedente máxima neste ambiente foi igual a 4,14°C, a maior dentre os apartamentos monitorados.

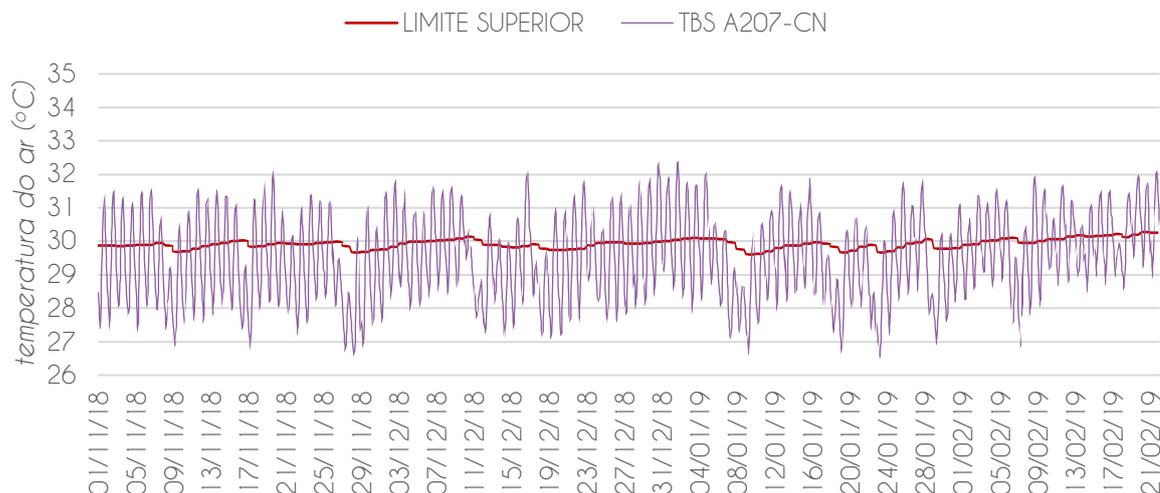
**Gráfico 39 – Zona de conforto adaptativo com destaque para TBS do dormitório do apartamento R202-CP.**



Fonte: A autora, 2019.

No apartamento A207-CN, o limite superior foi excedido em 1018 horas (37,54% das horas monitoradas), ultrapassando no máximo 2,43°C (Gráfico 40).

**Gráfico 40 – Zona de conforto adaptativo com destaque para TBS do dormitório do apartamento A207-CN.**



Fonte: A autora, 2019.

Logo, diante dos dados apresentados, a Tabela 63 sintetiza a quantidade de horas em que a temperatura interna ultrapassou o limite superior da Zona de Conforto, bem como o resultado da quantidade de graus-hora e grau médio. Dessa forma, identificou-se que o ambiente que apresentou o menor percentual de horas em desconforto no período monitorado foi o M007-TN (Gráfico 42), localizado no térreo e

voltado para o nascente, além de apresentar o menor resultado de graus-hora e grau médio, indicando que este foi o ambiente no qual houve menos horas em desconforto e os menores valores em graus excedentes dos limites da Zona de Conforto.

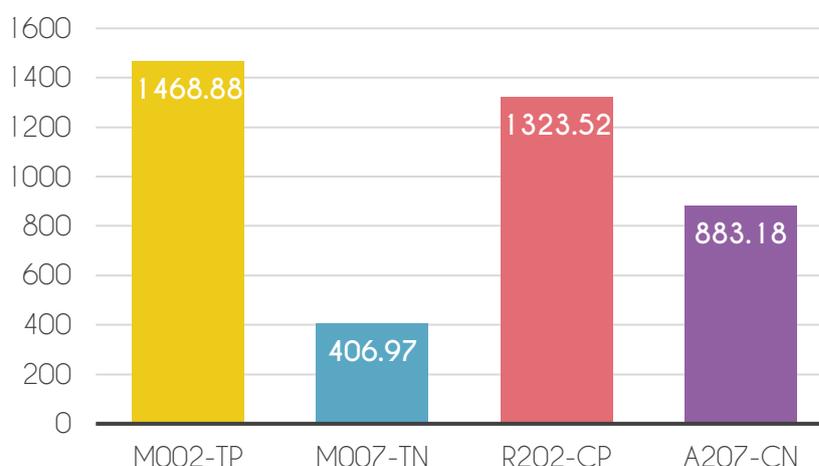
Já o ambiente M002-TP, também localizado no térreo, porém voltado para o poente o maior resultado de graus-hora (Gráfico 41), bem como o maior percentual de horas em desconforto (Gráfico 42). No entanto, o ambiente R202-CP apresentou o maior valor de grau médio (Gráfico 43), com uma diferença de 0,18°C em relação ao M002-TP, o que indica que houveram temperaturas excedentes mais elevadas, porém em uma menor quantidade horas (Gráfico 41). Estes resultados, obtidos através da análise da zona de conforto de cada ambiente, foram sintetizados na Tabela 63.

**Tabela 63 – Síntese da situação dos ambientes em relação aos limites da Zona de Conforto.**

Ambiente	Horas em conforto (horas)	Horas em desconforto (horas)	Graus-hora (°C.h)	Grau médio (°C)
<b>M002-TP</b>	<b>1154 (42,55%)</b>	<b>1558 (57,45%)</b>	<b>1468,88</b>	0,94
<b>M007-TN</b>	<b>1879 (69,28%)</b>	<b>833 (30,72%)</b>	<b>406,97</b>	<b>0,49</b>
<b>R202-CP</b>	1531 (56,45%)	1181 (43,55%)	1323,52	<b>1,12</b>
<b>A207-CN</b>	1694 (62,46%)	1018 (37,54%)	883,18	0,87

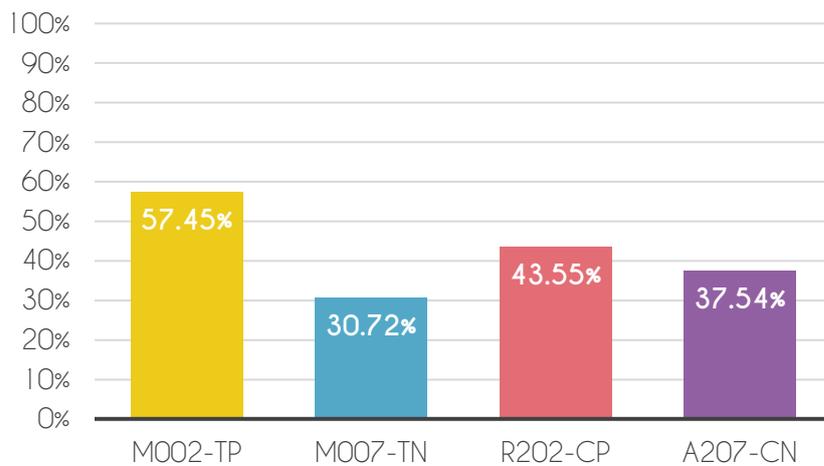
Fonte: A autora, 2019.

**Gráfico 41 – Quantidade de horas em desconforto por ambiente.**



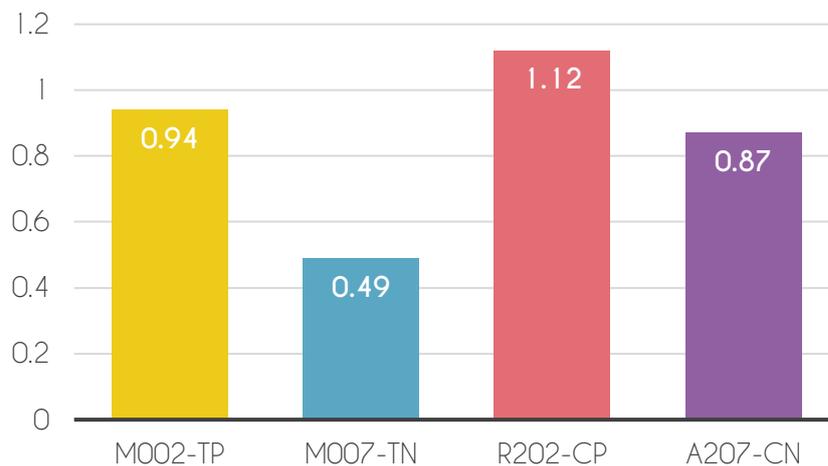
Fonte: A autora, 2019.

**Gráfico 42 – Percentual de horas em desconforto por ambiente.**



Fonte: A autora, 2019.

**Gráfico 43 – Grau médio por ambiente.**



Fonte: A autora, 2019.

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ANÁLISES DE DESEMPENHO TÉRMICO

Comparando as avaliações da NBR 15575 e do RTQ-R, ambas levam em consideração critérios de propriedades térmicas e ventilação. Com relação às propriedades térmicas, são dispostos parâmetros de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica, cujas exigências são as mesmas em ambas as metodologias de avaliação. Em ambos os casos, as paredes atenderam aos critérios estabelecidos. No entanto, a cobertura não foi considerada adequada para a ZB8.

Com relação à ventilação natural, enquanto a NBR 15575 estabelece que a área efetiva de abertura para ventilação deve ser de, no mínimo, 8% da área do piso, o RTQ-R apresenta uma exigência maior, sendo necessário, no mínimo, 10% da área do piso. Em ambas as avaliações, os ambientes não atenderam a este requisito.

O RTQ-R estabelece, ainda, como pré-requisito o percentual de iluminação natural, calculado em função da área do piso. Para tanto, a área efetiva de abertura para iluminação deve ser de, no mínimo, 12,5% da área do piso. Os ambientes também não atenderam a este requisito. Diferentemente do RTQ-R, para avaliar o desempenho lumínico de acordo com a NBR 15575, são dispostos critérios de iluminação natural que devem ser verificados por meio de medições *in loco* ou simulação, não contemplado por este trabalho.

Nos resultados das avaliações da envoltória dos ambientes pelo RTQ-R, observou-se que o melhor desempenho para a situação de verão tende a ser, como era de se esperar, em UHs com orientação favorável ao resfriamento, voltadas para o nascente, onde há incidência solar no período da manhã. Além disso as UHs térreas também apresentaram melhor desempenho em relação as UHs na cobertura. Esse comportamento poderia ser explicado em função do contato direto com o solo, posto que “as edificações perdem calor através das suas lajes de piso que estão em contato com o solo. Isso acontece porque o solo costuma ser mais frio do que o ar dos interiores” (CHING; SHAPIRO, 2017, p. 111). Além disso, essas unidades não apresentam ganho de calor pela cobertura, o que deve auxiliar na conservação de temperaturas mais amenas no interior da edificação. No entanto, estes comportamentos não foram confirmados pelas medições de temperatura, que indicou o apartamento M002-TP, no térreo, com as piores condições de temperatura.

A NBR 15575 estabelece, ainda, parâmetros de medições de temperatura, cujos resultados da avaliação são de caráter meramente informativo. Nesta avaliação para o dia típico de verão, as unidades M007-TN, R202-CP e A207-CN atenderam aos critérios, apresentando temperatura máxima interna menor que a externa. No entanto, o ambiente M002-TP apresentou temperatura máxima interna mais alta que a externa, não atendendo, portanto, aos critérios de desempenho estabelecidos para classificar o ambiente com nível Mínimo.

A Tabela 64 traz uma síntese dos resultados das avaliações para cada critério analisado.

**Tabela 64 – Síntese dos critérios avaliados pela NBR 15575 e pelo RTQ-R.**

Ambiente	Cobertura	Paredes	Aberturas para ventilação	Aberturas para iluminação	Temperatura no dia típico de verão
NBR 15575	X	✓	X		✓ M007/R202/ A207 X M002
RTQ-R	X	✓	X	X	

x Não atendeu aos critérios estabelecidos pela norma  
 ✓ Atendeu aos critérios estabelecidos pela norma

Fonte: A autora, 2019.

Dessa forma, percebe-se que o ambiente R202-CP, voltado para o poente, embora não tenha atendido aos requisitos de propriedades térmicas da cobertura, apresentou um resultado melhor que o ambiente M002-TP, também voltado para o poente, mas localizado no térreo.

Essa diferença ficou ainda mais evidente nas análises das medições de temperatura do ar e da Zona de Conforto. Durante todo o período de medição, o ambiente M002-TP apresentou desconforto por calor em 57,45% das horas, que consiste em quase 14% a mais que o ambiente R202-CP, apresentando temperaturas mais altas e menor amortecimento térmico.

Ou seja, tanto a avaliação simplificada da NBR 15575, quanto o método prescritivo do RTQ-R, embora coerentes entre si, apresentaram divergências quando comparados às avaliações de conforto com base em dados reais de temperatura, umidade e velocidade do ar. Uma questão que contribui para esse resultado é o fato

de ambas as avaliações desconsiderarem as condições de uso dos ambientes. O M002-TP é o único ambiente, dentre os estudados, que permanece com as janelas abertas a maior parte do tempo, sem proteção contra incidência solar (como cortina, presente nos demais ambientes) e, por ser voltado para o poente, apresenta um maior ganho de calor pelas paredes e abertura. Ao compará-lo com o apartamento R202-CP, apresenta uma área menor para perda de calor, já que este último tem contato com o ambiente externo também pela cobertura.

Quanto à ventilação natural, as medições de temperatura efetiva evidenciaram o efeito da umidade do ar e da velocidade do ar na sensação térmica do usuário. Dessa forma, os ambientes voltados para a nascente, que apresentam um melhor aproveitamento da ventilação natural, exibiram um maior potencial de redução na temperatura efetiva que os ambientes voltados para poente.

Vale ressaltar que ambas referências técnicas (NBR 15575 e RTQ-R) apontam requisitos de ventilação natural iguais para todos os ambientes, independente da orientação solar. No caso do RTQ-R, é levada em consideração a orientação das aberturas para a classificação do nível de eficiência energética do ambiente, um avanço em relação à NBR 15575. No entanto, embora os requisitos das normas sejam diferentes entre si, ambos são insuficientes para garantir um bom aproveitamento da ventilação natural, posto que diversos aspectos interferem nesta questão, como: tamanho das aberturas, direção dos ventos, velocidade de incidência e tipologia das esquadrias.

Diante do exposto, ficam evidentes as divergências existentes nos resultados das diferentes formas de avaliação, além da fragilidade na avaliação de alguns critérios como, por exemplo, a temperatura no dia típico de verão (NBR 15575) e a ventilação natural (NBR 15575 e RTQ-R), no que diz respeito à garantia do conforto térmico do usuário.

## 5 CONCLUSÕES

---

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de habitação de interesse social multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida, localizada na cidade de Maceió/AL, de acordo com os parâmetros estabelecidos em normativas e confrontando os resultados com a situação real dos ambientes, a partir do monitoramento da temperatura, umidade e velocidade do ar.

Nos estudos de caso apresentados ficou evidente a influência da orientação e do pavimento onde se situava a UH e das condições de uso do ambiente nos resultados das avaliações. Com relação à orientação, as unidades voltadas para o nascente registraram o menor percentual de horas em desconforto por calor, além do total de graus-hora mais baixo. Este resultado foi refletido na avaliação do RTQ-R, pois embora as UHs não tenham atingido um nível bom de eficiência energética, apresentaram os melhores resultados dentre as unidades analisadas. As unidades voltadas para oeste, por outro lado, apresentaram as maiores temperaturas e percentuais de horas em desconforto por calor, bem como os maiores totais de graus-hora no período de monitoramento.

Com relação ao pavimento, a unidade voltada para o nascente e localizada no térreo apresentou as menores temperaturas e o menor percentual de horas em desconforto por calor. Nessa unidade, diferente da cobertura, o ambiente possui apenas as paredes expostas à insolação, enquanto o piso mantém-se em contato com o solo, apresentando menores ganhos de calor. Nas unidades voltadas para o poente foram identificados comportamentos diferentes devido ao padrão de uso de cada unidade: no térreo foram identificadas as maiores temperaturas e maior percentual de horas em desconforto por calor, pois, diferentemente das demais unidades, este foi o único ambiente no qual as janelas permaneciam abertas a maior parte do tempo, sem a proteção de cortinas, resultando em maiores ganhos de calor devido à insolação direta no interior do ambiente e menor área para perda de calor que a cobertura.

Na edificação em estudo, destaca-se a inadequação das propriedades térmicas da cobertura em relação às recomendações das normas. Foram identificados, também, problemas relacionados ao dimensionamento das aberturas para ventilação e iluminação nos ambientes analisados, aliado à ausência de sombreamento destas aberturas.

Na análise da envoltória seguindo os parâmetros e diretrizes do RTQ-R, os ambientes atingiram entre nível “C” e nível “E”. No método simplificado da NBR 15575, as paredes dos ambientes foram classificadas como nível “Mínimo”, enquanto os demais critérios não foram atendidos.

Os resultados das avaliações de desempenho térmico, pelo método simplificado da NBR 15575, e de eficiência energética, pelo método prescritivo do RTQ-R, podem não refletir o nível de conforto dos usuários, posto que ambas desconsideram particularidades de uso dos ambientes em suas avaliações. Salienta-se que as avaliações, em ambas as normas, apresentaram mesmo nível classificatório para edificações com diferentes percentuais de horas em desconforto, à exemplo das unidades voltadas para o nascente: M007-TN e A207-CN, que apresentaram 30,72% e 37,54% de horas em desconforto, respectivamente. Além disso, também foram apresentadas divergências nas avaliações do RTQ-R das unidades voltadas para o poente: a unidade M002-TP no térreo, com 57,45% de horas em desconforto, alcançou nível “D”, enquanto a unidade R202-CP na cobertura, com 43,55% das horas em desconforto, alcançou nível “E”. Portanto, as medições de temperatura apontaram para M002-TP como a unidade com maior percentual de horas em desconforto, apresentando uma diferença de quase 14% quando comparada à unidade R202-CP.

Com relação à ventilação, ambas as normas definem percentuais de abertura para ventilação em função da área do piso, no entanto a NBR 15575 demonstra critérios mais brandos que o RTQ-R para esse parâmetro. Mesmo diante de diferentes exigências, os requisitos de ventilação natural, que estabelecem um percentual mínimo de abertura para ventilação de 8% da área do piso, não foram atendidos em nenhuma das unidades habitacionais. Vale ressaltar que a NBR 15575 desconsidera totalmente a orientação das aberturas na sua avaliação, aspecto crucial no desempenho térmico de edificações localizadas em clima quente e úmido, como é o caso da cidade de Maceió. O RTQ-R, por outro lado, embora também desconsidere a

orientação das aberturas como pré-requisito, esta condição é levada em consideração no preenchimento da planilha da envoltória, posto que são indicadas áreas de paredes e aberturas de acordo com a orientação, interferindo diretamente no nível de eficiência energética dos ambientes, assim como a orientação das paredes.

Diante do exposto, destaca-se a importância de um estudo prévio das condições climáticas locais ainda na etapa de projeto para promover o conforto térmico do usuário, buscando formas de implantação e configuração espacial da edificação que priorizem o bom aproveitamento da ventilação natural e a proteção contra a incidência solar direta.

## **5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO**

Diante da diversidade de situações nas quais um mesmo ambiente pode ser analisado do ponto de vista térmico, a pesquisa apresentou limitações de ordem espacial e temporal. Dessa forma, os resultados obtidos neste trabalho referem-se a ambientes com características físicas idênticas aos objetos de estudo, levando-se em consideração aspectos como: posicionamento e dimensões das aberturas, materiais construtivos, arranjo espacial, dimensionamento e orientação. Os resultados também se referem à cidade de Maceió em determinada época do ano, que corresponde ao período de monitoramento. Portanto, os resultados aqui apresentados não podem ser generalizados para outras edificações localizadas na cidade de Maceió ao longo das diferentes épocas do ano.

## **5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Ao longo da realização deste trabalho foram destacados desdobramentos relacionados ao tema que poderiam ser investigados em trabalhos futuros, tais como:

- Simulações computacionais das unidades habitacionais analisadas neste trabalho, possibilitando a comparação do desempenho térmico de diferentes configurações construtivas;
- Avaliação do desempenho térmico, com base nos critérios e parâmetros adotados neste trabalho, para diferentes climas, tipologias de edificações, materiais construtivos e orientações de implantação;

- Monitoramento *in loco* de outras unidades habitacionais localizadas nos empreendimentos em estudo, para comparação da avaliação do desempenho térmico e conforto térmico dos usuários;
- Análises baseadas nas sensações térmicas dos usuários das unidades habitacionais em estudo, possibilitando a verificação da adequação das avaliações em relação à percepção do usuário.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ABNT. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações – métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ABNT. **NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. p. 7, 2008.

ABNT. **NBR 15575: Edificações Habitacionais -Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AFLAKI, A.; MAHYUDDIN, N.; BAHARUM, M. R. The influence of single-sided ventilation towards the indoor thermal performance of high-rise residential building: a field study. **Energy and Buildings**, v. 126, p. 146–158, 2016.

ALENCAR, A. P. A. DE. **A expressão das desigualdades urbanas: análise espacial da distribuição da infra-estrutura na cidade de Maceió-Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

ÁLVARES, S. M. **Desempenho térmico de habitações do PMCMV em paredes de concreto: estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2018.

ARANTES, P. F.; FIX, M. Como o governo Lula pretende resolver o problema da habitação. **Correio da Cidadania**, v. 30, p. 1–25, 2009.

ASHRAE. **ANSI/ASHRAE 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2017.

BARBOSA, K. H. **Avaliação da influência da orientação solar, associada ao comportamento do usuário, no desempenho térmico de uma residência unifamiliar em Goiânia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. Análise do comportamento térmico de diferentes arranjos urbanos na cidade de Maceió (AL) em escala de abordagem microclimática. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, p. 4, 2009.

BARON, M. C. P. A produção de habitação e os conjuntos habitacionais dos Institutos de Aposentadorias e Pensões - IAPs. **Tópos**, v. 5, n. 2, p. 102–127, 2011.

BATISTA, J. O. et al. Desempenho térmico de habitação multifamiliar do programa minha casa minha vida em Maceió – AL. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, n. 1, p. 409–418, 2013.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à Ventilação Natural**. 3. ed. Maceió: EDUFAL, 2008.

BOLAFFI, G. Habitação e urbanismo: o problema e o falso problema. **Revistas USP**, p. 37–70, 1982.

BONATES, M. F. **Ideologia da casa própria... sem casa própria: o Programa de Arrendamento Residencial na cidade de João Pessoa-PB**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

BONDUKI, N. **Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria**. 4. ed. São Paulo: Estação Liberdade, 2004.

BONDUKI, N. Do Projeto Moradia ao programa Minha Casa, Minha Vida. **Teoria e Debate**, p. 8–14, 2009.

BONDUKI, N. G. Origens da habitação social no Brasil. **Análise Social**, v. 29, n. 3, p. 711–732, 1994.

BRASIL. **Decreto-lei Nº 2.291, de 21 de novembro de 1986**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del2291.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del2291.htm)>. Acesso em: 28 ago. 2018.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LEIS\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm)>. Acesso em: 14 set. 2018a.

BRASIL. **Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Decreto/2001/D4059.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto/2001/D4059.htm)>. Acesso em: 16 set. 2018b.

BRASIL. **Lei nº 11.977, de 07 de julho de 2009**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/L11977compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/L11977compilado.htm)>. Acesso em: 30 jul. 2018.

BRASIL. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2011a.

BRASIL. **Lei nº 12.424, de 16 de junho de 2011**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/lei/l12424.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12424.htm)>. Acesso em: 30 jul. 2018b.

BRASIL. **Decreto nº 7.795, de 24 de agosto de 2012**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7795.htm)>. Acesso em: 30 jul. 2018a.

BRASIL. **Programa Minha Casa, Minha Vida já entregou 934 mil moradias**.

Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/infraestrutura/2012/11/programa-minha-casa-minha-vida-ja-entregou-934-mil-moradias>>. Acesso em: 30 jul. 2018b.

BRASIL. **Base de dados PMCMV**. Brasília: Ministério das Cidades, 2012c.

BRASIL. **Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

CARDOSO, J. C. M. **Estratégias visando eficiência energética e conforto térmico incorporados aos projetos de edificações residenciais em Maringá-PR**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CARLOS, A. F. “Novas” contradições do espaço. In: **O espaço no fim do século: a nova raridade**. São Paulo: Contextos, 2001. p. 62–74.

CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. 2. ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CEF. **Cartilha do Programa Minha Casa Minha Vida - Fase 1**. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/assuntos/investimento-e-pac/publicacoes-nacionais/cartilha-minha-casa-minha-vida.pdf/view>>. Acesso em: 1 out. 2018.

CEF. **Cartilha do Programa Minha Casa Minha Vida - Fase 2**. Disponível em: <[https://teiasocial.mpf.gov.br/images/5/5c/Cartilha\\_-\\_Minha\\_casa,\\_Minha\\_vida.pdf](https://teiasocial.mpf.gov.br/images/5/5c/Cartilha_-_Minha_casa,_Minha_vida.pdf)>. Acesso em: 1 out. 2018.

CEF. **Empreendimentos contratados**. Disponível em: <[http://www.caixa.gov.br/Downloads/habitacao-minha-casa-minha-vida/Empreendimentos\\_Contratados\\_PJ\\_31122014.pdf](http://www.caixa.gov.br/Downloads/habitacao-minha-casa-minha-vida/Empreendimentos_Contratados_PJ_31122014.pdf)>. Acesso em: 7 ago. 2018.

CEF. **Minha Casa Minha Vida - Habitação Urbana**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/minha-casa-minha-vida/urbana/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 1 out. 2018.

CHING, F. D. K.; SHAPIRO, I. M. **Edificações sustentáveis ilustradas**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017.

COMIRAN, S. **Desempenho térmico em hospitais: estudo de caso na área de internação do hospital universitário de Santa Maria/RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

COSTA, V. R. **Corredores de atividades múltiplas: uma nova definição para os espaços terciários**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

DANTAS, C. M. **Avaliação térmica de habitações unifamiliares do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas acrílica e PVA**. Tese (Doutorado em

- Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- DUMONT, T. V. R. Segregação socio espacial e a recente política urbana e habitacional nas cidades brasileiras. **Revista do Laboratório de Estudos da Violência da UNESP/Marília**, n. 13, p. 129–145, 2014.
- FERREIRA, J. S. W. A cidade para poucos: breve história da propriedade urbana no Brasil. **Anais do Simpósio “Interfaces das representações urbanas em tempos de globalização”**, p. 1–20, 2005.
- FERREIRA, J. S. W. **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano**. 1. ed. São Paulo: FUPAM, 2012.
- FIX, M. DE A. B. **Financeirização e transformações recentes no circuito imobiliário no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- FJP. **Déficit habitacional municipal no Brasil 2010**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2013.
- FOLZ, R. R. **Mobiliário na habitação popular**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2002.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- GELLER, H. et al. The efficient use of electricity in Brazil: progress and opportunities. **Energy Policy**, v. 26, n. 11, p. 859–872, 1998.
- GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992.
- GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- HARVEY, D. Alternativas ao neoliberalismo e o direito à cidade. **Novos Cadernos NAEA**, v. 12, n. 2, p. 269–274, 2009.
- HARVEY, D. O direito à cidade. **Revista Piauí**, p. 38–43, 2013.
- HOLZ, S.; MONTEIRO, T. V. DE A. Política de habitação social e o direito à moradia no Brasil. **Anais do X Colóquio Internacional de Geocrítica**, p. 1–12, 2008.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 7 set. 2018a.
- IBGE. **Sinopse do Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6>>. Acesso em: 8 set. 2018b.
- INMET. **Normais climatológicas do Brasil 1981-2010**. Brasília: INMET, 2018.
- INMET. **Estação meteorológica de observação de superfície automática**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>.

Acesso em: 22 fev. 2019.

INMETRO. **Anexo da Portaria n. 372/2010 Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. INMETRO, 2010.

INMETRO. **Anexo da Portaria n. 018/2012: Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. INMETRO, 2012a.

INMETRO. **Manual para aplicação do RTQ-R**. Disponível em: <[http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/download/s/manualv02\\_1.pdf](http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/download/s/manualv02_1.pdf)>. Acesso em: 27 ago. 2018b.

INMETRO. Anexo Geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros. p. 28, 2013.

JANDA, K. B.; BUSCH, J. F. Worldwide status of energy standards for buildings. **Energy**, v. 19, n. 1, p. 27–44, 1994.

KLINTOWITZ, D. C. Como as políticas habitacionais se inserem nos contextos de reforma do estado? A experiência recente do Brasil. **Revista Pensamento & Realidade**, v. 26, p. 101–120, 2011.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Manual of Tropical Housing and Building**. 5. ed. New York: Longman, 1980.

LABEEE. **Desempenho térmico de edificações**. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161\\_v2016.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; VECCHI, R. DE. **Apostila de conforto e stress térmico**. Santa Catarina: LABEEE, 2016.

LIMA, T. **Análise de desempenho térmico de edificações habitacionais: desenvolvimento de interface BIM para avaliações automatizadas segundo as normas ABNT NBR 15575 e ABNT NBR 15220**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

LOPES, A. DA C.; JUNQUEIRA, E. **Habitação de interesse social em Maceió**. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 2005.

LOURA, R. M.; ASSIS, E. S. DE; BASTOS, L. E. G. Análise comparativa entre resultados de desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por diferentes normas brasileiras. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2011.

MACEIÓ. **Lei municipal nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007**. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/plano-diretor/>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

MAGALHÃES, G. R. C. Planejando habitação social no Brasil: “Em que pé estamos?”

**Revista de Direito da Cidade**, v. 1, n. 2, p. 35–51, 2006.

MAIA, R. G. X. **Padrões de escoamento do vento na região metropolitana de Maceió**. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

MARICATO, E. Urbanismo na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, n. 4, p. 21–33, 2000.

MARICATO, E. **O “Minha Casa” é um avanço, mas segregação urbana fica intocada**. Disponível em: <<https://www.cartamaior.com.br/?/Editoria/Politica/O-Minha-Casa-e-um-avanco-mas-segregacao-urbana-fica-intocada/4/15160>>. Acesso em: 30 jul. 2018a.

MARICATO, E. É preciso repensar o modelo. **PINI: Arquitetura e Urbanismo**, n. 186, 2009b.

MARQUES, A. M. **Desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social: estudo de casos em Imbituba – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MELO, T. S. **Por que comprar uma casa nova? Contradições entre as necessidades habitacionais dos mais pobres e a implementação do Programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió, Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

MENDES, N. et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, n. January, p. 47–68, 2005.

MONTE-MÓR, R. L. Outras fronteiras: novas especialidades na urbanização brasileira. In: **Urbanização brasileira, redescobertas**. Belo Horizonte: C/ARTE, 2003. p. 260–271.

MORAIS, J. C.; LABAKI, L. C. NBR 15220-3: uma reflexão sobre os parâmetros de projeto para ventilação natural. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, n. 1, 2015.

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

MORONI, A. L. **Multifamiliar Em Alvenaria Estrutural Na**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

NASCIMENTO, T. C. C. **Avaliação da NBR 15575 quanto ao desempenho térmico e luminoso: estudo de caso em Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

NOAL, E. B.; JANCZURA, R. A política nacional de habitação e a oferta de moradias. **Textos & Contextos (Porto Alegre)**, v. 10, n. 1, p. 157–169, 2011.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos**. Barcelona: G. Gili, 1998.

ONSET. **HOBO® Temp/RH 3.5% Data Logger (UX100-003) Manual**. Disponível em: <[https://www.onsetcomp.com/files/manual\\_pdfs/16209-H UX100-003 Manual.pdf](https://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/16209-H UX100-003 Manual.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2018a.

ONSET. **HOBOWare Free**. Disponível em: <<https://www.onsetcomp.com/hoboware-free-download>>. Acesso em: 18 ago. 2018b.

PBE EDIFICA. **Planilha de análise da envoltória e dos pré-requisitos dos ambientes**. Disponível em: <[http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/2017-06-27-Planilha\\_uh\\_completa.xlsm](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/2017-06-27-Planilha_uh_completa.xlsm)>. Acesso em: 3 set. 2018.

PBE EDIFICA. **Sobre PBE Edifica**. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sobre>>. Acesso em: 16 set. 2018.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. A influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2009.

PINTAUDI, S. M. A cidade e a crise. In: **O espaço no fim do século: a nova raridade**. São Paulo: Contexto, 2001. p. 132–136.

PROCEL. **Sobre o Procel: edificações**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04%7D>>. Acesso em: 14 set. 2018.

PROCEL; ELETROBRÁS. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso. Ano base 2005. Classe residencial - Relatório Brasil**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2007.

PROCEL; ELETROBRÁS. **Resultados PROCEL: Ano base 2014**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2015.

ROLNIK, R. Moradia é mais que um objeto físico de quatro paredes. **Revista eletrônica e-metropolis**, v. 5, p. 37–42, 2011.

ROLNIK, R. **Moradia popular no lixo: imagens de um Brasil que precisamos encarar**. Disponível em: <<https://raquelrolnik.wordpress.com/2012/04/12/moradia-popular-no-lixo-imagens-de-um-brasil-que-precisamos-encarar/>>. Acesso em: 9 set. 2018.

ROLNIK, R. et al. O Programa Minha Casa Minha Vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. **Cadernos Metrópole**, v. 17, n. 33, p. 127–154, 2015.

ROLNIK, R. **Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças**. São Paulo: Boitempo, 2015.

RORIZ, M. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. **ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. Cd, p. 2 p, 2012.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uma proposta de norma técnica brasileira

sobre desempenho térmico de habitações populares. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 1999.

RUBIN, G. R.; BOLFE, S. A. O desenvolvimento da habitação social no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p. 201–213, 2014.

SÁ, V. R. C. “**Comércio? Não, não tem! Mas sempre aparece.**” Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Editora Hucitec, 1993.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 215–230, 2014.

SILVA, A. E. DA; GOMES, E. T. A. Habitação popular e os processos de periferização e segregação socioespacial: uma análise sobre o Programa Minha Casa (FAIXA 1). **Revista Rural & Urbano**, v. 01, n. 01, p. 151–158, 2016.

SILVEIRA, R.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Avaliação da absorvância à radiação solar e temperatura superficial de telhas de fibrocimento utilizadas nas coberturas de edificações do campus da UFSC. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, p. 1166–1170, 2012.

SOARES, I. O. et al. Interesses especulativos, atuação do Estado e direito à cidade: o caso do programa “Minha Casa Minha Vida” em Uberaba (MG). **Revista Brasileira de gestão urbana**, v. 5, n. 1, p. 119–131, 2013.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 12, p. 13–21, 2014.

TAGLIETTI, D. B. A natureza social e econômica da lei de terras de 1850. **Revista de ciências humanas**, v. 6, n. 7, 2005.

TRIANA, M. A. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse cosial considerando mudanças climáticas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

UFV. **AgaisPsicro**. Disponível em: <[http://agais.com/?pg=toolbox/spreadsheet\\_psicrometria](http://agais.com/?pg=toolbox/spreadsheet_psicrometria)>. Acesso em: 10 mar. 2019.

## APÊNDICE A – Lista de empreendimentos Faixa 1

**Tabela 65 – Localização e quantidade UHs dos empreendimentos Faixa 1 do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL.**

Bairro	Nome	UH	Percentual
Benedito Bentes	Residencial Morada do Planalto	1200	55,74%
	Residencial Parque dos Caetes	2976	
	Residencial José Aprígio Vilela - Módulo A	862	
	Residencial José Aprígio Vilela - Módulo B	346	
	Residencial José Aprígio Vilela - Módulo C	715	
	Dandara I	195	
	Dandara II	304	
Rio Novo	Residencial Vale do Tocantins	300	7,60%
	Residencial Vale do Amazonas	300	
	Residencial Vale do São Francisco	300	
Cidade Universitária	Residencial Maceió I	3900	32,94%
Ouro Preto	Conjunto Residencial Ouro Preto	240	2,03%
Riacho Doce	Residencial Sonho de Antonio Duarte	200	1,69%
<b>TOTAL</b>		<b>11.838</b>	<b>100%</b>

Fonte: Caixa Econômica Federal (CEF, 2015) e Sá (2018), adaptado pela autora.

## APÊNDICE B - Lista de empreendimentos Faixa 2

**Tabela 66 – Localização e quantidade UHs dos empreendimentos Faixa 2 do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL.**

Bairro	Nome	UH	Percentual
Benedito Bentes	Condomínio Recanto dos Pássaros	488	32,84%
	Condomínio Recanto das Cores	498	
	Condomínio Recanto das Estrelas	488	
	Condomínio Recanto das Orquídeas	414	
	Condomínio Recanto dos Contos	457	
	Condomínio Recanto dos Sonhos	488	
	Condomínio Residencial Village das Artes	480	
	Condomínio Residencial Village da Alvorada	432	
	Condomínio Residencial Village das Fontes	432	
	Condomínio Residencial Village das Flores	480	
	Cely Loureiro II	295	
	Bosque Dos Flamboiães - Módulo I	192	
	Bosque Das Palmeiras - Módulo I	320	
	Cidade Universitária	Jardim Royal	
Jardim Royal II - Módulo I		417	
Jardim Royal II - Módulo II		417	
Jardim Royal II - Módulo III		417	
Jardim Royal II - Módulo IV		417	
Residencial Novo Jardim - Módulo I		527	
Residencial Novo Jardim - Módulo II		526	
Residencial Novo Jardim - Módulo III		526	
Residencial Novo Jardim - Módulo IV		526	
Residencial Novo Jardim - Módulo V		377	
Residencial Jardim Tropical		600	
Antares	Residencial Pátio - Módulo I	128	5,40%
	Condomínio Residencial Alvorada	70	
	Residencial Maragogi: Parque das Galés	350	
	Residencial Maragogi: Parque Paraíso das Águas*	350	
Serraria	Parque das Palmeiras	180	5,39%
	Ilhas Vivence Condomínio	252	
	Sierra Park I Condomínio Club	432	
	Edifício Verde Vida	32	
Farol	Edifício Nogueira de Ramuin	28	1,31%
	Residencial Dilma Paiva	160	
	Residencial Marques de Herval	30	

<b>Bairro</b>	<b>Nome</b>	<b>UH</b>	<b>Percentual</b>
Petrópolis	Residencial Parque Petrópolis I	28	10,87%
	Residencial Parque Petrópolis II	160	
	Residencial Parque Petrópolis III	30	
São Jorge	Residencial Vista do Atlântico	280	2,76%
	Residencial Alto da Boa Vista	180	
Feitosa	Residencial Jardim Feitosa	160	0,96%
Jacintinho	Condomínio Residencial Miramar	14	0,08%
Poço	Edifício Residencial Solaris	120	0,72%
Santa Amélia	Condomínio Mirante da Lagoa	360	2,16%
Santa Lúcia	Jardim Brasileto	192	1,15%
Tabuleiro dos Martins	Condomínio Residencial Cidade Jardim	504	3,03%
Sem Informação	Residencial Pátio Alvorada	50	2,02%
	Residencial Vila do Sol	8	
	Edifício Maranello	14	
	Residencial Mandacaru	260	
	Jardins Ville	4	
<b>TOTAL</b>		<b>16.638</b>	<b>100%</b>

Fonte: Caixa Econômica Federal (CEF, 2015) e Sá (2018), adaptado pela autora.

## APÊNDICE C – Lista de empreendimentos Faixa 3

**Tabela 67 – Localização e quantidade UHs dos empreendimentos Faixa 2 do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Maceió/AL.**

Bairro	Nome	UH	Percentual
Antares	Residencial Porto Seguro	180	26,39%
	Residencial Porto Alegre	180	
	Residencial Parque Maceió	248	
Serraria	Residencial Vale Verde I	180	20,75%
	Residencial Vale Verde II	170	
	Le Parc Residencial - Modulo II	128	
Tabuleiro dos Martins	Residencial Allegro - Módulo I	144	12,5%
	Residencial Allegro - Módulo II	144	
Barro Duro	Residencial Catolé	32	1,39%
Cidade Universitária	Park Shopping Residencial I	528	22,92%
Jatiúca	Edifício Vila do Conde	72	3,13%
Pajuçara	Edifício Galés Da Pajuçara	30	1,30%
Santa Amélia	Residencial Vivenda do Alto	268	11,63%
<b>TOTAL</b>		<b>2.304</b>	<b>100%</b>

Fonte: Caixa Econômica Federal (CEF, 2015) e Sá (2018), adaptado pela autora.

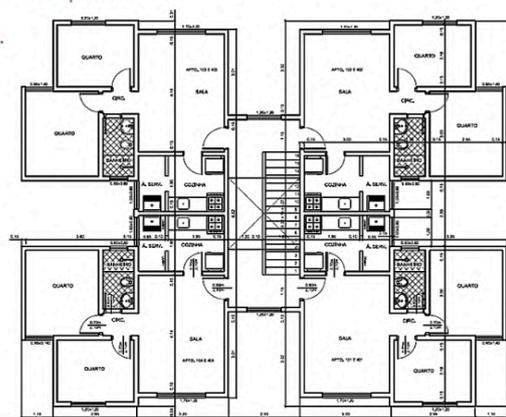
## APÊNDICE D – Exigências projetuais do PMCMV

O Programa Minha Casa Minha Vida não dispõe de uma lista de exigências para a concepção dos projetos residenciais. Na cartilha do programa (CEF, 2009) são disponibilizados dois projetos padrões para a Faixa 1, sendo um unifamiliar e um multifamiliar, com suas respectivas especificações (Figura 47). Não são especificadas dimensões mínimas de ambientes, necessidade e área mínima de abertura para ventilação e iluminação, no entanto, atualmente, os projetos devem atender às normas de acessibilidade (ABNT, 2015) e desempenho (ABNT, 2013).

**Figura 47:** Especificações de projeto para a tipologia de edificações multifamiliares do PMCMV.

### ESPECIFICAÇÃO DA TIPOLOGIA 2 (APARTAMENTO COM 42 m<sup>2</sup>)

- Compartimentos: sala, cozinha, área de serviço, banheiro, 2 dormitórios.
- Prédio: 4 pavimentos, 16 apartamentos por bloco – opção: até 5 pavimentos e 20 apartamentos.
- Área da unidade: 42m<sup>2</sup>.
- Área interna: 37 m<sup>2</sup>.
- Piso: cerâmico na cozinha e banheiro, cimentado no restante.
- Revestimento de alvenarias: azulejo 1,50m nas paredes hidráulicas e box. Reboco interno e externo com pintura PVA no restante.
- Forro: laje de concreto.
- Cobertura: telha fibrocimento.
- Esquadrias: janelas de ferro ou alumínio e portas de madeira.
- Dimensões dos compartimentos: compatível com mobiliário mínimo.
- Pé-direito: 2,20m na cozinha e banheiro, 2,40m no restante.
- Instalações hidráulicas: número de pontos definido, medição independente.
- Instalações elétricas: número de pontos definido, especificação mínima de materiais.
- Aquecimento solar/térmico: instalação de kit completo.
- Passeio: 0,50m no perímetro da construção.



Exemplo da tipologia 2 – Apartamento

Fonte: Cartilha do PMCMV (CEF, 2009).

## APÊNDICE E – Questionário aplicado aos usuários



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
DINÂMICA DO ESPAÇO HABITADO (DEHA)

### QUESTIONÁRIO PARA USUÁRIOS DAS EDIFICAÇÕES MONITORADAS

**Nome:**

**Data:**

**Condomínio:**

**Bloco/Apartamento:**

1. Quantas pessoas residem no apartamento?
2. Quais os horários de permanência de cada um no apartamento?
3. Quantas pessoas dormem no ambiente monitorado?
4. Quais os dias/horários de maior permanência no ambiente monitorado?
5. Há locais mais ou menos confortáveis no apartamento? Quais são? Por que o consideram assim?
6. Há períodos mais ou menos confortáveis ao longo do dia e do ano no apartamento? Quais são?
7. Qual a sensação térmica que mais os incomoda: calor ou frio?
8. Fale um pouco sobre as sensações de conforto ou desconforto térmico no ambiente monitorado.
9. Costumam abrir as janelas do ambiente monitorado? Em quais períodos?
10. Costumam deixar a porta do ambiente monitorado aberta? Em quais períodos?
11. Quais as ações tomadas para minimizar o desconforto térmico? (Ex.: trocar de roupa, trocar de ambiente, abrir janelas/portas, ligar ventilador/ar condicionado, etc.)
12. Vocês consideram que o ambiente em estudo tem boas condições de ventilação e iluminação? Destaque alguns aspectos.
13. Quais as atividades desempenhadas no ambiente em estudo? (Ex.: dormir, estudar, trabalhar, assistir TV, etc.)

## APÊNDICE F – Ocorrência de chuvas

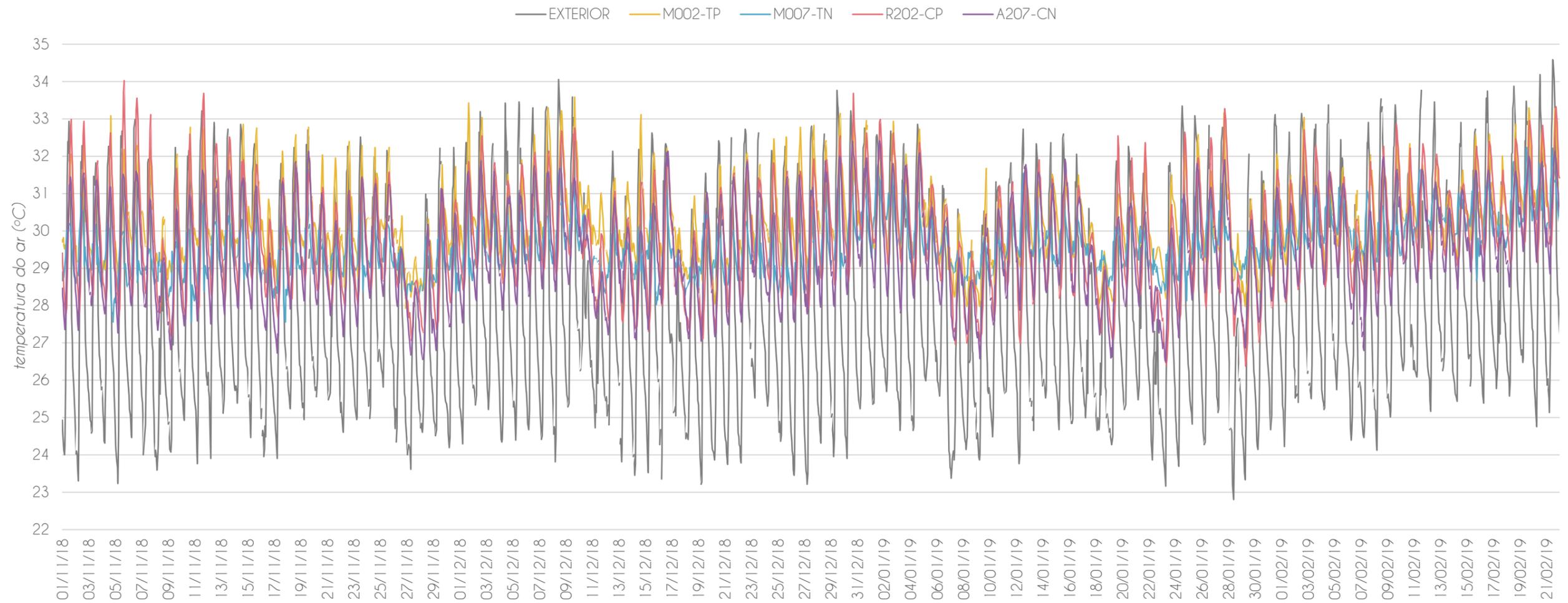
**Tabela 68 – Ocorrência de Chuvas em dias com temperatura máxima abaixo de 30°C.**

Hora	Chuva (mm)									
	08/11/18	26/11/18	27/11/18	11/12/18	17/12/18	08/01/19	18/01/19	22/01/19	28/01/19	
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
01:00	0.2	0	0	0.2	0	0	0.2	0	0	
02:00	0.2	0	0	0	0	0	4.2	0	0	
03:00	0	0	2.4	0	0	0	0.2	0	0.4	
04:00	0	0	1.4	0	0.2	0	2.6	0	0.2	
05:00	0.8	0	0.4	0	0	0	2.8	0	15.4	
06:00	3.2	1.4	0	0	13.8	0	1	0	5	
07:00	0.2	0	0	0	0	0	0.2	0	2	
08:00	0	2.6	3.4	1.4	0.2	0	0.4	0	2	
09:00	0	0	0.4	0	0.2	1.6	0.4	0	0.4	
10:00	0	0	1.6	3.8	5.8	0	0.2	0	7.2	
11:00	0.4	0.6	0	0	2.4	0.8	0	0.8	8.6	
12:00	1.4	0	0	0	0.2	0	3.8	0	0.4	
13:00	2.6	0	0.2	1.8	0	0.8	2.6	0.6	0	
14:00	0	0	0	1	0	1	0	6.2	0	
15:00	0	0	0	0.2	0	16	0	0.2	2	
16:00	0	0	0	0	0	2.8	0	9	0	
17:00	0	0	0	0	3.6	0	0	2	0.2	
18:00	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	
19:00	0	0	0	0	0	5.2	0	0	0	
20:00	0	0	0	0	0	0	0.8	0.4	0	
21:00	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0	
22:00	0	0	0	0	0	0	0.8	0.2	0.2	
23:00	0	0	0	0	0	0	0.6	4	0	

Fonte: INMET (2019).

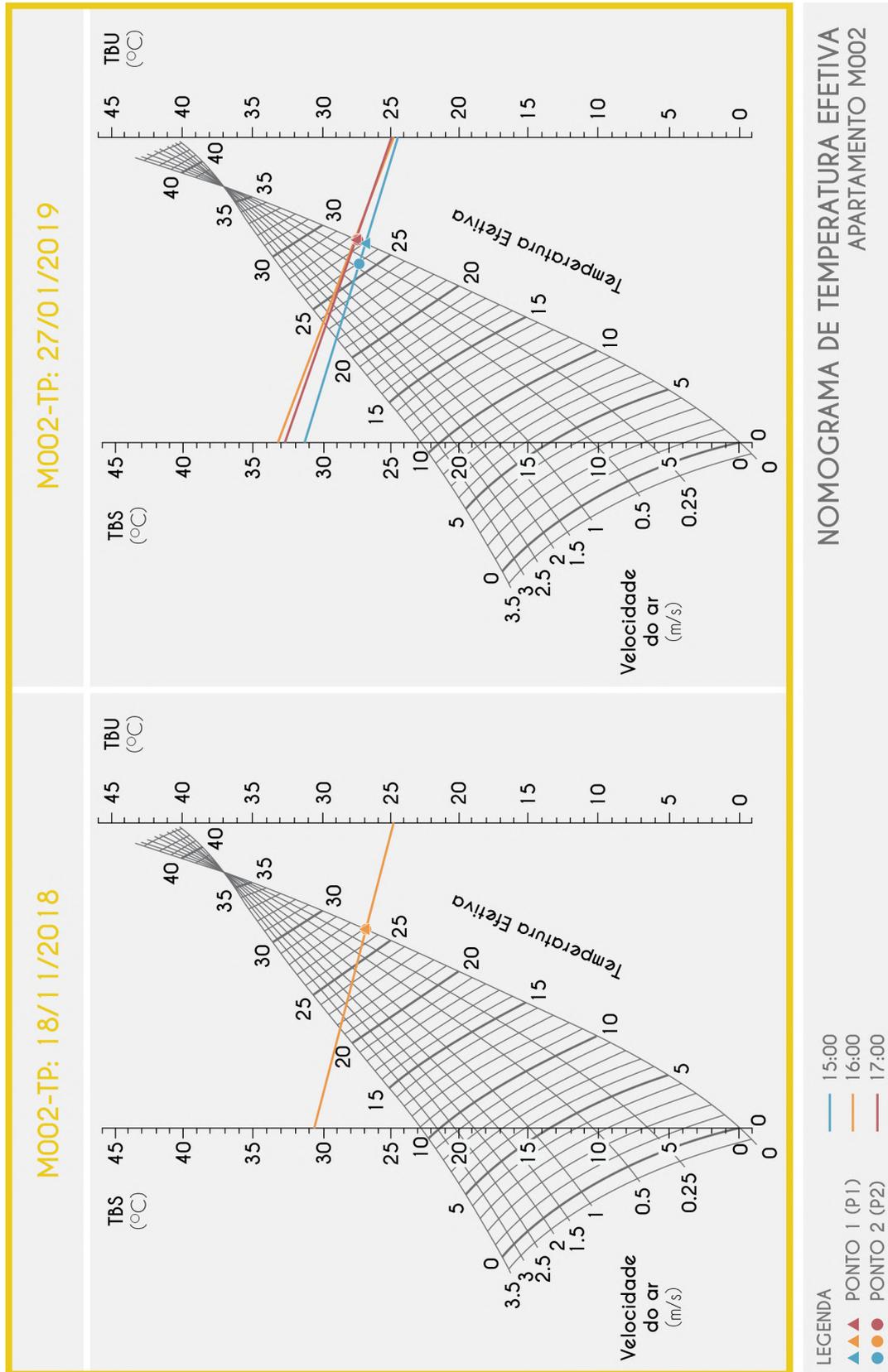
## APÊNDICE G - Gráfico da variação de temperatura do ar

**Gráfico 44 – Variação da temperatura do ar externa e no interior dos ambientes monitorados em tamanho expandido.**



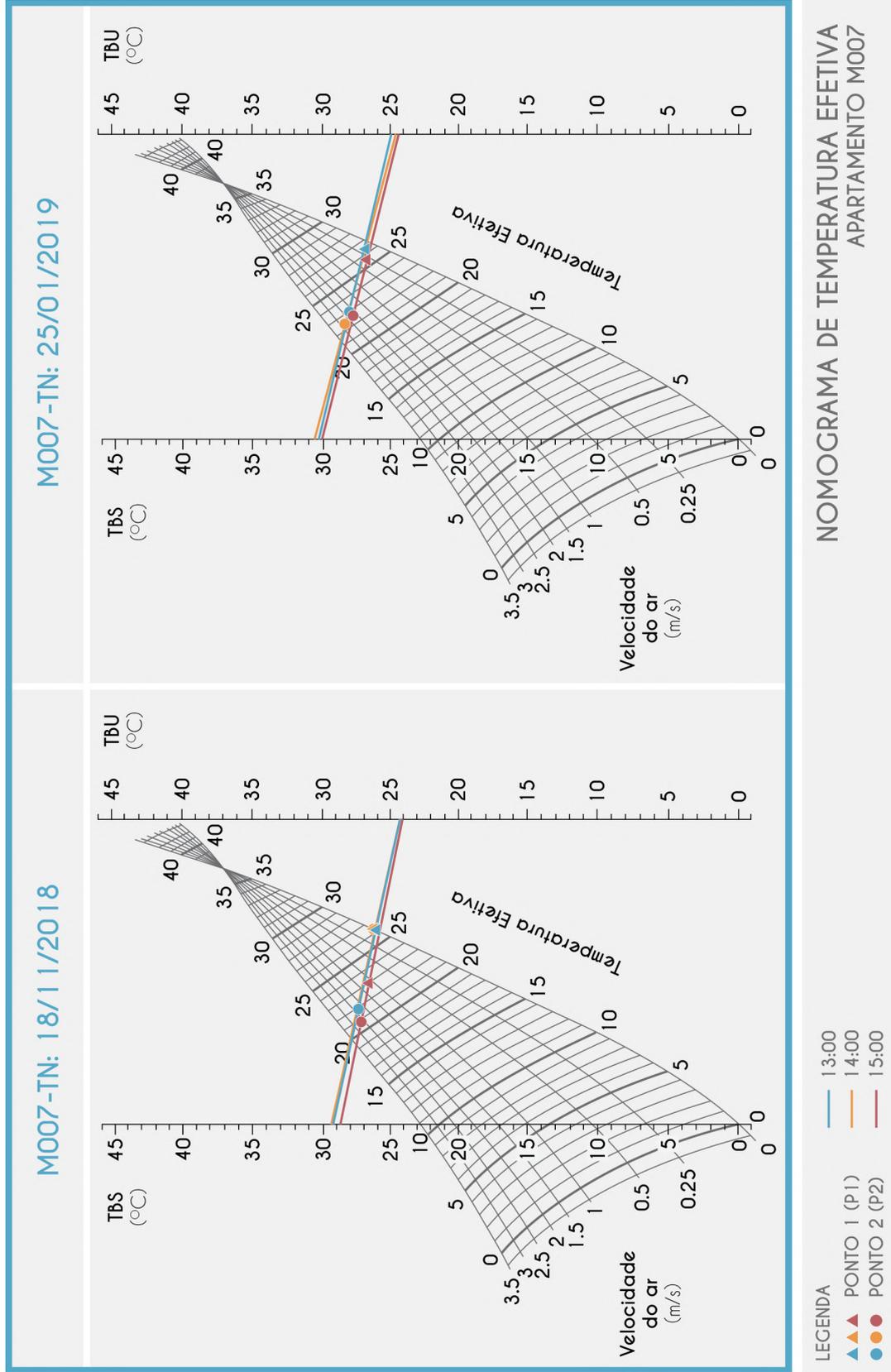
APÊNDICE H - Nomogramas de temperatura efetiva

Figura 48 – Nomograma de temperatura efetiva, por dia de medição, da unidade M002-TP.



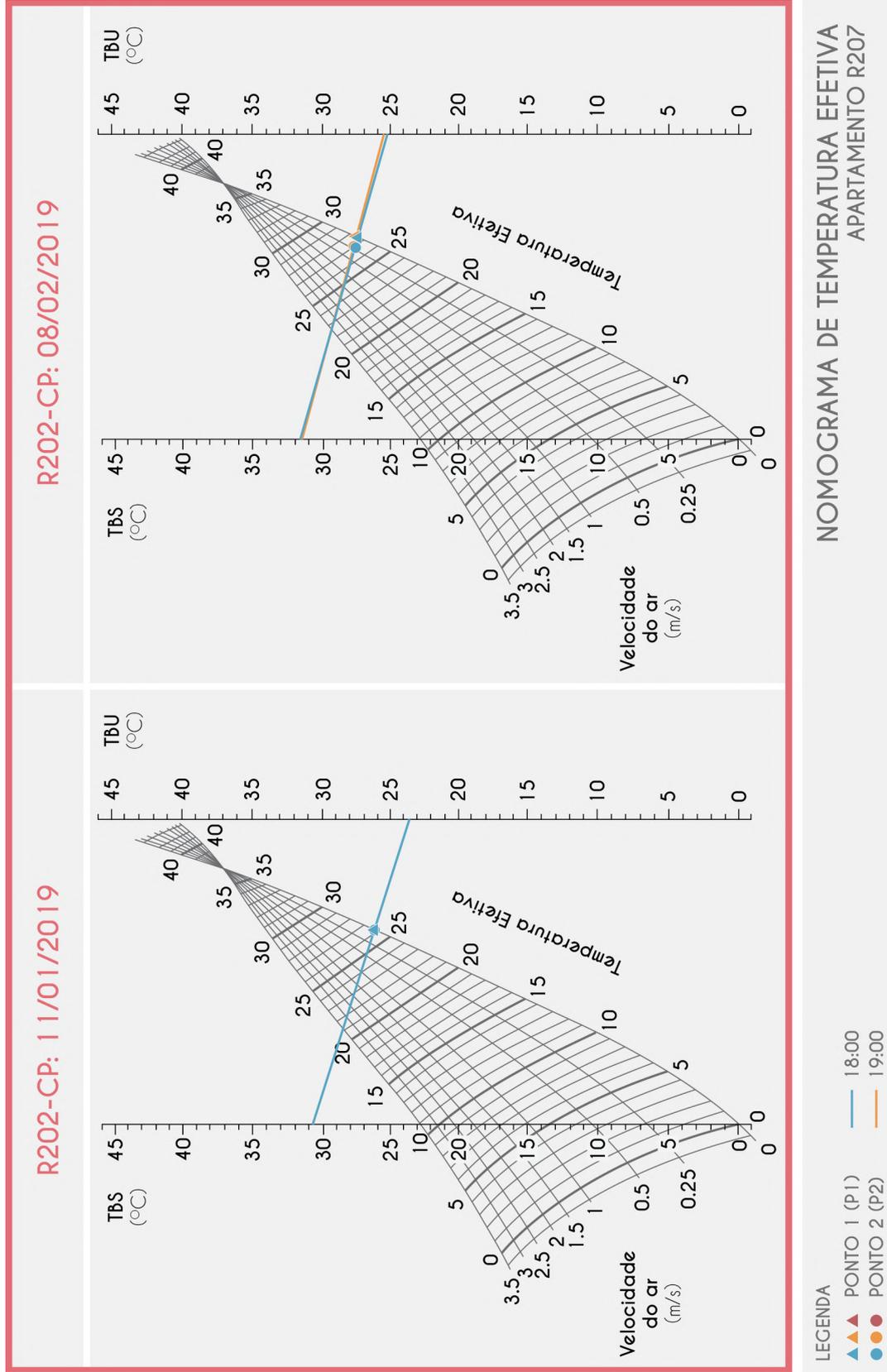
Fonte: A autora, 2019.

Figura 49 – Nomograma de temperatura efetiva, por dia de medição, da unidade M007-TN.



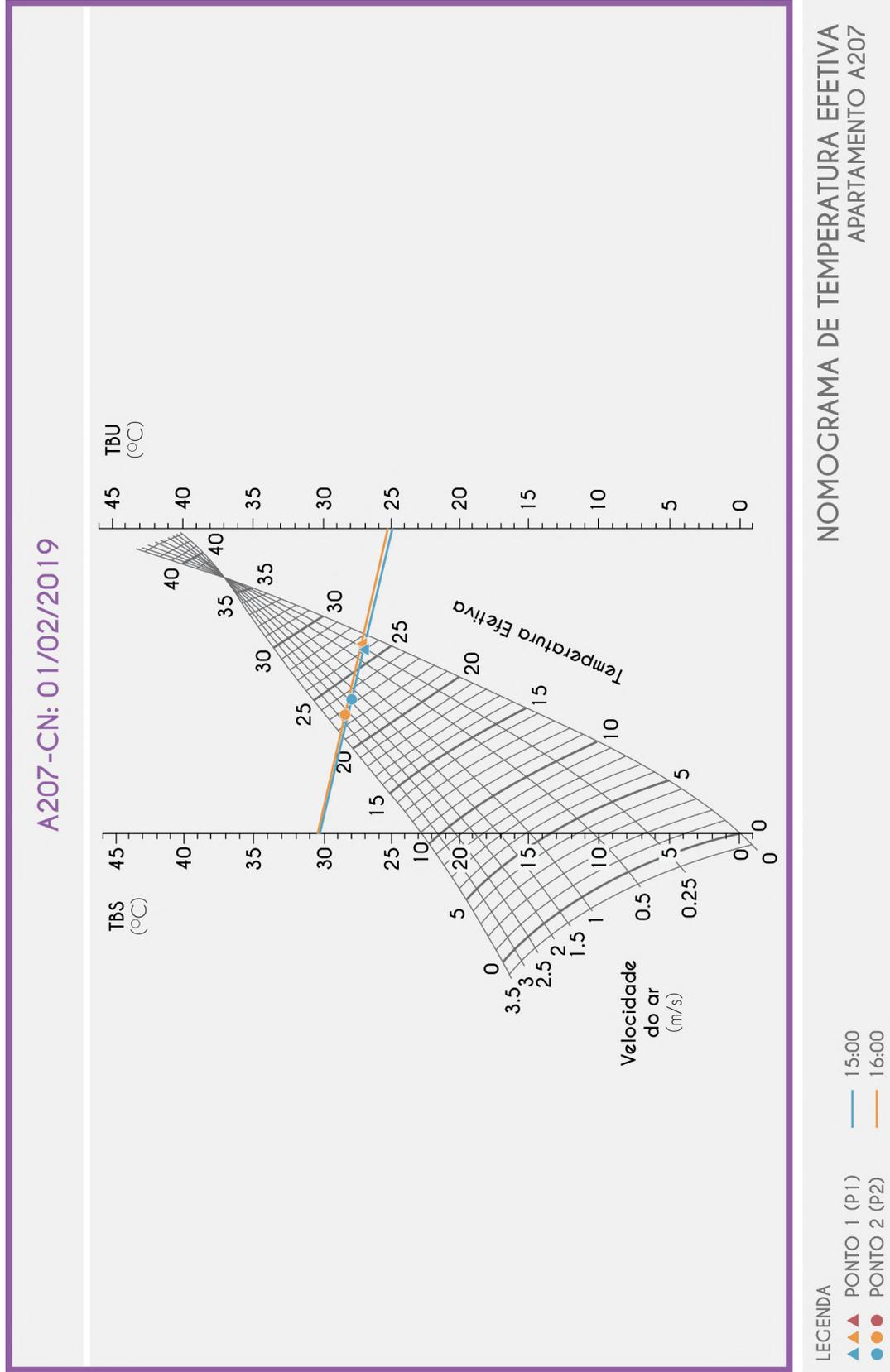
Fonte: A autora, 2019.

Figura 50 – Nomograma de temperatura efetiva, por dia de medição, da unidade R202-CP.



Fonte: A autora, 2019.

Figura 51 – Nomograma de temperatura efetiva, por dia de medição, da unidade A207-CN.



Fonte: A autora, 2019.

## APÊNDICE I – Levantamento das áreas

Área do ambiente =  $3,14 \times 2,39 = 7,50 \text{ m}^2$

Pé direito = 2,60 m

Área da parede frontal =  $(2,39 \times 2,60) - 1,00 = 5,21 \text{ m}^2$

Área da parede lateral =  $3,14 \times 2,60 = 8,16 \text{ m}^2$

Área das paredes internas =  $12,57 \text{ m}^2$

Vão da porta =  $1,80 \text{ m}^2$

Vão da janela =  $1,00 \text{ m}^2$

Área efetiva de ventilação =  $0,45 \text{ m}^2$

Área efetiva de iluminação =  $0,87 \text{ m}^2$

$F_{\text{vent}} = 0,45/1 = 0,45 \text{ m}^2$

Absortância solar das fachadas:

**Tabela 69 – Ponderação da absortância solar pela área para o ambiente R202-CP.**

R202-CP				
	Cor	Área	Absortância solar	Absortância solar ponderada
<b>Fachada Frontal</b>	Cinza	1,18	0,61	0,320
	Branco	3,76	0,16	
	Azul	0,27	0,49	
<b>Fachada Lateral</b>	Cinza	3,13	1,20	
	Branco	4,76	0,16	
	Azul	0,27	0,49	

Fonte: Dornelles (2008), adaptado pela autora.

**Tabela 70 – Ponderação da absorção solar pela área para o ambiente M002-TP.**

M002-TP				
	Cor	Área	Absorção solar	Absorção solar ponderada
Fachada Frontal	Cinza	1,18	0,61	0,319
	Branco	3,76	0,16	
	Amarelo	0,27	0,35	
Fachada Lateral	Cinza	3,13	1,20	
	Branco	4,76	0,16	
	Amarelo	0,27	0,35	

Fonte: Dornelles (2008), adaptado pela autora.

**Tabela 71 – Ponderação da absorção solar pela área para os ambientes M007-TN e A207-CN.**

M007-TN E A207-CN				
	Cor	Área	Absorção solar	Absorção solar ponderada
Fachada Frontal	Cinza	1,18	0,61	0,326
	Branco	3,76	0,16	
	Verde	0,27	0,49	
Fachada Lateral	Cinza	3,13	1,20	
	Branco	4,76	0,16	
	Verde	0,27	0,64	

Fonte: Dornelles (2008), adaptado pela autora.

## ANEXO A - Absortância solar da telha de fibrocimento

<b>Amostra</b>	<b>Absortância total - <math>\alpha</math> (%)</b>
Telha suja	84,4%
Telha nova	59,3%
Telha lavada	51,1%
Telha pintada de branco	10,7%

Fonte: Silveira, Marinoski e Lamberts (2012).

## ANEXO B - Absortância solar das tintas

Tipo	Número	Cor	Nome	$\alpha$	Tipo	Número	Cor	Nome	$\alpha$
Acrilica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	46,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	15,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4	47		Pêssego	39,5	
	09		Concreto	74,5	48		Alecrim	64,0	
	10		Flamingo	49,5	49		Azul bali	48,9	
	11		Jade	52,3	50		Branco Neve	10,2	
	12		Marfim	33,6	51		Branco Gelo	29,7	
	13		Palha	36,7	52		Camurça	55,8	
	14		Pérola	33,0	53		Concreto	71,5	
	15		Pêssego	42,8	54		Marfim	26,7	
	16		Tabaco	78,1	55		Marrocos	54,7	
	17		Terracota	64,6	56		Mel	41,8	
Acrilica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7	57		Palha	27,2	
	19		Amarelo Terra	68,6	58		Pérola	22,1	
	20		Azul	79,9	59		Pêssego	35,0	
	21		Branco Gelo	36,2	60		Telha	70,8	
	22		Cinza	86,4	61		Vanila	23,9	
	23		Cinza BR	61,1	62		Amarelo Canário	25,2	
	24		Crepúsculo	66,0	63		Areia	35,7	
	25		Flamingo	47,3	64		Azul Profundo	76,0	
	26		Marfim	33,9	65		Branco Neve	16,2	
	27		Palha	39,6	66		Branco Gelo	28,1	
	28		Pérola	33,9	67		Camurça	53,2	
	29		Preto	97,1	68		Cerâmica	65,3	
	30		Telha	69,6	69		Concreto	71,6	
	31		Terracota	68,4	70		Flamingo	44,4	
	32		Verde Quadra	75,5	71		Marfim	24,5	
	33		Vermelho	64,2	72		Palha	26,4	
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3	73		Pérola	22,9	
	35		Amarelo Terra	61,4	74		Pêssego	29,8	
	36		Areia	39,0	75		Preto	97,4	
	37		Azul angra	32,3	76		Vanila	27,7	
	38		Bianco Sereno	26,6	77		Verde Musgo	79,8	
	39		Branco	11,1	78		Vermelho Cardinal	63,3	

\* As imagens das cores aqui apresentadas podem não representar com exatidão a cor da tinta quando aplicada sobre as superfícies construtivas.

\*  $\alpha$ : 300 a 2500 nm (Espectro solar total).

Fonte: Dornelles (2008).