



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Laura Michelle Leite Ribeiro

**Avaliação do desempenho energético de edificações
com base na Certificação LEED: quão bem o modelo da
ASHRAE se adapta ao Brasil?**

Florianópolis

2023

Laura Michelle Leite Ribeiro

**Avaliação do desempenho energético de edificações
com base na Certificação LEED: quão bem o modelo da
ASHRAE se adapta ao Brasil?**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. EneDir Ghisi, Ph.D.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ribeiro, Laura Michelle Leite

Avaliação do desempenho energético de edificações com base na Certificação LEED : quão bem o modelo da ASHRAE se adapta ao Brasil? / Laura Michelle Leite Ribeiro ; orientador, Enedir Ghisi, 2023.

208 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Certificação LEED. 3. ASHRAE Standard 90.1. 4. Envoltória de edificações comerciais. 5. Simulação termoenergética. I. Ghisi, Enedir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Laura Michelle Leite Ribeiro

**Avaliação do desempenho energético de edificações com base na Certificação
LEED: quão bem o modelo da ASHRAE se adapta ao Brasil?**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 4 de julho de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Arthur Santos Silva, Dr.
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Prof^a. Ana Paula Melo, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Deivis Luis Marinowski, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Prof^a. Fernanda Fernandes Marchiori, Dra.
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Enedir Ghisi, Ph.D.
Orientador

Florianópolis, 2023

Agradecimentos

Aos meus pais, Maria do Carmo e Carlos, e minha irmã, Danielle, pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo concedidos desde sempre, principalmente com todas as mudanças de casa e novos desafios que surgiram ao longo do Mestrado. Obrigada por me acompanharem em todas as etapas da minha vida e me impulsionarem a seguir meus sonhos. Não teria chegado aqui sem vocês.

Ao professor e orientador Eneir Ghisi, pelas contribuições, confiança e seriedade no desempenho das orientações.

Ao colega, Luís Fernando Kidinho, pela amizade e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Ana Paula Melo, Deivis Marinoski e Arthur Silva, por aceitarem o convite para participarem da banca de avaliação deste estudo.

Aos meus amigos, Tainá, Natália, Amanda e Érico, por estarem sempre ao meu lado compartilhando bons momentos.

À CAPES, pela bolsa de estudo concedida no primeiro ano deste Mestrado.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

Resumo

O setor da construção civil, além de gerar atividades poluidoras, é um dos maiores consumidores de energia no mundo. As edificações representam aproximadamente 50% do total de energia elétrica consumida no Brasil, por isso é cada vez mais necessário o desenvolvimento das chamadas construções sustentáveis. Nesse contexto, foram criadas certificações ambientais capazes de avaliar o quanto as edificações são sustentáveis, entre elas uma que recebe grande destaque é a Certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). Um dos métodos adotados nessa certificação é o cálculo do desempenho energético do edifício de referência de acordo com a ASHRAE *Standard* 90.1, utilizando um modelo de simulação. No entanto, tal como foi criada, a LEED, bem como as normas na qual ela se baseia, leva em conta as características climáticas e construtivas de seus países de origem. Diante disso, esta pesquisa analisa as recomendações de envoltória do Apêndice G da ASHRAE *Standard* 90.1 – 2016, a fim de avaliar se essa certificação deve ser aplicada no contexto brasileiro. Para isso, definiu-se um modelo de referência baseado em edifícios comerciais que receberam a Certificação LEED no Brasil. A partir desse modelo, foram realizadas simulações em dezesseis cidades brasileiras utilizando o *software EnergyPlus* para diferentes combinações de envoltória, além daquela proposta pela ASHRAE 90.1. Foram estabelecidos diferentes tipos de paredes, coberturas e vidros, além de outros dois parâmetros variáveis: densidade de ocupação e taxa de infiltração. O estudo mostra que a relação entre a eficiência do uso do isolamento térmico indicado pela ASHRAE e a temperatura do ar externo não é linear. Em climas muito quentes, com temperaturas constantemente mais altas do que a temperatura de *setpoint* do ar-condicionado, o isolamento térmico na envoltória contribui para a redução da necessidade de resfriamento. Entretanto, em climas em que a temperatura externa permanece entre as temperaturas de *setpoint* – 24°C e 18°C – na maior parte do ano o isolamento não é tão eficiente. Em climas de temperaturas mais baixas, o isolamento volta a ser eficiente, motivo pelo qual a ASHRAE propõe o uso de isolamento na envoltória. Conclui-se que as recomendações de envoltória da ASHRAE *Standard* 90.1 – 2016 adotadas pela Certificação LEED não são as mais adequadas ao clima e ao contexto brasileiro. Embora essa norma apresente bons resultados nas zonas 0 e 1, o investimento para se obter a economia mínima exigida pela certificação poderia inviabilizar a sua obtenção. Na zona 2, esse investimento poderia ser menor, mas ainda assim

precisaria ser substancial. Entretanto, na zona 3 o consumo do modelo de referência foi inferior à maior parte dos modelos analisados, mostrando ser mais fácil obter a economia mínima de energia. As especificações de envoltória do modelo de referência devem considerar os sistemas construtivos empregados na região, para que seja viável a aplicação da certificação em todo o país. Além disso, elas devem também considerar os diversos parâmetros que influenciam o consumo de energia em uma edificação, como a densidade de ocupação e a taxa de infiltração.

Palavras-chave: Certificação LEED; ASHRAE *Standard* 90.1; envoltória de edificações comerciais; simulação termoenergética.

ABSTRACT

The civil construction sector, in addition to generating polluting activities, is one of the largest consumers of energy in the world. Buildings represent approximately 50% of the total electricity consumed in Brazil, which is why it is increasingly necessary to develop the so-called sustainable buildings. In this context, environmental certifications were created to evaluate the sustainability of buildings; and one that receives great attention is the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) certification. One of the methods adopted in this certification is the calculation of the reference building's energy performance in accordance with ASHRAE Standard 90.1 using a simulation model. However, as it was created, LEED, as well as the standards on which it is based, consider the climatic and construction characteristics of their countries of origin. Given this, this research analyses the envelope recommendations of Appendix G of ASHRAE Standard 90.1 – 2016 to assess whether such a certification should be applied in the Brazilian context. A reference model was defined based on commercial buildings that received LEED certification in Brazil. Based on this model, simulations were carried out in sixteen Brazilian cities using the EnergyPlus software for different envelope combinations, in addition to that proposed by ASHRAE 90.1. Different types of walls, roofs and windows were assessed, in addition to two other variable parameters: occupancy density and infiltration rate. The study shows that the relationship between the efficiency of the use of thermal insulation indicated by ASHRAE and the outside air temperature is not linear. In extremely hot climates, with temperatures constantly higher than the air-conditioning setpoint temperature, thermal insulation in the envelope contributes to reducing the need for cooling. However, in climates where the outside temperature remains between the setpoint temperatures – 24°C and 18°C – it is not as efficient most of the year. In cooler climates, insulation becomes effective again, which is why ASHRAE proposes the use of insulation in the envelope. It is concluded that the envelope recommendations of ASHRAE Standard 90.1 – 2016, which are adopted by LEED certification, are not the most appropriate for the Brazilian climate and context. Although this standard presents good results in Zones 0 and 1, the investment to obtain the minimum energy savings required by the certification could make it unfeasible to obtain such savings. In Zone 2, the investment might be slightly lower but still substantial. However, in Zone 3 the energy consumption of the reference model was lower than most of the analysed models, indicating that it is easier to obtain the minimum energy savings. The envelope specifications of the reference model must consider the construction systems used in the region so that the

application of the certification throughout the country is feasible. In addition, the envelope specifications must also consider the various parameters that influence energy consumption in a building, such as occupancy density and infiltration rate.

Keywords: LEED certification; ASHRAE Standard 90.1; commercial building envelope; thermal and energy simulation.

Lista de Figuras

Figura 1: Evolução da Certificação LEED	34
Figura 2: Zoneamento bioclimático brasileiro de acordo com a ASHRAE 169 de 2021	44
Figura 3: Fluxograma do método	54
Figura 4: Localização das cidades analisadas no mapa do Brasil	57
Figura 5: Padrão de uso adotado para ocupação, iluminação e equipamentos – dias úteis.....	61
Figura 6: Padrão de uso adotado para ocupação, iluminação e equipamentos – sábado	62
Figura 7: Esquema de análise combinatória do modelo da ASHRAE e das envoltórias definidas.....	69
Figura 8: Temperaturas mínimas, médias e máximas do ar externo e amplitude térmica nas cidades selecionadas.....	72
Figura 9: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 0A	72
Figura 10: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 0B	73
Figura 11: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 1A	73
Figura 12: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 1B	74
Figura 13: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 2A	75
Figura 14: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 2B	75
Figura 15: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 3A	76
Figura 16: Formato das edificações comerciais com Certificação LEED no Brasil ...	77
Figura 17: Quantidade de pavimentos das edificações comerciais com Certificação LEED no Brasil	77
Figura 18: Proporção das plantas das edificações comerciais retangulares com Certificação LEED no Brasil	78
Figura 19: Pé-direito livre dos pavimentos das edificações comerciais retangulares com Certificação LEED no Brasil	79
Figura 20: Representação do modelo base em 3D	80
Figura 21: Divisão dos pavimentos em zonas térmicas	81
Figura 22: Circuito de ar do sistema VAV com caixas PFP predefinidas no <i>OpenStudio</i>	82
Figura 23: Circuito de água do sistema VAV com caixas PFP predefinidas no <i>OpenStudio</i>	83

Figura 24: Consumo total de energia anual por m ² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0A	86
Figura 25: Consumo total de energia anual por m ² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0B	87
Figura 26: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0A – Baixa taxa de infiltração	88
Figura 27: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0A – Alta taxa de infiltração	89
Figura 28: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0B – Baixa taxa de infiltração	90
Figura 29: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0B – Alta taxa de infiltração	91
Figura 30: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 0A.....	96
Figura 31: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 0B.....	97
Figura 32: Temperatura do ar externo nas cidades na zona 0 – médias diárias.....	98
Figura C.1: Consumo total de energia anual por m ² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1A	144
Figura C.2: Consumo total de energia anual por m ² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1B	144
Figura C.3: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1A – Baixa taxa de infiltração	145
Figura C.4: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1A – Alta taxa de infiltração	145
Figura C.5: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1B – Baixa taxa de infiltração	147
Figura C.6: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1B – Alta taxa de infiltração	147
Figura C.7: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 1A.....	165
Figura C.8: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 1B.....	166
Figura C.9: Temperatura do ar externo das cidades na zona 1 – médias diárias ...	167

Figura D.1: Consumo total de energia anual por m ² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2A	169
Figura D.2: Consumo total de energia anual por m ² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2A	169
Figura D.3: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2A – Baixa taxa de infiltração	170
Figura D.4: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2A – Alta taxa de infiltração	171
Figura D.5: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2B – Baixa taxa de infiltração	172
Figura D.6: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2B – Alta taxa de infiltração	172
Figura D.7: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 2A.....	192
Figura D.8: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 2B.....	193
Figura D.9: Temperatura do ar externo nas cidades na zona 2 – médias diárias ...	194
Figura E.1: Consumo total de energia anual por m ² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 3A.....	195
Figura E.2: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 3A – Baixa taxa de infiltração	197
Figura E.3: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 3A – Alta taxa de infiltração	197
Figura E.4: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 3A.....	207
Figura E.5: Temperatura do ar externo nas cidades na zona 3 – médias diárias ...	208

Lista de Quadros

Quadro 1: Créditos e pré-requisitos da categoria Energia e Atmosfera, versão 4.0 (a partir do Leed v4.0)	38
--	----

Lista de Tabelas

Tabela 1: Definições de zona climática térmica de acordo com a ASHRAE 169 de 2021	55
Tabela 2: Dados utilizados para a definição da zona climática das cidades selecionadas	58
Tabela 3: Valores de densidade de carga interna instalada.....	60
Tabela 4: Indicação de sistemas de climatização do modelo de referência de acordo com o Apêndice G.....	63
Tabela 5: Descrição dos sistemas de condicionamento de ar de acordo com o Apêndice G.....	64
Tabela 6: Dados dos dias de projeto adotados para cada clima	65
Tabela 7: Requisitos da envoltória de acordo com o Apêndice G	66
Tabela 8: Valores de transmitância térmica das paredes e coberturas.....	68
Tabela 9: Valores de transmitância térmica e SHGC dos vidros.....	68
Tabela 10: Identificação das combinações de simulações.....	85
Tabela 11: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Manaus – Baixa taxa de infiltração.....	92
Tabela 12: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Porto Nacional – Baixa taxa de infiltração.....	93
Tabela 13: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Floriano – Baixa taxa de infiltração.....	94
Tabela 14: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Santa Rita de Cássia – Baixa taxa de infiltração.....	94
Tabela 15: Síntese dos principais resultados encontrados	105
Tabela A.1: Edificações de escritório com Certificação LEED no Brasil	119
Tabela A.2: Características construtivas dos edifícios com plantas retangulares ...	125
Tabela B.1: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Manaus – Baixa taxa de infiltração.....	127
Tabela B.2: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Manaus – Alta taxa de infiltração.....	129
Tabela B.3: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Porto Nacional – Baixa taxa de infiltração.....	131
Tabela B.4: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Porto Nacional – Alta taxa de infiltração.....	133

Tabela B.5: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Floriano – Baixa taxa de infiltração	135
Tabela B.6: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Floriano – Alta taxa de infiltração	137
Tabela B.7: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Santa Rita de Cássia – Baixa taxa de infiltração	139
Tabela B.8: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Santa Rita de Cássia – Alta taxa de infiltração	141
Tabela C.1: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Natal – Baixa taxa de infiltração	149
Tabela C.2: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Natal – Alta taxa de infiltração	151
Tabela C.3: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Campina Grande – Baixa taxa de infiltração	153
Tabela C.4: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Campina Grande – Alta taxa de infiltração	155
Tabela C.5: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Campos Sales – Baixa taxa de infiltração	157
Tabela C.6: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Campos Sales – Alta taxa de infiltração	159
Tabela C.7: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Montes Claros – Baixa taxa de infiltração	161
Tabela C.8: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Montes Claros – Alta taxa de infiltração	163
Tabela D.1: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em São Carlos – Baixa taxa de infiltração	174
Tabela D.2: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em São Carlos – Alta taxa de infiltração	176
Tabela D.3: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Paraty – Baixa taxa de infiltração	178
Tabela D.4: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Paraty – Alta taxa de infiltração	180
Tabela D.5: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Caruaru – Baixa taxa de infiltração	183
Tabela D.6: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Caruaru – Alta taxa de infiltração	185

Tabela D.7: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Campo Grande – Baixa taxa de infiltração	187
Tabela D.8: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Campo Grande – Alta taxa de infiltração	189
Tabela E.1: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Curitiba – Baixa taxa de infiltração	199
Tabela E.2: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Curitiba – Alta taxa de infiltração	201
Tabela E.3: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Santa Maria – Baixa taxa de infiltração	203
Tabela E.4: <i>Ranking</i> dos consumos de energia em Santa Maria – Alta taxa de infiltração	205

Sumário

1. Introdução.....	19
1.1. Justificativa.....	24
1.2. Objetivos	25
1.2.1. Objetivo geral	25
1.2.2. Objetivos específicos	25
1.3. Estrutura do trabalho.....	26
2. Referencial teórico	27
2.1. Desenvolvimento sustentável.....	27
2.2. Construções sustentáveis	29
2.3. Certificações ambientais	31
2.3.1. Certificação LEED	33
2.3.2. A categoria Energia e Atmosfera.....	36
2.4. ASHRAE 90.1	42
2.5. Síntese da revisão bibliográfica	49
3. Método.....	52
3.1. Seleção dos objetos de estudo	53
3.2. Definição do modelo de referência.....	57
3.2.1. Geometria.....	59
3.2.2. Cargas térmicas internas.....	59
3.2.3. Condicionamento de ar	63
3.3. Envoltória	66
3.4. Modelo de comparação.....	67
4. Resultados e discussões.....	71
4.1. Análise climática	71
4.2. Definição da geometria	76
4.3. Definição do sistema de condicionamento de ar.....	81
4.4. Desempenho energético dos modelos estudados	84
4.4.1. Resultados das cidades nas zonas 0A e 0B	85
4.4.2. Resultados das cidades nas zonas 1A e 1B	98
4.4.3. Resultados das cidades nas zonas 2A e 2B	100
4.4.4. Resultados das cidades na zona 3A	103
5. Conclusões	106
5.1. Limitações	109
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	109

Referências	111
Apêndice A: Levantamento de edificações comerciais com Certificação LEED no Brasil	119
Apêndice B: Resultados das cidades nas zonas 0A e 0B	127
Apêndice C: Análise das cidades nas zonas 1A e 1B.....	143
Apêndice D: Análises das cidades nas zonas 2A e 2B.....	168
Apêndice E: Análises das cidades na zona 3A.....	195

1. Introdução

A construção civil envolve um conjunto de etapas que gera grandes impactos no meio ambiente. Essas etapas consistem na extração de matérias-primas, produção e transporte de materiais; concepção e projetos, construção, ocupação e manutenção e, ao final, demolição/desmontagem e destinação dos resíduos gerados ao longo da vida útil (AGOPYAN; JOHN, 2011). O debate sobre esses impactos teve início na década de 1970 com a crise do petróleo e a consequente demanda de maior eficiência energética por parte de todos os setores da economia.

Além de acarretar atividades poluidoras, como geração de resíduos sólidos, desperdício de materiais e excessivo consumo de água, o setor da construção civil é um dos maiores consumidores de energia no mundo. Ele responde por cerca de 40% do uso total de energia no mundo e contribui com 30% do total de emissões de CO₂ (ALAWNEHA *et al.*, 2019).

O crescimento econômico na última década fez com que o uso total de energia primária no Brasil crescesse 8%, com aumento previsto de 28% no consumo de energia em todo o mundo até 2050 (EIA, 2022). Parte significativa desse aumento de consumo nas próximas décadas pode ser atribuída ao setor da construção civil. Isso se deve, sobretudo, à expansão do uso de sistemas de aquecimento e resfriamento diante da crescente busca por melhores níveis de conforto térmico no ambiente construído (YANG; YAN; LAM, 2014).

De acordo com o relatório “O Futuro do Resfriamento” (*The Future of Cooling*, em inglês), publicado pela IEA (*International Energy Agency*) em 2018, o resfriamento é o uso de energia que mais cresce em edificações, e, sem ações de eficiência energética, esse consumo mais do que triplicará até 2050. Além disso, prevê-se que o resfriamento impulsionará a demanda máxima de eletricidade, especialmente em países quentes. O uso de condicionadores de ar e ventiladores já representa cerca de um quinto do total de eletricidade em edifícios ao redor do mundo, ou 10% de todo o consumo global de eletricidade. Nas próximas três décadas, o uso de sistemas de ar-condicionado deve disparar, tornando-se um dos principais impulsionadores da demanda global de eletricidade. Fatih Birol, diretor executivo da IEA, considera que o aumento constante da demanda por aparelhos de ar-condicionado é um dos pontos cegos mais acentuados nas atuais discussões sobre energia. Para ele, estabelecer parâmetros de eficiência mais elevados para resfriamento é uma das formas mais fáceis que os gestores públicos podem adotar para diminuir a demanda de novas

usinas de energia, reduzir emissões e, conseqüentemente, abaixar custos (IEA, 2018).

Além do alto consumo de energia e de, conseqüentemente, contribuir para as mudanças climáticas, as edificações também acarretam outros danos ambientais, como o elevado consumo de água e matérias-primas. Diante dessa realidade, é cada vez mais necessário o desenvolvimento das chamadas construções sustentáveis. Decisões tomadas durante a concepção e projeto da edificação, envolvendo temas como localização, orientação, especificação de materiais e equipamentos são determinantes no consumo energético de uma edificação e devem permear os projetos para se alcançar conforto e eficiência energética. Reduzir a demanda de recursos na construção e ocupação das edificações tornou-se um dos principais objetivos da construção sustentável (GREER *et al.*, 2019), sendo preciso, assim, analisar a interação entre as atividades desenvolvidas em todo o seu ciclo de vida da edificação (DEGANI; CARDOSO, 2002).

Nesse contexto, foram criadas normas e regulamentos para a construção civil, difundindo parâmetros destinados a verificar o desempenho das edificações, entre os quais se destacam:

- ASHRAE *Standard* 90.1, norma norte-americana que estabelece requisitos mínimos para eficiência energética em edificações;
- *Energy Star*, programa conjunto entre a Agência de Proteção Ambiental (EPA) e o Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos para monitorar e melhorar os esforços de eficiência energética;
- NBR 15220/2005, também conhecida como Norma de Desempenho Térmico de Edificações;
- NBR 15575/2021, também conhecida como a Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais;
- RTQ-R e RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais e Comerciais;
- INI-C e o INI-R – Instruções Normativas do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços, Públicas e Residenciais.

Essas normas e regulamentos, no entanto, compreendem apenas a dimensão energética da sustentabilidade, sendo ainda preciso criar uma forma de verificar se as edificações são, de fato, ambientalmente sustentáveis. Nesse contexto surgiram as certificações de sustentabilidade, como o selo *Leadership in Energy and*

Environmental Design (LEED), a certificação Alta Qualidade Ambiental (AQUA) e o Selo Casa Azul.

Os sistemas de certificação classificam o nível de desempenho ambiental de edificações construídas ou ainda em processo de construção. Eles norteiam os projetos sustentáveis, impulsionando o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias que melhoram o desempenho das edificações e reduzem seus impactos sobre o meio ambiente.

As certificações já disponíveis no mercado da construção civil são visivelmente diferentes, porém foram desenvolvidas sobre uma base comum. Elas são diferentes porque foram elaboradas conforme as agendas ambientais de seus locais de origem, significando que esses métodos de avaliação não são completamente aplicáveis a todas as localidades. As necessidades relacionadas a aspectos ambientais variam de um país para outro. Além disso, as práticas construtivas e de projeto são diferentes e influenciadas também por aspectos climáticos (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003). No entanto, as agendas ambientais partem de uma base comum.

Um método de avaliação consistente deve ser adaptado a dados nacionais relevantes, ao mercado, às práticas de construção e às tradições locais e deve ser ponderado para refletir prioridades e interesses nacionais. Tais métodos não devem ser copiados ou aplicados automaticamente a qualquer contexto simplesmente devido ao sucesso que eles tenham obtido no país de origem (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003). Entretanto, é possível aprimorar as certificações existentes, com base em estudos técnicos consistentes, a fim de evitar a disseminação de ferramentas de avaliação que não tragam reais contribuições para as construções sustentáveis (AGOPYAN; JOHN, 2011). Além disso, melhorias contínuas em sistemas de certificações podem ter impacto significativo no ambiente construído ao longo do tempo (GREER *et al.*, 2019).

A Certificação LEED, criada em 1998 pelo *United States Green Building Council* (U.S. GBC), avalia o desempenho ambiental das construções, mostrando o quanto uma construção sustentável está buscando colaborar com a preservação dos recursos naturais e evitar impactos ambientais. Esse sistema baseia-se em um checklist de pré-requisitos e créditos, aos quais são atribuídas pontuações de acordo com o atendimento de critérios preestabelecidos dentro das categorias: Localização e transporte, Terrenos sustentáveis, Eficiência da água, Energia e Atmosfera, Materiais e recursos, Qualidade do ambiente interno, Inovação e Prioridade Regional. Esses critérios englobam ações de projeto, construção ou gerenciamento que contribuam

para reduzir os impactos ambientais de edifícios, considerando todo o ciclo de vida da edificação. O nível da Certificação LEED é definido conforme a quantidade de pontos adquiridos pelo atendimento aos critérios.

Para o processo de certificação é comum serem exigidos modelos de simulação que mostrem as economias obtidas, comparados a um modelo base, para demonstrar o quão eficiente tal construção busca ser. Nessa perspectiva, Meester *et al.* (2013) indicam que o uso de modelos matemáticos e de ferramentas de simulação é frequentemente apresentado como a abordagem mais crível para modelar o comportamento de um edifício e prever o consumo de uma edificação. A simulação permite levar em conta muitos parâmetros que atuam sobre o comportamento energético, a gestão e o consumo de energia de um edifício. Assim, é possível realizar variações paramétricas para testar o impacto de diferentes estratégias no consumo de energia.

Conforme Amiri, Ottelin e Sorvari (2019), desde que a Certificação LEED foi criada, sua credibilidade tem sido questionada, sobretudo quanto ao real desempenho relacionado ao consumo de energia dos edifícios certificados e se ela realmente implica sustentabilidade ambiental. Os autores revisaram 44 artigos sobre o desempenho energético dos edifícios LEED e concluíram que a eficiência energética dessas edificações é questionável, e modificações na categoria Energia e Atmosfera são recomendadas para melhorar o desempenho real da construção.

Quanto ao consumo de energia, o estudo de Newsham, Mancini e Birt (2009) indica que 28,0% a 35,0% das edificações com Certificação LEED utilizam mais energia do que aquelas sem a certificação com área similar. Scofield (2013) comparou de forma direta os dados de desempenho energético com emissões de gases do efeito estufa (GEE) para edifícios LEED e não LEED do mesmo tipo, período, região geográfica e climática. Os resultados do estudo mostram que os edifícios com Certificação LEED, de modo geral, usam a mesma quantidade de energia e emitem a mesma quantidade de GEE do que outros edifícios de escritórios de Nova Iorque. Mostram também que os edifícios com Certificação LEED nível Ouro indicaram redução de 20% no consumo de energia e emissão de gases em relação a outros edifícios de escritórios. Porém, os edifícios LEED em níveis Prata e Certificado tiveram desempenho inferior, usando mais energia e emitindo mais gases do efeito estufa.

A Certificação LEED adota princípios ambientais e de uso de energia consolidados em normas e recomendações de órgãos com credibilidade reconhecida, como a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

(ASHRAE). A certificação propõe o cálculo do desempenho do edifício de referência de acordo com a ASHRAE *Standard* 90.1, utilizando um modelo de simulação ou por meio do método prescritivo. A ASHRAE 90.1 se propõe a ser uma norma internacional, englobando diversos climas ao redor do mundo, além dos norte-americanos. Para cada zona climática, estabelecida pela ASHRAE 169, são definidos requisitos relacionados à envoltória da edificação. No entanto, apesar de ser muito utilizada, tanto a ASHRAE 90.1 quanto a 169 baseiam-se no clima norte-americano, predominantemente frio ou ameno.

Algumas normas e certificações de desempenho energético recomendam o uso de mais isolamento térmico em climas mais frios ou regiões com maior demanda de aquecimento. Nessas áreas, o objetivo é diminuir a perda de calor e manter temperaturas internas confortáveis durante as estações frias. Esses padrões podem exigir camadas de isolamento mais espessas para reduzir a transferência de calor por meio de paredes, telhados e pisos. Com isso, essas normas almejam reduzir a necessidade de aquecimento, melhorar a eficiência energética e o conforto dos ocupantes. Assim também, em regiões de climas mais quentes, com maior demanda por resfriamento, algumas normas de desempenho energético podem indicar o uso de isolamento térmico para evitar o ganho de calor e reduzir a dependência do ar-condicionado. Nesses casos, a situação se inverte e o isolamento ajuda a reduzir a transferência de calor do exterior para o interior de um edifício, fazendo com que a temperatura interna se mantenha mais baixa do que a externa, diminuindo, assim, a energia utilizada no resfriamento.

Entre as normas internacionais que indicam o uso de isolamento na envoltória das edificações visando aumentar a eficiência energética está o IECC (*International Energy Conservation Code*). Esse código estabelece requisitos mínimos de eficiência energética para edificações e define níveis de isolamento com base nas zonas climáticas. Esses requisitos podem variar conforme a região, porém, geralmente, apresentam-se valores baixos de resistência térmica para a envoltória. A ISO 6946 também estabelece métodos para determinar a resistência e a transmissão térmica de componentes e materiais de construção. Ela orienta a escolha dos níveis de isolamento apropriados a partir das condições climáticas, inclusive em situações de climas mais quentes. É importante salientar que de forma geral as normativas internacionais fundamentam o desenvolvimento de medidas em nível nacional, que podem apresentar condições de referência inadequadas para o clima brasileiro.

Assim como essas normas mencionadas, a ASHRAE 90.1 também define uma edificação com envoltória gradualmente mais isolada termicamente, conforme o clima se torna mais frio. Porém, existem estudos que não recomendam o uso de isolamento térmico em edificações com altos valores de cargas térmicas internas, como escritórios e edifícios localizados em climas quentes. Nesses casos, uma redução excessiva do valor da transmissão térmica dos componentes opacos poderia gerar redução do consumo de energia de aquecimento no inverno. No entanto, também pode causar aumento do consumo de energia para resfriamento no verão, podendo este ser maior do que a redução alcançada (D'AGOSTINO *et al.*, 2019). Desse modo, no Brasil, onde prevalecem climas quentes, suas recomendações podem não ser as mais eficientes do ponto de vista energético (MAZZAFERRO, 2015).

Por sua vez, ter um modelo muito isolado como o proposto pela ASHRAE como base de comparação não necessariamente trará resultados econômicos satisfatórios. Se o consumo do modelo base é muito alto, torna-se “fácil” apresentar economia no modelo real, e isso não significa que é mais eficiente do que outros edifícios não certificados na mesma região. Ao mesmo tempo, se o consumo de referência for muito baixo, pode se tornar inviável obter a certificação.

Um dos objetivos da criação de normas é melhorar as práticas do mercado. Analisar as normas de eficiência energética existentes pode contribuir para o avanço dos estudos sobre o tema, impulsionando o desenvolvimento de edificações cada vez mais eficientes. Dessa forma, esta pesquisa objetiva aprofundar estudos sobre as recomendações da envoltória do Apêndice G da ASHRAE 90.1 em edificações comerciais, de acordo com o zoneamento climático da ASHRAE 169. Na pesquisa serão avaliados aspectos relacionados ao zoneamento proposto pela norma e as recomendações de envoltória para cada zona, para assim constatar a necessidade de uma adaptação para o contexto brasileiro.

1.1. Justificativa

Dado o impacto da construção civil no ambiente e no consumo de energia, iniciativas de construção sustentável se tornam cada vez mais importantes. Para fundamentar essas iniciativas, foram criadas certificações ambientais capazes de avaliar o quanto as edificações são sustentáveis, entre elas uma que recebe grande destaque é a Certificação LEED. Esse sistema de certificação é atualmente um dos mais usados em todo o mundo. À medida que mais edifícios certificados são construídos, maiores

são as oportunidades para se examinar e avaliar mais de perto a capacidade dos modelos de simulação de prever o desempenho termoenergético na construção civil.

No entanto, tal como foi criada, essa certificação, bem como outras normas e regulamentos internacionais, leva em conta as características climáticas e construtivas de seus países de origem. Portanto, devem ser adaptadas ao contexto de cada país onde é aplicada. Diante disso, esta pesquisa se propõe a analisar as recomendações do Apêndice G da ASHRAE *Standard* 90.1 – 2016, utilizada para avaliar o desempenho energético de edificações pela Certificação LEED, verificando se ela está apta a atender a realidade climática brasileira.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho energético do modelo de referência da ASHRAE *Standard* 90.1 de 2016, utilizado para a obtenção da Certificação LEED, em diferentes condições climáticas brasileiras, seguindo a divisão proposta pela ASHRAE 169 de 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as tipologias construtivas de edifícios de escritórios certificados no Brasil e definir um protótipo representativo de edifícios de escritório;
- Desenvolver um modelo de referência de edifícios de escritórios, seguindo as recomendações de envoltória do Apêndice G da ASHRAE *Standard* 90.1 de 2016, para diferentes cidades brasileiras;
- Analisar o desempenho energético do modelo de referência da ASHRAE em diferentes cidades na mesma zona climática, de acordo com a divisão proposta pela ASHRAE 169 de 2021;
- Analisar o desempenho energético do mesmo modelo de referência, alterando somente os componentes da envoltória – paredes, coberturas e vidros – e comparar o consumo energético com o modelo da ASHRAE.

1.3. Estrutura do trabalho

Este trabalho apresenta cinco capítulos, assim divididos: Introdução, Revisão bibliográfica, Método, Resultados e Conclusões. Na introdução é apresentada uma visão geral acerca do assunto, as justificativas e os objetivos geral e específicos do trabalho. Na revisão bibliográfica são abordados os temas: desenvolvimento sustentável, construções sustentáveis, certificações ambientais e *ASHRAE Standard 90.1*.

No capítulo que trata do método são apresentados o método e as ferramentas de simulação adotadas para a execução da pesquisa, visando analisar as recomendações de envoltória para o modelo de referência de edificações comerciais que buscam obter a Certificação LEED. No método detalhou-se como foi definida a geometria do modelo de referência adotado e a categorização dos climas estudados. São apresentadas também as variações de densidade de ocupação e taxa de infiltração e as diferentes envoltórias analisadas.

Em seguida, apresentam-se os resultados encontrados, mostrando os dados obtidos para definição da geometria conforme proposto na metodologia, bem como as análises climáticas das cidades estudadas. São apresentados também os consumos energéticos encontrados a partir das simulações realizadas com as recomendações de envoltória da *ASHRAE Standard 90.1 – 2016*. A partir dos consumos encontrados são realizadas comparações com as combinações de envoltória apresentadas no método. Por fim, no último capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, as limitações encontradas durante a elaboração do estudo e as sugestões para trabalhos futuros.

2. Referencial teórico

A partir da importância de se reduzirem os impactos da construção civil no meio ambiente, este capítulo apresenta os principais conceitos para compreensão do tema de pesquisa, partindo do princípio de que o desenvolvimento sustentável impulsiona essa discussão. A partir desse conceito, abre-se espaço para as proposições sobre construção sustentável, que por sua vez provoca a criação de normas e regulamentos sobre eficiência energética e sua relação com as certificações ambientais. Dessa forma, os temas-chave desta fundamentação teórica são: desenvolvimento sustentável, construções sustentáveis, certificações ambientais, e ASHRAE 90.1.

2.1. Desenvolvimento sustentável

O conceito de desenvolvimento sustentável é fruto de várias discussões e reuniões internacionais. O despertar para a conscientização ambiental no final da década de 1960 e o choque do petróleo, na década de 1970, foram cruciais para a inclusão de questões voltadas para os recursos naturais, a energia e o ambiente em geral nos setores econômico, social e político (YOUNG, 2001). Ter uma visão da evolução histórica de conceitos que chegaram à formulação do que significa desenvolvimento sustentável ajuda a compreender melhor a profundidade das implicações que a ideia de construção sustentável traz para o setor (AGOPYAN; JOHN, 2011). Para os fins desta pesquisa, serão tratadas as conferências que tiveram maior impacto sobre as construções sustentáveis.

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano, realizada em 1972 em Estocolmo, na Suécia, surge o conceito de ecodesenvolvimento, termo que fundamentou a criação do conceito de desenvolvimento sustentável. Para Sachs (1986), o ecodesenvolvimento significa tratar a natureza de modo que todas as gerações, atual e futuras, tenham possibilidade de desenvolvimento.

No ano de 1987, a Conferência da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) resultou no relatório *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum), também conhecido como Relatório de Brundtland. Nesse documento foi formulada a definição de desenvolvimento sustentável, difundida como o “desenvolvimento que atenda às necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (WCED, 1987).

Entretanto, o conceito de desenvolvimento sustentável implica limites que dizem respeito ao nível de desenvolvimento da tecnologia, ao modo como os recursos ambientais são utilizados e à capacidade do planeta de absorver os impactos das atividades humanas. Porém, a tecnologia e o comportamento humano podem ser gerenciados e melhorados para avançar o crescimento econômico (WCED, 1987).

De acordo com Silva (2003), a partir desses relatórios e conferências, agências governamentais, instituições de pesquisa e setores privados de vários países, passaram a estimular estudos voltados para a redução dos impactos provocados por edificações ao meio ambiente. O enfoque é para estratégias destinadas a racionalizar o uso de recursos e energia e diminuir a geração de resíduos de construção.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, conhecida como “Cúpula da Terra” ou Rio-92, estabeleceu um conjunto de estratégias e medidas, destinadas a combater a degradação ambiental e promover o desenvolvimento econômico sem prejudicar o meio ambiente. Nessa conferência foi criado um acordo chamado Agenda 21, assinado por 179 países, propondo, em nível global e em longo prazo, uma ação conjunta para equilibrar as necessidades econômicas e sociais com os recursos naturais do planeta (DUNDI; PEINADO, 2019).

A Agenda 21 Global estabelece que cada país desenvolva uma Agenda 21 Local tendo “como base de ação a construção, operacionalização e manutenção da infraestrutura econômica, social e ambiental local, estabelecendo políticas ambientais locais e prestando assistência na implantação de políticas ambientais nacionais” (MMA, 2022). A Rio-92 gerou também a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, em inglês), que ratificou o protocolo de Quioto em 1997. O protocolo, expirado em 2012, exigia que os países se comprometessem com a redução dos gases do efeito estufa, incluindo o Dióxido de Carbono (CO₂), ou comercializassem suas emissões quando necessário.

Na cúpula global realizada em 2000 na sede da Organização das Nações Unidas (ONU), em Nova Iorque, 149 estados membros assinaram a Declaração do Milênio das Nações Unidas, da qual derivaram os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), com metas a serem alcançadas até 2015.

Posteriormente, em 2002, foi proposta pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável da ONU (CDS) a realização de uma nova cúpula mundial, a Conferência de Joanesburgo, conhecida como Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, ou Rio+10. O objetivo central da cúpula consistiu em revisar as metas

estabelecidas na Agenda 21 e orientar as realizações das áreas que exigem esforços adicionais na operacionalização, além de refletir sobre outras propostas abordadas na Rio-92. Na conferência, foi determinado um plano de ação global para unir as necessidades do desenvolvimento econômico e social e o comprometimento de manter o planeta habitável para as gerações futuras (SEQUINEL, 2002).

Em 2012, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, conhecida como Rio + 20, realizada no Rio de Janeiro. Nessa conferência foram consolidadas, de forma integrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: econômica, social e ambiental. A conferência resultou no relatório *The Future We Want* (O Futuro que Queremos), estabelecendo medidas claras e práticas para o desenvolvimento sustentável, entre elas a decisão de desenvolver um conjunto de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com base nos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM).

Em 2015, foi lançada a Agenda 2030, reunindo dezessete objetivos e 169 metas de Desenvolvimento Sustentável, orientados, pela ONU, para as dimensões ambiental, econômica e social, de forma integrada e inter-relacionada. Essa nova agenda consistiu em um plano de ação com metas globais para incentivar e orientar para a definição de metas nacionais, de acordo com as circunstâncias de cada país. Assim, os países deveriam incorporar os ODS em suas políticas, programas e planos de governo, para combater os principais problemas socioambientais até 2030 (ODS, 2022).

Em 2015 aconteceu também, em Paris, a Conferência das Partes. Nela, 195 países aprovaram o Acordo de Paris, comprometendo-se a manter o aumento da temperatura global em 1,5°C, em relação a níveis da época pré-industrial, com um limite máximo de 2°C, em relação ao mesmo período (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015).

2.2. Construções sustentáveis

A construção civil transforma o ambiente natural em ambiente construído e este deve ser continuamente atualizado e preservado. O ambiente construído visa atender as atividades humanas, sendo dimensionado pela escala humana e pelo planeta e não pode ser reduzido. Essa transformação interfere no meio ambiente, pelo fato de envolver a utilização de grande volume de materiais de construção, mão de obra, água, energia, bem como a geração de resíduos. O impacto da construção civil no

meio ambiente depende de um longo conjunto de etapas, desde a extração de matérias-primas até a demolição/desmontagem e a destinação dos resíduos gerados ao longo da vida útil da edificação (AGOPYAN; JOHN, 2011).

No âmbito internacional o debate acerca dos impactos da construção sobre o meio ambiente teve início na década de 1970 com a crise do petróleo, e a consequente demanda de maior eficiência energética por parte de todos os setores da economia. Com a Rio-92 teve início a estruturação de um novo modelo de edificação, que incorporasse o conceito de ecologia, surgindo então a construção sustentável (MALAFAIA, 2008). A construção sustentável deve restabelecer e manter a harmonia entre o meio ambiente e o ambiente construído, criando edificações que reforcem a dignidade humana e preservem o meio ambiente.

Entretanto, mesmo com o surgimento desse novo conceito, os impactos ambientais da indústria da construção civil cresceram e ainda exigem esforços para de fato alcançar a sustentabilidade. Em âmbito global, entre 40% e 50% dos recursos naturais extraídos são usados na construção civil (DE WIT *et al.*, 2018). De acordo com a pesquisa setorial de 2020 da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (Abrecon), o Brasil produz cerca de 100 milhões de toneladas de resíduos na construção civil por ano. Além disso, as edificações apresentam consumo de energia elétrica muito significativo, representando cerca de 50% do total consumido no país segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), distribuído entre edifícios residenciais (26,4%), comerciais (15,7%) e públicos (7,5%) (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022). A construção civil deve, portanto, ser incorporada de forma prática e eficaz como parte importante na configuração e execução do desenvolvimento sustentável.

Para evitar os impactos negativos ao meio ambiente é fundamental o planejamento em todas as etapas da construção. É possível mudar aspectos de acordo com o lugar, o clima, a disponibilidade de materiais, fatores relacionados à mão de obra, condição econômica, entre outros, sem muito esforço. Porém, a sustentabilidade só é alcançada, de fato, quando a construção é pensada de forma conjunta, considerando as questões sociais, econômicas e ambientais (JOHN; PRADO, 2010).

Assim, uma edificação sustentável, para se caracterizar como tal, deve solucionar mais do que problemas ambientais. Ela deve considerar o ciclo de vida em todos os níveis, tratando de questões relacionadas aos resíduos da construção, assim como aos resíduos gerados por seus ocupantes. Deve também utilizar os recursos de

forma eficiente, conservar energia e, conseqüentemente, reduzir as emissões de carbono, promovendo um ambiente saudável para seus ocupantes. O rumo das construções sustentáveis se tornará concreto somente quando “construir sustentavelmente deixar de ser uma opção e se tornar uma necessidade” (KEELER; BURKE, 2010).

2.3. Certificações ambientais

A procura por construções sustentáveis vem crescendo e ganhando visibilidade. Isso se deve principalmente ao aumento da conscientização ambiental, impulsionada também pela introdução dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que expandiu o conhecimento público sobre o impacto das mudanças climáticas (MAQBOOL; THOMPSON; ASHFAZ, 2023). Essa conscientização aumentou a motivação por parte do consumidor na busca por edificações de menor impacto ambiental, tornando a sustentabilidade uma tendência que vem se consolidando em todo o mundo.

Com o aumento dessa procura por construções com baixo impacto ambiental, tornou-se necessária a criação de parâmetros capazes de verificar se as edificações são, de fato, ambientalmente sustentáveis. Desse modo, surgiram, a partir do final do século XX, iniciativas de se elaborar certificações para melhor conceituar as construções sustentáveis. Ou seja, essas certificações possibilitam avaliar as edificações em aspectos como: eficiência no uso de água, energia, materiais e recursos, qualidade ambiental interna e inovação de processos (RIBEIRO; MARTINS; RIBAS, 2017).

Atualmente já existem diversas certificações em todo o mundo. Embora elas sigam uma mesma linha de atuação ainda não há uma concordância internacional entre elas. As principais certificações são:

- LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) – Estados Unidos;
- BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) – Reino Unido;
- GREEN GLOBES – Canadá;
- HQE (*Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*) – França;
- AQUA (Alta Qualidade Ambiental) e Selo Casa Azul – Brasil.

Teoricamente, se os pressupostos das certificações forem aplicados, é possível considerar a edificação como sustentável. Mas na prática ainda há dúvidas,

principalmente porque ainda existem lacunas que necessitam ser sanadas, sobretudo quanto aos aspectos sociais e econômicos da sustentabilidade. Apesar dessas ressalvas, as certificações podem ser vistas como referência para se alcançar a sustentabilidade, pois induzem o empreendedor a planejar sua obra nas suas várias etapas, desde a concepção à aplicação de técnicas e processos com menores impactos ambientais (RIBEIRO; MARTINS; RIBAS, 2017).

As certificações disponíveis no mercado são naturalmente diferentes, mas são projetadas sobre uma base comum, uma vez que foram elaboradas para se adequarem a seus locais de origem. Ou seja, esses métodos de avaliação não são completamente aplicáveis a todas as localidades, por diversas razões. As demandas sobre determinados aspectos ambientais variam de um país para outro. Além disso, as práticas construtivas e projetuais são diferentes e influenciadas também por aspectos climáticos (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003). Fatores ambientais como características geográficas, consumo de recursos, política governamental, crescimento populacional e consciência pública podem dificultar o uso direto de qualquer método de avaliação ambiental existente em países diferentes daqueles para os quais foram elaborados (ALYAMI; REZGUI, 2012).

Agopyan e John (2011), ao abordarem as certificações HQE, BREEAM e LEED, ressaltam que essas metodologias foram desenvolvidas conforme agenda de seus países de origem, por isso elas não tratam problemas ambientais do Brasil. Ao revisarem as práticas da categoria Energia e Atmosfera do LEED v. 2009 em 20 países europeus para avaliar o uso da certificação fora dos Estados Unidos, Gurgun *et al.* (2016) mostraram que o uso do LEED em outros países pode ser difícil porque as condições e práticas locais influenciam na obtenção de pontuações. Da mesma forma, ao analisarem a aplicabilidade do sistema de classificação do LEED nos países do Oriente Médio, Mousa e Farag (2017) concluíram que a dificuldade em cumprir todos os requisitos está relacionada ao fato de que a maioria das classificações de crédito são derivadas de códigos e regulamentos baseados nos padrões dos EUA, sendo que as maiores complicações estão relacionadas às categorias Materiais e Recursos e Energia e Atmosfera. Desse modo, percebe-se a importância da utilização de ferramentas de avaliação ambiental adequadas à realidade brasileira.

O desenvolvimento de diretrizes para a criação de certificações ambientais deve ser voltado para o contexto nacional e partir da discussão das principais certificações existentes, propiciando uma análise crítica dos aspectos positivos e negativos de sua aplicabilidade (BUENO; ROSSIGNOLO, 2010).

Para ser tecnicamente consistente, viável e apropriado ao contexto nacional, um método de avaliação deve ser adaptado a dados nacionais relevantes, ao mercado, às práticas de construção e às tradições locais. Além disso, a metodologia de avaliação deve ser adequada para refletir prioridades e interesses nacionais. Não adianta simplesmente aplicar uma ferramenta que não esteja alinhada ao contexto nacional, em razão do sucesso que a metodologia tenha obtido em seu país de origem (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003).

É necessária uma revisão criteriosa dos itens e *benchmarks* considerados nas metodologias, para obter resultados coerentes com o contexto de avaliação. Embora as especificações das agendas variem de um país a outro, isto ocorre dentro de necessidades comuns, que estão presentes em qualquer contexto. Assim, é possível realizar adaptações para que normas, regulamentos e certificações já existentes sejam utilizados em diversos contextos. Um exemplo disso é a preocupação com consumo de energia, que é claramente comum a todas as agendas. No entanto, esse consumo também depende de onde a edificação está localizada, uma vez que as trocas de calor provenientes do meio externo e a necessidade de aquecimento e/ou resfriamento estão diretamente relacionadas ao clima (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003).

Agopyan e John (2011) acreditam no aprimoramento de certificações existentes, fundamentado em estudos técnicos consistentes, no sentido de evitar a disseminação de ferramentas de avaliação que não tragam reais contribuições para as construções sustentáveis.

2.3.1. Certificação LEED

LEED significa Liderança em Energia e *Design Ambiental (Leadership in Energy and Environmental Design)*. A Certificação LEED é um sistema internacional de certificação ambiental para edifícios e comunidades, desenvolvida pela organização não governamental *United States Green Building Council (USGBC)*. O LEED foi desenvolvido para certificar edifícios de alto desempenho e bairros sustentáveis, avaliando o desempenho de edifícios de forma global, ao longo de todo o seu ciclo de vida (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003).

A Certificação LEED, além de classificar edificações sustentáveis nos Estados Unidos, está presente em mais de 160 países. Assim, o GBC tem representação em países como Argentina, Brasil, Chile, Alemanha, China, Índia, Itália, Canadá, Japão,

entre outros. Cada país representante levanta aspectos essenciais para a melhoria do sistema de classificação e contribui para a adaptação dos padrões analisados, seguindo prioridades e características regionais.

De acordo com o *Green Building Education Services* (GBES, [s.d.]), a Certificação LEED foi criada para:

- estabelecer um padrão comum de medição de edifícios verdes;
- promover práticas integrativas de *design* de edifícios;
- reconhecer a liderança ambiental na indústria da construção;
- conscientizar os consumidores sobre os benefícios dos edifícios verdes;
- transformar o mercado da construção.

O processo de certificação busca avaliar de forma sistemática o desempenho dos edifícios em vários aspectos, mostrando o quanto uma construção sustentável está preservando os recursos naturais e evitando impactos ambientais. A certificação já passou por várias atualizações, como representado na Figura 1.

Figura 1: Evolução da Certificação LEED



Fonte: Adaptado de USGBC (2021a).

A Certificação LEED adota como referência princípios relativos ao meio ambiente e ao uso de energia estabelecidos em normas e recomendações de órgãos norte-americanos de credibilidade reconhecida, entre eles: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE); *American Society for Testing and Materials* (ASTM); *United States Environmental Protection Agency* (EPA); e *United States Department of Energy* (DOE) (SILVA; SILVA; AGOPYAN, 2003).

Segundo a USGBC (2021b), cada projeto LEED é designado a uma categoria da certificação, conforme o seu tipo de construção:

- (I) BD+C: *Building Design and Construction* (Projeto e Construção de Edifícios);
- (II) ID+C: *Interior Design and Construction* (Design de Interiores e Construção);
- (III) O+M: *Building Operations and Maintenance* (Operações e Manutenção Predial); e
- (IV) ND: *Neighborhood Development* (Desenvolvimento de bairro);

Após identificar o tipo de construção, é definida a sua utilização:

- (I) *Core & Shell* (Núcleo e Envoltória);
- (II) *New Construction* (Novas Construções);
- (III) *For Schools* (Escolas);
- (IV) *Retail* (Varejo);
- (V) *Healthcare* (Saúde);
- (VI) *Data Centers* (Centros de Dados);
- (VII) *Hospitality* (Hospitalidade); e
- (VIII) *Warehouses* (Armazéns).

Para obter a certificação é necessário atender a requisitos de critérios específicos adotados na construção, levando em consideração todo o ciclo de vida do empreendimento: concepção, construção, operação e descarte de resíduos após sua vida útil. Existem seis categorias principais de avaliação no LEED. Cada uma delas conta com créditos e pré-requisitos que serão concedidos se o nível de desempenho for alcançado. As categorias foram definidas buscando criar parâmetros de avaliação para cada tipo de edificação, podendo ser aplicadas em qualquer edifício a qualquer momento do seu ciclo de vida. Todos os sistemas de classificação LEED na versão v4.0 (exceto LEED para Desenvolvimento de Bairro) contam com as seguintes categorias:

- Localização e transporte;
- Terrenos sustentáveis;
- Eficiência da água;
- Energia e atmosfera;
- Materiais e recursos;
- Qualidade do ambiente interno;
- Inovação;
- Prioridade regional.

O critério mínimo exigido para avaliação de um edifício é o cumprimento de uma série de pré-requisitos. O não cumprimento de qualquer um deles inviabiliza a obtenção do certificado. Atendidos os pré-requisitos, passa-se à busca pela obtenção dos créditos (USGBC, 2021b).

À medida que créditos são aplicados e pleiteados são atribuídas pontuações para a edificação, podendo-se obter um máximo de 110 pontos. A certificação foi dividida em quatro classificações que variam de acordo com a pontuação: Certificado LEED, 40 a 49 pontos; Prata, 50 a 59 pontos; Ouro, de 60 a 79 pontos; Platina, de 80 a 110 pontos.

2.3.2. A categoria Energia e Atmosfera

A categoria Energia e Atmosfera estimula a eficiência energética em edificações por meio de estratégias como simulações energéticas, medições, comissionamento de sistemas e utilização de equipamentos e sistemas eficientes (GBC BRASIL, 2015). Seu principal objetivo é reduzir o consumo de energia necessária para uma edificação realizar suas operações, controlar o desempenho dos sistemas elétricos e assegurar a não utilização de gases nocivos à saúde (USGBC, 2021b).

Essa categoria adota uma abordagem de orçamento de custos de energia, considerando diferentes tipos de combustíveis e fontes de energia e convertendo o consumo em custos. Com isso, a norma considera que o aspecto econômico do consumo de energia é importante para proprietários e ocupantes dos edifícios. A inclusão desses custos auxilia na avaliação do impacto financeiro geral do uso de energia, além de estimular a criação de medidas de racionalização desse consumo, favorecendo a eficiência econômica. Porém, uma vez que ela considera o custo da energia e não do seu consumo, a metodologia de avaliação energética do LEED pode se mostrar inadequada para comparar o consumo em diferentes regiões ou países. Cada país depende de fontes de energia diferentes e utilizam diversas combinações de energia, como hidrelétrica e fotovoltaica. Um país pode depender fortemente de energia renovável, e outro pode depender mais de combustíveis fósseis.

Comparar o consumo energético sem levar em conta as fontes de energia pode gerar conclusões equivocadas sobre a sustentabilidade e eficiência do uso de energia. Uma região com elevado consumo energético, mas com parte significativa de energia renovável pode ser mais ambientalmente sustentável em relação a uma região com menor consumo e com grande dependência de combustíveis fósseis. Além disso, o

custo de variadas fontes de energia, como energia renovável *versus* combustíveis fósseis, pode ser completamente diferente. Onde há abundantes fontes de energia renovável os custos podem ser mais baixos, mas em países que são fortemente dependentes de combustíveis fósseis esses custos tendem a ser bem elevados. Concentrar-se no aspecto econômico pode favorecer economias financeiras em curto prazo, mas podem acarretar prejuízos para as metas de redução de energia no futuro mais distante.

No LEED v4.0, a categoria Energia e Atmosfera inclui três pré-requisitos (sem pontos atribuídos) e seis créditos (somando 35 pontos), conforme mostra o Quadro 1, que inclui também as intenções dos respectivos créditos e pré-requisitos. Dessa forma, é possível ganhar no máximo 35 pontos nessa categoria, que representa 32% do total máximo de pontos (110 pontos) que se pode obter na certificação. Ou seja, em comparação com outras, essa categoria é a que mais contribui para o máximo de pontos obtidos no sistema de Certificação LEED (GURGUN; ARDITI, 2018).

A Certificação LEED é, atualmente, uma das mais utilizadas em todo o mundo. Alguns países simplesmente aplicam a certificação, como é o caso do Brasil, e outros a modificaram levando em conta condições regionais (KOMURLU; ARDITI; GURGUN, 2014). Para atender os requisitos de simulação de energia dessa categoria, a certificação oferece caminhos alternativos de conformidade para projetos fora dos Estados Unidos, mas na maior parte dos casos são seguidas as recomendações propostas pelo sistema norte-americano.

Scofield (2013) estudou os dados de consumo de energia, emissão de gases de efeito estufa (GEE) e o *Energy Performance Rating*, da *ENERGY STAR*, de 953 grandes edifícios de escritórios da cidade de Nova Iorque, dos quais 21 foram identificados como certificados LEED. Com relação ao consumo de energia e emissões de gases, o autor concluiu que os edifícios LEED não apresentam melhor desempenho quando comparados aos edifícios não LEED. Além disso, Scofield (2013) concluiu que as edificações com nível LEED *Gold* apresentaram valores 20% mais baixos que outros edifícios, enquanto os edifícios de escritórios LEED *Silver* e LEED Certificado tiveram desempenho inferior em comparação com outros edifícios de escritórios.

Quadro 1: Créditos e pré-requisitos da categoria Energia e Atmosfera, versão 4.0 (a partir do LEED v4.0)

Critério	Pontos	Intenção
Comissionamento fundamental e verificação	pré-requisito	Desenvolvimento de um plano de comissionamento, para apoiar o projeto, construção e operação de uma edificação que atenda aos requisitos de energia, água, qualidade do ambiente interno e durabilidade do projeto.
Desempenho mínimo de energia	pré-requisito	Reduzir os prejuízos ambientais e econômicos do uso excessivo de energia, alcançando um nível mínimo de eficiência energética para o edifício e seus sistemas.
Medição de energia do edifício	pré-requisito	Apoiar a gestão e identificar oportunidades de economias adicionais de energia rastreando seu uso no nível do edifício.
Gerenciamento fundamental de gases refrigerantes	pré-requisito	Reduzir o esgotamento do ozônio estratosférico, não usando refrigerantes à base de clorofluorcarbono (CFC).
Comissionamento avançado	2 a 6	Apoiar adicionalmente o projeto, construção e operação de um projeto que atenda aos requisitos do proprietário, de energia, água, qualidade do ambiente interno e durabilidade.
Otimizar desempenho energético	1 a 20	Alcançar níveis crescentes de desempenho energético, além do pré-requisito para reduzir os prejuízos ambientais e econômicos associados ao uso excessivo de energia.
Medição de energia avançada	1	Apoiar a gestão e identificar oportunidades de economias adicionais de energia rastreando seu uso no edifício e nos sistemas.
Resposta à demanda	1 a 2	Aumentar a participação em tecnologias e programas de resposta à demanda que tornem sistemas de geração e distribuição de energia mais eficientes; aumentar a confiabilidade da rede de energia elétrica e reduzir as emissões de gases do efeito estufa.
Produção de energia renovável	1 a 3	Reduzir os prejuízos ambientais e econômicos associados à energia de combustíveis fósseis aumentando o autoabastecimento de energia renovável.
Gerenciamento avançado de gases refrigerantes	1	Reduzir a destruição da camada de ozônio e promover conformidade antecipada com o Protocolo de Montreal, minimizando as contribuições diretas para as mudanças climáticas.
Energia verde e compensações de carbono	1 a 2	Incentivar a redução de emissões de gases do efeito estufa com o uso de fontes provenientes da rede de energia, tecnologias de energia renovável e projetos de mitigação de carbono.

Mais tarde, Scofield e Doane (2018) cruzaram os dados de *benchmarking* de Chicago com o banco de dados de projetos LEED do U.S. *Green Building Council* e encontrou que, para escritórios, escolas K-12 (escolas de ensino fundamental e médio) e edifícios multifamiliares, os edifícios LEED não usavam menos energia da fonte do que edifícios semelhantes não LEED. Pelo contrário, as escolas LEED usaram 17% mais energia de fonte do que outras escolas não LEED. A energia da fonte representa a quantidade total de energia bruta que é necessária para operar o edifício. Ela incorpora todas as perdas de transmissão, entrega e produção. Ao levar em conta todo o uso de energia, é possível fazer uma avaliação completa da eficiência energética em um edifício (ENERGY STAR, 2022).

Alguns estudos mostram ainda que existe diferença entre o desempenho energético do projeto (simulado) e o desempenho real entregue em operação para edifícios LEED em diferentes regiões e tipos de edifícios. Turner e Frankel (2008) analisaram o desempenho pós-ocupação de 121 edifícios com Certificação LEED. O estudo sugeriu que a modelagem parecia ser boa preditora do desempenho médio do edifício quanto ao consumo de energia. A economia média prevista anual (em relação ao modelo de referência do edifício) de 25% foi muito próxima da economia real medida, 28%. Porém, o relatório também mostrou variação significativa entre os consumos individuais. Mais da metade dos consumos das amostras difere de suas respectivas previsões de *design* em mais de 25%, sendo 30% com desempenho significativamente melhor e 25% com desempenho significativamente pior.

Dall'O *et al.* (2012) encontraram que o desempenho real, calculado utilizando dados de três apartamentos, foi consistente com o calculado durante o procedimento de certificação. No entanto, os dados de consumo não são semelhantes e, muitas vezes, os valores reais de consumo são maiores do que os previstos. A análise realizada em apartamentos construídos com a mesma planta e a mesma orientação mostra que o consumo de energia de cada um é diferente e que essas diferenças decorrem apenas do comportamento dos usuários. Os autores destacam que se o monitoramento é uma forma de garantir o controle de eficiência energética dos equipamentos, para alcançar o melhor desempenho não basta somente construir edifícios. É necessário também orientar os usuários sobre como usá-los corretamente.

Stoppel e Leite (2013) avaliaram o quão bem o modelo de energia reflete o edifício físico real, considerando dois dormitórios militares com Certificação LEED, construídos de forma idêntica e na mesma orientação. Os autores concluíram que o modelo superestimou o consumo de energia para resfriamento e aquecimento em

14% e 25%, respectivamente, em cada edifício. Isso aconteceu porque o modelo assumiu incorretamente a data de mudança do sistema mecânico de aquecimento para resfriamento por um mês.

Seguindo o mesmo raciocínio, ao analisar a literatura sobre a existência de lacunas entre predição e medições que afetam o bom desempenho energético, Wilde (2014) identificou que existem diversas causas para esse descompasso. Esses problemas, considerados pelo autor como relacionados às fases de projeto e construção e à etapa operacional, variam de um edifício para outro, sendo que em muitos casos, haverá uma combinação de fatores.

Quanto aos problemas relativos à fase de projeto, Wilde (2014) destaca alguns pontos. Primeiramente, os usos futuros das edificações muitas vezes não podem ser previstos pelas equipes de *design*, portanto, os requisitos e condições operacionais podem estar sujeitos a alterações significativas. Segundo que, embora o analista seja bem treinado e saiba desenvolver um modelo correto, as previsões continuam sujeitas a incertezas básicas, sobretudo quanto à variação de aspectos como condições climáticas reais, cronograma de ocupação, ganhos de calor internos e cargas de equipamentos. Além disso, suposições sobre o comportamento dos ocupantes muitas vezes geram discrepâncias entre as simulações e valores reais de ganho de calor interno e cargas de equipamentos. Da mesma forma, o funcionamento real do edifício é normalmente diferente das premissas idealizadas na fase de projeto, tanto em termos de configurações reais (como configurações de termostato, horário de funcionamento) quanto da gestão de instalações.

O estudo destaca ainda que para autores como Menezes *et al.* (2012), Morant (2012) e Bell *et al.* (2010) é fundamental coletar informações relacionadas ao consumo de eletricidade, tais como ocupação, comportamento dos ocupantes e iluminação. Porém, capturar o comportamento dos ocupantes é especialmente complexo e difícil. Mesmo que se disponha de dados de comportamento, traduzi-los em parâmetros de entrada para previsões computacionais, visando reduzir essa lacuna de desempenho, não é tarefa simples. Wilde (2014) exemplifica que “pode-se coletar dados de uma grande amostra de edifícios e usá-los para gerar valores médios de ocupação, mas isso não ajudará a prever a ocupação real em um caso específico”. Embora seja amplamente reconhecido que uma variação significativa entre consumo de energia previsto e real possa ocorrer, e muitas vezes isso de fato acontece, ainda não foram

encontradas formas concretas de explicitar essas diferenças em dados de entrada nas simulações, por ser algo complexo de capturar e aplicar.

Parte dos estudos que identificaram erros relacionados ao comportamento dos indivíduos apontam como solução somente a conscientização dos ocupantes para boas práticas e medidas de economia e ensinar como usar corretamente os equipamentos, como é o caso dos estudos de Herrando *et al.* (2016) e Dall'O *et al.* (2012). No entanto, mesmo assim não se pode garantir que as questões relativas ao comportamento serão resolvidas. Além disso, essas medidas educativas não podem ser dimensionadas em uma simulação termoenergética.

Newsham, Mancini e Birt (2009) apontam que simular o uso de energia em edificações cria, de fato, uma expectativa de melhorar o desempenho. No entanto, é preciso lembrar que os modelos foram destinados apenas a expressar principalmente o desempenho relativo, não para expressar fielmente a realidade do consumo. Em muitos casos não é possível prever, concretamente, a variação de fatores operacionais, como horários de ocupação, cargas de equipamentos e tempo de uso e comportamento dos indivíduos, pois eles envolvem variáveis imprevisíveis que limitam a precisão do modelo. O recomendável é adaptar o modelo de referência às características climáticas e construtivas locais, tornando a economia de energia mais próxima da realidade.

Como pode-se perceber, diversos estudos têm sido realizados ao redor do mundo tratando da eficiência energética de edificações com Certificação LEED. Enquanto os artigos citados anteriormente apontam que edifícios LEED não usam menos energia em comparação com os não certificados, outros afirmam o contrário (AMIRI; OTTELIN; SORVARI; 2019). Chen, Lee e Wang (2015) estudaram três prédios de escritórios com Certificação LEED na China para avaliar seu desempenho energético. Um desses edifícios estava localizado em Pequim e dois em Xangai. Os resultados mostraram redução no uso de energia nesses edifícios de 2 a 5%. Além disso, o estudo revelou que o LEED, em geral, estabelece requisitos mais rigorosos do que os códigos de energia de construção da China em condições de *design* interno, características de envelope de construção e recursos do sistema de ar-condicionado. Sabapathy *et al.* (2010) concluíram que edifícios com Certificação LEED usam em média 34% menos energia, o que resulta em redução de custo de 8% em Bangalore, Índia.

Ugur e Leblebici (2017) estudaram dois edifícios com Certificação LEED na Turquia, um com nível *Gold* e outro com nível *Platinum*, e estes apresentaram 31% e

40% menos consumo de energia do que edifícios não certificados. Kern *et al.* (2016) avaliaram um edifício com Certificação LEED *Gold* no Brasil e constataram que o consumo de energia e água medido durante o primeiro ano de ocupação são superiores aos previstos no projeto, porém apresentam tendência de redução ao longo do tempo. No entanto, os ocupantes se mostraram satisfeitos com o conforto térmico e luminoso e consideram que a certificação promove a qualidade do trabalho.

Scofield (2022) afirma que não há uma resposta definitiva ao se indagar se os edifícios LEED, de fato, economizam energia. O fato é que os padrões LEED, assim como as normas nas quais a certificação se baseia, estão em constante evolução, assim como o desempenho energético de um edifício também é passível de mudanças frequentes. Desse modo, à medida que programas de simulação são desenvolvidos para atender as mudanças climáticas, é recomendável e necessário coletar dados continuamente para verificar se eles estão alcançando os resultados desejados.

Esforços para o avanço do LEED em representar melhor a sustentabilidade e serem aceitos mundialmente estão sendo feitos. Em teoria, esses avanços podem ser identificados pelas diferentes versões LEED publicadas. O LEED está em constante evolução e buscando melhorar, o que pode ser constatado no fato de que cada nova versão do LEED representa um avanço em relação às versões anteriores. Novas versões buscam superar as limitações operacionais identificadas nas anteriores, visando tornar-se uma ferramenta mais flexível e adaptada às diferentes regiões do mundo, e mais alinhada com o conceito de sustentabilidade (OBATA *et al.*, 2019).

Nos últimos anos, o Brasil tem ocupado a 4ª posição como país que mais investe em prédios verdes em todo o mundo (CASACOR, 2021). Além disso, atualmente, o Brasil é o 4º país que mais certifica LEED no mundo de acordo com o GBC (2018). Tendo isso em vista, o processo de certificação se mostra como um fator relevante e atrativo não só para os ocupantes dos edifícios, mas também para as construtoras, incorporadoras e financiadores (FONSECA *et al.*, 2022). Portanto, vê-se a necessidade de investir esforços na melhoria de certificações como a LEED, uma vez que ela já está fortemente presente no mercado brasileiro da construção civil.

2.4. ASHRAE 90.1

O impacto ambiental da indústria da construção tornou altamente relevante a introdução de metas de sustentabilidade ambiental em todo o mundo (SCOFIELD;

DOANE; 2018). A partir da preocupação com a questão energética, muitos países desenvolveram suas próprias normas e regulamentos relacionados à eficiência energética em edificações. Entre as mais renomadas e utilizadas no mundo, estão as normas norte-americanas. Em 1975, a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) implantou a sua primeira norma de eficiência energética para projetos e construções de novas edificações, a *ASHRAE Standard 90*. Em 1989, a ASHRAE implantou a *Standard 90.1 (Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings)* estabelecendo os requisitos mínimos de eficiência energética de edifícios comerciais e residenciais, exceto para edifícios residenciais de poucos pavimentos. A norma considera a envoltória da edificação, sistemas de condicionamento de ar, iluminação artificial, e aquecimento de água incluindo motores e equipamentos (MAZZAFERRO, 2015).

A *ASHRAE Standard 90.1* passou por diversas revisões desde a sua criação. Em 1999, o Conselho de Administração votou em estabelecer um padrão de manutenção contínua, devido às mudanças rápidas na tecnologia e aos preços de energia. A norma foi atualizada em 2004, 2007, 2010, 2013 e 2016 para atender as tecnologias mais novas e mais eficientes.

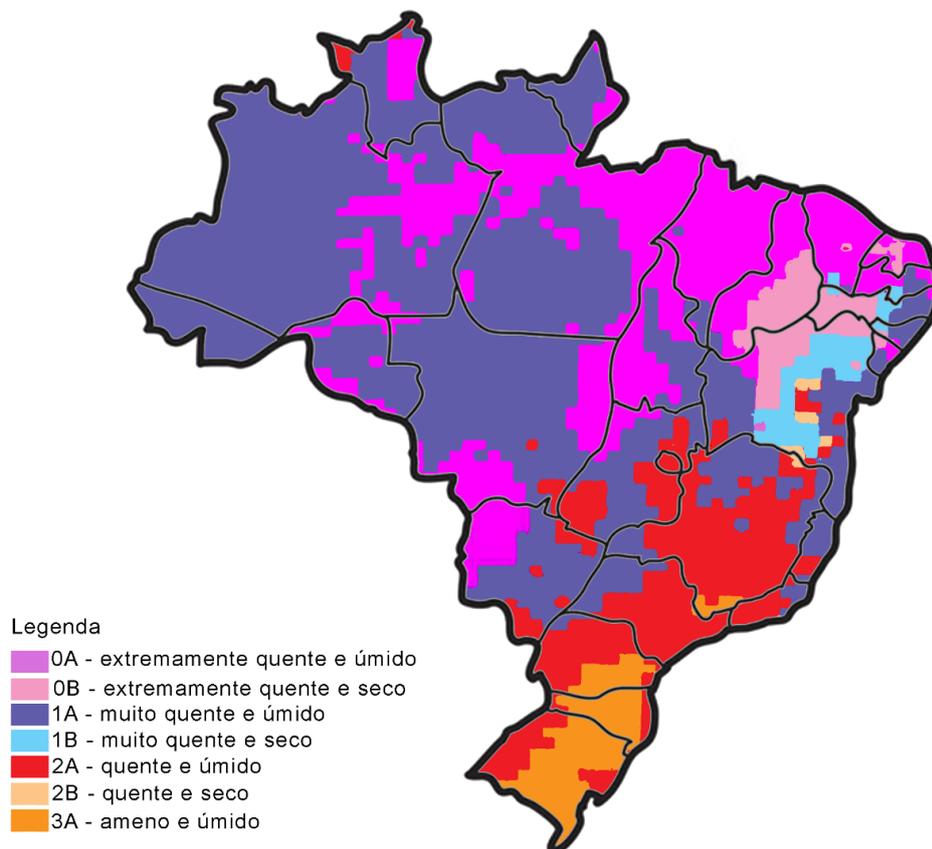
Para o pré-requisito “desempenho mínimo de energia” e para o crédito “otimizar desempenho energético”, a Certificação LEED propõe a demonstração de melhoria no desempenho energético do edifício proposto, em comparação com o desempenho do edifício de referência. Um meio de atender esses critérios é utilizar um modelo de simulação. Nesse caso, o desempenho do edifício de referência deve ser calculado de acordo com o Apêndice G da Norma ASHRAE 90.1 – 2016, com errata (ou uma norma equivalente aprovada pelo USGBC para projetos fora dos Estados Unidos).

É possível também atender esses critérios por meio da conformidade prescritiva, que vale apenas para projetos que seguem as determinações: (I) edifícios de escritórios com menos de 100.000 ft² (9.290 m²); (II) edifícios de varejo de 20.000 a 100.000 ft² (1.860 a 9.290 m²); (III) edifícios escolares de educação infantil a ensino fundamental; (IV) hospitais com mais de 100.000 ft² (9.290 m²). Esses casos também devem demonstrar conformidade com as disposições obrigatórias e prescritivas da Norma ASHRAE 90.1 – 2010. (USGBC, 2021b). No entanto, para verificar as alterações propostas pela nova atualização da norma, será considerada a atualização de 2016, que já é usada na versão 4.1 da certificação.

De acordo com a ASHRAE 90.1, uma edificação de referência deve conter todos os requisitos obrigatórios e prescritivos nela apresentados. Com base na zona

bioclimática relacionada à localização do edifício, ela estabelece requisitos de alguns parâmetros, como valores de transmitância e capacidade térmica de paredes e telhados, relação janela-parede (WWR do inglês *window-to-wall ratio*) e fator solar do vidro (MELO *et al.*, 2015). A zona bioclimática é apresentada na ASHRAE *Standard 169 (Climatic Data for Building Design Standards)*, que foi publicada pela primeira vez em 2006. Nela há um conjunto abrangente de zonas climáticas térmicas que são usadas como base para especificar os requisitos da envoltória da edificação. As zonas climáticas são numeradas de 0 a 8, e as zonas 0 a 6 possuem até três subzonas, classificadas de acordo com o nível de umidade (A, B ou C). Como mostra a Figura 2, o Brasil possui sete zonas climáticas visualmente identificáveis no mapa da ASHRAE *Standard 169 – 2021*: 0A, 0B, 1A, 1B, 2A, 2B e 3A.

Figura 2: Zoneamento bioclimático brasileiro de acordo com a ASHRAE 169 de 2021



Fonte: Adaptado de ASHRAE 169 – 2021.

Para caracterizar as zonas climáticas, a ASHRAE 169 utiliza o método de graus-dias de aquecimento (*Heating Degree Days – HDD*) e de resfriamento (*Cooling*

Degree Days – CDD), o qual adota as temperaturas-base de 18°C e 10°C, respectivamente. As temperaturas base utilizadas pela ASHRAE foram definidas por Briggs, Lucas e Taylor (2003). Os CDD estão comumente relacionados a zonas climáticas que apresentam temperaturas mais altas ou climas mais quentes. Eles medem os requisitos de resfriamento de uma edificação ou de um lugar tomando por base a diferença das temperaturas diárias médias em relação a uma outra temperatura de referência.

Em regiões onde os climas são mais quentes, as temperaturas diárias médias frequentemente ultrapassam a temperatura de referência (10°C) durante parte significativa do ano. Assim, o valor de CDD nessas regiões tende a ser mais alto, significando maior necessidade de resfriamento para assegurar condições internas confortáveis. Áreas com verões prolongados ou climas tropicais provavelmente terão valores de CDD mais altos. As cidades com climas mais amenos ou mais frios podem ter CDDs mais baixos pelo fato de que as temperaturas diárias médias podem não extrapolar a temperatura de referência de forma tão frequente. Essas regiões demandam menos energia de resfriamento para manter condições internas confortáveis.

Em dias frios, os HDD utilizados estão relacionados à necessidade de aquecimento em edifícios e locais em períodos com temperaturas mais baixas. O conceito de HDD baseia-se na diferença entre a temperatura média diária e uma temperatura de referência (18°C). Se a temperatura média diária está abaixo da temperatura de referência, a diferença é positiva, mostrando a presença de um *Heating Degree Day*. Quanto mais baixa a temperatura média diária, em relação à temperatura de referência, maior será o HDD. Onde os invernos são rigorosos ou mais frios, é comum as temperaturas médias diárias ficarem abaixo da temperatura de referência durante período significativo, aumentando a quantidade de HDDs.

No entanto, a temperatura-base de CDD adotada pela ASHRAE 169 pode ser considerada baixa para climas como o do Brasil, visto que as temperaturas externas em grande parte do país estão acima de 10,0°C, o que pode tornar esse valor inadequado para o cálculo de CDD. Bhatnagar, Mathur e Garg (2018) acreditam que a temperatura de 10,0°C para cálculo de CDD para classificação de zonas climáticas parece baixa e somente as cargas internas e o ganho por radiação solar podem não atingir a temperatura ideal de resfriamento em edifícios comerciais. Além disso, os autores indicam que a análise foi feita na década de 1980 e deve ser revisada de acordo com as condições atuais, pois além das mudanças climáticas, as

características do envelope e equipamentos disponíveis também mudaram. Nesse estudo, foram realizadas simulações para determinar a temperatura base para cidades na Índia, concluindo-se que a temperatura base estimada para resfriamento aumentou de 10,0°C para 18,0°C, enquanto a temperatura de aquecimento diminuiu de 18,3°C do padrão ASHRAE 169 – 2013, para 18,0°C.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, Walsh, Cóstola e Labaki (2019) quantificaram o descompasso entre o desempenho energético real dos edifícios e o desempenho esperado nas zonas climáticas definidas pela ASHRAE 169 – 2013 onde estão inseridos. Os autores concluíram que a zona climática estipulada pela norma classifica equivocadamente 10% da área estudada. Esses equívocos impactam diretamente as políticas de eficiência energética, que podem não ser as mais adequadas ao seu clima. Segundo eles, a classificação incorreta pode ter um impacto significativo na indústria da construção, no desempenho energético das edificações e nas políticas energéticas propostas. É importante destacar ainda que as zonas climáticas da ASHRAE 169 influenciam mais do que apenas os regulamentos de edificações da mesma norma. Diversos programas, normas e políticas que promovem a construção sustentável utilizam tais zonas climáticas, como é o caso da Certificação LEED. Essas considerações abrem espaço para o seguinte questionamento: a divisão climática do Brasil proposta pela ASHRAE 169 é adequada para o contexto brasileiro?

As envoltórias das edificações, compostas por paredes, telhados e janelas, exercem impacto significativo na necessidade de resfriamento e aquecimento dos ambientes. A transferência de calor é influenciada principalmente pelas características da envoltória. Um projeto adequado ajuda a reduzir os requisitos anuais de energia para condicionamento do ar (MELO *et al.*, 2015).

A ASHRAE *Standard* 90.1, assim como outras normas e regulamentos internacionais que promovem o uso eficiente da energia, indica o uso de isolamento térmico na envoltória visando limitar os ganhos de calor externos. Isso se deve principalmente ao fato de que os estudos realizados na elaboração dessas normas se basearam predominantemente em climas frios e amenos, condições nas quais o isolamento apresenta bom desempenho. Considerando a transferência de calor entre partículas, sabe-se que o calor flui naturalmente de uma região com temperatura mais alta para uma de temperatura mais baixa. Dessa forma, no inverno, o calor tende a sair do ambiente interno de um edifício, que está quente, para o ambiente externo que está mais frio. Inserindo isolamento na envoltória, a taxa de transferência de calor é significativamente reduzida, pois ele atua como uma resistência térmica, evitando a

perda de calor para o ambiente e melhorando a eficiência energética. Porém, existem estudos que não recomendam o uso de isolamento em edificações com altas cargas térmicas, uma vez que ele dificulta a perda de calor para o meio externo.

Em edifícios com altos valores de cargas térmicas internas, como escritórios e edifícios localizados em climas com invernos amenos e verões quentes, a redução excessiva do valor da transmissão térmica dos componentes opacos poderia gerar redução do consumo de energia de aquecimento no inverno. No entanto, também pode causar aumento do consumo de energia para resfriamento no verão, podendo este ser maior do que a redução alcançada. Isto é, em alguns casos, a dificuldade de uma envoltória muito isolada de liberar o calor excessivo durante a estação quente poderia eliminar o benefício relacionado à redução das cargas térmicas durante os períodos frios (D'AGOSTINO *et al.*, 2019). A espessura ideal de isolamento para reduzir a transferência de calor dependerá do tipo de construção, orientação solar, eficiência do sistema de ar-condicionado, entre outros; mas dependerá principalmente das condições climáticas do edifício (MELO *et al.*, 2015). Desse modo, é preciso estabelecer a partir de que ponto é viável termicamente inserir isolamento térmico na envoltória de edificações em climas quentes (MAZZAFERRO, 2015).

Melo (2007) analisou o desempenho energético de edificações comerciais buscando verificar a influência da transmitância e capacidade térmica das superfícies opacas para diferentes condições de carga interna. Os parâmetros analisados foram densidades de carga interna, absorvância solar externa, padrão de uso e WWR. Duas tipologias foram desenvolvidas: um edifício de cinco pavimentos e uma loja comercial de um pavimento. Foram realizadas simulações nas cidades de Florianópolis, Curitiba e São Luís. O estudo mostrou que o aumento da transmitância térmica das paredes da primeira tipologia proporcionou redução do consumo anual da edificação em todos os climas analisados. Em contrapartida, na segunda tipologia, o aumento da transmitância térmica da cobertura representou aumento do consumo anual da edificação. Os resultados encontrados contestam os limites adotados pela ASHRAE *Standard* 90.1 – 2004. A utilização de paredes e telhados não isolados, ou seja, com alto valor de transmitância térmica, facilitou a dissipação dos ganhos internos de calor para o ambiente externo, reduzindo o consumo do sistema de ar-condicionamento para os três climas analisados.

Chvatal (2007) estudou a relação entre aumento de isolamento térmico da envoltória de edificações e seu desempenho térmico, devido à exigência de envoltórias gradualmente mais isoladas, por parte dos regulamentos e diretivas de

desempenho energético da Europa. Houve variação de parâmetros como: espessura do isolamento, ventilação, sombreamento, clima, absorvância e inércia térmica das paredes externas. Foi constatado que, em edificações comerciais condicionadas artificialmente com alta densidade de carga interna, o isolamento térmico não proporciona economia de energia. Pelo contrário, a adoção de isolamento térmico pode aumentar o consumo de energia elétrica destinado ao condicionamento de ar em climas da Europa Meridional, principalmente se a edificação apresentar alta densidade de carga interna.

Chvatal e Corvacho (2009) analisaram envoltórias altamente isoladas para edificações de escritórios e residências localizadas em Porto, Lisboa e Évora. O estudo mostrou que adicionar isolamento pode ser benéfico para unidades habitacionais, mas pode ser indesejável para o mesmo edifício se for usado como um pequeno escritório. Concluíram que escritórios com maiores ganhos internos não devem ser altamente isolados. Além de gerar problemas de desconforto, o aumento do consumo para resfriamento pode ser maior do que a economia com aquecimento, aumentando o consumo total de energia dos edifícios à medida que o isolamento do envelope aumenta. Ou seja, envelopes altamente isolados, tradicionalmente considerados economizadores de energia e como melhor opção para proporcionar conforto, nem sempre trazem benefícios. Os resultados indicam que é essencial controlar os ganhos solares e internos para se alcançar algum benefício relacionado à redução do consumo de energia.

Chirarattananon, Hien e Tummu (2012) observaram o desempenho econômico e energético de paredes isoladas termicamente em duas salas localizadas na Tailândia. Ambas as salas têm as mesmas características, exceto a espessura do isolamento. As paredes são isoladas externa e internamente em diferentes espessuras. Os espaços assumem três funções comerciais: hotel (funcionamento 24 horas todos os dias da semana), escritório (funcionamento das 8h às 18h de segunda a sexta-feira) e loja de departamentos (10h às 22h, todos os dias da semana). Concluiu-se que o isolamento pode melhorar o desempenho térmico das paredes, mas a função que um espaço exerce determina onde o isolamento deve ser colocado e qual a economia proporcionada por ele.

Melo, Sorgato e Lamberts (2014) compararam a avaliação de desempenho energético de edificações de acordo com as exigências da norma *ASHRAE Standard 90.1-2007* e com o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Foram

realizadas simulações para avaliar a classificação energética de edificações comerciais e residenciais localizadas em três cidades brasileiras: Brasília, Rio de Janeiro e Belém. Foi visto que, para os edifícios comerciais, há equivalência entre os níveis de A e C da regulamentação brasileira e o modelo de referência da ASHRAE 90.1 – 2007, dependendo do clima considerado. A principal diferença observada entre os dois modelos está relacionada à transmissão térmica das paredes e telhados, pois a ASHRAE 90.1 – 2007 exige maior isolamento nas edificações.

Melo *et al.* (2015) analisaram o desempenho energético de edifícios comerciais no Brasil a partir da influência do uso do isolamento térmico, levando em conta a influência de diferentes parâmetros aplicados em duas tipologias localizadas em Curitiba, Florianópolis e Salvador. Foi realizada também comparação entre os valores recomendados pela ASHRAE 90.1 e os materiais mais usados na construção de paredes e telhados em edifícios no Brasil. Dependendo das condições climáticas do edifício comercial, o uso de material isolante pode aumentar a carga térmica anual. Uma superfície isolada restringe a dissipação do ganho de calor interno para o ambiente externo. Conseqüentemente, reflete aumento no uso do sistema de ar-condicionado. Esses resultados contrariam os limites máximos do coeficiente global de transferência de calor para paredes da Norma ASHRAE 90.1, pelo menos para climas quentes dominados pelo uso de resfriamento.

Ao analisar as recomendações de envoltória da ASHRAE *Standard* 90.1 – 2013, Mazzaferro (2015) encontrou que elas podem ser aplicadas em edificações com densidades de carga interna baixa e climas amenos ou frios. No entanto, elas não contribuem para reduções no consumo de energia elétrica para densidades de cargas elevadas e climas quentes. Concluiu-se que as recomendações referentes à envoltória não são adequadas para edificações comerciais situadas em climas quentes, como é o caso de grande parte dos climas brasileiros.

2.5. Síntese da revisão bibliográfica

As certificações ambientais podem servir como norteadoras de edificações sustentáveis, mas para isso as edificações devem ter projetos precisos e bem pensados de acordo com seu local de implantação. Conforme apresentado neste estudo, a Certificação ambiental LEED, assim como a norma ASHRAE 90.1, foi criada e desenvolvida nos Estados Unidos (EUA), com base nas características geográficas

e climáticas, bem como nos recursos de eficiência energética e materiais disponíveis em seu país de origem.

Desse modo, a Certificação LEED pode apresentar alguns problemas, com soluções que podem ser inadequadas para o clima e o contexto de lugares fora dos EUA, o que pode prejudicar o desempenho energético da edificação. Mesmo que o sistema de avaliação seja baseado em pontuações mínimas e máximas atribuídas por eficiência e economia, a falta de adaptação a diferentes condições climáticas pode ocasionar uma falsa ideia de eficiência energética (MESQUITA; MEDEIROS, 2018). Apesar dessas limitações e da necessidade de ajuste em alguns de seus critérios ao ser aplicada, a Certificação LEED se destaca positivamente na disseminação da sustentabilidade na construção civil de modo geral.

Como foi visto, um dos pré-requisitos para a obtenção da certificação é apresentar desempenho mínimo de energia por meio da comparação do modelo de edificação proposta com um modelo de referência. No entanto, comparar o modelo proposto com um de referência que apresenta desempenho energético mais alto do que o consumo das edificações locais não o torna eficiente. Os modelos de referência de edificações representam as tipologias mais comuns em determinada região e são desenvolvidos para servir como ponto de partida para se alcançar objetivos relacionados à eficiência energética. Dessa forma, o modelo de referência proposto pela ASHRAE não reflete as características mais encontradas em outros países, pois representa as tipologias existentes em seu país de origem, ou seja, os Estados Unidos.

Em uma edificação, a transmissão de calor ocorre tanto do exterior para o interior, quanto do interior para o exterior. O sentido do fluxo depende basicamente da diferença entre temperatura interna e externa. Quanto maior a diferença entre as duas temperaturas, maior será a quantidade de energia térmica transferida. No verão, o calor do ambiente externo migra para o interior das edificações, aumentando a carga térmica a ser retirada pelo sistema de condicionamento de ar. No inverno, a transferência de calor costuma ser invertida, ou seja, do ambiente interno para o externo, exigindo maior utilização de calefação. As trocas de calor entre os ambientes interno e externo ocorrem por meio da envoltória da edificação, formada por paredes, cobertura, piso e janelas. Uma forma de restringir o fluxo de calor entre os ambientes internos e externos é utilizando isolantes térmicos em paredes e coberturas (MAZZAFERRO, 2015).

Tendo isso em vista, a ASHRAE 90.1 recomenda o desenvolvimento de um modelo de referência utilizando paredes e coberturas isoladas termicamente. O motivo é que em climas frios e amenos, como é o caso dos Estados Unidos, é recomendável restringir a perda de calor do ambiente interno para o externo, visando reduzir o uso de condicionamento de ar para aquecimento.

No entanto, como mostram os estudos de Melo (2007), Chvatal (2007), Chvatal e Corvacho (2009), Melo *et al.* (2015) e Mazzaferro (2015), nas regiões de clima mais quente, o isolamento deve ser cuidadosamente analisado. As edificações construídas nessas zonas são submetidas a maiores ganhos de calor, que não podem ser facilmente liberados caso a envoltória da edificação seja muito isolada. Por isso, a quantidade de energia necessária para o resfriamento é maior, aumentando o consumo total de energia e prejudicando o desempenho energético da edificação (MAZZAFERRO, 2015). Dessa forma, deve ser considerado que as recomendações da ASHRAE 90.1 podem não ser adequadas para o contexto brasileiro, onde há predomínio de climas quentes.

À luz desta revisão bibliográfica, esta pesquisa analisará as recomendações do Apêndice G da ASHRAE *Standard* 90.1 – 2016, relacionadas à envoltória de edificações comerciais, versão da norma considerada na versão 4.0 da Certificação LEED. Serão consideradas as zonas climáticas propostas pela ASHRAE 169 – 2021.

3. Método

Para alcançar o objetivo geral de avaliar o desempenho energético do modelo de referência da ASHRAE *Standard* 90.1 de 2016, será feita comparação das recomendações de envoltória da ASHRAE com outras envoltórias em diferentes cidades brasileiras, considerando-se diferentes tipos de paredes, coberturas e vidros. Essas envoltórias consistem em materiais construtivos comumente encontrados em edificações no Brasil. A comparação visa entender como a edificação de referência considerada pela Certificação LEED se comporta comparativamente a uma edificação convencional, ou seja, que não busca obter a certificação.

Para isso, primeiramente será analisado um modelo de referência que será submetido às recomendações indicadas no Apêndice G da norma ASHRAE. A partir desses dados, as cidades escolhidas serão analisadas em pares, agrupadas conforme suas zonas climáticas. Concluída a análise dos dados obtidos seguindo o proposto pela ASHRAE, serão realizadas análises combinatórias para cada localidade, seguindo métodos construtivos comuns em edificações brasileiras, com diferentes tipos de envelope e desempenho térmico.

Para a análise do desempenho energético da edificação será adotado o programa de simulação computacional *EnergyPlus* (DOE, 2014), versão 22.2, e o programa *OpenStudio* versão 3.5, versões mais recentes encontradas. Esse programa é usado para estimar o consumo de energia em uma edificação, considerando aquecimento, resfriamento, ventilação, iluminação e cargas de equipamentos. Tal estimativa baseia-se no comportamento térmico e energético da edificação, no clima em que ela está inserida e nas cargas térmicas definidas no programa.

É importante delimitar que para alcançar construções eficientes é preciso ter como base de comparação edificações minimamente mais eficientes do que aquelas convencionais em determinada região, mas ao mesmo tempo não podem ter consumos muito mais baixos exigindo grandes investimentos. A comparação com construções de alto consumo pode levar a um resultado falsamente eficiente, pois ainda que os valores encontrados sejam mais baixos do que aqueles do patamar comparado, eles ainda podem ser significativamente altos. Dessa forma, uma edificação certificada pode acabar não sendo de fato eficiente se para a obtenção da certificação for comparada a um modelo com alto consumo. Ao mesmo tempo, comparar com uma edificação de consumo muito inferior pode impossibilitar a

obtenção da certificação, devido aos grandes investimentos necessários para alcançar a economia mínima de energia.

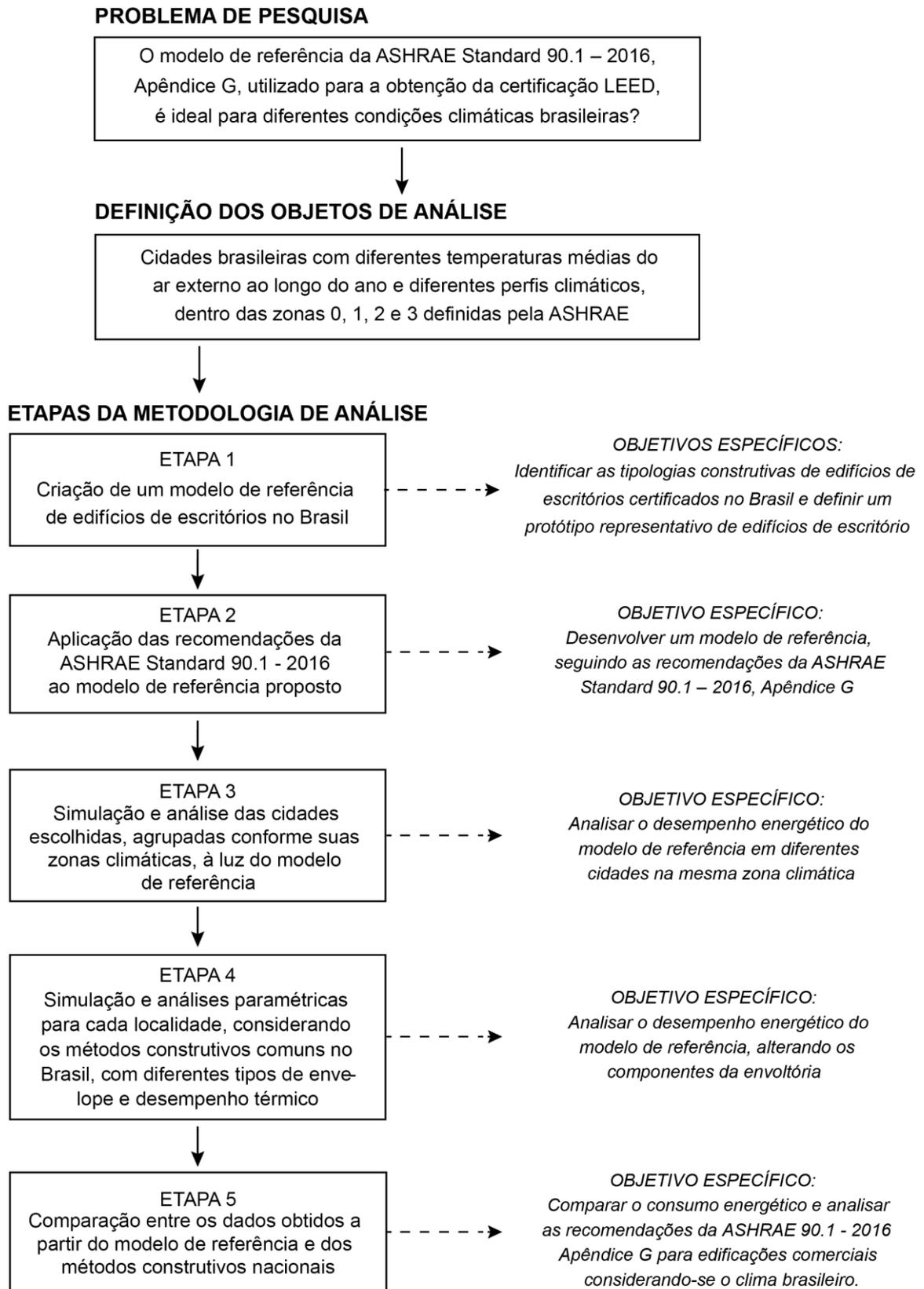
Este capítulo está subdividido em quatro seções, detalhando os procedimentos adotados para a realização do trabalho. A primeira seção trata dos climas selecionados. A segunda seção apresenta a definição do modelo de referência, tratando da geometria, das cargas térmicas internas e do sistema de condicionamento de ar, seguindo as recomendações do Apêndice G da ASHRAE 90.1. Tais parâmetros são os mesmos para todas as simulações. A terceira seção trata da envoltória da edificação, apresentando os valores de transmitância térmica recomendados pela norma para o modelo de referência. A quarta seção apresenta as propriedades da envoltória definidas para a realização da comparação. A Figura 3 apresenta um fluxograma com as etapas a serem seguidas na pesquisa, visando atingir os objetivos específicos propostos.

3.1. Seleção dos objetos de estudo

Seguindo os conceitos da segunda lei da termodinâmica, sabe-se que as trocas de calor têm tendência a igualar temperaturas diferentes, atingindo equilíbrio térmico, que acontece de forma espontânea. Dessa forma, o sentido do fluxo da transmissão de calor em uma edificação depende principalmente da diferença entre temperatura interna e externa. Quanto maior a diferença entre as duas temperaturas, maior será a quantidade de energia térmica transferida. Dessa forma, variáveis externas como temperatura externa, radiação solar incidente, temperatura do solo, velocidade do vento e umidade exercem grande influência no desempenho energético da edificação. Tais variáveis oscilam ao longo das horas do dia e das estações do ano, mudando constantemente o comportamento térmico da edificação.

Conforme também foi apresentado, a ASHRAE 90.1 define parâmetros para a envoltória da edificação de referência de acordo com o clima. Na versão de 2016, o clima é definido a partir da norma ASHRAE *Standard 169 – Climatic Data for Building Design Standards* (2021), considerando duas novas zonas climáticas – 0A e 0B. No entanto, as recomendações de envoltória do Apêndice G da norma são as mesmas para as zonas 0 e 1. Com relação à zona 2, as especificações também são as mesmas, com exceção do piso, e para a zona 3 a norma modifica apenas o valor de transmitância do vidro.

Figura 3: Fluxograma do método



Os arquivos climáticos adotados foram escolhidos de modo a representarem diferentes condições climáticas dentro das zonas 0, 1, 2 e 3, definidas pela ASHRAE

Standard 169 como climas extremamente quentes, muito quentes, quentes e amenos, respectivamente. As cidades foram escolhidas de modo que apresentassem diferentes temperaturas médias do ar externo ao longo do ano e diferentes perfis climáticos. Além disso, essa seleção levou em consideração as divisões climáticas propostas pela ASHRAE 169 – 2021, de forma que cada zona climática – entre as zonas 0 (A e B), 1 (A e B), 2 (A e B) e 3 (A) estabelecidas pela norma – estivesse representada por duas cidades. Desse modo, é possível comparar o desempenho do modelo de referência em diferentes condições climáticas, mas dentro da mesma zona.

Para caracterizar as zonas climáticas, foi calculado o total de graus-dias de aquecimento (HDD) e de resfriamento (CDD) por meio dos arquivos climáticos, adotando as temperaturas-base de 18°C e 10°C, respectivamente, de acordo com a indicação da ASHRAE 169. Com esses valores, classifica-se a cidade nas zonas de 0 a 8 conforme os intervalos indicados na Tabela 1.

Tabela 1: Definições de zona climática térmica de acordo com a ASHRAE 169 de 2021

Zona	Nome	Graus-dia
0	Extremamente quente	$6000 < CDD 10^{\circ}C$
1	Muito quente	$5000 < CDD 10^{\circ}C \leq 6000$
2	Quente	$3500 < CDD 10^{\circ}C \leq 5000$
3	Ameno	$CDD 10^{\circ}C < 3500$ e $HDD 18^{\circ}C \leq 2000$
4	Misto	$CDD 10^{\circ}C < 3500$ e $2000 < HDD 18^{\circ}C \leq 3000$
5	Fresco	$CDD 10^{\circ}C \leq 3500$ e $3000 < HDD 18^{\circ}C \leq 4000$
6	Frio	$4000 < HDD 18^{\circ}C \leq 5000$
7	Muito frio	$5000 < HDD 18^{\circ}C \leq 7000$
8	Subártico/ártico	$7000 < HDD 18^{\circ}C$

Fonte: ASHRAE 90.1 – 2016.

Quanto à umidade, os climas são classificados como úmido, seco e marinho (A, B e C, respectivamente), também conforme a ASHRAE 169. A precipitação ao longo do ano é classificada com base na temperatura média anual e na quantidade máxima de precipitação ao longo do ano. Os critérios para a cidade ser classificada na zona C (marinha) são (ASHRAE, 2016):

- Temperatura média do mês mais frio entre -3°C e 18°C;
- Temperatura média do mês mais quente menor que 22°C;
- Pelo menos quatro meses com temperatura média acima de 10°C;

- Estação seca no verão. O mês com maior precipitação na estação fria tem pelo menos três vezes mais precipitação do que o mês com menor precipitação no resto do ano. A estação fria é de outubro a março no Hemisfério Norte e de abril a setembro no Hemisfério Sul.

Para classificação na zona B (seca), os critérios são:

- Não estar na zona C;
- Considerar a Equação 1 se 70% ou mais da precipitação anual ocorrer durante o período de outubro a março, no caso do Hemisfério Sul; a Equação 2 se a precipitação for entre 30% e 70%; e a Equação 3 se for menos de 30%.

$$P < 20 \times (T+14) \quad (1)$$

$$P < 20 \times (T+7) \quad (2)$$

$$P < 20 \times T \quad (3)$$

Onde:

P é a precipitação anual (mm);

T é a temperatura média anual (°C).

Por fim, as cidades na zona A são as que não são nem marinhas (C) nem secas (B).

Para este estudo, foram utilizados os arquivos climáticos TMY (*Typical Meteorological Year*), obtidos no *Climate One Building, 2022*. Em casos em que não é possível obter o arquivo da cidade em estudo, a certificação recomenda utilizar o arquivo de cidades próximas. No entanto, foram identificados arquivos para todas as cidades escolhidas, sendo utilizados, portanto, os arquivos climáticos das próprias cidades analisadas. A Figura 4 indica as localizações das cidades selecionadas. A Tabela 2 apresenta as respectivas zonas climáticas das cidades selecionadas de acordo com a divisão proposta pela ASHRAE 169 – 2021, assim como os graus-dias e os dados de precipitação e temperatura encontrados nos arquivos climáticos para definição das zonas climáticas.

Figura 4: Localização das cidades analisadas no mapa do Brasil



3.2. Definição do modelo de referência

Conforme apresentado na seção 2.3, para o atendimento ao desempenho mínimo de energia, a Certificação LEED tem como opção a comparação do modelo proposto com um modelo de referência de acordo com o Apêndice G da Norma ASHRAE 90.1 – 2016. Tendo isso em vista, o modelo proposto nesta pesquisa segue as recomendações apresentadas na seção G.3 desse Apêndice.

Tabela 2: Dados utilizados para a definição da zona climática das cidades selecionadas

Cidades	Zona	Graus-dias	Graus-dias	Precipitação (mm)		Temperatura média anual (°C)	Resultado da equação de classificação da zona
		Aquecimento Tb=18°C	Resfriamento Tb=10°C	Anual	Outubro a março		
Manaus (AM)	0A	0	6304	2928	1721	27,26	685,20
Porto Nacional (TO)	0A	0	6254	1336	1197	27,13	822,60
Florianópolis (PI)	0B	0	6709	789	652	28,38	847,60
Santa Rita de Cássia (BA)	0B	0	6125	684	615	26,78	669,00
Natal (RN)	1A	0	5952	1156	427	26,31	666,20
Campina Grande (PB)	1A	0	5067	543	256	23,88	617,60
Campos Sales (CE)	1B	0	5880	502	309	26,11	802,20
Montes Claros (MG)	1B	0	5056	661	607	23,85	757,00
São Carlos (SP)	2A	56	4294	1164	1022	21,77	715,40
Paraty (RJ)	2A	11	4613	3394	2534	22,64	732,80
Caruaru (PE)	2B	1	4653	235	542	22,75	595,00
Campo Grande (MS)	2B	124	4716	392	363	22,91	738,00
Curitiba (PR)	3A	498	2953	1496	1098	18,07	641,40
Santa Maria (RS)	3A	610	3238	1820	818	18,77	515,40

3.2.1. Geometria

Seguindo os requisitos da norma, a edificação de referência deve ter as mesmas características geométricas do modelo proposto, com exceção da área de janela. Para a elaboração do modelo predominante de edifício de escritórios, foram levantados dados de edificações de escritórios já construídos e que já receberam a Certificação LEED no Brasil, utilizando dados do site do GBC Brasil (*Green Building Council Brazil*) (GBC BRASIL, 2022). Foram considerados somente os edifícios identificados como de escritórios nas categorias Novas Construções (*New Construction*) e Envoltória e Núcleo Central (*Core & Shell*), considerando que esta é uma amostra representativa dos padrões construtivos atuais.

Após análise das edificações certificadas pelo LEED caracterizadas como escritórios nas categorias definidas anteriormente, foram identificadas 267 edificações comerciais. No entanto, dessa amostra foram desconsideradas as edificações que são de uso misto, agências bancárias, escritórios industriais e centros médicos, assim como as definidas como confidenciais, uma vez que estas estão fora do escopo da pesquisa e não seria possível obter dados suficientes das edificações confidenciais. Dessa forma, restaram 175 edificações de escritórios, das quais foi possível obter informações relativas ao projeto – como forma e número de pavimentos – de 116 edificações.

Para definir a área de janelas (ou *window-to-wall ratio*), utilizaram-se também os critérios da ASHRAE 90.1 – 2016. Para edifícios de escritórios com área construída menor que 464,5 m², a porcentagem de abertura indicada é de 19%, para edifícios com área construída entre 464,5 m² e 4.650,0 m², o percentual é de 31%, e para áreas maiores que 4.650,0 m², a porcentagem máxima de abertura para o modelo base é de 40% da área da fachada. Dessa forma, após a definição da área construída do modelo em estudo, define-se também a área de janela.

3.2.2. Cargas térmicas internas

Os parâmetros de carga térmica interna descrevem os ganhos de calor produzidos dentro da zona térmica. Foram definidas para este estudo as cargas térmicas internas do sistema de iluminação, a densidade de carga de equipamento e a ocupação. O Apêndice G define parâmetros somente para a carga de iluminação e indica que as

outras cargas devem ser representadas no modelo de referência da mesma forma que no modelo proposto.

De acordo com o Apêndice G, existem dois métodos para atender as exigências da norma quanto à potência de iluminação instalada. No primeiro adota-se que a área total é multiplicada pela densidade de potência máxima permitida, conforme a ocupação da edificação (escritório, hotel, hospitais, escolas). No segundo, a potência total é a soma das densidades de potências permitidas conforme o ambiente (escritório, banheiro, corredor, garagem), multiplicadas por sua área. Para esta pesquisa, foi adotado o primeiro método; portanto, para escritórios, é indicada potência dissipada de 11,06 W/m². Além disso, o Apêndice define que a iluminação deve ser modelada com controles de desligamento automático em edifícios maiores que 464,0 m².

Para as cargas de equipamento e ocupação, foi utilizado o Anexo C, Fontes Internas de Calor e Umidade da ABNT, NBR 16.401-1:2008 (ABNT, 2008). A Tabela C.6 dessa norma sugere quatro densidades de ocupação típicas de carga de equipamentos para escritórios conforme tipo de carga: leve, média, média/alta e alta. Propõe-se nesta pesquisa analisar uma edificação com alta, média e baixa (leve) densidade. Desse modo, foi adotado o valor de 21,50 W/m² para a carga de equipamentos e de 7,70 m²/pessoa para a densidade de ocupação, valores indicados para alta densidade de ocupação. Para média densidade de ocupação, foram adotados os valores de 10,70 W/m² para a carga de equipamentos e 11,60 m²/pessoa. Para baixa densidade de ocupação, utilizaram-se 5,40 W/m² para a carga de equipamentos e 15,5 m²/pessoa (ABNT, 2008). Considerando-se que o total de ganho de calor por pessoa é definido por seu nível de atividade física, adotou-se o valor de 120W de calor dissipado por pessoa, equivalente a uma atividade média de escritório. Os valores adotados de densidade de carga interna instalada, ou seja, os ganhos com iluminação, equipamentos e pessoas podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3: Valores de densidade de carga interna instalada

Densidade	Ocupação (m ² /pessoa)	Equipamentos (W/m ²)	Iluminação (W/m ²)	Taxa metabólica (W/pessoa)
Alta	7,7	21,5	11,06	120
Média	11,6	10,7	11,06	120
Baixa	15,5	5,4	11,06	120

Foram definidos também *schedules* de funcionamento e operação da edificação, que devem ser os mesmos para o modelo de referência e o modelo proposto, de acordo com a ASHRAE 90.1. A ocupação varia durante o dia conforme horário comercial padrão, levando-se em conta ocupação das 8h às 18h, em dias úteis, e das 8h às 13h, aos sábados. Foi considerado que a ocupação é reduzida à metade entre 12 e 14 horas para o período de almoço, de segunda a sexta-feira, no entanto o uso dos equipamentos e iluminação se mantém 100% em operação. Os padrões de uso definidos podem ser vistos nas Figuras 5 e 6. Não há atividade no prédio aos domingos.

A infiltração de ar também foi considerada no modelo, uma vez que também está relacionada a trocas de calor do ambiente interno. Infiltração é a vazão não intencional de ar do ambiente externo que entra em uma edificação por meio de frestas e fissuras em qualquer parte do edifício e ao redor de portas e janelas. Ela se dá por diferenças de pressão entre esses elementos devido a fatores como vento, diferenças de temperatura interna e externa e desigualdade entre os sistemas de fornecimento e exaustão de ar (ASHRAE, 2016). A taxa de infiltração será calculada utilizando o objeto “*ZoneInfiltration:DesignFlowRate*”, presente no programa *EnergyPlus*, utilizando o método “*AirChanges/Hour*” (trocas de ar/hora, ou ACH).

Figura 5: Padrão de uso adotado para ocupação, iluminação e equipamentos – dias úteis

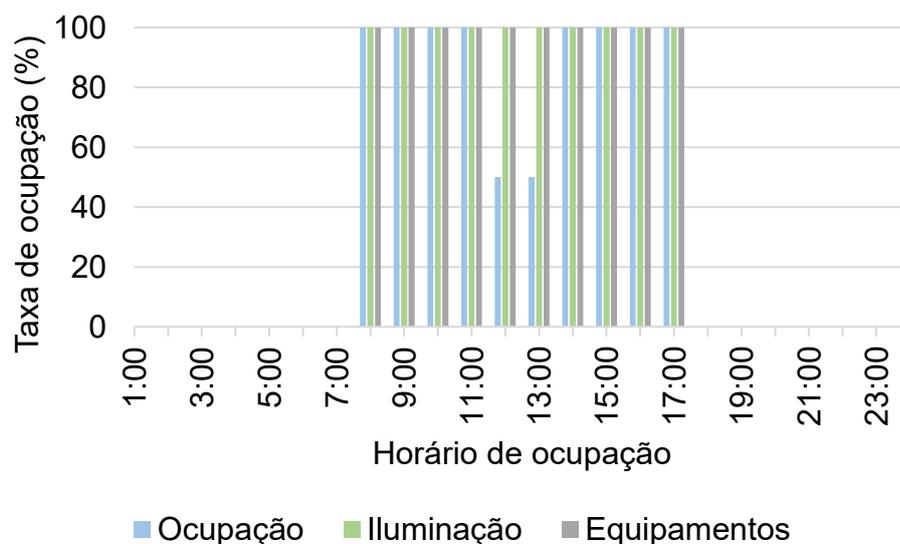
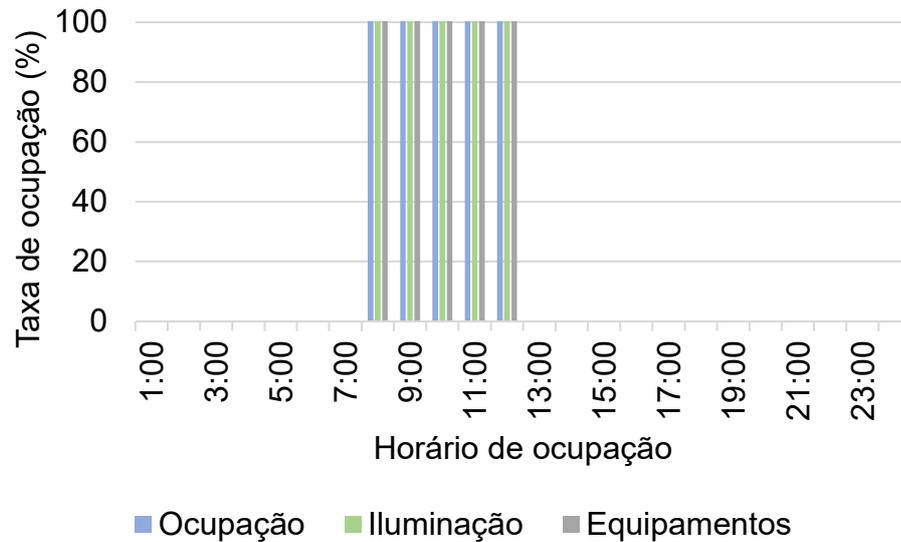


Figura 6: Padrão de uso adotado para ocupação, iluminação e equipamentos – sábado



De acordo com McQuiston, Parker e Spitler (2004), o intervalo de trocas de ar por hora varia de 0,5, para edificações bem vedadas, a 2,0, para edificações menos vedadas. Foram adotados para esta pesquisa dois valores de infiltração, 0,5 ACH e 2,0 ACH, representando edificações com diferentes níveis de vedação. Apesar do avanço tecnológico e construtivo na engenharia civil nos últimos anos no Brasil, ainda existem problemas relativos à execução e à manutenção de edificações brasileiras. Portanto, torna-se crucial considerar diferentes níveis de infiltração que se aproximem mais da realidade brasileira, pelo fato de que o grau de influência da envoltória também depende do nível de estanqueidade do edifício, assim como da densidade de cargas internas. Para as zonas climatizadas, as infiltrações não serão consideradas no intervalo em que o sistema de ar-condicionado estiver em funcionamento, pois este gera pressão positiva no interior do ambiente. No entanto, é importante destacar que o sistema de condicionamento de ar só está em funcionamento quando a temperatura interna se encontra fora da faixa de *setpoint* definida para o sistema. Dessa forma, a perda de calor da edificação devido à infiltração de ar não intencional acaba impactando o desempenho do sistema, uma vez que pode auxiliar a manter a temperatura ideal com a perda de calor no verão, mas pode também aumentar a necessidade de aquecimento no inverno.

3.2.3. Condicionamento de ar

Para o sistema de ar-condicionado, o Apêndice G estabelece que ele deve ser definido de acordo com o tipo de uso do edifício, número de pavimentos, área condicionada e clima, como pode ser visto na Tabela 4. Definido o sistema, as características de cada tipo são definidas de acordo com a Tabela 5. Dessa forma, para edificações menores o sistema de climatização indicado é composto por equipamentos individuais, com expansão direta, equipados com ventilador de volume de ar constante. Para edificações de médio porte, também são indicados equipamentos individuais, com expansão direta, mas equipados com ventilador de volume de ar variável. As edificações maiores devem ser equipadas com sistema de climatização central, com expansão indireta e com ventiladores de volume de ar variável (DUARTE, 2014). Dessa forma, a determinação será feita após a definição da geometria da edificação.

Tabela 4: Indicação de sistemas de climatização do modelo de referência de acordo com o Apêndice G

Tipo de edifício, número de andares e área bruta condicionada	Sistemas para as zonas 0 a 3A
Edifícios não residenciais, 3 andares ou menos e área < 2.300 m ²	Sistema 4: PSZ-HP
Edifícios não residenciais, 4 ou 5 andares e área < 2300 m ² ; 5 andares ou menos e área entre 2.300 m ² e 14.000m ²	Sistema 6 – <i>Packaged</i> VAV com caixas PFP
Edifícios não residenciais, com mais de 5 andares ou área > 14.000 m ²	Sistema 8 – VAV com caixas PFP

Fonte: Adaptado de ASHRAE 90.1 (2016).

Nota: PSZ HP= *Packaged Single Zone Heat Pump*; VAV= *Variable Air Volume*; PFP= *Parallel Fan Powered*.

Tabela 5: Descrição dos sistemas de condicionamento de ar de acordo com o Apêndice G

Sistema	Tipo de sistema	Controle do ventilador	Tipo de resfriamento	Tipo de aquecimento
4 – PSZ HP	Unidade de bomba de calor <i>rooftop</i>	Volume constante	Expansão direta	Bomba de calor – elétrico
6 – <i>Packaged</i> VAV com caixas PFP	Unidade <i>rooftop</i> VAV com reaquecimento	VAV	Expansão direta	Resistência elétrica
8 – VAV com caixas PFP	VAV com reaquecimento	VAV	Água gelada	Resistência elétrica

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2016).

O dimensionamento dos sistemas de climatização é definido de acordo com os dias de projeto de cada clima, estabelecidos usando as temperaturas de *design* de aquecimento e resfriamento de acordo com recomendações da ASHRAE. Os dias de projeto são usados para descrever um período de tempo com condições máximas em que um sistema de condicionamento de ar foi projetado para acomodar e manter a temperatura e a umidade internas desejadas. Esse método baseia-se na suposição de que o nível de frequência de uma temperatura específica em um certo período irá se repetir no futuro. Para o inverno, são estabelecidos níveis que representam temperatura de bulbo seco que são igualadas ou excedidas 99,6% do total de horas do ano, considerando as temperaturas dos meses de junho a setembro. Para o verão, o nível considerado pela ASHRAE é de 1%, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. São encontradas também as temperaturas de bulbo úmido de 1% nesse período. As temperaturas de bulbo seco com a temperatura de bulbo úmido coincidentes devem ser usadas para calcular as cargas de refrigeração (GOULART, 1993). A Tabela 6 mostra os dias de projeto encontrados para as cidades selecionadas.

Os *setpoints* adotados para o início do funcionamento dos sistemas de condicionamento de ar são 18°C para aquecimento e 24°C para resfriamento. O valor adotado para o *setpoint* de resfriamento é o mesmo estabelecido pela INI-C para edifícios de escritório (INMETRO, 2021). Optou-se por adotar um único valor de *setpoint* para todas as cidades, visto que caberia outra pesquisa investigativa para determinar o *setpoint* ideal para cada cidade visando ao conforto adaptativo, pois

entende-se que em cidades com clima mais quente esse valor pode ser considerado baixo. Destaca-se que a alteração dos valores de *setpoint* de acordo com o clima pode ser um fator a mais a ser considerado em pesquisas futuras. Foi criado também um *schedule* de utilização do sistema, que segue o mesmo horário de ocupação da edificação, sendo considerado que o sistema irá funcionar 100% durante todo o horário de ocupação. No entanto, o sistema só é acionado quando a temperatura do ar interno se encontra fora do intervalo de *setpoint* definido, ou seja, entre 18°C e 24°C.

Tabela 6: Dados dos dias de projeto adotados para cada clima

Cidade	Inverno (°C)		Verão (°C)	
	Bulbo Seco 99,6%		Bulbo Úmido 1%	
Manaus (AM)	22,1		26,9	
Porto Nacional (TO)	18,7		26,2	
Floriano (PI)	21,1		25,1	
Santa Rita de Cássia (BA)	13,4		23,2	
Natal (RN)	22,6		24,9	
Campina Grande (PB)	17,6		23,0	
Campos Sales (CE)	18,0		22,9	
Montes Claros (MG)	11,1		23,7	
São Carlos (SP)	9,1		22,8	
Paraty (RJ)	12,0		25,1	
Caruaru (PE)	15,1		23,0	
Campo Grande (MS)	8,0		24,6	
Curitiba (PR)	3,3		22,1	
Santa Maria (RS)	1,9		25,6	

A ASHRAE 90.1 define que as horas não atendidas pelo sistema não devem ultrapassar 300 horas no ano. O Apêndice G também especifica que a capacidade dos equipamentos deve ser superdimensionada em 15% para resfriamento, e 25% para aquecimento. Quanto à eficiência dos sistemas, é definido que todos os equipamentos devem ser modelados nos níveis mínimos de eficiência, tanto carga parcial quanto carga total. Dessa forma, as capacidades serão dimensionadas atendendo aos valores mínimos estipulados pela norma e de forma a atender ao limite de horas não atendidas. Definidas as características dos equipamentos, são adotados então os níveis de eficiência estabelecidos na seção 6 da ASHRAE 90.1 – 2016.

Os requisitos mínimos de vazão de ar para espaços com ventilação mecânica, segundo a ANVISA, devem ser de 0,0075m³/s por pessoa. No entanto, a Norma ASHRAE 62.1 – 2016 especifica que a taxa mínima de ventilação é de 17 cfm/pessoa

(0,0080m³/s por pessoa). Como a conformidade com essa norma é um pré-requisito LEED para quaisquer créditos, este último valor será adotado.

3.3. Envoltória

Para a envoltória, a ASHRAE 90.1 propõe valores de transmitância térmica para paredes, coberturas e pisos. Para os vidros, também são estipulados valores de transmitância térmica assim como de coeficiente de ganho de calor solar (SHGC, do inglês *Solar Heat Gain Coefficient*) para cada zona climática. A Tabela 7 mostra os requisitos da envoltória que devem ser utilizados para o cálculo de desempenho do modelo de referência de acordo com o Apêndice G para os climas selecionados. Como destacado anteriormente, nota-se que os valores de transmitância das paredes e cobertura são os mesmos para todas as zonas climáticas, assim como os valores indicados para as janelas, exceto para a zona 3A. No entanto, o SHGC estabelecido para esta zona também é o mesmo que o de todas as outras.

Tabela 7: Requisitos da envoltória de acordo com o Apêndice G

	Transmitância térmica [W/(m ² .K)]	SHGC
Zona 0 e 1 (A e B)		
Cobertura	0,36	–
Paredes	0,70	–
Piso	1,98	–
Vidros	6,93	0,25
Zona 2 (A e B)		
Cobertura	0,36	–
Paredes	0,70	–
Piso	0,29	–
Vidros	6,93	0,25
Zona 3 (A)		
Cobertura	0,36	–
Paredes	0,70	–
Piso	0,29	–
Vidros	3,24	0,25

Nota: SHGC: *Solar Heat Gain Coefficient* (coeficiente de ganho de calor solar).

Para alcançar as transmitâncias térmicas estabelecidas pela norma, foram adicionados isolantes térmicos nos componentes construtivos da envoltória do modelo de referência. As paredes externas foram modeladas como paredes de *steel frame*

com isolamento instalado dentro da cavidade da estrutura. Na cobertura, a camada de isolante foi inserida entre a telha e a laje. Para o piso, acrescentou-se isolamento na parte inferior do piso. Os vidros foram modelados utilizando o objeto “*WindowMaterial:Glazing*” do programa *EnergyPlus*.

Além desses parâmetros, a norma indica que condições externas como edificações e vegetações significativas no entorno devem ser as mesmas para o modelo de referência e para o proposto, portanto para esta pesquisa tais elementos foram desconsiderados. A influência do contato com o solo será considerada por meio das temperaturas mensais médias do solo, retiradas dos arquivos climáticos.

Para o cálculo do desempenho do modelo de referência, a norma define que a edificação deve ser simulada na posição proposta e depois simulada novamente, girando 90°, 180° e 270°. Deve-se, então, fazer uma média desses resultados para se obter o desempenho de referência. O objetivo é ter um modelo de referência neutro em relação à orientação do edifício, de modo que os edifícios que forem propositadamente orientados para minimizar o uso de energia podem obter maior economia de energia. Considerando que o modelo proposto nesta pesquisa apresenta a mesma área de janela em duas fachadas, serão realizadas simulações somente em duas orientações, prevendo-se que os resultados serão os mesmos rotacionando a edificação mais duas vezes. Uma vez que as áreas de janelas e das zonas internas são as mesmas em duas fachadas (norte e sul, e leste e oeste), a influência da incidência solar sobre elas é a mesma quando se rotaciona 180°, portanto os resultados são os mesmos. Foram realizados testes que confirmaram esses resultados.

3.4. Modelo de comparação

Para verificar as diferenças de consumo com envoltórias distintas, foram estabelecidos quatro diferentes tipos de paredes, coberturas e vidros para a edificação, representando métodos construtivos comumente encontrados em edificações comerciais no Brasil que também apresentassem diferentes valores de transmitância térmica. Essa abordagem permite a análise da tecnologia e dos métodos construtivos mais comuns no Brasil, bem como possibilita explorar o comportamento dos materiais sob diferentes amplitudes de temperatura e transmitância. Para o desenvolvimento desta pesquisa, serão utilizados os valores de transmitância térmica propostos no Anexo A por Weber *et al.* (2017). Os valores de

transmitância térmica adotados para as paredes e coberturas são vistos na Tabela 8, e os valores adotados para os vidros são apresentados na Tabela 9. O piso adotado será o mesmo para todas as simulações. Foi considerado que o piso possui uma camada de laje de concreto, argamassa de reboco e piso cerâmico, resultando em transmitância térmica de 3,23 W/m².K.

Tabela 8: Valores de transmitância térmica das paredes e coberturas

Ident.	Descrição	U (W/m ² .K)
Paredes		
P1	Parede de <i>steel frame</i> com lâ de rocha de 25 mm	1,32
P2	Parede de tijolo cerâmico de 9 furos, de 14x19x39cm	1,83
P3	Parede de bloco de concreto de 2 furos, de 9x19x39cm	2,79
P4	Parede de concreto maciço de 10 cm de espessura	4,40
Coberturas		
C1	Telha metálica sanduíche PE e laje de concreto de 12 cm	0,68
C2	Telha de fibrocimento e forro de PVC	1,76
C3	Telha de fibrocimento e forro de gesso	1,95
C4	Telha de fibrocimento e laje de concreto de 12 cm	2,01

Nota: U: Transmitância térmica.

Tabela 9: Valores de transmitância térmica e SHGC dos vidros

Ident.	Vidros	U (W/m ² .K)	SHGC
V1	Incolor 6 mm	5,7	0,82
V2	Verde 6 mm	5,7	0,59
V3	Laminado com controle solar 4+4 mm	5,6	0,33
V4	Insulado com controle solar 4+4 mm	1,8	0,29

Nota: SHGC: *Solar Heat Gain Coefficient* (coeficiente de ganho de calor solar);
U: Transmitância térmica.

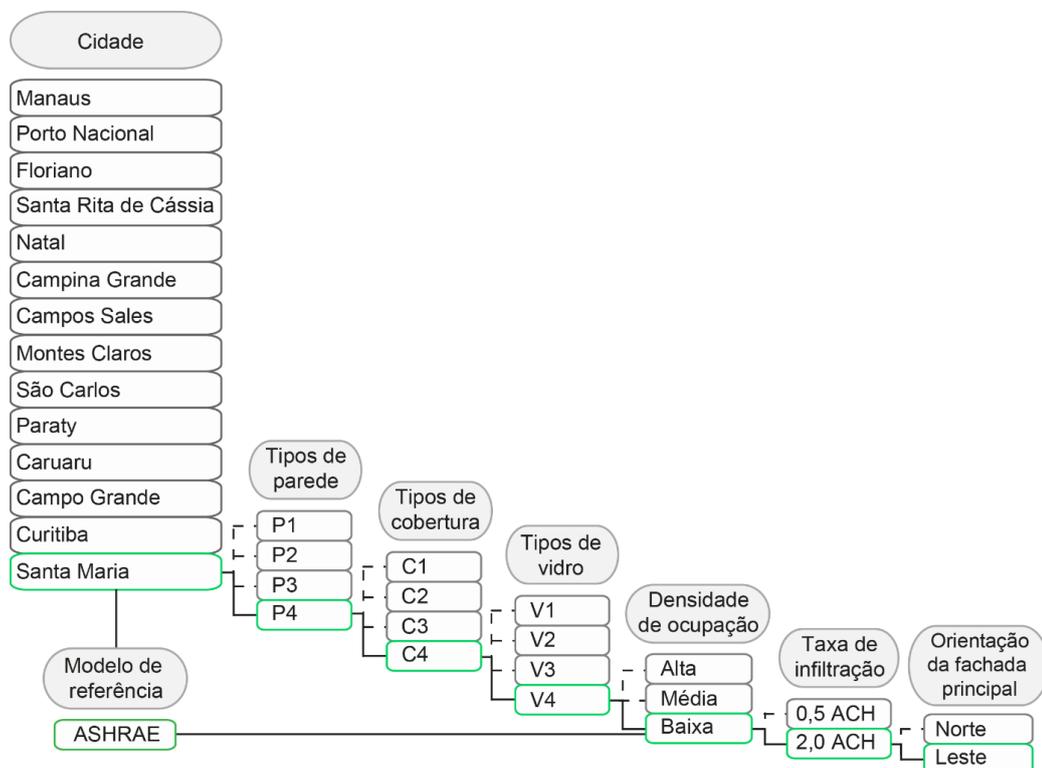
A combinação de análises entre as variáveis indicadas nas Tabelas 8 e 9 resultou na simulação de 64 modelos para cada clima. Essas simulações serão divididas nos seguintes grupos:

- Edificações de densidade de ocupação baixa e baixa infiltração;
- Edificações de densidade de ocupação baixa e alta infiltração;
- Edificações de densidade de ocupação média e baixa infiltração;
- Edificações de densidade de ocupação média e alta infiltração;
- Edificações de densidade de ocupação alta e baixa infiltração;
- Edificações de densidade de ocupação alta e alta infiltração.

A combinação entre todas as variáveis resultou em 384 modelos computacionais para cada cidade. Como foram realizadas simulações em duas orientações, foram gerados 768 modelos para cada cidade. Considerando também o modelo proposto pela ASHRAE, analisando com as duas densidades propostas, os três valores de infiltração e as duas orientações, têm-se 780 modelos. Como as simulações serão realizadas para quatorze cidades diferentes, o total de casos chega a 10.920. A Figura 7 apresenta um esquema com as combinações paramétricas estudadas.

Devido ao grande volume de simulações, elas serão realizadas simultaneamente por conjuntos de modelos utilizando a opção “*group of input files*” (grupo de arquivos de entrada) no *EP-Launch* do *EnergyPlus*, com exceção dos modelos base da ASHRAE. Cada bloco foi definido com 64 modelos, representando uma cidade, uma densidade de ocupação, uma infiltração e uma orientação. Por exemplo, para cada cidade, em um bloco simulam-se 64 modelos de envoltória, baixa densidade de ocupação, alta taxa de infiltração e com a fachada principal orientada para o leste.

Figura 7: Esquema de análise combinatória do modelo da ASHRAE e das envoltórias definidas



Para cada clima adotado, será avaliado primeiramente o consumo total de energia elétrica por metro quadrado (kWh/m².ano) do modelo de referência proposto no Apêndice G da ASHRAE 90.1. Posteriormente, o consumo total será desagregado por usos finais, ou seja, pelos consumos de iluminação, equipamentos e ar-condicionado (aquecimento e resfriamento). Uma vez que a densidade de carga interna é a mesma para todos os modelos, os consumos com iluminação e equipamentos serão iguais, sendo assim possível avaliar a influência do consumo com condicionamento de ar, que têm relação direta com o desempenho térmico da envoltória. Esses resultados serão, então, comparados às combinações de envoltória. Por fim, com base nos resultados, será discutido se o modelo proposto pela Certificação LEED, considerando a norma ASHRAE 90.1, é adequado para o clima brasileiro.

4. Resultados e discussões

Este capítulo apresenta os resultados de todas as análises descritas no capítulo anterior. Primeiramente apresenta-se a análise climática das cidades selecionadas. Em seguida são apresentados os dados encontrados para definição da geometria do modelo estudado. Posteriormente são apresentados os dados do desempenho energético do modelo de referência da ASHRAE nas cidades estudadas, agrupados de acordo com a zona climática, assim como o desempenho das combinações de envoltória.

4.1. Análise climática

Para melhor conhecimento sobre as temperaturas nas cidades selecionadas, foram analisadas as temperaturas médias do ar externo (Figura 8) e o perfil das temperaturas médias diárias do ar externo ao longo do ano (Figuras 9 a 15). Visando favorecer a compreensão dos dados, as análises serão apresentadas agrupadas por suas respectivas zonas segundo a ASHRAE. As temperaturas máximas e mínimas foram retiradas dos valores médios diários de temperatura externa presentes nos arquivos climáticos, e a temperatura média anual de cada cidade foi obtida utilizando a média aritmética entre esses valores.

Analisando as temperaturas externas das cidades na zona 0A, vê-se que Porto Nacional apresenta amplitude térmica maior do que Manaus, principalmente durante os meses de junho a dezembro (Figura 9). Apesar de apresentar temperatura média anual similar, em Porto Nacional a temperatura máxima é maior e a mínima é menor do que em Manaus. Em Floriano e Santa Rita de Cássia, ambas na zona 0B (Figura 10), observa-se que a variação da temperatura média diária é similar nos meses de janeiro a abril, apresentando temperaturas próximas. Porém, nos meses seguintes, entre maio e outubro, em Floriano as temperaturas se mantêm mais altas do que em Santa Rita de Cássia. Floriano apresenta também temperaturas máxima, mínima e média mais altas do que Santa Rita de Cássia, no entanto a amplitude térmica dessas duas cidades é quase equivalente.

Figura 8: Temperaturas mínimas, médias e máximas do ar externo e amplitude térmica nas cidades selecionadas

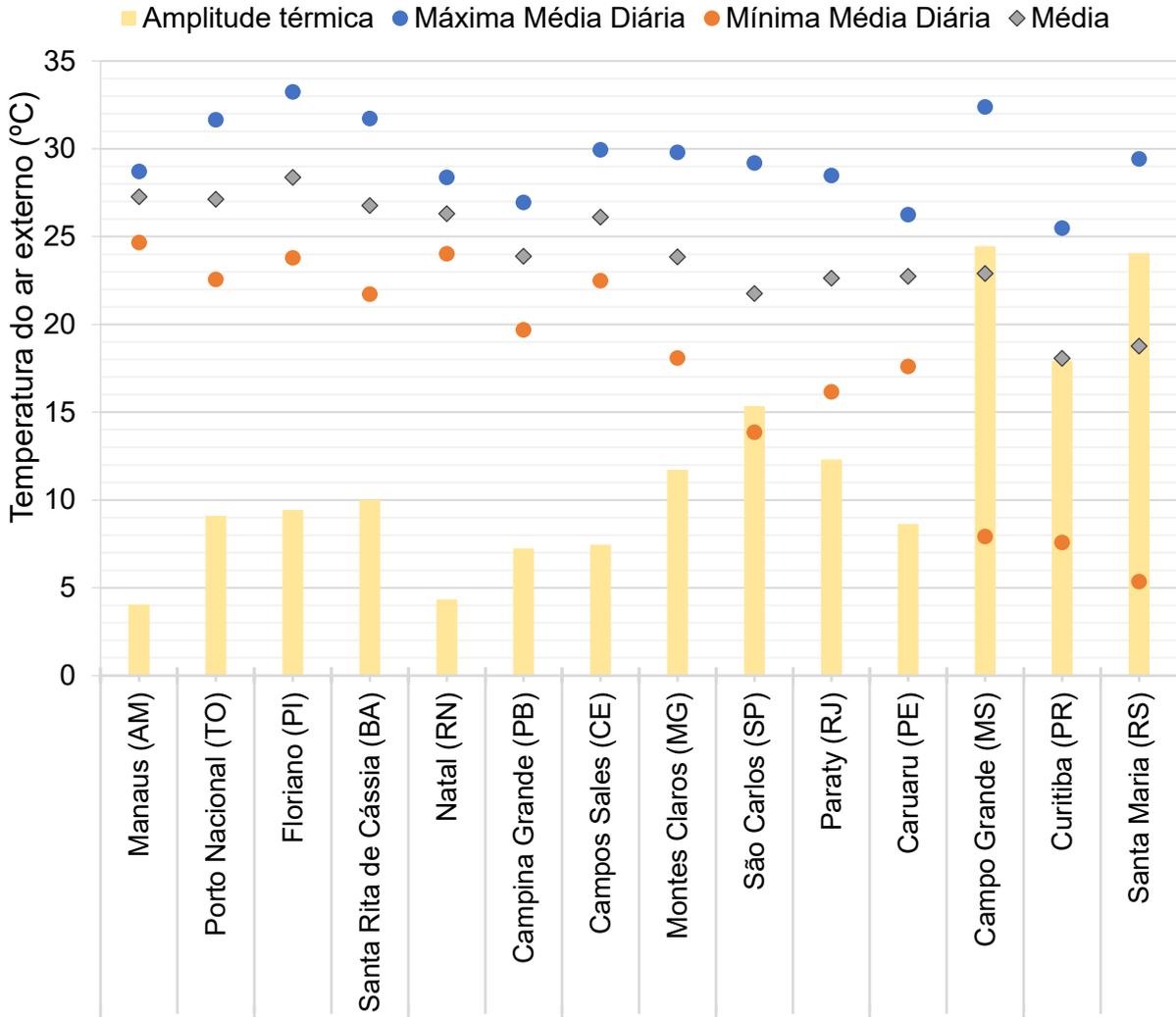


Figura 9: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 0A

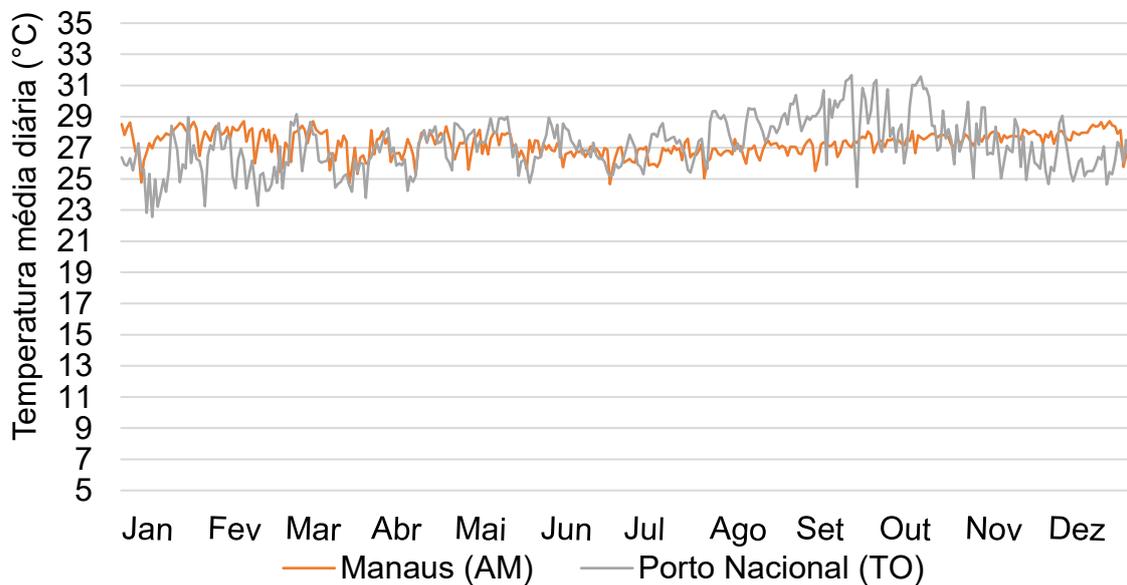
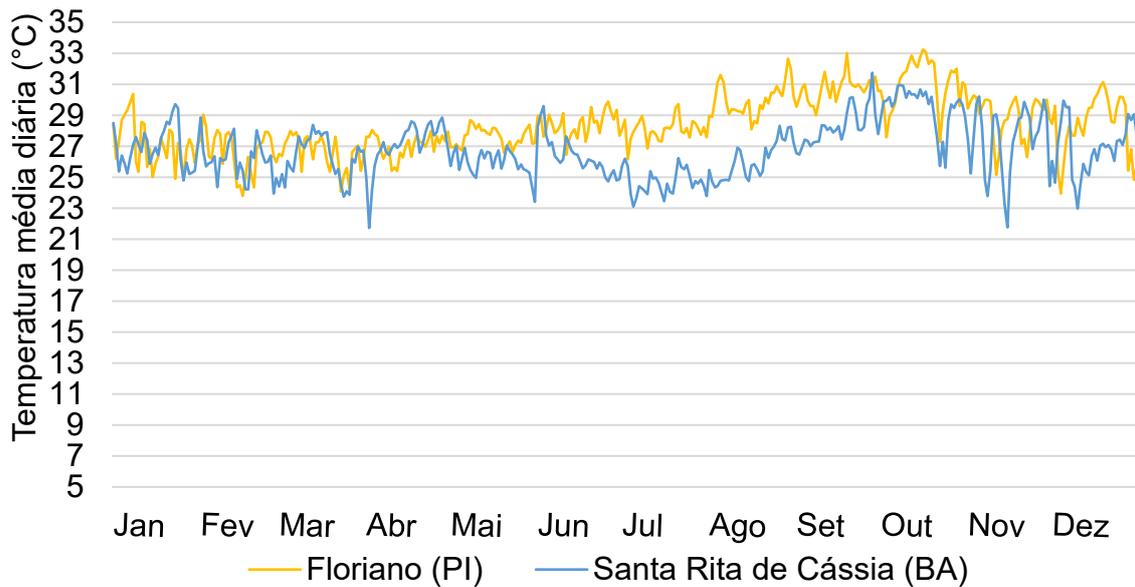
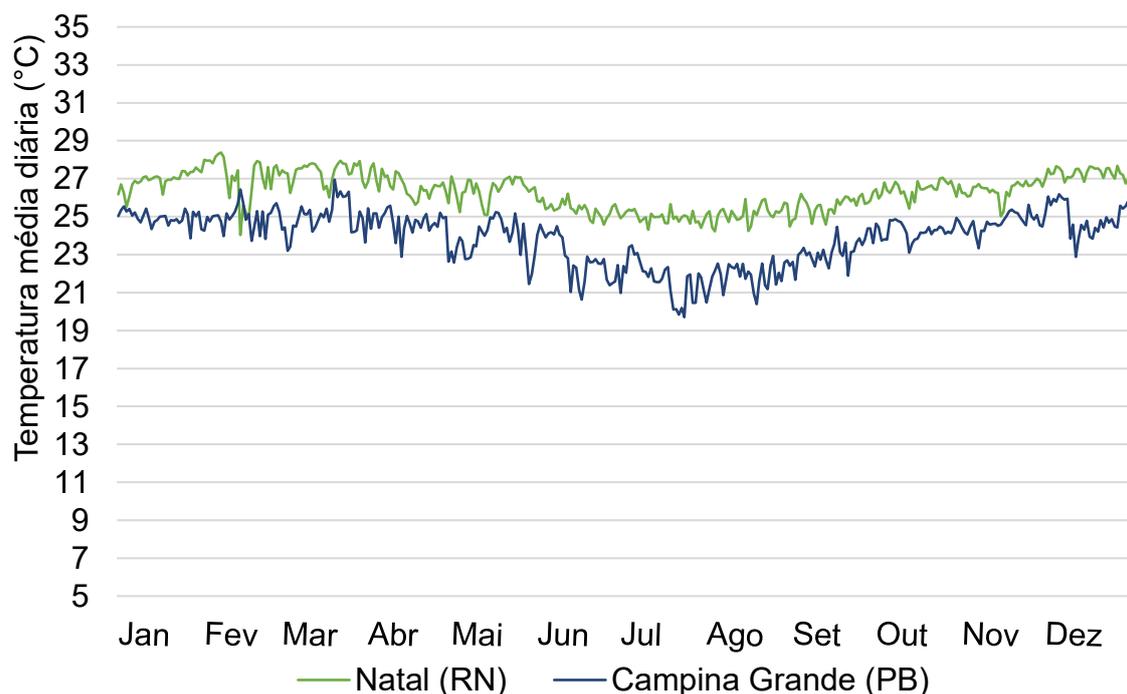


Figura 10: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 0B



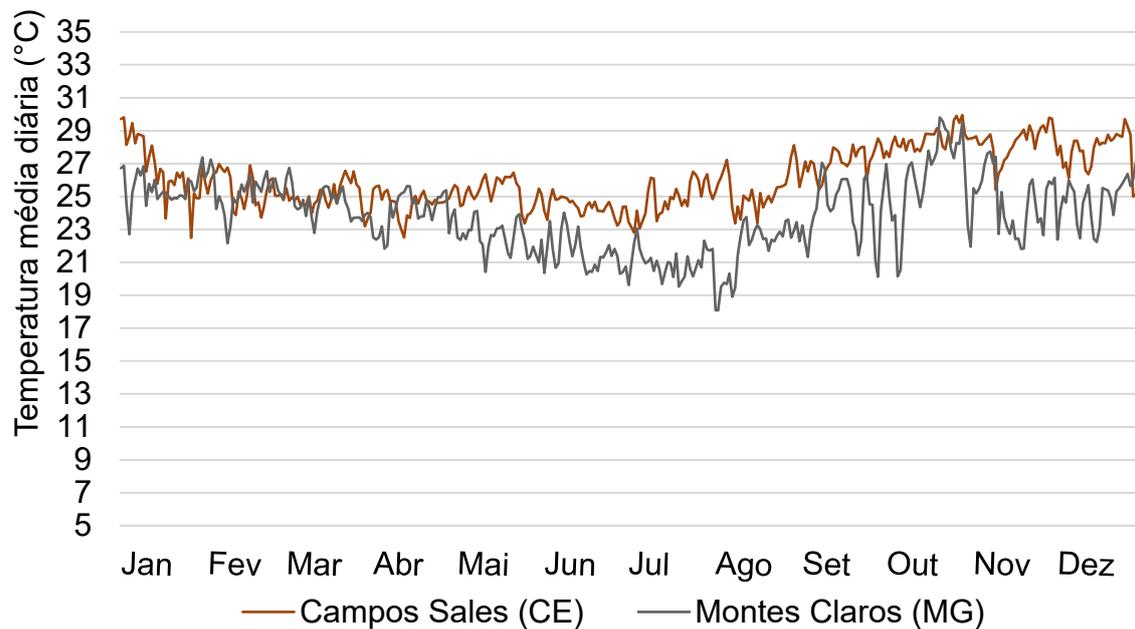
Observa-se que as temperaturas médias diárias de Natal e Campina Grande, classificadas na zona 1A (Figura 11), são significativamente distintas, apesar de estarem na mesma zona climática. Além disso, Natal apresenta amplitude térmica de $4,35^{\circ}\text{C}$, enquanto Campina Grande possui amplitude de $7,25^{\circ}\text{C}$. Observa-se que a temperatura mínima de Natal é mais alta do que a temperatura média encontrada em Campina Grande.

Figura 11: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 1A

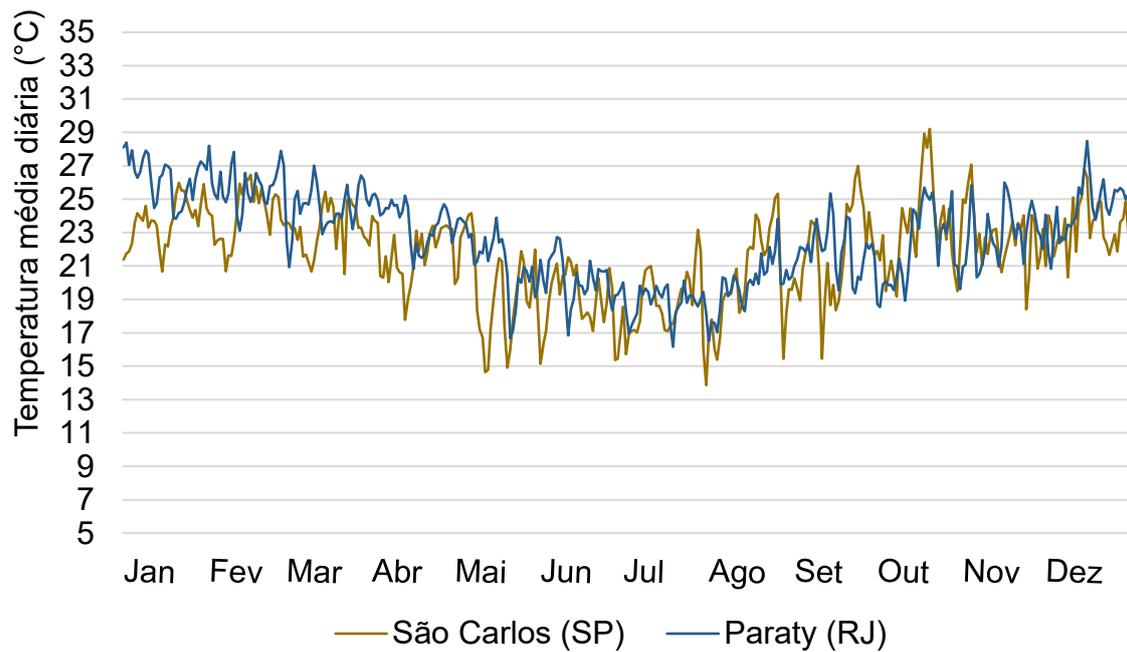


Campos Sales e Montes Claros, ambas na zona 1B (Figura 12), também apresentam perfis climáticos distintos na maior parte do ano. As temperaturas médias diárias se mostram próximas somente entre o final de janeiro até o mês de abril. Além disso, Campos Sales apresenta amplitude térmica de $7,46^{\circ}\text{C}$, enquanto em Montes Claros é equivalente a $11,72^{\circ}\text{C}$. Nota-se que as duas cidades apresentam temperaturas máximas próximas, no entanto a temperatura mínima em Montes Claros é aproximadamente 4°C mais alta do que em Campos Sales.

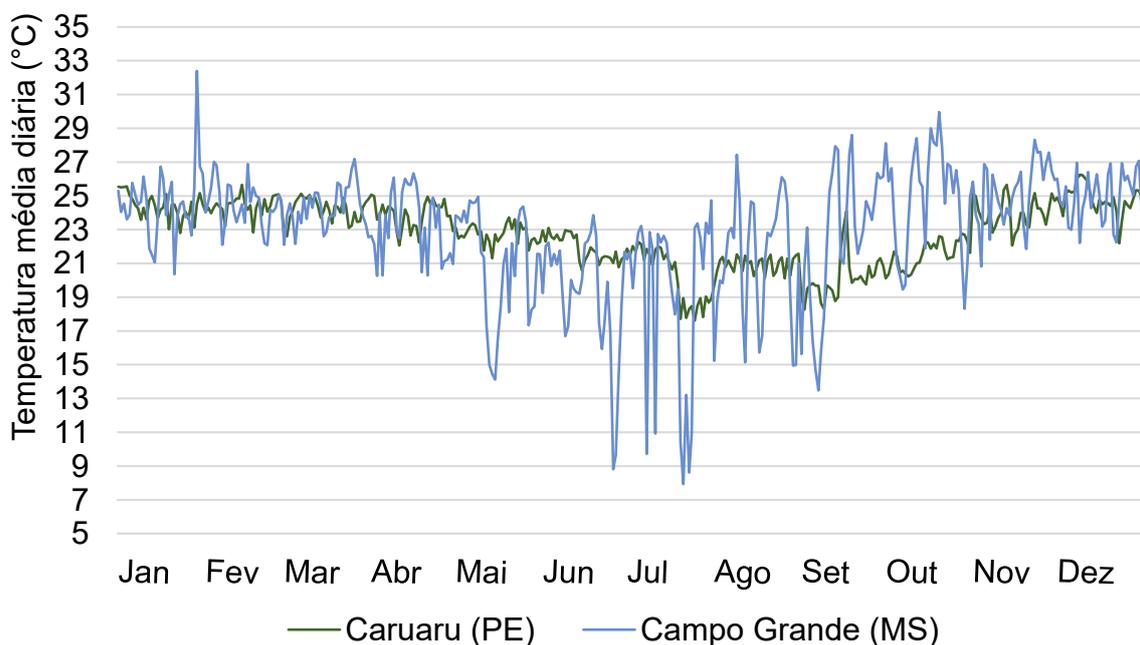
Figura 12: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 1B



São Carlos e Paraty também estão na mesma classificação climática de acordo com a ASHRAE, zona 2A (Figura 13). Entretanto, apesar da proximidade nos valores de temperaturas média e máxima, a oscilação da temperatura ao longo do ano é maior em São Carlos, com amplitude térmica de $15,34^{\circ}\text{C}$. Em Paraty a amplitude é de $12,32^{\circ}\text{C}$.

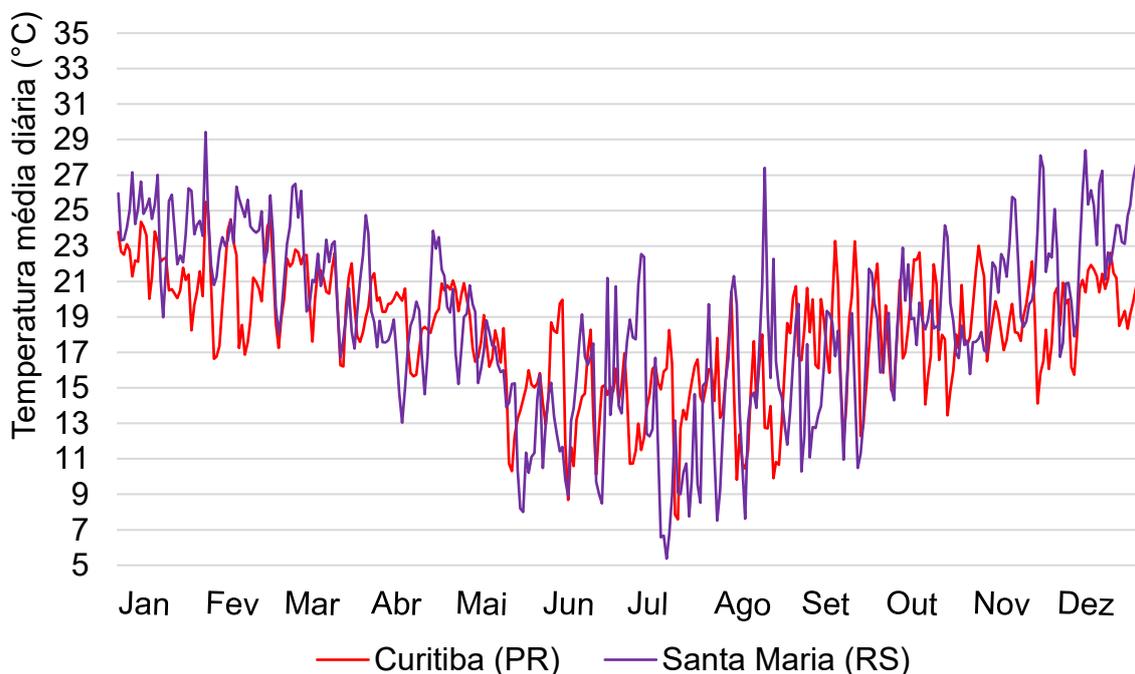
Figura 13: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 2A

Em relação à zona 2B (Figura 14), observa-se que a amplitude térmica em Campo Grande é significativamente maior do que em Caruaru durante todo o ano. Em Caruaru a amplitude é de 8,65°C, enquanto em Campo Grande é equivalente a 24,46°C. Apesar de a temperatura média anual das duas cidades ser similar, nota-se que a temperatura mínima em Caruaru é 9,67°C mais alta, e a temperatura máxima 6,14°C mais baixa do que em Campo Grande.

Figura 14: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 2B

Por fim, em Curitiba e Santa Maria, pertencentes à zona 3A (Figura 15), observa-se similaridade no perfil climático das duas cidades, com grandes variações térmicas ao longo do ano. A amplitude térmica de Curitiba e Santa Maria equivale $15,70^{\circ}\text{C}$ e $24,05^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Entretanto, a temperatura máxima em Santa Maria é aproximadamente $4,07^{\circ}\text{C}$ mais alta, e a temperatura mínima é $2,22^{\circ}\text{C}$ mais baixa do que em Curitiba. Nota-se que no período que compreende novembro a fevereiro, as temperaturas em Santa Maria se mostram chegando a quase $30,0^{\circ}\text{C}$, temperatura máxima também encontrada nas cidades na zona 1.

Figura 15: Temperaturas médias diárias do ar externo nas cidades na Zona 3A



4.2. Definição da geometria

Após análise das edificações certificadas pelo LEED identificadas foi possível definir o modelo geométrico a ser estudado. Os dados obtidos sobre as principais características identificadas nos edifícios de escritório da amostra selecionada foram agrupados em uma tabela resumo, que se encontra no Apêndice A desta dissertação. As informações coletadas foram utilizadas para definir o modelo representativo de edifícios de escritório para esta pesquisa, contendo as características mais representativas obtidas no levantamento realizado. Como mostra a Figura 16, nota-se que o formato geométrico mais comum desse tipo de edificação é o retangular, representando 58,6% das edificações identificadas. Na Figura 17, tem-se que doze

edificações possuem doze pavimentos, representando a maior parte da amostra, onze possuem dezesseis pavimentos, e dez, quatro pavimentos.

Figura 16: Formato das edificações comerciais com Certificação LEED no Brasil

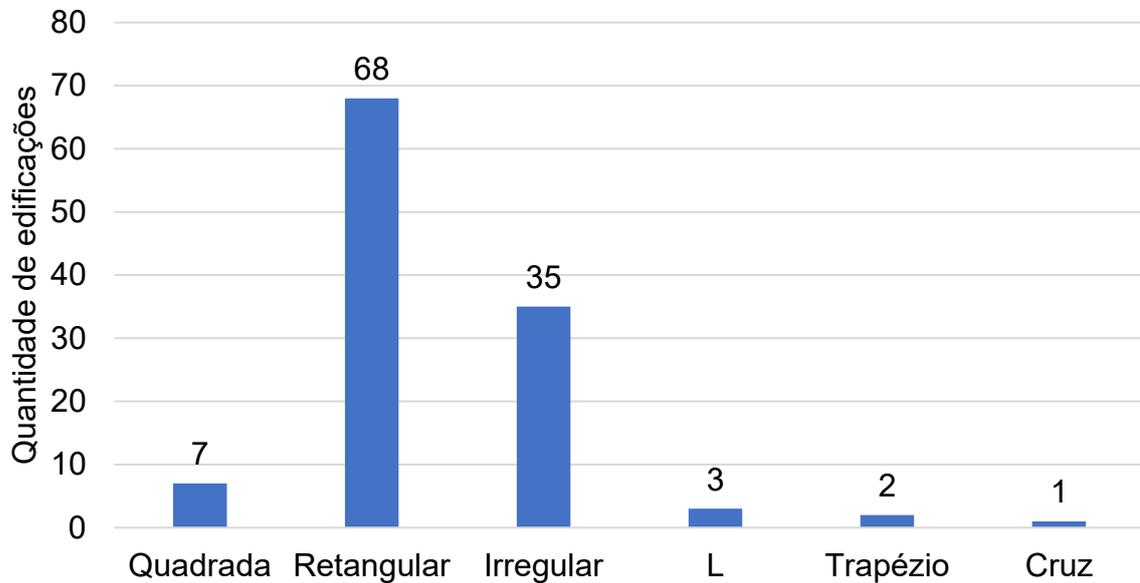
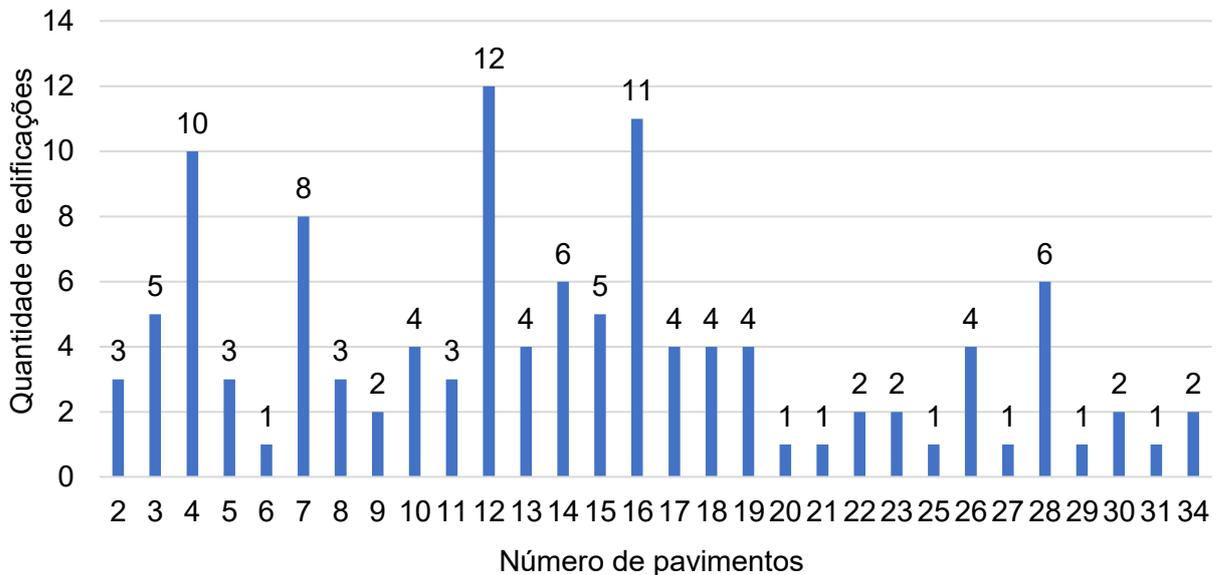


Figura 17: Quantidade de pavimentos das edificações comerciais com Certificação LEED no Brasil



Considerando que o formato representativo mais encontrado foi o retangular, foram levantados os projetos dessas edificações para identificar a proporção e a altura do pé-direito (piso acabado ao forro) mais representativo. Dos 68 edifícios, foram

localizadas as plantas de 47, representando 69,1% dessa amostra. Nessas edificações, quando não havia medidas, utilizou-se a escala gráfica para obter a proporção. Os valores encontrados foram agrupados nas seguintes categorias:

- Proporção 1:1,50 (valores de 1,00 a 1,60);
- Proporção 1:2,00 (valores de 1,60 a 2,10);
- Proporção 1:2,50 (valores de 2,10 a 2,60);
- Proporção 1:3,00 (valores de 2,60 a 3,10);
- Proporção 1:3,50 (valores de 3,10 a 3,60);
- Proporção 1:4,50 (valores de 4,10 a 4,60); e
- Proporção 1:5,00 (valores de 4,60 a 5,10).

A Figura 18 mostra os resultados encontrados para as proporções, e a Figura 19 os resultados de pé-direito. Nota-se que a proporção mais encontrada foi a de 1:1,50, seguida de 1:2,00, representando 42,6% e 21,3% das 47 edificações, respectivamente. Quanto ao pé-direito, o de 2,80 m apresentou a maior frequência de ocorrência, 25,5% da amostragem, e 21,3% apresentaram 2,70 m. É importante destacar, no entanto, que não foi possível identificar a altura do pé-direito de 23,4% da amostra. A tabela completa pode ser vista no Apêndice A desta dissertação.

Figura 18: Proporção das plantas das edificações comerciais retangulares com Certificação LEED no Brasil

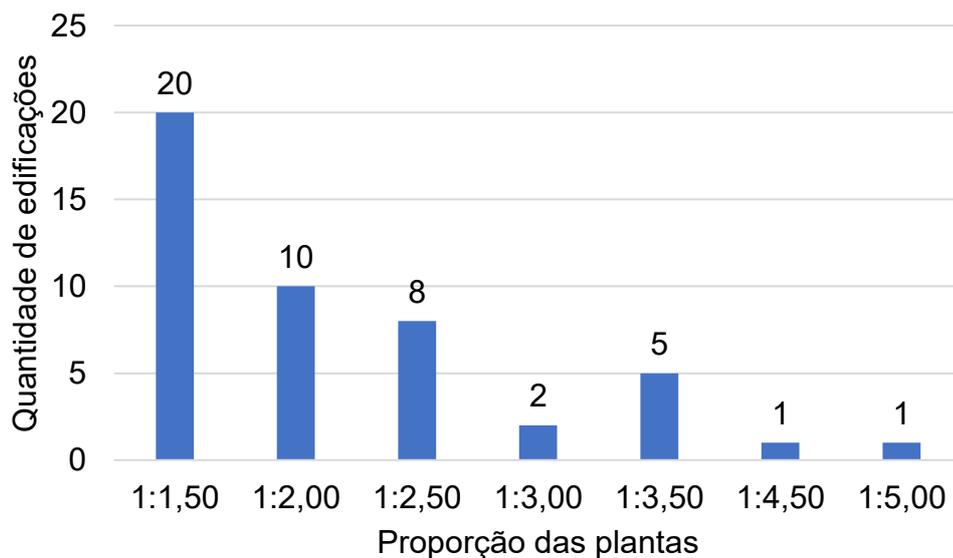
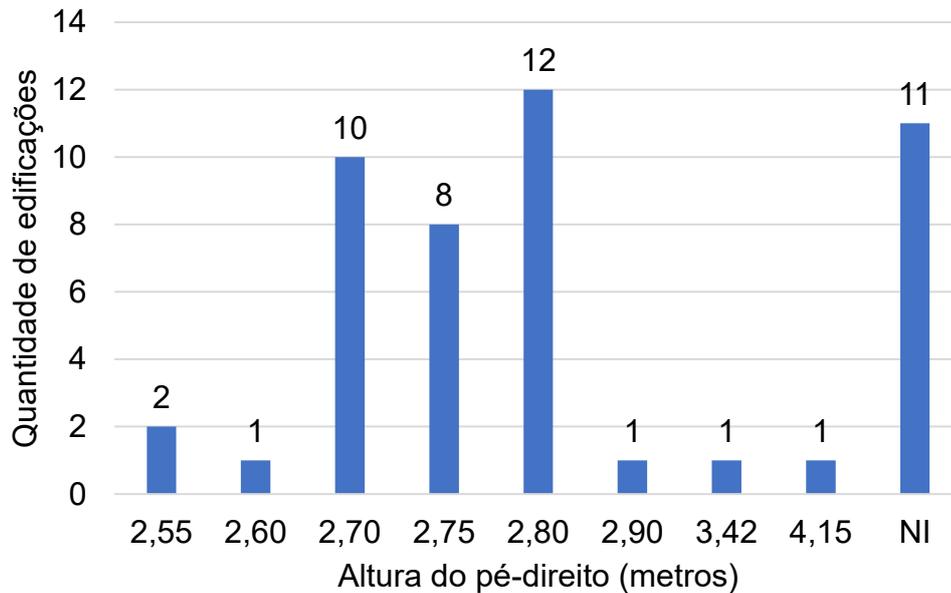


Figura 19: Pé-direito livre dos pavimentos das edificações comerciais retangulares com Certificação LEED no Brasil

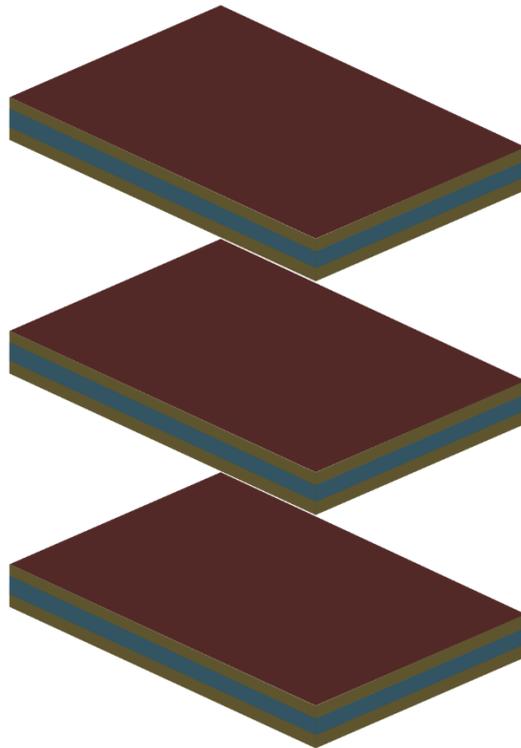


Nota: NI: Não Identificado.

De posse dessas informações, definiu-se o modelo representativo de uma edificação comercial do tipo escritório. Dessa forma, a edificação possui doze pavimentos, sendo um pavimento térreo, dez pavimentos tipo e uma cobertura, com aberturas nas quatro fachadas. O perímetro da edificação foi definido em 25,50 m x 17,00 m, resultando em uma área total construída de 5.202,00 m², seguindo a proporção mais encontrada. O pé-direito foi definido em 2,80 m, de acordo com o valor mais encontrado no levantamento realizado.

Após essas definições, estabeleceu-se também que a edificação será totalmente condicionada, com exceção da área de circulação. Não foi determinada a orientação da edificação devido ao fato de o Apêndice G exigir que a edificação seja simulada em diferentes orientações, conforme explicado no capítulo anterior. O pavimento tipo foi inserido uma única vez na modelagem, com fator multiplicador 10, representando assim dez pavimentos, tendo este sido definido em uma altura média entre o pavimento térreo e a cobertura, como pode ser visto na Figura 20.

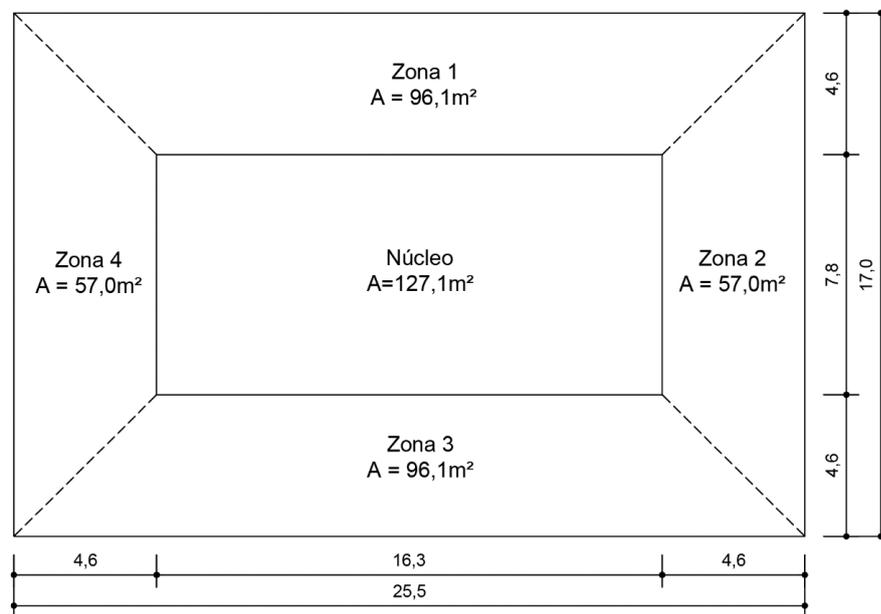
O percentual de aberturas é igual para as quatro orientações da edificação, e foi definido seguindo as recomendações do Apêndice G da ASHRAE 90.1 – 2016, conforme apresentado no método. Considerando que a área da edificação definida é maior que 4.650,0 m², a porcentagem de abertura da janela adotada foi de 40%, seguindo as recomendações do Apêndice G da ASHRAE 90.1 – 2016.

Figura 20: Representação do modelo base em 3D

A Figura 21 apresenta uma planta esquemática do pavimento tipo e suas dimensões, assim como as zonas periféricas condicionadas e o núcleo não condicionado. O núcleo representa as áreas de circulação vertical e horizontal. Para dividir a zona térmica do núcleo, foram inseridas paredes de baixa inércia térmica, com 10,00 cm de espessura, condutividade de 1,00 W/m.K, densidade de 1.200,00 kg/m³ e calor específico de 0,50 kJ/kg.K. As zonas periféricas limítrofes à parede externa foram definidas com largura de 4,60 m, de acordo com as recomendações dos requisitos de modelagem para cálculo de desempenho de edificações da *ASHRAE Standard 90.1 – 2016*. Assim, cada pavimento foi modelado com quatro zonas térmicas perimetrais e uma zona interna, representando o núcleo. As linhas tracejadas são consideradas como partições virtuais, ou seja, sem paredes físicas entre as zonas, modeladas no *EnergyPlus* como um material *Infrared Transparent*. Ou seja, é um elemento transparente que permite a transmissão da radiação visível e solar, porém não participa com trocas convectivas e condutoras entre as zonas que divide. Dessa forma, tem-se uma planta de pavimento livre, mas que ao mesmo tempo possibilita avaliar separadamente as zonas conforme definido pela ASHRAE. Como essa superfície não participa de uma troca convectiva/condutora entre as zonas que separa, configurou-se também o objeto “*SurfaceProperty:ConvectionCoeficientes*”

com o valor de 0,1 para os valores externos e internos dos coeficientes de convecção da superfície.

Figura 21: Divisão dos pavimentos em zonas térmicas



Nota: Medidas em metros.

4.3. Definição do sistema de condicionamento de ar

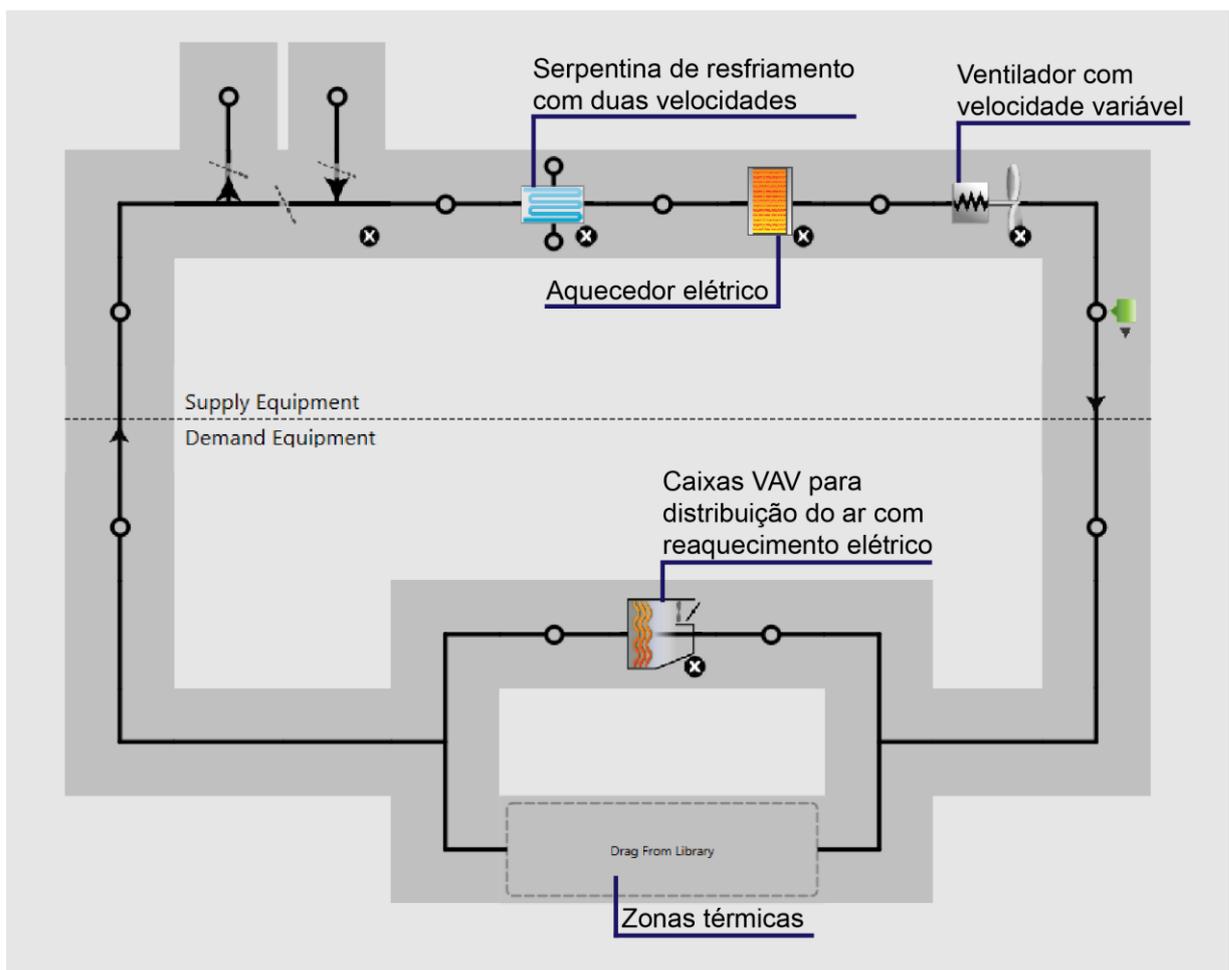
Com a definição da geometria, estipulou-se também o sistema de ar-condicionado a ser utilizado conforme indicação do Apêndice G da ASHRAE 90.1-2016. O sistema indicado é o mesmo para todas as cidades, por se tratar de edificação de uso não residencial, apresentar mais de cinco pavimentos e estar entre as zonas 0 e 3A. Assim, o sistema de climatização adotado é o 8, composto por equipamentos com ventilador de volume de ar variável (VAV) e *Parallel Fan-Powered* (PFP) com reaquecimento.

O VAV é um sistema de condicionamento de ar que controla a temperatura de bulbo seco dentro de um espaço, variando o fluxo volumétrico de ar de suprimento aquecido ou resfriado para o espaço (ASHRAE, 2016). No caso de sistemas quente e frio, quando é necessário reaquecimento para atender ao *setpoint* da zona, atinge-se economia de energia quando equipados com PFPs. Quando o sistema está em modo de resfriamento e a vazão mínima de ar frio fornecida pelo ventilador exceder a carga térmica de uma zona específica, um ventilador menor, de vazão constante, instalado em uma caixa paralela à caixa VAV, é acionado para misturar o ar mais quente do

plenum de retorno ao ar de insuflamento. No entanto, o sistema de reaquecimento somente é acionado se o *setpoint* não for atendido, sendo ainda necessário aumentar a temperatura do ar de suprimento (DUARTE, 2014).

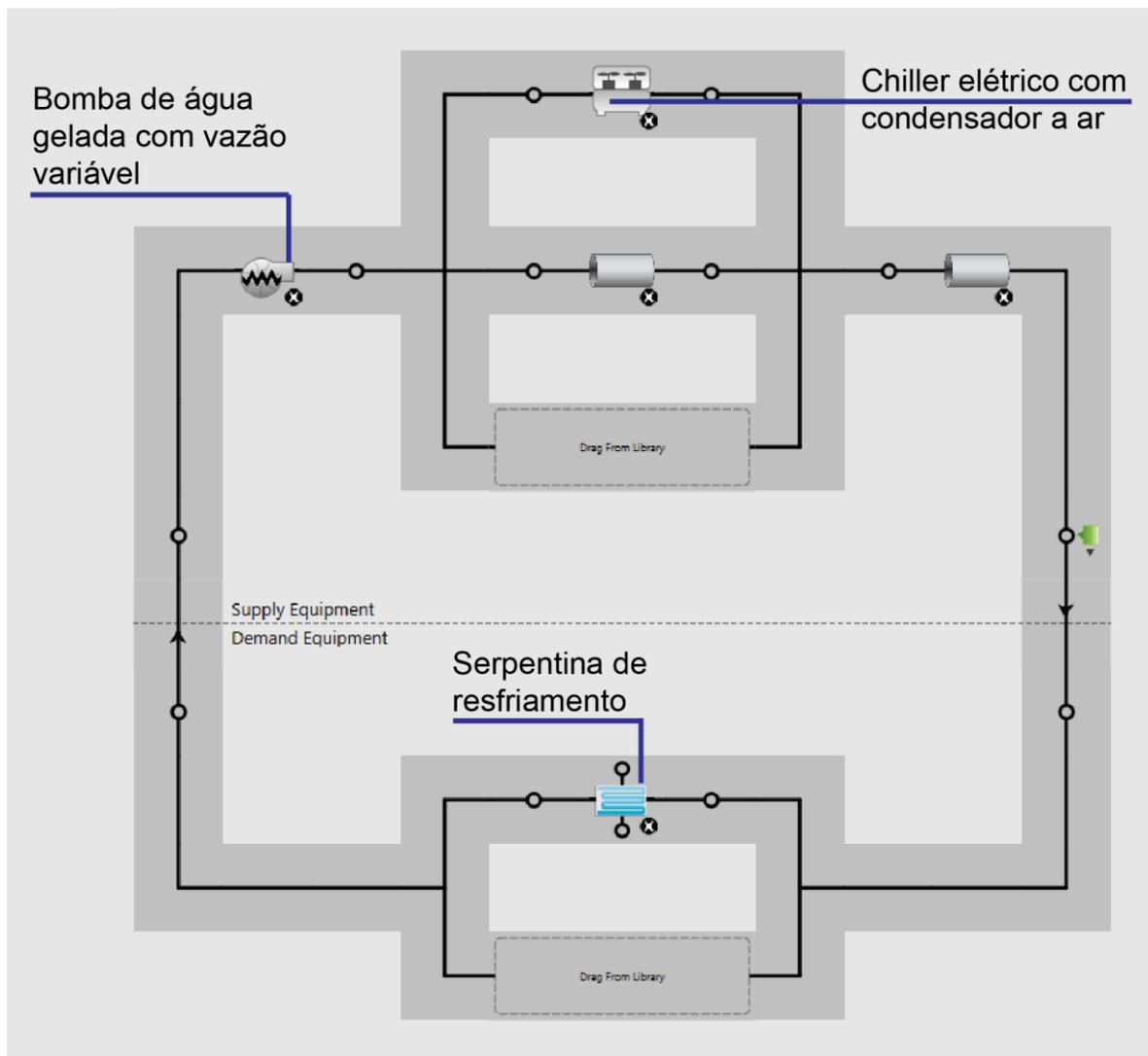
Definiu-se também que o resfriamento de ar é gerado por *chillers* de água gelada, e o aquecimento por resistência elétrica. A quantidade de equipamentos e o tipo de compressor são estabelecidos de acordo com a carga de pico do edifício, obtida por meio das simulações de dimensionamento. Para a modelagem do sistema, foram criados sistemas VAV com caixas PFP e reaquecimento no *software OpenStudio* em modo *autosize*, ou seja, os valores de *input* foram determinados pelo programa de simulação. Ao selecionar o sistema desejado, o programa cria os circuitos de ar e de água necessários para a simulação do sistema, conforme pode ser visto nas Figuras 22 e 23.

Figura 22: Circuito de ar do sistema VAV com caixas PFP predefinidas no OpenStudio



Fonte: Adaptado do *OpenStudio*.

Figura 23: Circuito de água do sistema VAV com caixas PFP predefinidas no *OpenStudio*



Fonte: Adaptado do *OpenStudio*.

No sistema de condicionamento de ar utilizado, a fração mínima de vazão adotada por zona é de 0,3, e o ventilador de volume de ar variável adotado pelo programa tem eficiência de 0,65. O aumento de pressão considerado é de 500 Pascal (Pa), a eficiência do motor é de 0,9, e a fração de vazão mínima é de 0,25. A potência elétrica consumida pelo ventilador é calculada de forma dinâmica pelo *OpenStudio* apenas em função da variação da vazão. Dessa forma, ele não considera as variações de pressão no duto e a curva do ventilador (DUARTE, 2014).

A norma indica que o sistema VAV deve incorporar uma estratégia de controle de temperatura, que deve manter a temperatura da zona desejada dentro de uma faixa especificada. Deve incorporar também uma estratégia de controle de

reinicialização de zona, que deve ajustar a temperatura do ar de suprimento com base nos requisitos de resfriamento ou aquecimento das zonas. Além disso, cada zona servida pelo sistema VAV deve ter recursos individuais de controle de temperatura. Essas determinações foram atendidas por meio dos termostatos.

4.4. Desempenho energético dos modelos estudados

Esta seção apresenta os resultados de consumo de energia elétrica do modelo de referência da ASHRAE e para as 64 envoltórias, nas sete zonas climáticas definidas: 0A, 0B, 1A, 1B, 2A, 2B e 3A. Os consumos anuais de energia elétrica, que estão relacionados aos sistemas de condicionamento de ar, iluminação e equipamentos, foram divididos pela área total da edificação, resultando em consumos anuais por metro quadrado (kWh/m².ano). Os modelos simulados foram identificados conforme a Tabela 10.

Foram realizadas, primeiramente, comparações entre o desempenho energético do modelo de referência proposto pela ASHRAE em diferentes cidades dentro da mesma zona. Posteriormente, foram realizadas comparações desses modelos com os diferentes envelopes propostos, alterando-se as paredes, coberturas e vidros. As análises foram divididas de acordo com as zonas climáticas, agrupando-se as zonas A e B de cada número – zona 0A e 0B, zona 1A e 1B etc. –, uma vez que as recomendações de envoltória são as mesmas para as duas zonas.

Nos Apêndices B, C, D e E deste trabalho, é possível encontrar todo o material estatístico gerado a partir desses dados. Procurou-se elaborar um plano geral compreensivo das simulações realizadas, de modo a proporcionar a visualização e análise das informações. Nesta seção, os resultados encontrados são discutidos de maneira objetiva, por isso apenas algumas figuras serão exibidas aqui como forma de exemplificar a discussão. Todo o material produzido pode ser encontrado nos Apêndices B, C, D e E, abrangendo os seguintes tópicos: modelos com menores consumos de energia e resultados das simulações, ordenados do menor para o maior consumo, evidenciando a posição da ASHRAE nos resultados.

Tabela 10: Identificação das combinações de simulações

Identificação	Combinação de paredes, coberturas e vidros	Identificação	Combinação de paredes, coberturas e vidros
P1_01	P1+C1+V1	P3_01	P3+C1+V1
P1_02	P1+C1+V2	P3_02	P3+C1+V2
P1_03	P1+C1+V3	P3_03	P3+C1+V3
P1_04	P1+C1+V4	P3_04	P3+C1+V4
P1_05	P1+C2+V1	P3_05	P3+C2+V1
P1_06	P1+C2+V2	P3_06	P3+C2+V2
P1_07	P1+C2+V3	P3_07	P3+C2+V3
P1_08	P1+C2+V4	P3_08	P3+C2+V4
P1_09	P1+C3+V1	P3_09	P3+C3+V1
P1_10	P1+C3+V2	P3_10	P3+C3+V2
P1_11	P1+C3+V3	P3_11	P3+C3+V3
P1_12	P1+C3+V4	P3_12	P3+C3+V4
P1_13	P1+C4+V1	P3_13	P3+C4+V1
P1_14	P1+C4+V2	P3_14	P3+C4+V2
P1_15	P1+C4+V3	P3_15	P3+C4+V3
P1_16	P1+C4+V4	P3_16	P3+C4+V4
P2_01	P2+C1+V1	P4_01	P4+C1+V1
P2_02	P2+C1+V2	P4_02	P4+C1+V2
P2_03	P2+C1+V3	P4_03	P4+C1+V3
P2_04	P2+C1+V4	P4_04	P4+C1+V4
P2_05	P2+C2+V1	P4_05	P4+C2+V1
P2_06	P2+C2+V2	P4_06	P4+C2+V2
P2_07	P2+C2+V3	P4_07	P4+C2+V3
P2_08	P2+C2+V4	P4_08	P4+C2+V4
P2_09	P2+C3+V1	P4_09	P4+C3+V1
P2_10	P2+C3+V2	P4_10	P4+C3+V2
P2_11	P2+C3+V3	P4_11	P4+C3+V3
P2_12	P2+C3+V4	P4_12	P4+C3+V4
P2_13	P2+C4+V1	P4_13	P4+C4+V1
P2_14	P2+C4+V2	P4_14	P4+C4+V2
P2_15	P2+C4+V3	P4_15	P4+C4+V3
P2_16	P2+C4+V4	P4_16	P4+C4+V4

4.4.1. Resultados das cidades nas zonas 0A e 0B

Analisando o consumo total de energia por m² (kWh/m²) com as especificações do modelo de referência da ASHRAE, nota-se que os resultados obtidos para as cidades identificadas na zona 0A ficaram próximos, porém nas cidades na zona 0B houve

maior diferença entre os resultados. Na Figura 24, vê-se que em Manaus e Porto Nacional, cidades na zona 0A, tem-se uma diferença mínima no consumo dos modelos, que varia entre 0,2% e 2,0%, ou seja, os consumos nessas cidades são quase equivalentes em todos os casos analisados. No entanto, o consumo de Floriano e Santa Rita de Cássia, ambas na zona 0B, apresentaram diferenças que variam de 5,8% a 9,3%, como pode ser visto na Figura 25. Essa diferença percentual tende a aumentar quanto menor é a densidade de ocupação e mais alta é a taxa de infiltração. Floriano e Santa Rita de Cássia apresentaram os maiores e menores consumos, respectivamente, em todas as situações em comparação a Porto Nacional e Manaus. Observa-se também que há diferença de 1% entre os consumos com alta e baixa taxa de infiltração em todos os níveis de densidade de ocupação analisados.

Figura 24: Consumo total de energia anual por m² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0A

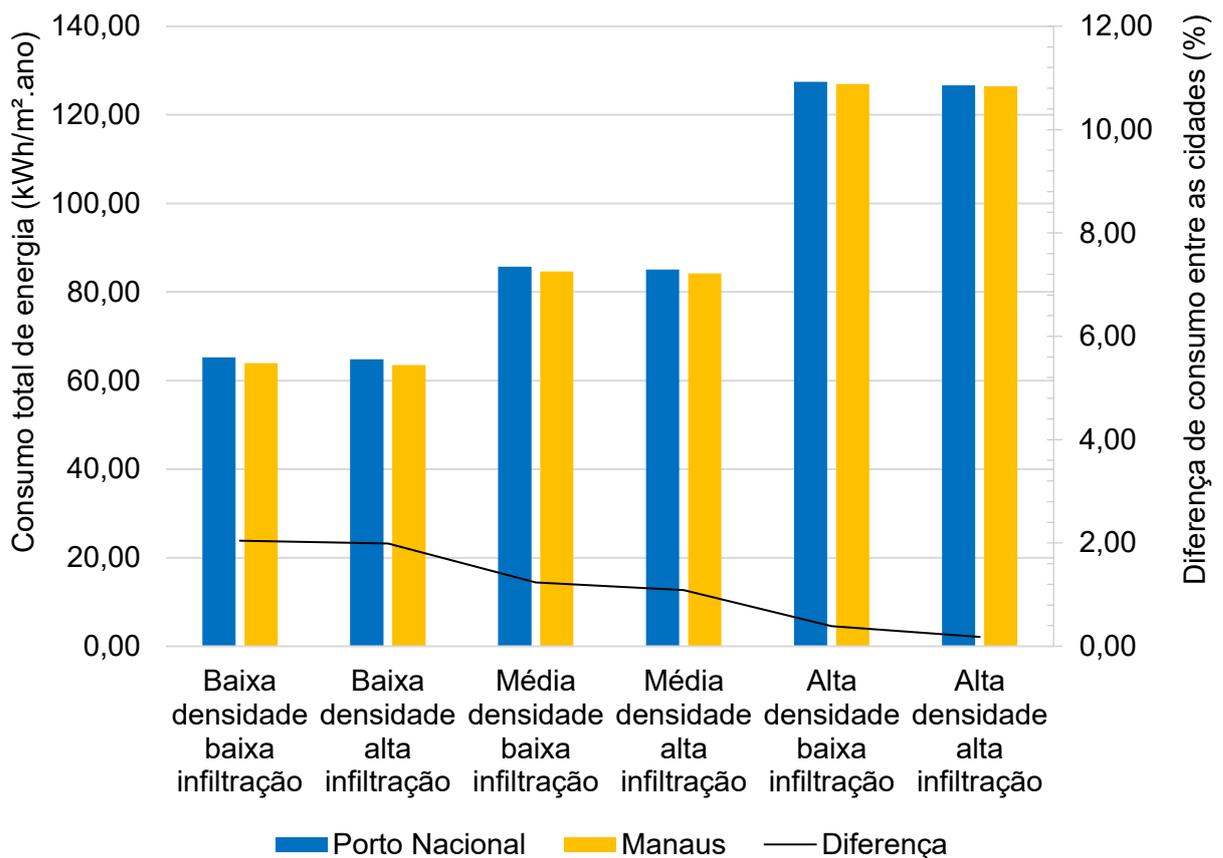
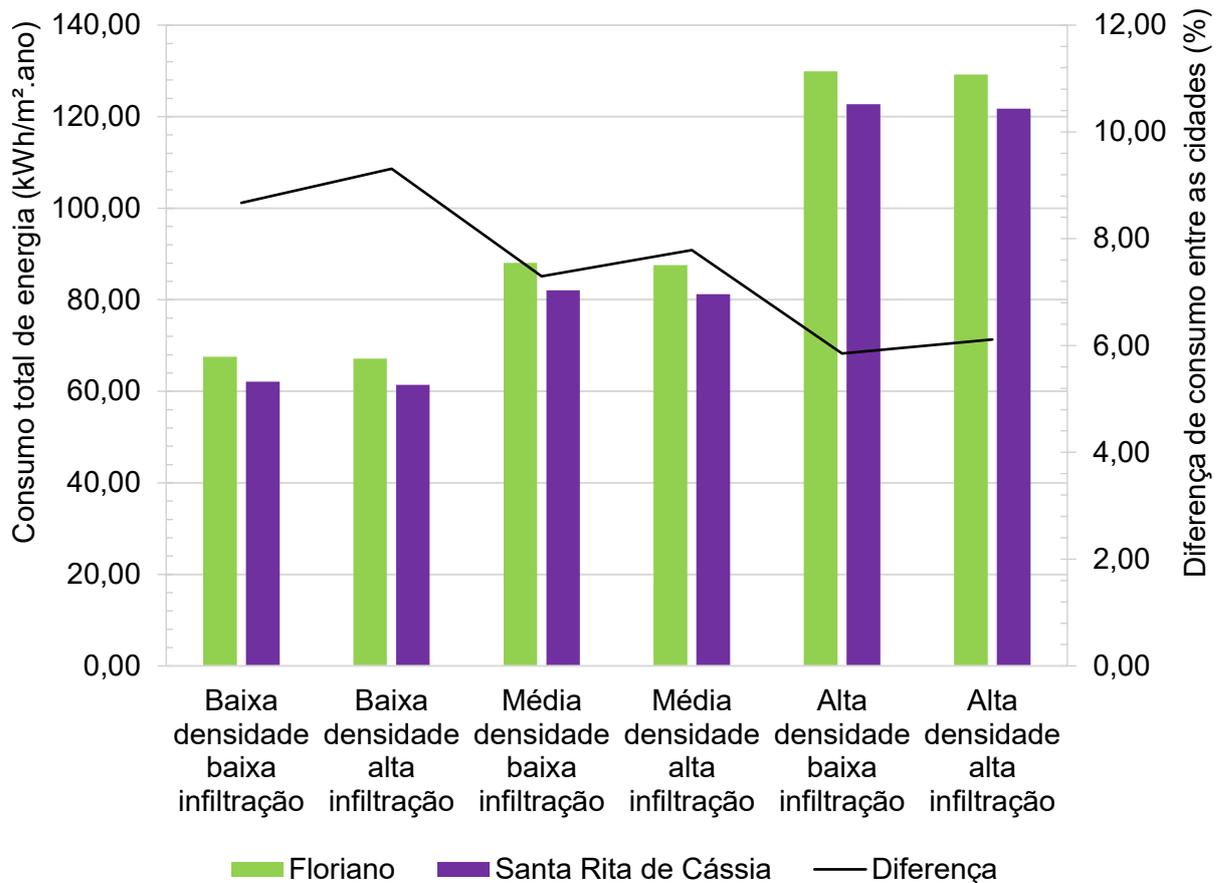


Figura 25: Consumo total de energia anual por m² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0B



Com relação ao uso final de energia anual, observa-se que Manaus e Porto Nacional apresentam comportamentos semelhantes (Figuras 26 e 27). De modo geral, os consumos encontrados nas duas cidades são muito próximos entre si. Nos casos de baixa densidade de ocupação, o resfriamento é responsável pela maior parte do consumo de energia da edificação nas duas cidades. Em Manaus, o consumo para resfriamento representa 39,7% do total na situação de baixa taxa de infiltração, e 39,3% no caso de alta infiltração. Em Porto Nacional, esse consumo representa 41,2% e 40,8%, respectivamente. O consumo com iluminação representa 36,0% e 36,3% em Manaus, e 35,0% e 35,3% em Porto Nacional, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente.

Nos casos de média densidade de ocupação, o consumo com equipamentos passa a representar maior parte do consumo em relação ao consumo com iluminação, e seu consumo se aproxima do de resfriamento nas duas cidades. Em Manaus, o consumo com equipamentos quase se iguala ao consumo de resfriamento – 36,3% e 36,5%, respectivamente, com baixa taxa de infiltração e 36,1% e 36,5% com alta taxa

de infiltração. Em Porto Nacional, os equipamentos representam 35,8% e 36,1%, e o resfriamento 37,5% e 37,0%, nos casos de baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente.

Nos casos simulados com alta densidade de ocupação, o consumo de equipamentos passa a representar a maior parte do consumo total da edificação, aproximadamente 50% do total em todos os casos, seguido pelo de resfriamento. Nas condições de baixa taxa de infiltração, o resfriamento representa 33,2% do total, enquanto o consumo com equipamentos é de 48,6% em Manaus. Com alta taxa de infiltração esses consumos representam 33,0% e 48,8%, respectivamente. Em Porto Nacional, o resfriamento representa 33,6% do total, e os equipamentos 48,4% com baixa taxa de infiltração, e 33,2% e 48,7%, respectivamente, com alta taxa de infiltração. Ressalta-se também que, devido às condições climáticas das cidades em questão, não há necessidade de aquecimento em nenhuma das situações.

Figura 26: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0A – Baixa taxa de infiltração

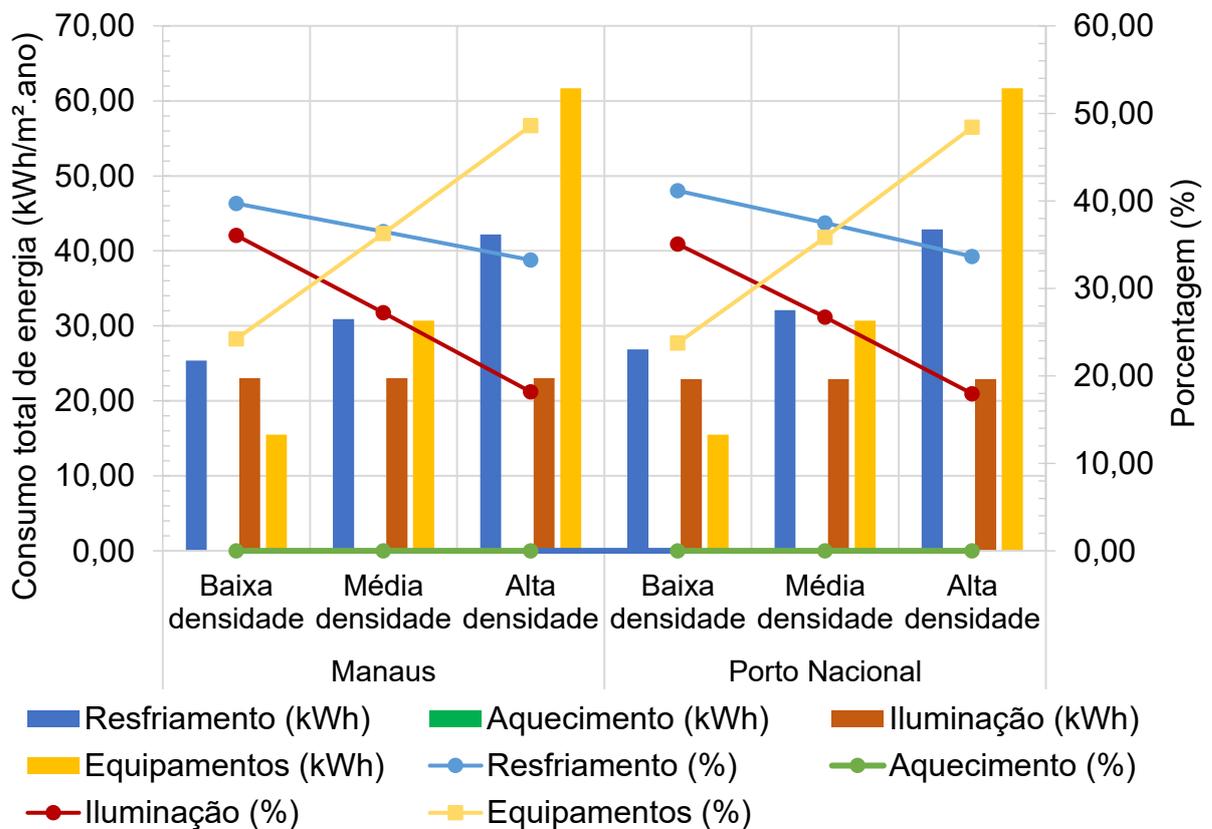
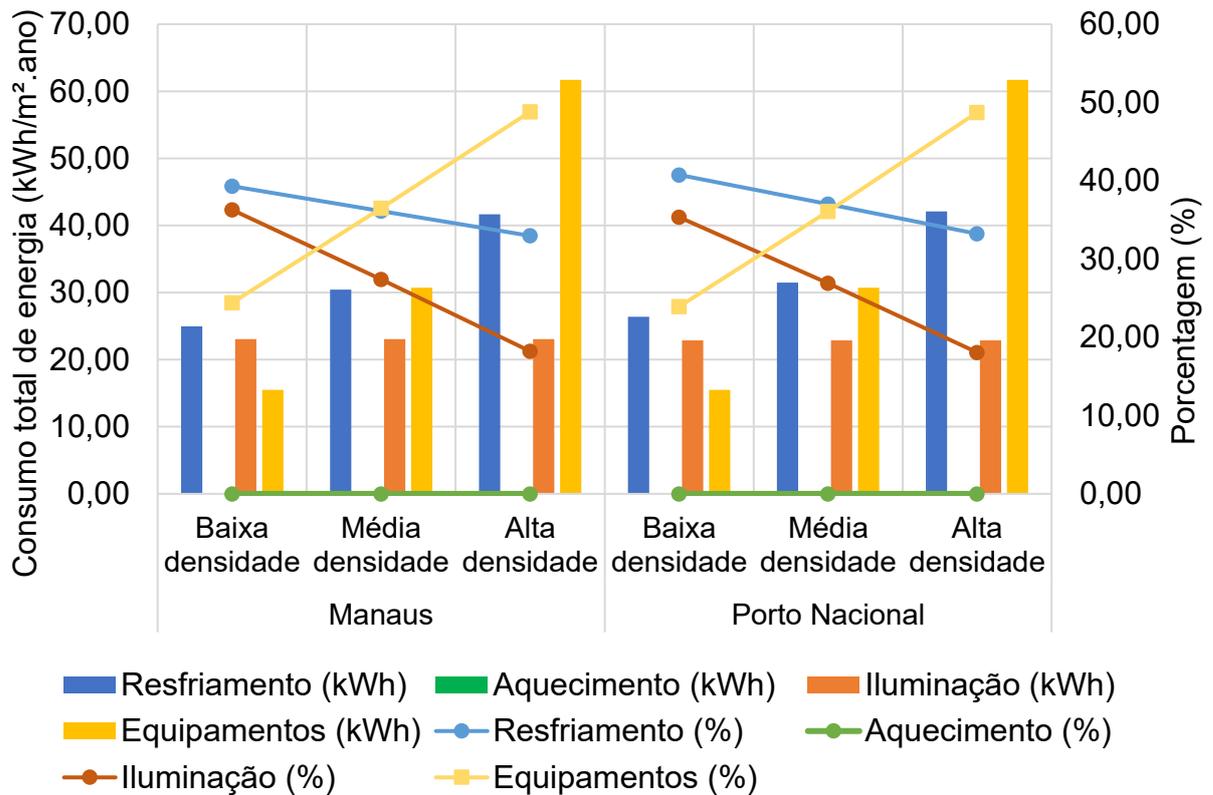


Figura 27: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0A – Alta taxa de infiltração



Em Floriano e Santa Rita de Cássia (Figuras 28 e 29), observam-se comportamentos diferentes nos usos finais de energia. Na situação de baixa densidade de ocupação e baixa taxa de infiltração, o resfriamento representa a maior parte do consumo em Floriano (42,7%), seguido pela iluminação (34,3%). Em Santa Rita de Cássia, nessa mesma situação, esses consumos são quase equivalentes, mas o consumo com resfriamento também representa parcela maior no consumo total do que a iluminação (38,1% e 37,0%, respectivamente). Com alta taxa de infiltração, o resfriamento também representa maior parte do consumo em Floriano, com 42,4% do total, seguido pela iluminação, 34,5%. Em Santa Rita de Cássia a situação se inverte, ou seja, o maior consumo é com a iluminação, 37,4%, seguido pelo resfriamento, 37,3%.

Nas situações de média densidade de ocupação, em Floriano, o resfriamento continua sendo responsável pela maior parte do consumo de energia da edificação (38,8% com baixa taxa de infiltração e 38,5% com alta taxa de infiltração). Porém, o consumo com equipamentos passa a representar o segundo maior consumo (34,9% e 35,1% com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente). De maneira oposta, em Santa Rita de Cássia o maior consumo passa a ser com os equipamentos (37,4%

e 37,8%, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente), seguido pelo resfriamento (34,6% e 33,9%, respectivamente).

Nos casos simulados com alta densidade de ocupação, os equipamentos também passam a representar a maior parte do consumo total da edificação, 47,5% e 47,8% em Floriano, e 50,3% e 50,7% em Santa Rita de Cássia, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Em Floriano, o consumo com resfriamento ainda apresenta a segunda maior porcentagem com 34,7% e 34,3% do consumo total nos casos de baixa e alta infiltração, respectivamente. Em Santa Rita de Cássia esse consumo é de 31,0% e 30,5%, respectivamente. Ressalta-se também que, assim como em Manaus e Porto Nacional, devido às condições climáticas das cidades em questão, não há necessidade de aquecimento em nenhuma das situações.

Considerando que os consumos com equipamentos e iluminação são os mesmos para Floriano e Santa Rita de Cássia em suas respectivas densidades de ocupação, constata-se que o consumo com resfriamento exerce maior influência no consumo total de energia na edificação em Floriano, principalmente nas situações de baixa e média densidade de ocupação.

Figura 28: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0B – Baixa taxa de infiltração

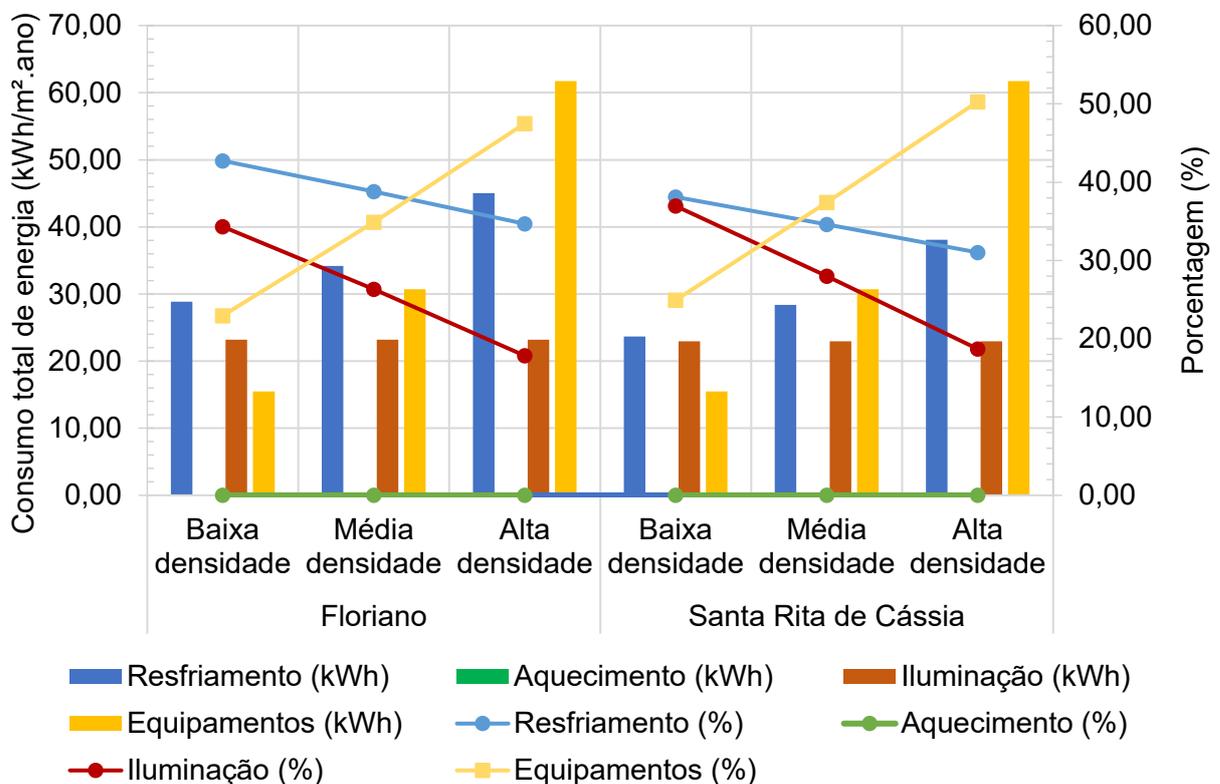
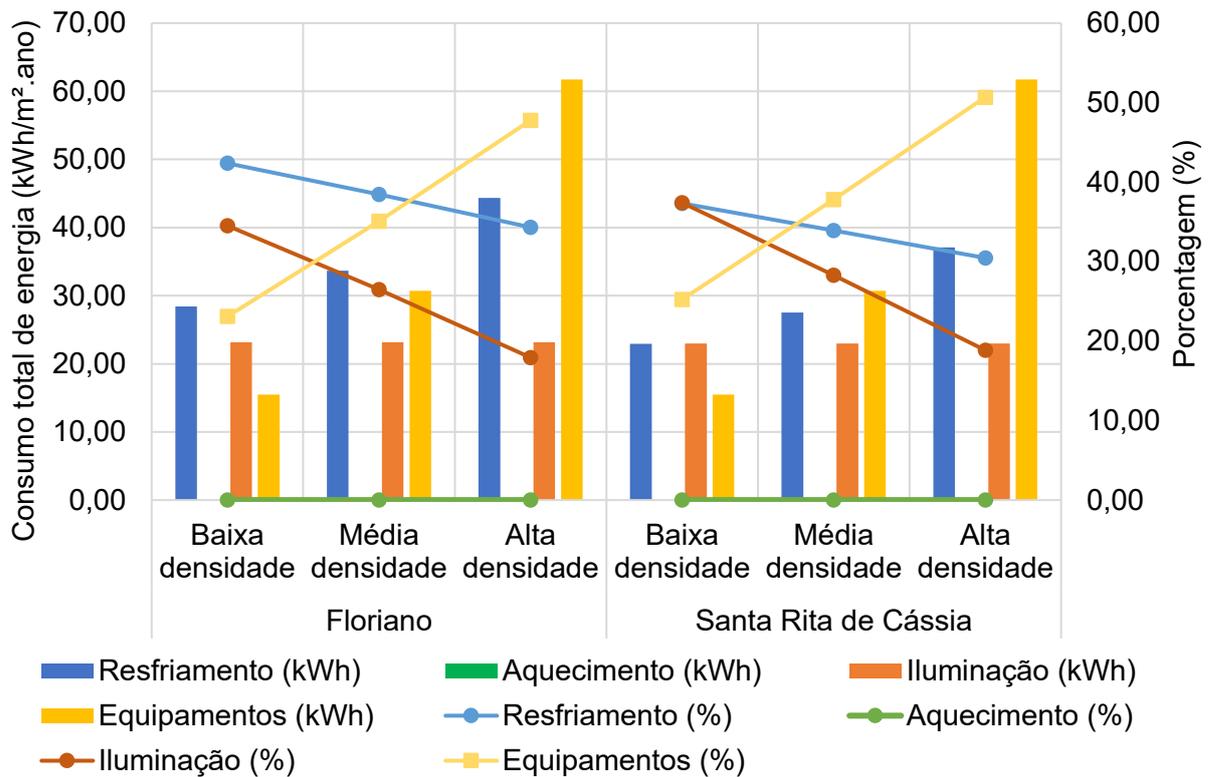


Figura 29: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 0B – Alta taxa de infiltração



Comparando-se os consumos obtidos com os modelos de envoltória propostos e o modelo da ASHRAE, conclui-se que a diferença da posição da ASHRAE no *ranking* de consumo entre as cidades na zona 0A diminui conforme é reduzida a densidade de ocupação. Na situação de alta densidade de ocupação, o modelo da ASHRAE ficou em 21º e 24º lugar em Manaus, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente, enquanto em Porto Nacional o modelo ficou em 15º e 14º lugar, respectivamente. Na situação de baixa densidade de ocupação, o modelo da ASHRAE ficou em 16º lugar em Manaus, com baixa e alta taxa de infiltração. Em Porto Nacional, ele ficou em 14º lugar, também nos dois casos de taxa de infiltração. Ou seja, com alta densidade de ocupação e alta taxa de infiltração, em Manaus houve 23 combinações de envoltória mais eficientes do que a envoltória da ASHRAE, mas em Porto Nacional houve somente 13 combinações. Destaca-se também que em Porto Nacional não houve grande variação da posição da ASHRAE nas diferentes densidades de ocupação. As Tabelas 11 e 12 apresentam o resumo do *ranking* dos resultados encontrados nas cidades localizadas na zona 0A na situação de baixa taxa de infiltração, evidenciando a posição do modelo da ASHRAE.

Além disso, destaca-se que, na zona 0, em todas as cidades, nenhum dos modelos que obtiveram consumo menor atingiu o valor mínimo de eficiência energética exigido pela Certificação LEED. O pré-requisito mínimo da categoria Energia e Atmosfera é reduzir 5,0% do consumo de energia em comparação ao modelo de referência. Em Manaus, a maior economia encontrada foi de 2,4% na situação de baixa densidade de ocupação e alta taxa de infiltração, comparando-se o melhor desempenho encontrado com o modelo da ASHRAE. Em Porto Nacional, a maior economia foi equivalente a 2,8% na mesma situação. Nas situações de média densidade de ocupação, a economia máxima foi de 1,8% em Manaus e de 2,0% em Porto Nacional, ambas com alta taxa de infiltração. Com alta densidade de ocupação, a redução foi de somente 1,1% e 1,2%, em Manaus e Porto Nacional, respectivamente, também com alta taxa de infiltração.

Tabela 11: *Ranking* dos consumos de energia em Manaus – Baixa taxa de infiltração

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	125,64	P2-04	83,26	P2-04	62,36
2º	P1-04	125,79	P1-04	83,41	P1-04	62,59
3º	P2-08	125,95	P2-08	83,42	P2-08	62,79
4º*	P2-16	126,00	P2-12	83,70	P1-08	62,94
16º*	P2-07	126,79	P4-04	84,60	ASHRAE	63,93
17º	P2-15	126,80	P2-11	84,64	P2-11	63,98
18º	P2-11	126,86	P3-03	84,64	P1-07	63,99
19º	P3-03	126,87	ASHRAE	84,65	P4-04	64,01
20º	P1-07	126,95	P2-15	84,70	P3-03	64,01
21º	ASHRAE	126,96	P1-11	84,74	P2-15	64,05

*Nota: Os resultados completos podem ser vistos no Apêndice B desta dissertação, assim como os resultados com alta taxa de infiltração.

Tabela 12: Ranking dos consumos de energia em Porto Nacional – Baixa taxa de infiltração

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1 ^o	P2-04	125,88	P1-04	84,03	P1-04	63,48
2 ^o	P1-04	125,89	P2-04	84,07	P2-04	63,51
3 ^o	P1-08	126,23	P1-08	84,42	P1-08	64,08
4 ^o	P2-08	126,29	P2-08	84,48	P2-08	64,13
5 ^{o*}	P2-12	126,51	P2-16	84,87	P1-12	64,34
11 ^{o*}	P3-08	127,12	P2-03	85,42	P1-03	64,91
12 ^o	P1-03	127,19	P1-03	85,45	P3-08	65,07
13 ^o	P3-12	127,33	ASHRAE	85,70	P3-16	65,22
14 ^o	P3-16	127,35	P3-16	85,71	ASHRAE	65,23
15 ^o	ASHRAE	127,45	P3-12	85,76	P3-12	65,30

*Nota: Os resultados completos podem ser vistos no Apêndice B desta dissertação, assim como os resultados com alta taxa de infiltração.

Em Floriano, observa-se que o modelo da ASHRAE ficou entre os dez menores consumos em todas as situações, ao passo que Santa Rita de Cássia ficou entre o 14^o e o 17^o lugar, dependendo da densidade de ocupação. Com esses resultados, tem-se que nenhuma das combinações obteve a redução mínima de energia exigida pela Certificação LEED em nenhuma das cidades.

Em Floriano, as maiores economias foram nas situações de baixa taxa de infiltração, enquanto em Santa Rita de Cássia os melhores resultados foram nas situações de alta taxa de infiltração. Em Floriano, as maiores economias foram de 2,29%, 1,5% e 0,9% nos casos de alta, média e baixa densidade de ocupação, respectivamente, e baixa taxa de infiltração. Em Santa Rita de Cássia, as economias nesses casos foram de 2,8%, 2,0% e 1,5%, respectivamente, mas com alta taxa de infiltração. O resumo do *ranking* dos resultados encontrados nas cidades localizadas na zona 0B na situação de baixa taxa de infiltração está nas Tabelas 13 e 14, mostrando a posição do modelo da ASHRAE.

Tabela 13: Ranking dos consumos de energia em Floriano – Baixa taxa de infiltração

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P1-04	128,73	P1-04	86,69	P1-04	66,04
2º	P2-04	129,09	P1-08	87,17	P2-04	66,35
3º	P1-08	129,21	P2-04	87,20	P1-08	66,71
4º	P2-08	129,42	P2-08	87,48	P1-12	66,97
5º	P1-12	129,44	P1-12	87,59	P2-08	66,99
6º	P1-16	129,51	P1-16	87,72	P1-16	67,08
7º	P2-12	129,78	P2-12	87,89	P2-12	67,27
8º	P2-16	129,80	P2-16	87,97	P2-16	67,30
9º	ASHRAE	129,92	ASHRAE	88,05	P3-04	67,47
10º	P3-04	130,18	P3-04	88,30	ASHRAE	67,52

*Nota: Os resultados completos podem ser vistos no Apêndice B desta dissertação, assim como os resultados com alta taxa de infiltração.

Tabela 14: Ranking dos consumos de energia em Santa Rita de Cássia – Baixa taxa de infiltração

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	121,15	P2-04	80,45	P2-04	60,51
2º	P1-04	121,15	P1-04	80,47	P1-04	60,51
3º	P1-08	121,33	P1-08	80,77	P1-08	60,84
4º	P2-08	121,38	P2-08	80,83	P2-08	60,90
5º*	P1-12	121,54	P1-12	80,98	P1-12	61,08
13º*	P1-03	122,41	P3-12	81,93	P3-12	62,07
14º	P3-16	122,44	P3-16	81,99	ASHRAE	62,13
15º	P2-07	122,61	ASHRAE	82,06	P3-16	62,15
16º	P1-07	122,64	P2-07	82,15	P2-07	62,27
17º	ASHRAE	122,74	P1-07	82,17	P1-07	62,29

*Nota: Os resultados completos podem ser vistos no Apêndice B desta dissertação, assim como os resultados com alta taxa de infiltração.

Nas Figuras 30 e 31, observa-se que, em todas as cidades, o consumo de energia do modelo de referência da ASHRAE está mais próximo do consumo mínimo encontrado nas 64 simulações do que do consumo médio, calculado considerando-se todos os valores encontrados. Analisando os consumos máximos e mínimos, nota-se que, em Manaus, nos casos de alta densidade, há diferença de aproximadamente

5,0% entre esses consumos, enquanto nos casos de média densidade a diferença é de 8,0% e nos de baixa densidade é de 10,0%. Em Porto Nacional, essas diferenças são de 7,0%, 10,0% e 13,0%, respectivamente. Em Floriano e Santa Rita, apesar de a primeira cidade ter apresentado o maior consumo, e a segunda o menor consumo entre as quatro cidades, as diferenças percentuais entre os consumos máximos e mínimos são iguais nas duas cidades. Elas apresentaram diferença de 7,0% nos casos de alta densidade, 11,0% nos casos de média densidade, e 14,0%, com baixa densidade.

Por fim, observando atentamente o ciclo de variações obtidas nos resultados, compreende-se que este tem oscilação maior conforme se altera o tipo de vidro usado nas simulações. A partir disso, foi identificado que os melhores resultados foram os obtidos com o Vidro 4 (vidro insulado com controle solar), indicando que o vidro exerce maior influência no consumo de energia. Observa-se também que as combinações com as paredes 1 e 2 (parede em *steel frame* com lã de rocha e parede de tijolo cerâmico, respectivamente) também resultam em consumos mais baixos.

Correlacionando os dados encontrados com o perfil climático das cidades analisadas, percebe-se que o modelo da ASHRAE obteve melhores resultados em comparação às outras envoltórias nas cidades cujas temperaturas médias diárias se mantêm mais altas ao longo do ano, como é o caso de Manaus e Floriano. Essas cidades apresentaram temperaturas médias diárias acima de 24°C quase todos os dias do ano, 365 e 363 dias, respectivamente. Porto Nacional e Santa Rita de Cássia apresentaram 359 e 348 dias com temperaturas médias diárias acima de 24°C (Figura 32). Conforme apresentado anteriormente, no *ranking* das envoltórias, o modelo da ASHRAE ficou em posições melhores nessa mesma ordem.

Figura 30: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 0A

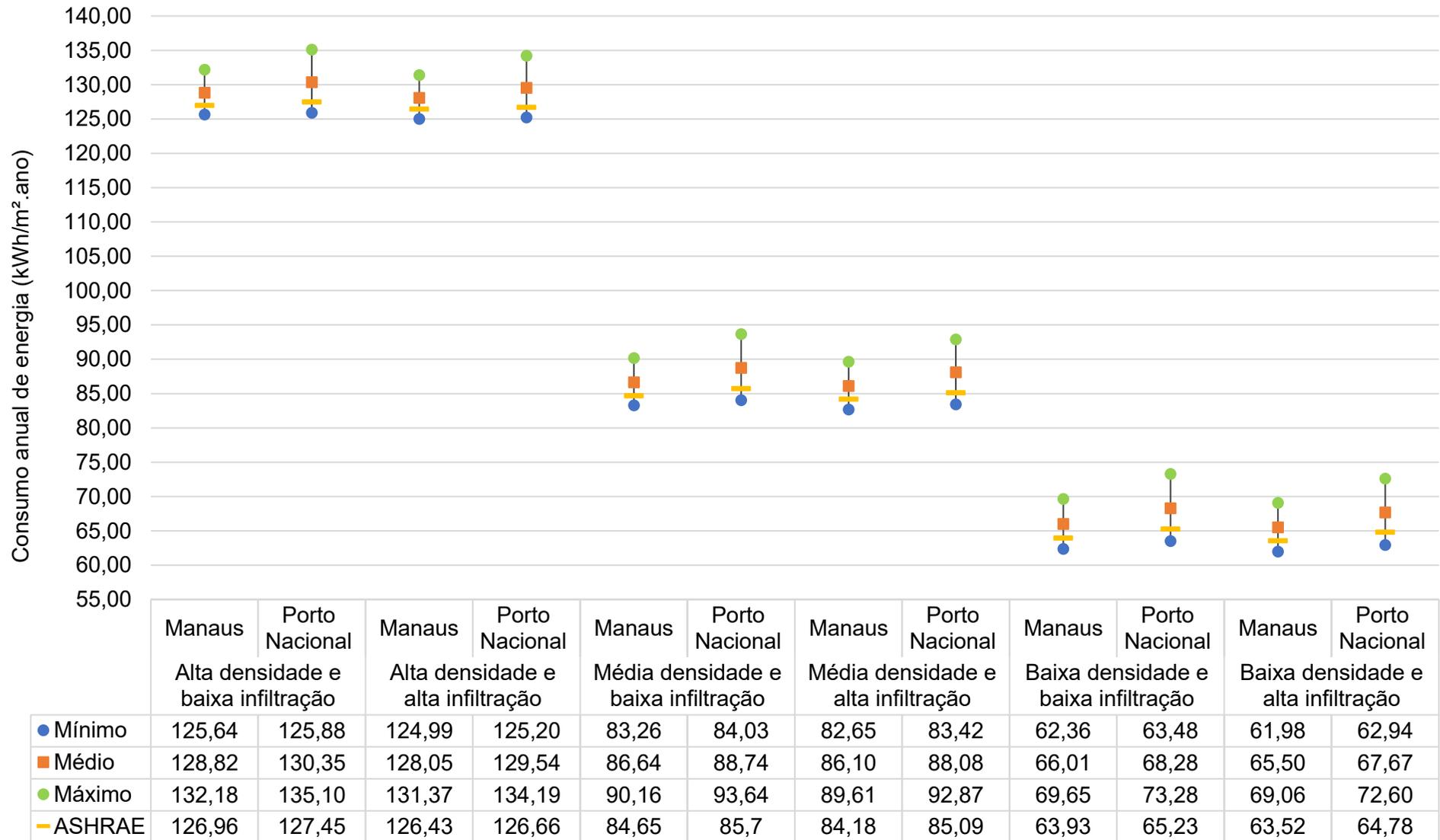


Figura 31: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 0B

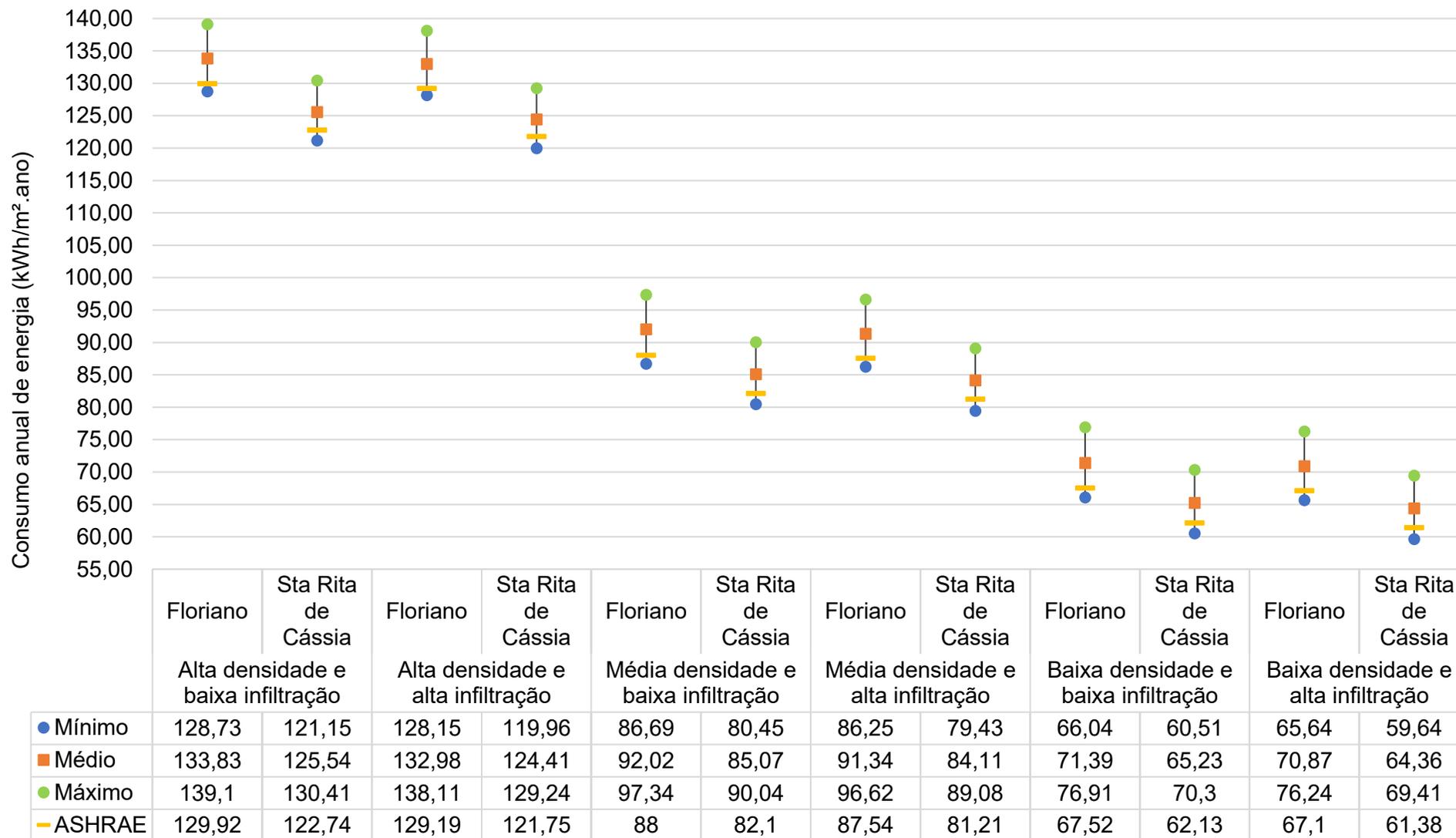
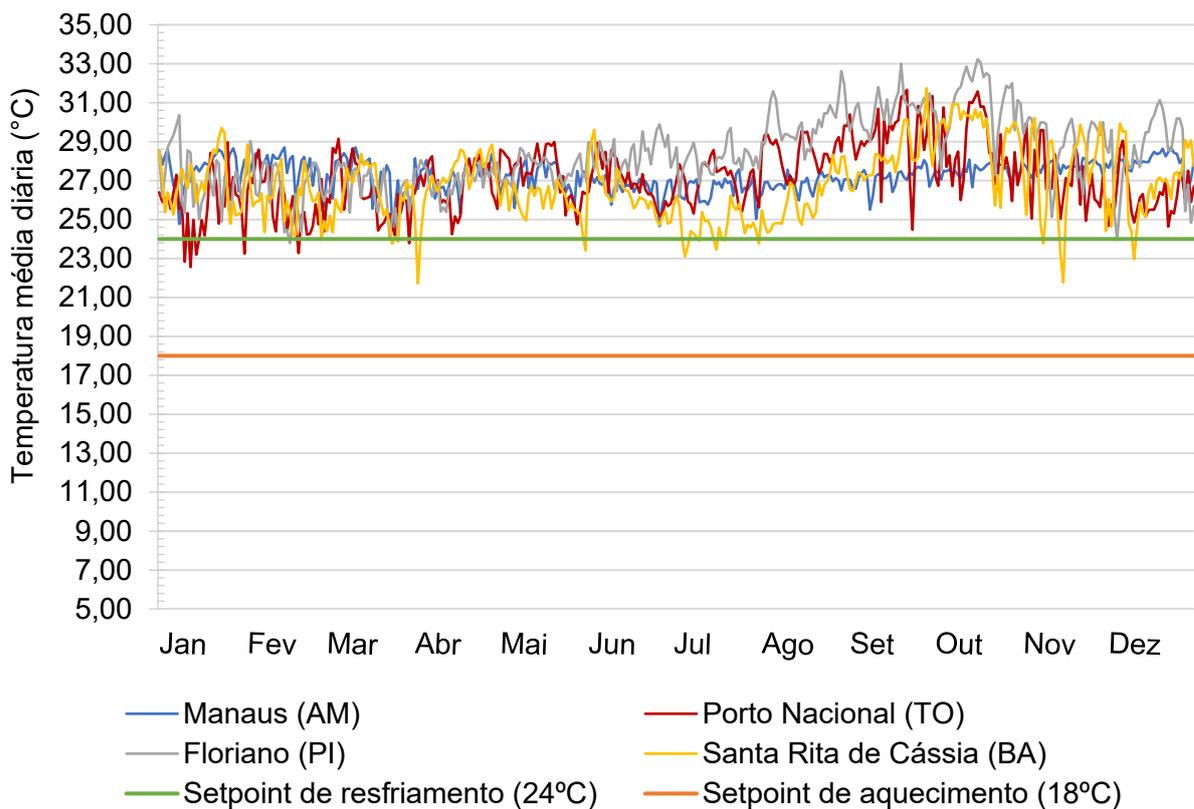


Figura 32: Temperatura do ar externo nas cidades na zona 0 – médias diárias

4.4.2. Resultados das cidades nas zonas 1A e 1B

Nas zonas 1A e 1B, observa-se maior diferença percentual entre os modelos com as especificações de referência da ASHRAE, em comparação às cidades na zona 0. Em Natal e Campina Grande, a diferença entre os dois modelos varia de 7,2% a 11,6%, e em Campos Sales e Montes Claros, de 4,9% a 6,8%. Conclui-se que a diferença entre as cidades tende a diminuir com o aumento da densidade de ocupação.

Quanto ao uso final de energia anual, Campina Grande e Natal apresentam comportamentos diferentes. Em Natal, em baixa densidade de ocupação, o resfriamento é responsável pela maior parte do consumo de energia, enquanto em Campina Grande o maior consumo é com iluminação. Além disso, observa-se que em Natal a diferença nos consumos com resfriamento e iluminação é menor que 2,0%, em Campina Grande, essa diferença é de quase 10,0%.

Em média densidade de ocupação, o consumo com equipamentos representa a maior parte em Natal e Campina Grande. Em Natal, esse consumo é bem próximo do de resfriamento, representando o segundo maior consumo. No entanto, em Campina Grande, a situação se inverte, e o segundo maior consumo é com

iluminação. Além disso, observa-se que o consumo com resfriamento é quase equivalente ao de iluminação.

Em alta densidade de ocupação, os equipamentos continuam representando a maior parte do consumo total em Campina Grande e Natal. Porém, em Campina Grande o resfriamento passa a representar o segundo maior consumo. Os menores consumos também ocorrem nos casos de alta taxa de infiltração, porque o aumento das trocas de ar entre os ambientes interno e externo ajuda a resfriar o ambiente, reduzindo a necessidade de resfriamento.

Campos Sales e Montes Claros, cidades na zona 1B, também apresentam comportamentos diferentes quanto ao uso final de energia. Em baixa densidade de ocupação, o consumo com iluminação representa a maior parte do consumo, mas em Montes Claros, esse consumo apresenta porcentagem maior em relação ao consumo com resfriamento, que representa o segundo maior consumo.

Em média densidade de ocupação, os equipamentos também passam a representar maior parte do consumo nessas duas cidades. Em Campos Sales, o resfriamento apresenta consumo maior do que o de iluminação, enquanto em Montes Claros a iluminação apresenta consumo maior.

Com alta densidade de ocupação, os equipamentos representam mais de 50,0% do consumo. Nessa situação, o consumo com resfriamento é o segundo maior nas duas cidades. Além disso, os consumos com iluminação e resfriamento são mais próximos em Montes Claros do que em Campos Sales. Na zona 1, a única cidade que demanda aquecimento é Montes Claros, consumo que pode ser desconsiderado, pois é inferior a 0,02% ao ano por m². Assim como nas cidades na zona 1A, os menores consumos ocorrem com alta taxa de infiltração.

Em relação aos consumos encontrados, há maior diferença entre a posição da ASHRAE no *ranking* de consumo na zona 1. Por exemplo, em Campina Grande, em alta densidade e baixa infiltração, houve 29 combinações de envoltória mais eficientes do que a envoltória da ASHRAE, mas em Natal houve somente dezessete combinações mais eficientes na mesma situação.

Em todas as cidades na zona 1, nenhuma das combinações obteve a redução mínima de energia exigida pela Certificação LEED. Na zona 1A, em Campina Grande, a maior economia foi equivalente a 3,9% em baixa densidade e alta infiltração, comparando-se o melhor desempenho encontrado com o modelo da ASHRAE. Em Natal, a maior economia foi de 2,4%, também em baixa densidade e alta infiltração. Das cidades analisadas na zona 1B, Montes Claros é a que apresenta economia mais

próxima da desejada, equivalente a 4,4%, também em baixa densidade e alta infiltração, em Campos Sales a maior economia foi de 2,9%, na mesma situação.

Quanto aos consumos máximos e mínimos encontrados nas 64 simulações, em Campina Grande e Natal, nota-se variação de 6% a 12%, e em Campos Sales e Montes Claros essas diferenças são de 6% a 13%. Em Natal e Montes Claros, o consumo de energia do modelo de referência da ASHRAE está mais próximo do consumo mínimo encontrado do que do consumo médio. No entanto, Campina Grande e Montes Claros apresentaram resultados mais próximos do consumo médio. Analisando o ciclo de variações obtidas nos resultados, assim como na zona 0, identificou-se que os melhores resultados foram os obtidos com o Vidro 4 (vidro insulado com controle solar). As paredes 1 e 2 (parede em *steel frame* e lã de vidro e parede de tijolo cerâmico, respectivamente), assim como na zona 0, também foram as que apresentam melhores resultados.

Comparando os resultados encontrados com o perfil climático das cidades, novamente, o modelo da ASHRAE obteve melhores resultados nas cidades cujas temperaturas médias diárias se mantêm mais altas ao longo do ano, como Campos Sales e Natal. Nesses casos, o uso de isolamento na envoltória se mostra mais favorável, uma vez que restringe o ganho de calor para dentro da edificação. No Apêndice C deste trabalho, é possível encontrar todo o material estatístico gerado a partir dos dados produzidos, bem como suas análises detalhadas.

4.4.3. Resultados das cidades nas zonas 2A e 2B

Nas zonas 2A e 2B constatam-se menores diferenças entre os modelos da ASHRAE. Em Paraty e São Carlos, a diferença no consumo varia entre 3,4% e 5,6%, em Caruaru e Campo Grande, a diferença varia somente entre 1,3% e 2,1%. Em ambos os casos a diferença percentual tende a aumentar quanto menor é a densidade de ocupação. Em Paraty e São Carlos a diferença torna-se maior com o aumento da taxa de infiltração, enquanto em Caruaru e Campo Grande a diferença reduz.

Quanto ao uso final de energia anual, verificam-se também comportamentos diferentes em São Carlos e Paraty. Com baixa densidade de ocupação, a iluminação consome a maior parte de energia nessas duas cidades. Nesse caso, o segundo maior consumo vem do resfriamento. Em Paraty, a parcela representativa de resfriamento é mais próxima do consumo com iluminação, por outro lado, em São Carlos o resfriamento está mais próximo do consumo com equipamentos. Em São Carlos e

Paraty, devido às condições climáticas, há consumo com aquecimento, sendo maior em São Carlos do que em Paraty.

Com média densidade de ocupação, o consumo com equipamentos consome a maior parte de energia em Paraty e São Carlos. Nesta última, a iluminação representa o segundo maior consumo, mas em Paraty o consumo com resfriamento segue sendo o segundo maior. Salienta-se que a parcela de consumo com aquecimento reduziu nas duas cidades, sendo que em Paraty, com baixa infiltração, não há mais necessidade de aquecimento.

Com alta densidade de ocupação, o perfil de consumo é mais similar entre São Carlos e Paraty. Os equipamentos continuam sendo a maior parte do consumo total, seguidos pelo resfriamento. Além disso, o consumo com aquecimento também reduz nas duas cidades. Tem-se, então, que a necessidade de aquecimento diminui com o aumento da densidade de ocupação devido ao calor interno gerado. Porém, esse consumo é maior com baixa taxa de infiltração, porque com a troca de ar não intencional esse calor gerado sai da edificação mais rapidamente, demandando mais energia para manter a temperatura interna.

Em Caruaru e Campo Grande, cidades localizadas na zona 2B, a iluminação também representa maior parte do consumo total em todos os casos, seguida pelo resfriamento. Porém, em Campo Grande, ela apresenta influência maior no consumo total em comparação aos demais. Nela, há necessidade de aquecimento em todas as situações, enquanto em Caruaru não há uso de aquecimento em nenhuma situação.

Com média densidade, os perfis de consumo se assemelham mais. Os equipamentos também passam a representar maior parte do consumo em Campo Grande e Caruaru, seguidos pela iluminação, exceto em Caruaru com baixa taxa de infiltração. O consumo com aquecimento em Campo Grande também reduziu com o aumento da densidade de ocupação.

Com alta densidade de ocupação, os equipamentos continuam respondendo pela maior parte do consumo, seguidos pelo resfriamento, porém há diferença maior entre esses consumos em todos os casos. Em Campo Grande, o consumo com aquecimento também reduz com o aumento da densidade de ocupação, o que se explica pelo aumento da carga térmica interna. Além disso, o consumo também é maior com alta taxa de infiltração, devido ao aumento das trocas de ar não intencionais.

Quanto aos consumos encontrados em todos os modelos simulados, a posição do modelo da ASHRAE é mais próxima entre as cidades na zona 2A, mas esse

modelo é menos eficiente do que nas outras zonas. Com média densidade de ocupação, houve equivalência na posição do modelo da ASHRAE em São Carlos e Paraty.

Diferentemente das outras zonas, em São Carlos seria possível atender o pré-requisito da certificação em quase todas as situações simuladas, sendo que a maior economia encontrada foi equivalente a 9,4% com baixa densidade e baixa infiltração. A menor economia foi de 5,0% com alta densidade e alta infiltração. Destaca-se que com baixa densidade de ocupação e baixa infiltração, 28 modelos apresentaram reduções maiores que 5,0%. Em Paraty, a maior economia foi de 8,3%, também com baixa densidade e baixa infiltração, mas a menor economia foi de 4,5%, com alta densidade e alta infiltração. Dessa forma, somente neste último cenário não seria possível atingir o pré-requisito da certificação.

Na zona 1B, o modelo com a envoltória da ASHRAE também ficou em posições semelhantes em Campo Grande e Caruaru, sendo que também houve equivalência na posição do modelo da ASHRAE em alguns casos. Em Caruaru, a maior economia encontrada foi de 8,7% nas situações de baixa densidade e baixa taxa de infiltração, e a menor economia foi de 4,5% com alta densidade e alta infiltração. Dessa forma, também não seria possível atender o pré-requisito da certificação na situação de alta densidade. Em Campo Grande, as reduções máximas encontradas foram menores e também não seria possível atingir a redução mínima de energia com alta densidade de ocupação. A menor economia foi equivalente a 4,0%, com alta densidade e baixa infiltração, e a maior economia foi de 7,0%, com baixa densidade e alta infiltração.

O consumo de energia do modelo de referência da ASHRAE nas cidades localizadas na zona 2 está mais próximo do consumo máximo encontrado nas 64 simulações do que do consumo médio, diferentemente do que ocorre nas zonas 0 e 1. Quanto menor é a densidade de ocupação, mais próximo o consumo da ASHRAE está do consumo médio nessas duas cidades.

Analisando as variações de envoltória, assim como nas zonas 0 e 1, os melhores resultados foram obtidos com o Vidro 4 (vidro insulado com controle solar), mas a parede 2 (parede de tijolo cerâmico) oferece melhores resultados em São Carlos e Paraty.

Na zona 2, as cidades analisadas têm temperaturas abaixo da temperatura de *setpoint* de resfriamento durante boa parte do ano. O posicionamento do modelo da ASHRAE comparado aos outros modelos reforça a conclusão de que o uso de isolamento não é tão favorável em cidades com temperaturas mais amenas. Nesses

casos, o isolamento impede a dissipação das cargas térmicas internas geradas na edificação, aumentando, assim, a temperatura interna e a necessidade de resfriamento. No Apêndice D deste trabalho, é possível encontrar as análises detalhadas de todo o material estatístico gerado a partir dos dados produzidos.

4.4.4. Resultados das cidades na zona 3A

Os resultados obtidos na zona 3A também indicam comportamentos diferentes entre os modelos com as especificações de referência da ASHRAE. A diferença no consumo entre Curitiba e Santa Maria varia entre 3,1% e 6,8% e tende a aumentar quanto menor é a densidade de ocupação, sendo maior com alta taxa de infiltração.

Os resultados do uso final de energia anual mostram que há comportamentos diferentes em relação às outras zonas estudadas, porém similares entre si. De forma oposta às outras zonas, o consumo com resfriamento representa o terceiro menor consumo em todas as situações nessas duas cidades. Com baixa densidade de ocupação, a iluminação também responde pela maior parte do consumo de energia em Curitiba e Santa Maria. No entanto, os equipamentos representam o segundo maior consumo, seguidos pelo resfriamento.

Com média densidade de ocupação, ocorre inversão nos consumos de equipamentos e iluminação, sendo que os equipamentos também passam a responder pela maior parte do consumo total nessas duas cidades. Com relação ao resfriamento, há pouca diferença na porcentagem de consumo entre baixa e média densidade. O consumo com aquecimento também reduz nas duas cidades com o aumento da densidade de ocupação. Com alta taxa de densidade, o consumo com iluminação se aproxima ao de resfriamento, e os equipamentos passam a representar aproximadamente 60,0% em todos os casos.

Em Curitiba e Santa Maria, mais uma vez, o aumento da densidade de ocupação reduz o consumo com aquecimento, uma vez que aumenta o calor interno gerado. Porém, o aumento da taxa de infiltração aumenta esse consumo, pois aumentam as trocas de ar entre o ambiente interno e externo. Nesses casos, a alta taxa de infiltração se mostra como não favorável à eficiência energética.

Na zona 3A, o modelo de referência da ASHRAE é menos eficiente do que nas outras zonas analisadas, sendo que em Curitiba o modelo apresentou o maior consumo em todas as situações. Ou seja, nessa cidade, todas as combinações de envoltória foram mais eficientes do que a envoltória da ASHRAE. Portanto, seria

possível atender o pré-requisito da certificação em todas as situações simuladas. Nela, a maior economia encontrada foi de 8,1%, com baixa densidade de ocupação e baixa taxa de infiltração, e a menor economia foi de 5,2%, com alta densidade de ocupação e alta taxa de infiltração. Em Santa Maria, a maior economia foi de 5,8%, também em baixa densidade e baixa infiltração, mas a menor economia foi de 4,4%, com alta densidade e alta infiltração. Nessa cidade, com alta e média densidade de ocupação e alta taxa de infiltração não seria possível atingir a redução mínima de energia.

O consumo do modelo de referência da ASHRAE é maior do que o consumo máximo encontrado em todos os casos em Curitiba, mas em Santa Maria essa situação acontece somente com alta densidade de ocupação. Com média densidade, o consumo da AHSRAE está mais próximo do consumo máximo encontrado, mas com baixa densidade esse consumo está mais próximo do consumo médio. Mais uma vez, assim como nas zonas anteriores, os melhores resultados foram obtidos com o Vidro 4 (vidro insulado com controle solar). Entretanto, em Curitiba e Santa Maria, os melhores resultados, com alta densidade de ocupação, foram com as paredes 2 e 3 (parede de tijolo cerâmico e parede de bloco de concreto, respectivamente).

Por fim, na zona 3A, as cidades estudadas possuem temperaturas abaixo da temperatura de *setpoint* de resfriamento na maior parte do ano, sendo que Santa Maria conta com 59 dias acima dos 24°C, ao passo que Curitiba apresenta somente sete dias acima dessa temperatura. Em Curitiba, o modelo da ASHRAE apresentou o maior consumo em todas as situações, e Santa Maria obteve resultados melhores com a redução da densidade de ocupação. Esses resultados reforçam que, em casos de temperaturas amenas e baixas, o isolamento térmico impede a dissipação das cargas térmicas internas geradas na edificação, aumentando a necessidade de resfriamento. No Apêndice E deste trabalho, é possível encontrar todo o material estatístico gerado a partir dos dados produzidos, bem como suas análises detalhadas.

Por fim, a Tabela 15 apresenta uma síntese dos principais resultados, a fim de facilitar a visualização da correlação entre o desempenho do modelo de referência com as recomendações de envoltória da ASHRAE, a temperatura do ar externo e as economias máximas e mínimas obtidas em relação ao modelo dessa norma.

Tabela 15: Síntese dos principais resultados encontrados

Zona	Cidade	Menor economia (%)	Maior economia (%)	Temperatura média diária (dias)		Posição do modelo da ASHRAE	
				Acima de 24°C	Abaixo de 18°C	Melhor posição	Pior posição
0A	Manaus	1,0	2,5	365	0	16º	24º
	Porto Nacional	1,2	2,8	359	0	13º	15º
0B	Florianópolis	0,8	2,2	363	0	9º	10º
	Santa Rita de Cássia	1,3	2,8	348	0	14º	17º
1A	Natal	1,0	2,4	365	0	15º	19º
	Campina Grande	1,7	3,9	212	0	26º	30º
1B	Campos Sales	1,3	2,9	331	0	18º	22º
	Montes Claros	2,1	4,4	178	0	24º	29º
2A	São Carlos	5,0	9,4	78	40	42º	54º
	Paraty	4,5	8,3	132	12	41º	51º
2B	Caruaru	4,5	8,7	127	4	42º	49º
	Campo Grande	4,0	7,0	162	35	41º	49º
3A	Curitiba	5,2	8,1	7	164	65º	65º
	Santa Maria	4,4	5,8	59	151	41º	65º

5. Conclusões

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas com base nos resultados e análises realizadas neste estudo. São apresentadas também as limitações desta pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros. Este estudo analisou as recomendações do Apêndice G da ASHRAE *Standard* 90.1 – 2016, adotadas na avaliação do desempenho energético de edificações da Certificação LEED. O objetivo principal da pesquisa consistiu em avaliar se essa certificação deve ser aplicada para as condições climáticas brasileiras. Para isso, definiu-se um modelo de referência baseado em edifícios comerciais que receberam a Certificação LEED no Brasil. A partir desse modelo, foram realizadas simulações para diferentes combinações de envoltória, além daquela proposta pela ASHRAE 90.1, em dezesseis cidades brasileiras. Foram estabelecidos diferentes tipos de paredes, coberturas e vidros, além de outros dois parâmetros variáveis: densidade de ocupação e taxa de infiltração.

As estimativas de consumo de energia das edificações foram obtidas por meio do *software EnergyPlus*. As simulações aplicadas em dezesseis cidades tiveram como propósito abranger da melhor forma possível os diferentes climas e as diferentes divisões climáticas propostas pela ASHRAE. Foram, então, simulados edifícios comerciais nas seguintes localidades: Manaus, Porto Nacional, Floriano, Santa Rita de Cássia, Natal, Campina Grande, Campos Sales, Montes Claros, São Carlos, Paraty, Caruaru, Campo Grande, Curitiba e Santa Maria.

De modo geral, este estudo mostra que quanto maior a densidade de ocupação pior é o desempenho do isolamento térmico. Indica, também que, diferentemente dos estudos apresentados nesta pesquisa, a envoltória da ASHRAE obteve melhores resultados nas cidades onde os climas são mais quentes. Na zona 0, em Manaus e Floriano, a envoltória de referência da ASHRAE apresentou melhores resultados do que em Porto Nacional e Santa Rita de Cássia. Manaus e Floriano apresentaram temperaturas médias diárias acima de 24°C quase todos os dias do ano, 365 e 363 dias, respectivamente. Porto Nacional e Santa Rita de Cássia apresentaram 359 e 348 dias com temperaturas médias diárias acima de 24°C. Porém, comparando-se às outras zonas, o modelo da ASHRAE apresentou melhores resultados nas cidades localizadas nessa zona.

Na zona 1, Natal e Campos Sales também obtiveram os melhores resultados nessa zona, e apresentaram temperaturas médias diárias acima de 24°C em 365 e

331 dias no ano, respectivamente. Campina Grande e Montes Claros estiveram acima dessa temperatura somente 212 e 178 dias, respectivamente. Na zona 2, as temperaturas são mais baixas, estando acima de 24°C em 78 dias em São Carlos, 132 dias em Paraty, 127 dias em Caruaru e 162 dias em Campo Grande. Nesses casos, têm-se também temperaturas abaixo de 18°C (*setpoint* de aquecimento). O estudo aponta que com a redução das temperaturas o desempenho do modelo da ASHRAE também caiu. Nas cidades na zona 3, onde o modelo da ASHRAE obteve os piores resultados, as temperaturas médias diárias estão acima de 24°C somente sete dias em Curitiba e 59 dias em Santa Maria, ao passo que estão abaixo de 18°C em 164 e 151 dias, respectivamente.

Com esses resultados, conclui-se que, nas cidades em que as temperaturas se mantêm mais próximas e acima da temperatura de *setpoint* do ar-condicionado (24°C) o uso de isolamento térmico reduziu o consumo de energia na edificação. Entretanto, nas cidades em que as temperaturas se mantêm abaixo da temperatura de *setpoint* de resfriamento, o isolamento aumentou o consumo de energia.

Conforme os resultados obtidos nesta pesquisa, o uso do isolamento térmico na envoltória se torna eficiente em locais com climas extremamente quentes, onde a temperatura externa está sempre mais alta do que a temperatura interna ideal. Isto é, há menor transferência de calor do ambiente externo para o interno, o que é positivo nos casos dominados pela necessidade de resfriamento. Por isso, as cidades localizadas nas zonas 0 e 1 apresentaram menores consumos com o modelo de referência da ASHRAE.

No entanto, em cidades em que a temperatura externa não está constantemente acima da temperatura de *setpoint* de resfriamento, o impacto dessa transferência de calor é menor, e o isolamento térmico passa a ter um impacto negativo, pois reduz a dissipação do calor interno para o ambiente externo. Dessa forma, o isolamento não permite a dissipação da carga interna gerada, nem dos ganhos de calor com as janelas para o ambiente externo, o que mantém a temperatura interna mais alta do que a desejada. Assim, nas cidades nas zonas 2 e 3 o desempenho energético do modelo da ASHRAE apresentou piores resultados. Nesses casos, a alta taxa de infiltração se mostrou como um fator positivo para o consumo com resfriamento, uma vez que aumentou a perda de calor para o ambiente externo. Entretanto, o consumo com aquecimento aumentou nos casos de alta taxa de infiltração pelo mesmo motivo. Considerando que a necessidade de aquecimento

é muito inferior à de resfriamento, de forma geral, os casos de alta taxa de infiltração se mantêm com consumos totais mais baixos.

Em climas com temperaturas muito baixas, como nos Estados Unidos, onde a norma foi criada, a dificuldade de troca de calor proporcionada pelo isolamento é mais uma vez positiva, pois mantém temperaturas mais altas dentro da edificação por mais tempo, contribuindo, assim, para economia no consumo com sistema de aquecimento do ar. O estudo leva a concluir também que a relação entre a eficiência do uso do isolamento térmico e a temperatura do ar externo não é linear. Em climas muito quentes, com temperaturas constantemente mais altas do que a temperatura de *setpoint* do ar-condicionado, o isolamento térmico na envoltória contribui na redução do uso de condicionamento de ar, porém em climas em que a temperatura não permanece acima de 24°C na maior parte do ano ele não é tão eficiente. Porém, em climas de temperaturas mais baixas, o isolamento volta a ser eficiente, motivo pelo qual a ASHRAE propõe o uso de isolamento na envoltória.

A pesquisa mostra, ainda, a dificuldade de formulação de recomendações para a envoltória de modelos de referência para análise de eficiência energética. Os resultados indicaram que as variações no consumo total podem chegar a 14,1%, dependendo da envoltória adotada, as quais são maiores à medida que a densidade é menor. Apontaram, também, que a infiltração pode ajudar a reduzir o consumo de energia em algumas cidades, mas pode aumentar esse consumo em outras. Concluiu-se que essa dificuldade para se propor uma solução exclusiva e simples se justifica pelo fato de que as propriedades termofísicas da envoltória apresentam desempenhos diferentes, conforme variam a densidade de carga interna e o clima da localidade da edificação. Além disso, a infiltração não intencional de ar aumenta a perda de calor da edificação, o que pode ser bom em climas que requerem mais resfriamento, e ruim naqueles que precisam de aquecimento.

Dessa forma, em conformidade com o modelo adotado e as envoltórias estudadas, conclui-se que as recomendações de envoltória da ASHRAE *Standard* 90.1 – 2016 usadas na Certificação LEED não são as mais adequadas ao clima e ao contexto brasileiro. Apesar de a ASHRAE 90.1 apresentar bons resultados nas zonas 0 e 1, o investimento necessário para se obter a economia mínima exigida pela certificação poderia inviabilizar a sua obtenção. Na zona 2, esse investimento poderia ser menor, mas ainda assim precisaria ser substancial. Entretanto, na zona 3 o consumo do modelo de referência foi inferior à maior parte dos modelos, mostrando ser mais fácil obter a economia mínima de energia. As especificações de envoltória

do modelo de referência devem considerar os sistemas construtivos empregados na região, para que seja viável a aplicação da certificação em todo o país. Além disso, deve também considerar os diversos parâmetros que influenciam o consumo de energia em uma edificação, como a densidade de ocupação e a taxa de infiltração.

5.1. Limitações

As limitações desta pesquisa estão relacionadas principalmente aos seguintes aspectos:

- os resultados obtidos e analisados se referem a somente uma tipologia de edificações comerciais. No entanto, a Certificação LEED é aplicada em diferentes tipologias, sendo assim necessário analisar também outros tipos de edificação;
- foram consideradas somente duas cidades em cada zona climática, sendo importante ampliar o escopo para ratificação das conclusões finais;
- para a simulação dos sistemas de condicionamento de ar não foi utilizado o arquivo expandido do *EnergyPlus*;
- não foram realizadas comparações monetárias, como é considerado pela Certificação LEED.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Algumas sugestões para trabalhos futuros sobre a aplicabilidade da ASHRAE *Standard* 90.1 – 2016 no Brasil:

- analisar a divisão climática proposta pela ASHRAE *Standard* 169 e verificar se está adequada para o clima brasileiro;
- analisar a influência do tipo de arquivo climático utilizado nos resultados encontrados;
- analisar a influência de outros fatores no desempenho do isolamento térmico, como a capacidade térmica dos componentes construtivos e a influência da ventilação natural;
- pesquisar qual o valor de temperatura em que o isolamento volta a ser eficiente em condições de frio;
- avaliar se as recomendações do sistema de condicionamento de ar indicadas pela ASHRAE *Standard* 90.1 são adequadas ao contexto brasileiro;

- elaborar recomendações para a envoltória de edificações comerciais brasileiras, de acordo com o clima, densidade de ocupação e taxa de infiltração.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401-1**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO. **Pesquisa Setorial de 2020**. Disponível em: <<https://Abrecon.org.br>>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011. v. 5.
- ALAWNEHA, R.; GHAZALI, F.; ALIB, H.; ASIF, M. A New Index for Assessing the Contribution of Energy Efficiency in LEED 2009 Certified Green Buildings to Achieving UN Sustainable Development Goals in Jordan. **International Journal of Green Energy**, v. 16, p. 1.543-5.075, 2019.
- ALYAMI, S. H.; REZGUI, Y. Sustainable Building Assessment Tool Development Approach. **Sustainable Cities and Society**, v. 5, p. 52-62, 2012.
- AMIRI A.; OTTELIN, J.; SORVARI, J. Are LEED-Certified Buildings Energy-Efficient in Practice? **Sustainability**, v. 11, n. 6, p. 1.672, 2019.
- ASHRAE (American Society of Heating and Air Conditioning Engineers). **ANSI/ASHRAE Standard 169 – 2021**: Climatic Data for Building Design Standards. 2013.
- ASHRAE (American Society of Heating and Air Conditioning Engineers). **ANSI/ASHRAE Standard 90.1 – 2016**: Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings. 2016a.
- ASHRAE (American Society of Heating and Air Conditioning Engineers). **ANSI/ASHRAE/IES Standard 62.1-2016**: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 2016b.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL: **2022** – Ano Base 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 23.
- BELL, M.; WINGFIELD, J.; MILES-SHENTON, D.; SEAVERS, J. **Low Carbon Housing**: Lessons from Elm Tree Mews. York: Joseph Rowntree Foundation, 2010.

- BHATNAGAR, M.; MATHUR, J.; GARG, V. Determining Base Temperature for Heating and Cooling Degree-Days for India. **Journal of Building Engineering**, v. 18, p. 270-280, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.020>>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- BRIGGS, R. S.; LUCAS, R. G.; TAYLOR, Z. T. Climate Classification for Building Energy Codes and Standards: Part 1-Development Process. **ASHRAE Transactions**, Atlanta, v. 109, n. 1, 2003.
- BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A. Desempenho ambiental de edificações: cenário atual e perspectivas dos sistemas de certificação. **Minerva**, v. 7, n. 1, p. 45-52, 2010.
- CASACOR. Disponível em: <<https://casacor.abril.com.br/especiais/construcoes-sustentaveis/>>. 2018. Acesso em: 16 jun. 2023.
- CHEN, H.; LEE, W. L.; WANG, X. Energy Assessment of Office Buildings in China Using China Building Energy Codes and LEED 2.2. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 514-524, 2015.
- CHIRARATTANANON, S.; HIEN, V. D.; TUMMU, P. Thermal Performance and Cost Effectiveness of Wall Insulation under Thai Climate. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 82-90, 2012.
- CHVATAL, K. **Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2007.
- CHVATAL, K.; CORVACHO, H. The Impact of Increasing the Building Envelope Insulation Upon the Risk of Overheating in Summer and an Increased Energy Consumption. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 2, n. 4, p. 267-282, 2009.
- CLIMATE ONE BUILDING. Disponível em: <https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- D'AGOSTINO, D.; ROSSI, F. DE; MARIGLIANO, M.; MARINO, C.; MINICHIELLO, F. Evaluation of the Optimal Thermal Insulation Thickness for an Office Building in Different Climates by Means of the Basic and Modified “Cost-Optimal” Methodology. **Journal of Building Engineering**, n. 24, p. 1-14, 2019.
- DALL'O, G.; SARTO, L.; GALANTE, A.; PASETTI, G. Comparison between Predicted and Actual Energy Performance for Winter Heating in High-Performance Residential Buildings in the Lombardy Region (Italy). **Energy and Buildings**,

- v. 47, p. 247-253, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.046>>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- DE WIT, M.; HOOGZAAD, J.; RUMJUMAR, S.; FRIEDL, H.; DOUMA, A. **The Circularity Gap Report, Circle Economy**. Amsterdam, 2018. Disponível em: <https://pacecircular.org/sites/default/files/2020-01/Circularity%20Gap%20Report%202018_0.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2023.
- DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. **A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios**: a importância da etapa de projeto arquitetônico. In: NUTAU 2002. Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano. Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- DOE. United States Department of Energy. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>>. 2014. Acesso em: 20 abr. 2022.
- DUARTE, V. C. P. **Comparação do desempenho energético de sistemas de climatização para uma edificação comercial em Florianópolis/SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- DUNDI, G. P.; PEINADO, H, S. **Sustentabilidade na habitação de interesse social**: abordagem a partir do selo Casa Azul. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2019.
- EIA (Energy Information Administration). Disponível em: <<https://www.eia.gov/international/data/world>>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- ENERGY STAR. **The Difference between Source and Site Energy**. 2022. Disponível em: <https://www.energystar.gov/buildings/benchmark/understand_metrics/source_and_site_difference>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- FONSECA, A. O.; GAGLIARDI, J. G. F.; TEIXEIRA, V. B.; MOURA, C. L. **A implementação e eficácia da Certificação LEED para empreendimentos de baixo padrão**. São Judas, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/29811/1/ATCC%20-%20%20A%20implementa%C3%A7%C3%A3o%20e%20efic%C3%A1cia%20da%20Certifica%C3%A7%C3%A3o%20LEED%20para%20empreendimentos%20de%20baixo%20padr%C3%A3o%20-%20FINAL.docx.pdf>> Acesso em: 16 jun. 2023.

- GBC BRASIL. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/voce-conhece-as-7-dimensoes-avaliadas-nos-empreendimentos-pelo-leed/>>. 2015. Acesso em: 16 maio 2022.
- GBC BRASIL. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/brasil-ocupa-o-4o-lugar-no-ranking-mundial-de-construcoes-sustentaveis-certificadas-pela-ferramenta-internacional-leed/>>. 2018. Acesso em: 16 jun. 2023.
- GBC BRASIL **Empreendimentos LEED**. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-leed/empreendimentos/>>. 2022. Acesso em: 08 set. 2022.
- GBES (Green Building Education Services). **LEED Green Associate Exam Preparation Guide**. LEED v4 Edition, [s.d.].
- GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.
- GREER, F.; CHITTICK, J.; JACKSON, E.; MACK, J.; SHORTLIDGE, M.; GRUBERT, E. Energy and Water Efficiency in LEED: How Well Are LEED Points Linked to Climate Outcomes? **Energy and Buildings**, v. 195, p. 161-167, 2019.
- GÜRGÜN, A. P.; ARDITI, D. Assessment of Energy Credits in LEED-Certified Buildings Based on Certification Levels and Project Ownership. **Buildings**, v. 8. 2018.
- GURGUN, A. P.; POLAT, G.; DAMCI, A.; BAYHAN, H. G. Performance of LEED Energy Credit Requirements in European Countries. **Procedia Engineering**, n. 164, p. 432-438, 2016.
- HERRANDO, M.; CAMBRA, D.; NAVARRO, M.; CRUZ, L. de la; MILLÁN, G.; ZABALZA, I. Energy Performance Certification of Faculty Buildings in Spain: The Gap between Estimated and Real Energy Consumption. **Energy Conversion and Management**, n. 125, p. 141-115, 2016.
- IEA (International Energy Agency). **The Future of Cooling**. 2018. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Instrução Normativa INMETRO para a Classificação De Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Anexo da Portaria INMETRO Nº 42/2021. Brasília: Ministério da Economia; INMETRO, 2021.

- JOHN, W. M.; PRADO, R. T. A. (Coord.). **Selo Casa Azul**: boas práticas para habitação mais sustentável. São Paulo: Páginas & Letras, 2010.
- KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. São Paulo: Artmed, 2010.
- KERN, A.P.; ANTONIOLLI, C. B.; WANDER, P. R.; MANCIO, M.; GONZÁLEZ, M. A. S. Energy and Water Consumption During the Post-Occupancy Phase and the Users' Perception of a Commercial Building Certified by Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). **Journal of Cleaner Production**. v. 133, p. 826-834, 2016.
- KOMURLU, R.; ARDITI, D.; GURGUN, A. P. Applicability of LEED's Energy and Atmosphere Category in Three Developing Countries. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 690-697, 2014.
- MALAFAIA, R. M. S. **Green Building**: a contribuição dos Tribunais de Contas na busca da sustentabilidade na construção de prédios públicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. XII., Brasília, DF, 2008.
- MAZZAFERRO, L. **Análise das recomendações da Ashrae Standard 90.1 para a envoltória de edificações comerciais**. Dissertação (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- MAQBOOL, R.; THOMPSON C.; ASHFAQ, S. LEED and BREEAM Green Building Certification Systems as Possible Game Changers in Attaining Low-Cost Energy-Efficient Urban Housing Projects. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 149. 2023.
- McQUISTON, F. C.; PARKER, J. D.; SPITLER, J. D. **Heating, Ventilating, and Air Conditioning**: Analysis and Design. 6. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2004.
- MEESTER, T.; MARIQUE, A-F; HERDE, A. DE; REITER, S. Impacts of Occupant Behaviours on Residential Heating Consumption for Detached Houses in a Temperate Climate in the Northern Part of Europe. **Energy and Buildings**, n. 57, p. 313-323, 2013.
- MELO, A. P. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- MELO, A. P.; LAMBERTS, R.; VERSAGE, R. DE S.; ZHANG, Y. **Is Thermal Insulation Always Beneficial in Hot Climate?** In: CONFERENCE OF

- INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 2015, Hyderabad.
- MELO, A. P.; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. Building Energy Performance Assessment: Comparison between ASHRAE Standard 90.1 and Brazilian Regulation. **Energy and Buildings**, v. 70, p. 372-383, 2014.
- MENEZES, C.; CRIPPS, A.; BOUCLAGHEM, D.; BUSWELL, R. Predicted vs. Actual Energy Performance of Non-Domestic Buildings: Using Post-Occupancy Evaluation Data to Reduce the Performance Gap. **Applied Energy**, v. 97, p. 355-364, 2012.
- MESQUITA, G. M.; MEDEIROS, M. D. A Certificação LEED como uma ferramenta norteadora da sustentabilidade na construção civil. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, v. 13, n. 1, p. 97-106, 2018.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Agenda 21**. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- MORANT, M. **The Performance Gap – Non Domestic Building**: Final Report. CEW1005. Cardiff: AECOM/Constructing Excellence Wales, 2012.
- MOUSA, R. A.; FARAG, A. A. The Applicability of LEED of new Construction (LEED-NC) in the Middle East. **Procedia Environmental Science**, v. 37, p. 572-583, 2017.
- NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Acordo de Paris sobre o Clima**. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/node/88191>>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- NEWSHAM, G. R.; MANCINI, S.; BIRT, B. J. Do LEED-Certified Buildings Save Energy? Yes, But... **Energy and Buildings**, v. 41, n. 8, p. 897-905, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.03.014>>. Acesso em: 24 nov. 2021.
- OBATA, S. H.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. LEED Certification as Booster for Sustainable Buildings: Insights for a Brazilian Contexto. Resources, **Conservation and Recycling**, v. 145, p. 170-178, 2019.
- ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável). **Agenda 2030**. Disponível em: <<https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- RIBEIRO, H. F.; MARTINS, L. M.; RIBAS, L. P. R. **Construções sustentáveis: histórico e perspectivas**. Belo Horizonte: Ambiência – Soluções Sustentáveis,

2017. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/argnot7882.docx>>. Acesso em: 30 abr. 2022.
- SABAPATHY, A.; RAGAVAN, S. K.; VIJENDRA, M.; NATARAJA, A. G. Energy Efficiency Benchmarks and the Performance of LEED Rated Buildings for Information Technology Facilities in Bangalore, India. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 2.206-2.212, 2010.
- SACHS, I. **Espaços, tempos e estratégias do desenvolvimento**. São Paulo: Vértice, 1986. 224 p.
- SCOFIELD, J. H. Efficacy of LEED-Certification in Reducing Energy Consumption and Greenhouse Gas Emission for Large New York City Office Buildings. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 517-524, 2013.
- SCOFIELD, J. H. Another Look at “2019 Energy Benchmarking Data for LEED-Certified Buildings in Washington”. **Journal of Building Engineering**, v. 45, 2022.
- SCOFIELD, J. H.; DOANE, J. Energy Performance of LEED-Certified Buildings from 2015 Chicago Benchmarking Data. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 402-413, 2018.
- SEQUINEL, M. C. M. Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável- Joanesburgo: entre o sonho e o possível. **Análise Conjuntural**, v. 24, n. 11-12, p. 12, 2002.
- SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003. 210 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- SILVA, V. G. da; SILVA, M. G. da; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 3, p. 7-18, 2003.
- STOPPEL, C. M.; LEITE, F. Evaluating Building Energy Model Performance of LEED Buildings: Identifying Potential Sources of Error through Aggregate Analysis. **Energy and Buildings**, v. 65, p. 185-196, 2013.
- TURNER, C.; FRANKEL, M. **Energy Performance of LEED for New Construction Buildings**. Vancouver: New Buildings Institute, 2008. 46 p.
- UGUR, L. O.; LEBLEBICI, N. An Examination of the LEED Green Building Certification System in Terms of Construction Costs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1.476-1.483, 2018.

- USGBC (U.S. GREEN BUILDING COUNCIL – Estados Unidos da América). **LEED v4 para Projeto e Construção de Edifícios** (Building Design and Construction). 2014.
- USGBC (U.S. Green Building Council – Estados Unidos da América). **Healthy People in Healthy Places Equals a Healthy Economy: Our Story**. 2021a. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/about/brand>>. Acesso em: 13 maio 2022.
- USGBC (U.S. GREEN BUILDING COUNCIL – Estados Unidos da América). **LEED v4. Rating System Selection Guidance**. 2021b. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/leed-tools/rating-system-selection-guidance>>. Acesso em: 13 maio 2022.
- WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Validation of the Climatic Zoning Defined by ASHRAE Standard 169-2013. **Energy Policy**, v. 135, 2019.
- WCED (**Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**). 1987. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2022.
- WEBER, F. da S.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, 2017.
- WILDE, P. de. The Gap between Predicted and Measured Energy Performance of Buildings: A Framework for Investigation. **Automation in Construction**, n. 41, p. 40-49, 2014.
- YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. Thermal Comfort and Building Energy Consumption Implications: A Review. **Applied Energy**, n. 115, p. 164-173, 2014.
- YOUNG, H. P. Preservação ambiental: uma retórica no espaço ideológico da manutenção do capital. **Revista FAE**, Curitiba, v. 4, n. 3, p. 25-36, 2001.

Apêndice A: Levantamento de edificações comerciais com Certificação LEED no Brasil

As Tabelas A.1 e A.2 apresentam o levantamento de edificações de escritórios comerciais com Certificação LEED no Brasil, a partir de informações obtidas até setembro de 2022, extraídas do site do *Green Building Council Brasil* (GBC BRASIL, 2022).

Tabela A.1: Edificações de escritório com Certificação LEED no Brasil

(continua)

Nº	Nome do projeto	Cidade	Estado	Pavimentos	Forma	Sistema	Classificação
1	740 Anastácio	São Paulo	SP	3	Quadrada	LEED CS	Certified
2	7th Avenue Live Work-Trinity Corporate	Curitiba	PR	10	Irregular	LEED CS	Gold
3	Alameda Santos	São Paulo	SP	9	Retangular	LEED CS	Gold
4	Amic PR	Cascavel	PR	3	Retangular	LEED BD+C: NC	Platinum
5	Aroeira Office Park	Curitiba	PR	4	Retangular	LEED CS	Gold
6	Atlas Office Park – Bloco A	São Paulo	SP	4	Retangular	LEED CS	Gold
7	Atlas Office Park – Bloco B	São Paulo	SP	4	Retangular	LEED CS	Gold
8	Atlas Office Park – Bloco C	São Paulo	SP	4	Retangular	LEED CS	Gold
9	Atlas Office Park – Bloco D	São Paulo	SP	4	Retangular	LEED CS	Gold
10	Atrium Faria Lima	São Paulo	SP	13	Retangular	LEED CS	Certified
11	Bartolomeu Mitre 336	Rio de Janeiro	RJ	10	Retangular	LEED CS	Silver
12	Berrini One	São Paulo	SP	30	Irregular	LEED CS	Gold
13	Blume 3000	Joinville	SC	2	Retangular	LEED CS	Platinum
14	Bravo Paulista	São Paulo	SP	14	Retangular	LEED BD+C: CS	Silver
15	Bresco Viracopos – Edifício E1	Campinas	SP	2	Retangular	LEED BD+C: CS	Gold

Tabela A.1: Edificações de escritório com Certificação LEED no Brasil

(continua)

Nº.	Nome do projeto	Cidade	Estado	Pavimentos	Forma	Sistema	Classificação
16	BVEP Nigri Plaza	Rio de Janeiro	RJ	16	Irregular	LEED CS	Gold
17	CAR – Centro Administrativo Raízen	Piracicaba	SP	3	Retangular	LEED CS	Gold
18	CasaE Brasil – BASF	São Paulo	SP	2	Retangular	LEED NC	Gold
19	Centro Corporativo Portinari	Brasília	DF	4	Retangular	LEED CS	Platinum
20	Centro Corporativo Villa Lobos	Brasília	DF	3	Irregular	LEED CS	Gold
21	Centro Empresarial CNC	Brasília	DF	17	Irregular	LEED CS	Gold
22	Centro Empresarial Eg Fontes	Rio de Janeiro	RJ	12	L	LEED CS	Gold
23	Centro FGV – Torre Oscar Niemeyer	Rio de Janeiro	RJ	19	Retangular	LEED CS	Certified
24	Corporate Jardim Botânico	Curitiba	PR	7	Irregular	LEED CS	Gold
25	Cresol Baser – Francisco Beltrão	Francisco Beltrão	PR	7	Retangular	LEED NC	Platinum
26	Curitiba Office Park Torre Central	Curitiba	PR	6	Retangular	LEED CS	Silver
27	Dynamic	São Paulo	SP	5	Retangular	LEED BD+C: CS	Silver
28	Eco 336	São Paulo	SP	12	Cruz	LEED CS	Silver
29	Ed. Forluz	Belo Horizonte	MG	23	Retangular	LEED NC	Gold
30	Ed. Alphaville – Bradesco Seguros	Barueri	SP	18	Irregular	LEED NC	Gold
31	Edifício Alvino Slaviero	São Paulo	SP	12	Retangular	LEED CS	Gold
32	Edifício Barão de Mauá	Rio de Janeiro	RJ	20	Retangular	LEED CS	Gold
33	Edifício Capri	São Paulo	SP	14	Retangular	LEED CS	Gold
34	Edifício Cidade Jardim	São Paulo	SP	10	L	LEED CS	Gold
35	Edifício Cidade Nova – Bracor	Rio de Janeiro	RJ	8	Irregular	LEED CS	Certified

Tabela A.1: Edificações de escritório com Certificação LEED no Brasil

(continua)

Nº.	Nome do projeto	Cidade	Estado	Pavimentos	Forma	Sistema	Classificação
36	Edifício Cidade Nova III	Rio de Janeiro	RJ	8	Retangular	LEED NC	Certified
37	Edifício Jackson Tower	Barueri	SP	7	Quadrada	LEED CS	Silver
38	Edifício Jardim Europa	São Paulo	SP	11	Irregular	LEED CS	Gold
39	Edifício Jatobá	São Paulo	SP	8	Irregular	LEED CS	Gold
40	Edifício JBZ	Porto Alegre	RS	15	Retangular	LEED CS	Platinum
41	Edifício Jorge Salomão	São Paulo	SP	12	Retangular	LEED BD+C: CS	Silver
42	Edifício Neo Corporate	Curitiba	PR	9	Retangular	LEED CS	Gold
45	Edifício Sede Cni/Sesi/Senai	Brasília	DF	27	Retangular	LEED NC	Gold
46	Edifício Teoemp	São Paulo	SP	14	Irregular	LEED CS	Gold
47	Edifício WT JK Bloco B	São Paulo	SP	28	L	LEED CS	Gold
48	Emerson Sorocaba	Sorocaba	SP	4	Irregular	LEED NC	Silver
49	Ez Towers-Torre B	São Paulo	SP	26	Retangular	LEED CS	Gold
50	Faria Lima 4.440	São Paulo	SP	16	Retangular	LEED CS	Gold
51	Faria Lima Plaza	São Paulo	SP	22	Trapézio	LEED-CS	Gold
52	FL Corporate	São Paulo	SP	15	Irregular	LEED CS	Gold
53	Frei Caneca J. Safra	São Paulo	SP	14	Irregular	LEED NC	Gold
54	Green Towers Brasília – Torre Central	Brasília	DF	16	Retangular	LEED CS	Gold
55	Green Towers Brasília –Torre Sul	Brasília	DF	16	Retangular	LEED CS	Gold
56	Henri Dunant – Torre 1 ^a	São Paulo	SP	11	Retangular	LEED CS	Silver
57	HL Faria Lima 150	São Paulo	SP	14	Retangular	LEED CS	Gold
58	Humaitá Corporate	Rio de Janeiro	RJ	7	Retangular	LEED CS	Gold
59	Iguaçu 2820	Curitiba	PR	22	Retangular	LEED CS	Gold
60	Itau Bba FI 3500	São Paulo	SP	5	Irregular	LEED CS	Gold
61	I-Tower	Barueri	SP	26	Irregular	LEED CS	Gold

Tabela A.1: Edificações de escritório com Certificação LEED no Brasil

(continua)

Nº.	Nome do projeto	Cidade	Estado	Pavimentos	Forma	Sistema	Classificação
62	JK180	São Paulo	SP	17	Irregular	LEED CS	Gold
63	JL2 (Nova Barão de Tefé)	Rio de Janeiro	RJ	17	Retangular	LEED CS	Gold
64	LC Corporate Green Tower	Fortaleza	CE	19	Irregular	LEED CS	Silver
65	LED Corporate	São Paulo	SP	14	Retangular	LEED CS	Gold
66	Mariano Torres Corporate 729	Curitiba	PR	15	Retangular	LEED CS	Gold
67	Miss Silvia Morizono	São Paulo	SP	13	Retangular	LEED CS	Gold
68	Morumbi Business Center	São Paulo	SP	12	Retangular	LEED CS	Gold
69	Morumbi Corporate	São Paulo	SP	25	Retangular	LEED CS	Gold
70	Nações Open Mall	São Paulo	SP	28	Irregular	LEED CS	Gold
71	Olimpia	São Paulo	SP	12	Retangular	LEED CS	Gold
72	On Prime Office	Canoas	RS	18	Irregular	LEED CS	Platinum
73	PAC – Parque Ana Costa	Santos	SP	23	Retangular	LEED CS	Silver
74	Paco Municipal de Itu	Itu	SP	4	Retangular	LEED NC	Certified
75	Panamerica Park II	São Paulo	SP	4	Retangular	LEED CS	Silver
76	Parkshopping Corporate	Brasília	DF	7	Retangular	LEED CS	Gold
77	Partec Green	São Leopoldo	RS	11	Retangular	LEED CS	Platinum
78	PASSEIO CORPORATE	Rio de Janeiro	RJ	16	Irregular	LEED CS	Gold
79	Paulista 2028	São Paulo	SP	16	Retangular	LEED CS	Gold
80	Paulista J. Safra Corporate	São Paulo	SP	15	Irregular	LEED CS	Gold
81	Port Corporate	Rio de Janeiro	RJ	18	Retangular	LEED CS	Gold
82	Porto Brasilis – Fibra Experts	Rio de Janeiro	RJ	16	Irregular	LEED CS	Gold
83	Primavera Office	Florianópolis	SC	7	Quadrada	LEED BD+C: CS	Platinum
84	RIO Office Tower	Rio de Janeiro	RJ	13	Trapézio	LEED CS	Gold
85	Riverview Corporate Tower	São Paulo	SP	26	Irregular	LEED BD+C: CS	Gold

Tabela A.1: Edificações de escritório com Certificação LEED no Brasil

(continua)

Nº.	Nome do projeto	Cidade	Estado	Pavimentos	Forma	Sistema	Classificação
86	ROBERTO MARINHO	São Paulo	SP	19	Quadrada	LEED CS	Gold
87	Rochavera – Torre D	São Paulo	SP	7	Retangular	LEED CS	Gold
88	Rochavera Corporate Towers – Torre B	São Paulo	SP	16	Retangular	LEED CS	Gold
89	Rochavera Torre A	São Paulo	SP	16	Retangular	LEED CS	Gold
90	São Paulo Corporate Towers	São Paulo	SP	30	Irregular	LEED CS	Platinum
91	São Paulo Headquarters Torre Brigadeiro	São Paulo	SP	12	Retangular	LEED CS	Silver
92	São Paulo Headquarters Torre Paulista	São Paulo	SP	12	Retangular	LEED CS	Silver
93	São Paulo Headquarters Torre Ibirapuera	São Paulo	SP	17	Retangular	LEED CS	Gold
94	São Paulo Headquarters Torre Trianon	São Paulo	SP	12	Retangular	LEED CS	Gold
95	Sede RAC Engenharia	Curitiba	PR	3	Retangular	LEED NC	Platinum
96	Sky Corporate	São Paulo	SP	26	Retangular	LEED CS	Gold
97	The One	São Paulo	SP	10	Retangular	LEED CS	Silver
98	Torre Alpha	São Paulo	SP	31	Irregular	LEED CS	Gold
99	Torre Corporativa Jardim das Perdizes	São Paulo	SP	19	Irregular	LEED CS	Gold
100	Torre Sigma	São Paulo	SP	28	Irregular	LEED CS	Gold
101	Torre Vargas 914	Rio de Janeiro	RJ	16	Quadrada	LEED CS	Gold
102	Torre Z	São Paulo	SP	28	Irregular	LEED CS	Gold
103	Urbanity – Corporate	São Paulo	SP	28	Retangular	LEED CS	Gold
104	Venâncio Green Building	Brasília	DF	4	Retangular	LEED CS	Gold
105	Venezuela 43	Rio de Janeiro	RJ	7	Irregular	LEED CS	Gold
106	Ventura Corporate Towers – Torre Leste	Rio de Janeiro	RJ	34	Quadrada	LEED CS	Gold
107	Ventura Corporate Towers – Torre Oeste	Rio de Janeiro	RJ	34	Quadrada	LEED CS	Gold

Tabela A.1: Edificações de escritório com Certificação LEED no Brasil

(conclusão)

Nº.	Nome do projeto	Cidade	Estado	Pavimentos	Forma	Sistema	Classificação
108	Vila Olimpia Corporate – Torre A	São Paulo	SP	12	Retangular	LEED CS	Gold
109	Vila Olimpia Corporate – Torre B	São Paulo	SP	12	Retangular	LEED CS	Gold
111	WT – Águas Claras	Nova Lima	MG	5	Retangular	LEED CS	Silver
112	WT – Centro Empresarial Senado	Rio De Janeiro	RJ	15	Irregular	LEED CS	Silver
113	WTorre JK – Bloco E	São Paulo	SP	21	Retangular	LEED CS	Silver
114	WTorre JK – Torre São Paulo	São Paulo	SP	28	Retangular	LEED CS	Gold
115	WTorre Morumbi	São Paulo	SP	29	Irregular	LEED CS	Silver
116	WTorre Nações Unidas 1	São Paulo	SP	13	Irregular	LEED CS	Silver

Tabela A.2: Características construtivas dos edifícios com plantas retangulares

(continua)

Nº.	Nome do projeto	Pé-direito	Proporção
1	Alameda Santos	2,70	2,40
2	Atlas Office Park – Bloco A	2,75	1,20
3	Atlas Office Park – Bloco B	2,75	1,20
4	Atlas Office Park – Bloco C	2,75	1,20
5	Atlas Office Park – Bloco D	2,75	1,20
6	Blume 3000	NI	1,50
7	Bravo Paulista	2,60	4,92
8	Bresco Viracopos – Edifício E1	4,15	2,64
9	Centro Corporativo Portinari	2,70	1,37
10	Centro FGV – Torre Oscar Niemeyer	NI	4,11
11	Dynamic	2,80	1,52
12	Edifício Alvino Slaviero	2,70	2,32
13	Edifício JBZ	3,42	2,30
14	Edifício Neo Corporate	NI	1,49
15	Edifício Panorama	NI	3,40
16	Edifício Sede Cni/Sesi/Senai	NI	2,33
17	Ez Towers –Torre B	2,90	1,28
18	Faria Lima 4.440	NI	2,15
19	Green Towers Brasília – Torre Central	2,70	1,96
20	Green Towers Brasília –Torre Sul	2,70	1,96
21	HL Faria Lima 150	NI	3,26
22	Iguaçu 2820	2,70	2,00
23	LED Corporate	NI	1,51
24	Mariano Torres Corporate 729	2,70	1,45
25	Miss Silvia Morizono	2,80	2,40
26	Morumbi Business Center	2,70	2,29
27	Morumbi Corporate	2,80	1,31
28	PAC – Parque Ana Costa	2,70	1,57
29	Panamerica Park II	2,70	1,40
30	Parkshopping Corporate	2,55	3,12
31	Partec Green	NI	3,08
32	Paulista 2028	2,55	2,08
33	RIO Office Tower	NI	3,48
34	Rochavera – Torre D	2,80	1,45
35	Rochavera Corporate Towers – Torre B	2,80	1,45
36	Rochavera Torre A	2,80	1,45
37	São Paulo Headquarters Torre Brigadeiro	2,75	1,76
38	São Paulo Headquarters Torre Paulista	2,75	1,56
39	São Paulo Headquarters1 Torre Ibirapuera	2,75	1,44
40	São Paulo Headquarters1 Torre Trianon	2,75	1,19

Nota: NI: Não identificado.

Tabela A.2: Características construtivas dos edifícios com plantas retangulares

(conclusão)

Nº.	Nome do projeto	Pé-direito	Proporção
41	Sede RAC Engenharia	NI	2,59
42	The One	2,80	3,15
43	Urbanity – Corporate	2,80	2,00
44	Vila Olimpia Corporate – Torre A	2,80	1,70
45	Vila Olimpia Corporate – Torre B	2,80	1,70
46	WTorre JK – Bloco E	2,80	1,90
47	WTorre JK – Torre São Paulo (D)	2,80	2,05

Nota: NI: Não identificado.

Apêndice B: Resultados das cidades nas zonas 0A e 0B

Tabela B.1: *Ranking* dos consumos de energia em Manaus – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1 ^o	P2-04	125,64	P2-04	83,26	P2-04	62,36
2 ^o	P1-04	125,79	P1-04	83,41	P1-04	62,59
3 ^o	P2-08	125,95	P2-08	83,42	P2-08	62,79
4 ^o	P2-16	126,00	P2-12	83,70	P1-08	62,94
5 ^o	P3-04	126,02	P1-08	83,77	P3-04	62,99
6 ^o	P2-12	126,03	P3-04	83,78	P2-12	63,00
7 ^o	P1-08	126,07	P2-16	83,79	P2-16	63,07
8 ^o	P1-16	126,18	P1-12	83,85	P1-12	63,15
9 ^o	P1-12	126,22	P3-08	83,98	P1-16	63,29
10 ^o	P3-08	126,31	P1-16	83,98	P3-08	63,37
11 ^o	P3-16	126,42	P3-12	84,15	P2-03	63,42
12 ^o	P2-03	126,44	P2-03	84,19	P3-12	63,51
13 ^o	P3-12	126,45	P3-16	84,29	P3-16	63,62
14 ^o	P1-03	126,64	P1-03	84,40	P1-03	63,69
15 ^o	P4-04	126,76	P2-07	84,46	P2-07	63,80
16 ^o	P2-07	126,79	P4-04	84,60	ASHRAE	63,93
17 ^o	P2-15	126,80	P2-11	84,64	P2-11	63,98
18 ^o	P2-11	126,86	P3-03	84,64	P1-07	63,99
19 ^o	P3-03	126,87	ASHRAE	84,65	P4-04	64,01
20 ^o	P1-07	126,95	P2-15	84,70	P3-03	64,01
21 ^o	ASHRAE	126,96	P1-11	84,74	P2-15	64,05
22 ^o	P1-11	127,02	P1-07	84,76	P1-11	64,17
23 ^o	P4-08	127,04	P3-07	84,91	P3-07	64,31
24 ^o	P3-07	127,05	P1-15	84,93	P1-15	64,33
25 ^o	P1-15	127,09	P4-08	84,93	P4-08	64,33
26 ^o	P4-16	127,10	P3-11	84,98	P3-11	64,42
27 ^o	P4-12	127,14	P4-12	85,05	P4-12	64,53
28 ^o	P3-11	127,14	P4-16	85,09	P3-15	64,57
29 ^o	P3-15	127,20	P3-15	85,17	P4-16	64,58
30 ^o	P4-03	127,60	P4-03	85,53	P4-03	64,97
31 ^o	P4-07	127,89	P4-07	85,87	P4-07	65,31
32 ^o	P4-15	127,95	P4-11	85,98	P4-11	65,48
33 ^o	P4-11	127,99	P4-15	85,99	P4-15	65,51
34 ^o	P2-02	129,40	P2-02	87,11	P2-02	66,43

Tabela B.1: Ranking dos consumos de energia em Manaus – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-06	129,55	P2-10	87,36	P2-06	66,74
36º	P2-10	129,59	P2-06	87,38	P1-02	66,75
37º	P2-14	129,59	P1-02	87,40	P2-10	66,83
38º	P1-02	129,68	P3-02	87,49	P3-02	66,86
39º	P3-02	129,70	P2-14	87,53	P2-14	66,94
40º	P1-10	129,77	P1-06	87,61	P1-06	66,94
41º	P1-06	129,80	P1-10	87,65	P3-06	67,04
42º	P3-06	129,82	P3-06	87,71	P1-10	67,14
43º	P3-10	129,90	P3-10	87,75	P3-10	67,25
44º	P1-14	129,96	P1-14	87,84	P1-14	67,27
45º	P3-14	129,97	P3-14	87,90	P3-14	67,34
46º	P4-02	130,25	P4-02	88,23	P4-02	67,71
47º	P4-06	130,45	P4-06	88,47	P4-06	67,95
48º	P4-10	130,53	P4-10	88,60	P4-10	68,10
49º	P4-14	130,53	P4-14	88,61	P4-14	68,16
50º	P2-05	131,64	P2-01	89,29	P2-01	68,55
51º	P3-05	131,68	P2-09	89,33	P2-05	68,68
52º	P2-09	131,70	P2-05	89,37	P2-09	68,74
53º	P2-01	131,75	P3-01	89,46	P3-01	68,76
54º	P2-13	131,76	P2-13	89,54	P2-13	68,88
55º	P3-09	131,80	P3-05	89,54	P1-01	68,90
56º	P3-01	131,83	P3-09	89,56	P3-05	68,90
57º	P3-13	131,87	P1-01	89,70	P1-05	68,99
58º	P4-01	131,99	P1-05	89,71	P3-09	68,99
59º	P1-09	131,99	P3-13	89,72	P3-13	69,11
60º	P1-05	132,00	P1-09	89,73	P1-09	69,16
61º	P4-05	132,08	P4-01	89,89	P4-01	69,31
62º	P4-13	132,15	P1-13	89,97	P1-13	69,34
63º	P4-09	132,16	P4-05	90,06	P4-05	69,50
64º	P1-01	132,17	P4-09	90,13	P4-09	69,63
65º	P1-13	132,18	P4-13	90,16	P4-13	69,65

Tabela B.2: Ranking dos consumos de energia em Manaus – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	124,99	P2-04	82,65	P2-04	61,98
2º	P1-04	125,21	P1-04	82,86	P1-04	62,20
3º	P2-08	125,27	P2-12	83,20	P2-08	62,42
4º	P2-12	125,29	P3-04	83,20	P3-04	62,56
5º	P1-08	125,29	P2-08	83,21	P2-16	62,60
6º	P2-16	125,42	P2-16	83,21	P2-12	62,62
7º	P1-12	125,44	P1-08	83,40	P1-08	62,63
8º	P3-04	125,46	P1-16	83,44	P1-12	62,84
9º	P1-16	125,65	P1-12	83,59	P1-16	62,84
10º	P3-08	125,66	P2-03	83,61	P3-08	63,00
11º	P3-12	125,72	P3-08	83,71	P2-03	63,02
12º	P2-03	125,85	P3-16	83,72	P3-16	63,14
13º	P3-16	125,88	P3-12	83,73	P3-12	63,18
14º	P2-07	126,04	P1-03	83,89	P1-03	63,29
15º	P1-03	126,12	P3-03	84,09	P2-07	63,43
16º	P2-11	126,12	P4-04	84,11	ASHRAE	63,52
17º	P4-04	126,14	P2-15	84,14	P3-03	63,56
18º	P1-07	126,21	P2-11	84,16	P2-15	63,59
19º	P3-03	126,23	P2-07	84,17	P4-04	63,61
20º	P2-15	126,27	ASHRAE	84,18	P2-11	63,62
21º	P1-11	126,28	P1-07	84,42	P1-07	63,70
22º	P3-07	126,37	P1-15	84,43	P1-15	63,89
23º	P4-08	126,43	P4-08	84,586	P1-11	63,89
24º	ASHRAE	126,43	P3-07	84,591	P3-07	63,92
25º	P3-11	126,52	P1-11	84,595	P4-08	64,00
26º	P1-15	126,55	P4-16	84,61	P3-15	64,10
27º	P4-16	126,56	P3-15	84,64	P3-11	64,10
28º	P4-12	126,58	P3-11	84,70	P4-16	64,15
29º	P3-15	126,63	P4-12	84,74	P4-12	64,18
30º	P4-03	127,02	P4-03	85,06	P4-03	64,58
31º	P4-07	127,29	P4-07	85,53	P4-07	64,99
32º	P4-15	127,41	P4-15	85,53	P4-15	65,09
33º	P4-11	127,44	P4-11	85,70	P4-11	65,16
34º	P2-06	128,51	P2-02	86,39	P2-02	65,82

Tabela B.2: Ranking dos consumos de energia em Manaus – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-02	128,58	P1-02	86,73	P2-06	66,13
36º	P2-10	128,64	P2-06	86,74	P1-02	66,17
37º	P1-06	128,82	P3-02	86,80	P3-02	66,27
38º	P3-02	128,87	P2-14	86,84	P2-10	66,29
39º	P3-06	128,90	P2-10	86,99	P2-14	66,33
40º	P2-14	128,93	P3-06	87,13	P1-06	66,49
41º	P1-02	128,93	P1-06	87,19	P3-06	66,54
42º	P1-10	129,03	P1-14	87,20	P1-10	66,66
43º	P3-10	129,05	P3-14	87,23	P1-14	66,70
44º	P3-14	129,24	P3-10	87,34	P3-10	66,71
45º	P1-14	129,28	P1-10	87,35	P3-14	66,74
46º	P4-02	129,55	P4-02	87,62	P4-02	67,17
47º	P4-06	129,71	P4-14	88,03	P4-06	67,51
48º	P4-10	129,87	P4-06	88,03	P4-14	67,64
49º	P4-14	129,88	P4-10	88,19	P2-01	67,68
50º	P2-05	130,40	P2-01	88,30	P4-10	67,71
51º	P2-09	130,50	P3-01	88,54	P2-05	67,86
52º	P2-01	130,59	P2-05	88,61	P3-01	67,97
53º	P3-05	130,64	P2-13	88,62	P2-09	67,99
54º	P3-01	130,71	P2-09	88,74	P2-13	68,06
55º	P1-05	130,74	P1-01	88,76	P1-01	68,16
56º	P3-09	130,74	P3-05	88,78	P3-05	68,17
57º	P2-13	130,80	P3-13	88,86	P3-09	68,30
58º	P3-13	130,93	P3-09	88,91	P1-05	68,33
59º	P1-09	130,98	P1-05	89,07	P3-13	68,33
60º	P1-01	131,05	P1-13	89,09	P1-09	68,46
61º	P4-01	131,14	P4-01	89,15	P1-13	68,55
62º	P4-05	131,19	P1-09	89,17	P4-01	68,66
63º	P1-13	131,25	P4-13	89,47	P4-05	68,92
64º	P4-09	131,32	P4-05	89,48	P4-13	69,02
65º	P4-13	131,37	P4-09	89,61	P4-09	69,06

Tabela B.3: Ranking dos consumos de energia em Porto Nacional – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	125,88	P1-04	84,03	P1-04	63,48
2º	P1-04	125,89	P2-04	84,07	P2-04	63,51
3º	P1-08	126,23	P1-08	84,42	P1-08	64,08
4º	P2-08	126,29	P2-08	84,48	P2-08	64,13
5º	P2-12	126,51	P2-16	84,87	P1-12	64,34
6º	P1-12	126,54	P1-12	84,88	P2-16	64,36
7º	P2-16	126,56	P1-16	84,90	P2-12	64,38
8º	P1-16	126,57	P2-12	84,92	P1-16	64,39
9º	P3-04	126,73	P3-04	84,99	P3-04	64,45
10º	P2-03	127,11	P3-08	85,41	P2-03	64,87
11º	P3-08	127,12	P2-03	85,42	P1-03	64,91
12º	P1-03	127,19	P1-03	85,45	P3-08	65,07
13º	P3-12	127,33	ASHRAE	85,70	P3-16	65,22
14º	P3-16	127,35	P3-16	85,71	ASHRAE	65,23
15º	ASHRAE	127,45	P3-12	85,76	P3-12	65,30
16º	P2-07	127,56	P2-07	85,86	P2-07	65,49
17º	P1-07	127,63	P1-07	86,04	P1-07	65,53
18º	P2-15	127,74	P2-15	86,17	P2-15	65,67
19º	P2-11	127,76	P1-11	86,18	P2-11	65,74
20º	P1-15	127,82	P2-11	86,22	P1-15	65,76
21º	P1-11	127,84	P1-15	86,25	P1-11	65,76
22º	P3-03	127,98	P3-03	86,35	P3-03	65,85
23º	P4-04	128,29	P4-04	86,72	P4-04	66,26
24º	P3-07	128,41	P3-07	86,73	P3-07	66,43
25º	P3-15	128,54	P3-15	87,03	P3-15	66,55
26º	P3-11	128,60	P3-11	87,07	P3-11	66,66
27º	P4-08	128,65	P4-08	87,16	P4-08	66,86
28º	P4-16	128,83	P4-16	87,37	P4-16	66,95
29º	P4-12	128,88	P4-12	87,39	P4-12	67,08
30º	P4-03	129,53	P4-03	88,03	P4-03	67,58
31º	P4-07	129,92	P4-07	88,49	P4-07	68,17
32º	P4-15	130,01	P4-15	88,63	P4-15	68,22
33º	P4-11	130,11	P4-11	88,69	P4-11	68,38
34º	P2-02	130,88	P2-02	89,18	P2-02	68,58

Tabela B.3: Ranking dos consumos de energia em Porto Nacional – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P1-02	131,02	P1-02	89,30	P1-02	68,69
36º	P2-06	131,19	P2-06	89,56	P2-06	69,07
37º	P1-06	131,30	P2-10	89,67	P1-06	69,19
38º	P2-10	131,34	P1-06	89,70	P2-14	69,25
39º	P2-14	131,38	P1-10	89,72	P2-10	69,26
40º	P1-10	131,48	P2-14	89,79	P1-10	69,39
41º	P1-14	131,53	P1-14	89,95	P1-14	69,40
42º	P3-02	131,62	P3-02	89,98	P3-02	69,45
43º	P3-06	131,89	P3-06	90,34	P3-06	69,90
44º	P3-10	132,05	P3-10	90,47	P3-14	69,95
45º	P3-14	132,06	P3-14	90,48	P3-10	70,08
46º	P4-02	133,03	P4-02	91,47	P4-02	70,99
47º	P4-06	133,24	P2-01	91,50	P2-01	71,09
48º	P2-01	133,29	P2-05	91,71	P2-05	71,16
49º	P4-14	133,36	P1-01	91,76	P2-09	71,31
50º	P2-05	133,39	P4-06	91,80	P2-13	71,34
51º	P4-10	133,41	P2-09	91,85	P1-01	71,35
52º	P2-09	133,50	P1-09	91,93	P1-05	71,40
53º	P1-01	133,55	P2-13	91,94	P4-06	71,47
54º	P2-13	133,57	P1-05	91,94	P4-14	71,54
55º	P1-05	133,62	P4-14	91,98	P1-09	71,55
56º	P1-09	133,75	P4-10	91,98	P1-13	71,62
57º	P3-01	133,78	P3-01	92,08	P4-10	71,66
58º	P1-13	133,86	P1-13	92,22	P3-01	71,70
59º	P3-05	133,91	P3-05	92,28	P3-05	71,81
60º	P3-09	134,02	P3-09	92,42	P3-13	71,85
61º	P3-13	134,07	P3-13	92,43	P3-09	71,97
62º	P4-01	134,80	P4-01	93,25	P4-01	72,73
63º	P4-05	134,99	P4-05	93,49	P4-05	73,14
64º	P4-13	135,08	P4-09	93,60	P4-13	73,16
65º	P4-09	135,10	P4-13	93,64	P4-09	73,28

Tabela B.4: Ranking dos consumos de energia em Porto Nacional – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	125,20	P1-04	83,42	P2-04	62,94
2º	P1-04	125,26	P2-04	83,60	P1-04	63,25
3º	P2-08	125,61	P2-08	84,04	P2-08	63,70
4º	P1-08	125,65	P2-16	84,22	P1-08	63,75
5º	P2-16	125,82	P1-08	84,22	P2-16	63,76
6º	P2-12	125,85	P1-16	84,31	P1-16	63,86
7º	P1-12	125,89	P1-12	84,38	P3-04	63,88
8º	P1-16	125,94	P2-12	84,40	P2-12	63,96
9º	P3-04	126,01	P3-04	84,53	P1-12	64,12
10º	P3-08	126,45	P3-08	84,95	P2-03	64,32
11º	P2-03	126,50	P2-03	84,98	P1-03	64,44
12º	P1-03	126,61	P3-16	85,07	P3-16	64,62
13º	P3-16	126,64	ASHRAE	85,09	P3-08	64,64
14º	ASHRAE	126,66	P1-03	85,10	ASHRAE	64,78
15º	P3-12	126,67	P3-12	85,26	P3-12	64,88
16º	P2-07	126,89	P2-07	85,40	P2-07	65,08
17º	P1-07	126,98	P2-15	85,52	P2-15	65,09
18º	P2-15	127,08	P1-07	85,64	P1-07	65,21
19º	P2-11	127,11	P1-15	85,68	P3-03	65,23
20º	P1-11	127,21	P2-11	85,75	P1-15	65,25
21º	P1-15	127,22	P1-11	85,79	P2-11	65,33
22º	P3-03	127,30	P3-03	85,88	P1-11	65,46
23º	P4-04	127,64	P4-04	86,26	P4-04	65,73
24º	P3-07	127,71	P3-07	86,38	P3-15	65,92
25º	P3-15	127,85	P3-15	86,38	P3-07	66,01
26º	P3-11	127,93	P3-11	86,60	P3-11	66,24
27º	P4-08	128,08	P4-16	86,75	P4-16	66,40
28º	P4-16	128,18	P4-08	86,77	P4-08	66,44
29º	P4-12	128,30	P4-12	87,00	P4-12	66,67
30º	P4-03	128,89	P4-03	87,58	P4-03	67,08
31º	P4-07	129,28	P4-15	88,03	P4-07	67,78
32º	P4-15	129,40	P4-07	88,07	P2-02	67,79
33º	P4-11	129,50	P4-11	88,21	P4-15	67,80
34º	P2-02	130,02	P2-02	88,54	P1-02	67,99

Tabela B.4: Ranking dos consumos de energia em Porto Nacional – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P1-02	130,20	P1-02	88,74	P4-11	68,00
36º	P2-06	130,25	P2-06	88,89	P2-06	68,45
37º	P1-06	130,31	P2-14	88,92	P2-14	68,58
38º	P2-10	130,46	P2-10	89,02	P3-02	68,58
39º	P2-14	130,50	P1-06	89,10	P1-06	68,65
40º	P1-10	130,65	P1-10	89,14	P2-10	68,66
41º	P1-14	130,72	P3-02	89,14	P1-14	68,69
42º	P3-02	130,73	P1-14	89,15	P1-10	68,89
43º	P3-06	131,00	P3-06	89,68	P3-06	69,30
44º	P3-14	131,19	P3-14	89,70	P3-14	69,32
45º	P3-10	131,20	P3-10	89,83	P3-10	69,51
46º	P2-01	132,11	P2-01	90,34	P2-01	69,75
47º	P2-05	132,11	P1-01	90,67	P1-01	70,09
48º	P4-02	132,16	P4-02	90,69	P2-05	70,28
49º	P2-09	132,37	P2-05	90,77	P4-02	70,30
50º	P1-05	132,39	P2-09	90,80	P2-09	70,48
51º	P1-01	132,42	P2-13	90,81	P3-01	70,50
52º	P4-06	132,44	P3-01	90,99	P2-13	70,54
53º	P2-13	132,46	P1-05	91,11	P1-05	70,63
54º	P4-14	132,59	P1-09	91,12	P1-13	70,79
55º	P3-01	132,63	P1-13	91,17	P1-09	70,80
56º	P4-10	132,63	P4-14	91,20	P4-06	70,91
57º	P1-09	132,68	P4-06	91,23	P3-05	70,99
58º	P3-05	132,71	P4-10	91,34	P4-14	71,04
59º	P1-13	132,80	P3-05	91,42	P4-10	71,11
60º	P3-09	132,95	P3-13	91,43	P3-13	71,13
61º	P3-13	132,97	P3-09	91,49	P3-09	71,18
62º	P4-01	133,80	P4-01	92,29	P4-01	71,87
63º	P4-05	133,98	P4-13	92,70	P4-05	72,42
64º	P4-13	134,14	P4-05	92,74	P4-13	72,52
65º	P4-09	134,19	P4-09	92,87	P4-09	72,60

Tabela B.5: Ranking dos consumos de energia em Floriano – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P1-04	128,73	P1-04	86,69	P1-04	66,04
2º	P2-04	129,09	P1-08	87,17	P2-04	66,35
3º	P1-08	129,21	P2-04	87,20	P1-08	66,71
4º	P2-08	129,42	P2-08	87,48	P1-12	66,97
5º	P1-12	129,44	P1-12	87,59	P2-08	66,99
6º	P1-16	129,51	P1-16	87,72	P1-16	67,08
7º	P2-12	129,78	P2-12	87,89	P2-12	67,27
8º	P2-16	129,80	P2-16	87,97	P2-16	67,30
9º	ASHRAE	129,92	ASHRAE	88,05	P3-04	67,47
10º	P3-04	130,18	P3-04	88,30	ASHRAE	67,52
11º	P1-03	130,26	P1-03	88,43	P1-03	67,63
12º	P3-08	130,45	P3-08	88,56	P2-03	67,85
13º	P2-03	130,53	P1-07	88,87	P3-08	68,10
14º	P1-07	130,66	P2-03	88,89	P1-07	68,28
15º	P3-16	130,75	P2-07	88,93	P3-16	68,33
16º	P3-12	130,78	P3-12	88,95	P3-12	68,36
17º	P2-07	130,85	P3-16	88,97	P2-07	68,49
18º	P1-11	130,88	P1-11	89,11	P1-11	68,54
19º	P1-15	130,91	P1-15	89,19	P1-15	68,58
20º	P2-15	131,11	P2-11	89,32	P2-15	68,73
21º	P2-11	131,13	P2-15	89,36	P2-11	68,76
22º	P3-03	131,50	P3-03	89,89	P3-03	68,91
23º	P3-07	131,76	P3-07	89,95	P4-04	69,42
24º	P4-04	131,92	P4-04	90,16	P3-07	69,54
25º	P3-11	132,08	P3-15	90,32	P3-15	69,71
26º	P3-15	132,09	P3-11	90,32	P3-11	69,80
27º	P4-08	132,27	P4-08	90,52	P4-08	70,04
28º	P4-12	132,47	P4-12	90,75	P4-16	70,17
29º	P4-16	132,50	P4-16	90,76	P4-12	70,29
30º	P4-03	133,23	P4-03	91,44	P4-03	70,86
31º	P4-07	133,57	P4-07	91,89	P4-07	71,45
32º	P4-15	133,74	P4-15	92,08	P4-15	71,49
33º	P4-11	133,77	P4-11	92,11	P1-02	71,54
34º	P1-02	134,20	P1-02	92,55	P2-02	71,68

Tabela B.5: Ranking dos consumos de energia em Floriano – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P1-06	134,43	P1-06	92,64	P4-11	71,70
36º	P2-02	134,46	P2-02	92,71	P1-06	72,05
37º	P1-10	134,62	P1-10	92,72	P2-06	72,19
38º	P2-06	134,62	P2-06	92,79	P1-10	72,32
39º	P1-14	134,78	P1-14	92,98	P1-14	72,37
40º	P2-10	134,78	P2-10	92,99	P2-10	72,41
41º	P2-14	134,91	P2-14	93,08	P2-14	72,45
42º	P3-02	135,27	P3-02	93,57	P3-02	72,58
43º	P3-06	135,45	P3-06	93,67	P3-06	73,10
44º	P3-10	135,61	P3-10	93,80	P3-14	73,29
45º	P3-14	135,68	P3-14	93,90	P3-10	73,29
46º	P4-02	136,73	P4-02	94,88	P1-01	74,15
47º	P1-05	136,97	P2-01	95,06	P2-01	74,16
48º	P4-06	136,97	P1-05	95,10	P4-02	74,24
49º	P1-01	137,03	P2-05	95,13	P1-05	74,48
50º	P2-05	137,04	P1-09	95,14	P2-05	74,50
51º	P2-01	137,06	P1-01	95,20	P1-09	74,63
52º	P1-09	137,09	P2-09	95,28	P2-09	74,67
53º	P4-10	137,13	P4-06	95,30	P2-13	74,74
54º	P2-09	137,16	P2-13	95,42	P1-13	74,79
55º	P4-14	137,19	P4-14	95,43	P4-06	74,82
56º	P2-13	137,39	P1-13	95,45	P3-01	74,84
57º	P1-13	137,39	P4-10	95,47	P4-14	74,87
58º	P3-01	137,65	P3-01	95,57	P4-10	75,03
59º	P3-05	137,67	P3-05	95,81	P3-05	75,21
60º	P3-09	137,79	P3-09	95,95	P3-09	75,38
61º	P3-13	137,95	P3-13	96,04	P3-13	75,39
62º	P4-01	138,81	P4-01	96,92	P4-01	76,25
63º	P4-05	138,94	P4-05	97,21	P4-13	76,70
64º	P4-09	139,05	P4-09	97,33	P4-05	76,74
65º	P4-13	139,10	P4-13	97,34	P4-09	76,91

Tabela B.6: Ranking dos consumos de energia em Floriano – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P1-04	128,15	P1-04	86,25	P1-04	65,64
2º	P2-04	128,41	P2-04	86,48	P2-04	65,84
3º	P1-08	128,63	P1-08	86,97	P1-08	66,41
4º	P2-08	128,86	P1-16	87,12	P2-08	66,58
5º	P1-12	128,89	P2-08	87,17	P1-12	66,68
6º	P1-16	128,92	P1-12	87,23	P1-16	66,73
7º	P2-12	129,12	P2-16	87,30	P2-12	66,85
8º	P2-16	129,12	P2-12	87,33	P2-16	66,87
9º	ASHRAE	129,19	ASHRAE	87,54	P3-04	66,94
10º	P3-04	129,44	P3-04	87,56	ASHRAE	67,10
11º	P1-03	129,64	P1-03	87,80	P1-03	67,22
12º	P2-03	129,82	P2-03	87,95	P2-03	67,35
13º	P3-08	129,89	P3-08	88,24	P3-08	67,66
14º	P1-07	129,97	P3-16	88,31	P3-16	67,90
15º	P1-11	130,08	P3-12	88,47	P3-12	67,92
16º	P3-16	130,09	P1-07	88,51	P1-07	67,97
17º	P3-12	130,13	P1-15	88,61	P2-07	68,07
18º	P2-07	130,25	P2-07	88,63	P1-15	68,25
19º	P1-15	130,35	P2-15	88,72	P1-11	68,31
20º	P2-15	130,48	P1-11	88,73	P2-11	68,32
21º	P2-11	130,49	P2-11	88,85	P2-15	68,33
22º	P3-03	130,79	P3-03	88,97	P3-03	68,47
23º	P4-04	131,21	P4-04	89,46	P4-04	68,98
24º	P3-07	131,21	P3-07	89,62	P3-07	69,09
25º	P3-11	131,39	P3-15	89,67	P3-15	69,31
26º	P3-15	131,40	P3-11	89,85	P3-11	69,32
27º	P4-08	131,61	P4-08	90,08	P4-08	69,62
28º	P4-16	131,80	P4-16	90,15	P4-16	69,79
29º	P4-12	131,84	P4-12	90,30	P4-12	69,86
30º	P4-03	132,51	P4-03	90,86	P4-03	70,48
31º	P4-07	132,90	P4-07	91,43	P1-02	71,01
32º	P4-15	133,08	P4-15	91,48	P4-07	71,03
33º	P4-11	133,12	P1-02	91,50	P2-02	71,14
34º	P1-02	133,34	P2-02	91,56	P4-15	71,15

Tabela B.6: Ranking dos consumos de energia em Floriano – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P1-06	133,41	P4-11	91,65	P4-11	71,26
36º	P2-02	133,43	P1-06	92,08	P1-06	71,56
37º	P2-06	133,63	P2-06	92,14	P2-06	71,59
38º	P1-10	133,64	P1-14	92,23	P2-10	71,81
39º	P2-10	133,85	P2-14	92,25	P1-10	71,87
40º	P1-14	133,95	P1-10	92,30	P2-14	71,87
41º	P2-14	133,99	P2-10	92,34	P1-14	71,87
42º	P3-02	134,27	P3-02	92,46	P3-02	72,05
43º	P3-06	134,37	P3-06	93,02	P3-06	72,49
44º	P3-10	134,64	P3-14	93,09	P3-10	72,71
45º	P3-14	134,80	P3-10	93,22	P3-14	72,73
46º	P2-05	135,70	P2-01	93,83	P2-01	73,37
47º	P1-05	135,71	P1-01	93,87	P1-01	73,43
48º	P2-01	135,76	P4-02	94,16	P2-05	73,67
49º	P1-01	135,77	P2-05	94,25	P1-05	73,75
50º	P4-02	135,85	P1-05	94,30	P4-02	73,77
51º	P2-09	135,89	P2-13	94,36	P2-09	73,93
52º	P1-09	135,90	P2-09	94,42	P2-13	73,94
53º	P4-06	136,14	P1-13	94,45	P1-09	74,01
54º	P2-13	136,18	P1-09	94,48	P1-13	74,06
55º	P1-13	136,22	P3-01	94,54	P3-01	74,10
56º	P4-14	136,33	P4-06	94,70	P4-06	74,27
57º	P4-10	136,34	P4-14	94,73	P4-14	74,38
58º	P3-01	136,41	P4-10	94,89	P3-05	74,41
59º	P3-05	136,44	P3-05	94,96	P4-10	74,50
60º	P3-09	136,62	P3-13	95,04	P3-13	74,64
61º	P3-13	136,81	P3-09	95,14	P3-09	74,66
62º	P4-01	137,74	P4-01	96,05	P4-01	75,62
63º	P4-05	137,92	P4-05	96,46	P4-05	76,04
64º	P4-13	138,10	P4-13	96,47	P4-13	76,12
65º	P4-09	138,11	P4-09	96,62	P4-09	76,24

Tabela B.7: Ranking dos consumos de energia em Santa Rita de Cássia – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	121,15	P2-04	80,45	P2-04	60,51
2º	P1-04	121,15	P1-04	80,47	P1-04	60,51
3º	P1-08	121,33	P1-08	80,77	P1-08	60,84
4º	P2-08	121,38	P2-08	80,83	P2-08	60,90
5º	P1-12	121,54	P1-12	80,98	P1-12	61,08
6º	P2-12	121,56	P2-12	81,04	P2-12	61,14
7º	P2-16	121,72	P2-16	81,21	P2-16	61,34
8º	P1-16	121,74	P1-16	81,24	P1-16	61,38
9º	P3-04	121,92	P3-04	81,33	P3-04	61,44
10º	P3-08	122,18	P3-08	81,73	P3-08	61,85
11º	P2-03	122,36	P2-03	81,76	P2-03	61,87
12º	P3-12	122,37	P1-03	81,80	P1-03	61,91
13º	P1-03	122,41	P3-12	81,93	P3-12	62,07
14º	P3-16	122,44	P3-16	81,99	ASHRAE	62,13
15º	P2-07	122,61	ASHRAE	82,06	P3-16	62,15
16º	P1-07	122,64	P2-07	82,15	P2-07	62,27
17º	ASHRAE	122,74	P1-07	82,17	P1-07	62,29
18º	P2-11	122,77	P2-11	82,33	P2-11	62,50
19º	P1-11	122,81	P1-11	82,38	P1-11	62,56
20º	P2-15	122,88	P2-15	82,42	P2-15	62,62
21º	P1-15	122,97	P1-15	82,51	P1-15	62,72
22º	P3-03	123,12	P3-03	82,62	P3-03	62,78
23º	P3-07	123,40	P4-04	82,99	P3-07	63,18
24º	P4-04	123,42	P3-07	83,02	P4-04	63,19
25º	P3-11	123,55	P3-11	83,21	P3-11	63,40
26º	P3-15	123,60	P3-15	83,21	P3-15	63,44
27º	P4-08	123,74	P4-08	83,41	P4-08	63,62
28º	P4-16	123,89	P4-16	83,58	P4-16	63,83
29º	P4-12	123,92	P4-12	83,59	P4-12	63,83
30º	P4-03	124,61	P4-03	84,26	P4-03	64,51
31º	P4-07	124,93	P4-07	84,67	P4-07	64,92
32º	P4-15	125,07	P4-15	84,79	P4-15	65,09
33º	P4-11	125,08	P4-11	84,86	P4-11	65,12
34º	P2-02	126,28	P2-02	85,64	P2-02	65,75

Tabela B.7: Ranking dos consumos de energia em Santa Rita de Cássia – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-06	126,33	P1-02	85,79	P1-02	65,90
36º	P1-02	126,40	P2-06	85,86	P2-06	65,97
37º	P1-06	126,43	P1-06	85,97	P1-06	66,09
38º	P2-10	126,45	P2-10	86,02	P2-10	66,15
39º	P1-10	126,57	P1-10	86,14	P1-10	66,28
40º	P2-14	126,62	P2-14	86,15	P2-14	66,34
41º	P1-14	126,85	P3-02	86,34	P3-02	66,50
42º	P3-02	126,90	P1-14	86,34	P1-14	66,52
43º	P3-06	126,99	P3-06	86,59	P3-06	66,74
44º	P3-10	127,11	P3-10	86,75	P3-10	66,92
45º	P3-14	127,24	P3-14	86,81	P3-14	67,03
46º	P4-02	128,20	P4-02	87,78	P4-02	68,02
47º	P4-06	128,34	P4-06	88,08	P2-01	68,23
48º	P4-10	128,48	P2-01	88,16	P2-05	68,27
49º	P4-14	128,52	P2-05	88,19	P4-06	68,30
50º	P2-05	128,72	P4-14	88,21	P2-09	68,40
51º	P2-09	128,82	P4-10	88,24	P4-10	68,48
52º	P2-01	128,89	P2-09	88,28	P1-01	68,48
53º	P1-05	128,95	P1-05	88,43	P1-05	68,50
54º	P1-09	129,04	P1-01	88,44	P4-14	68,51
55º	P2-13	129,06	P2-13	88,47	P2-13	68,62
56º	P3-05	129,17	P1-09	88,55	P1-09	68,64
57º	P1-01	129,21	P3-01	88,63	P3-01	68,75
58º	P3-01	129,26	P3-05	88,73	P3-05	68,85
59º	P3-09	129,27	P1-13	88,77	P1-13	68,90
60º	P1-13	129,40	P3-09	88,81	P3-09	68,98
61º	P3-13	129,43	P3-13	88,93	P3-13	69,12
62º	P4-01	130,22	P4-01	89,74	P4-01	69,95
63º	P4-05	130,25	P4-05	89,93	P4-05	70,12
64º	P4-09	130,33	P4-09	90,04	P4-09	70,25
65º	P4-13	130,41	P4-13	90,04	P4-13	70,30

Tabela B.8: Ranking dos consumos de energia em Santa Rita de Cássia – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	119,96	P2-04	79,43	P2-04	59,64
2º	P1-04	120,09	P1-04	79,54	P1-04	59,70
3º	P2-08	120,35	P2-08	80,01	P2-08	60,17
4º	P1-08	120,42	P1-08	80,07	P1-08	60,22
5º	P2-16	120,58	P2-16	80,21	P2-16	60,42
6º	P2-12	120,60	P2-12	80,26	P2-12	60,47
7º	P1-12	120,64	P1-16	80,30	P1-16	60,53
8º	P1-16	120,74	P1-12	80,31	P1-12	60,55
9º	P3-04	120,80	P3-04	80,35	P3-04	60,55
10º	P3-08	121,20	P2-03	80,81	P2-03	61,02
11º	P2-03	121,26	P1-03	80,93	P3-08	61,13
12º	P3-16	121,37	P3-08	80,94	P1-03	61,17
13º	P1-03	121,39	P3-16	81,02	P3-16	61,28
14º	P3-12	121,42	P3-12	81,16	ASHRAE	61,38
15º	P2-07	121,63	ASHRAE	81,21	P3-12	61,44
16º	ASHRAE	121,75	P2-07	81,38	P2-07	61,58
17º	P1-07	121,77	P2-15	81,48	P1-07	61,71
18º	P2-15	121,83	P1-07	81,51	P2-15	61,74
19º	P2-11	121,88	P2-11	81,61	P2-11	61,88
20º	P1-15	121,99	P1-15	81,64	P1-15	61,93
21º	P1-11	122,02	P3-03	81,70	P3-03	61,96
22º	P3-03	122,07	P1-11	81,73	P1-11	61,98
23º	P4-04	122,42	P4-04	82,11	P4-04	62,40
24º	P3-07	122,45	P3-07	82,27	P3-07	62,51
25º	P3-15	122,60	P3-15	82,32	P3-15	62,61
26º	P3-11	122,70	P3-11	82,49	P3-11	62,80
27º	P4-08	122,83	P4-08	82,70	P4-08	62,96
28º	P4-16	122,94	P4-16	82,72	P4-16	63,05
29º	P4-12	123,06	P4-12	82,90	P4-12	63,25
30º	P4-03	123,68	P4-03	83,42	P4-03	63,75
31º	P4-07	124,06	P4-15	83,98	P4-07	64,30
32º	P4-15	124,15	P4-07	84,00	P4-15	64,35
33º	P4-11	124,28	P4-11	84,19	P4-11	64,54
34º	P2-02	124,89	P2-02	84,44	P2-02	64,64

Tabela B.8: Ranking dos consumos de energia em Santa Rita de Cássia – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P1-02	125,11	P1-02	84,66	P1-02	64,88
36º	P2-06	125,14	P2-06	84,89	P2-06	65,07
37º	P2-10	125,34	P2-14	85,00	P2-14	65,26
38º	P2-14	125,35	P2-10	85,09	P2-10	65,33
39º	P1-06	125,37	P1-06	85,12	P1-06	65,33
40º	P1-10	125,58	P3-02	85,21	P3-02	65,44
41º	P3-02	125,59	P1-14	85,27	P1-14	65,53
42º	P1-14	125,61	P1-10	85,31	P1-10	65,54
43º	P3-06	125,86	P3-06	85,67	P3-06	65,88
44º	P3-14	126,01	P3-14	85,73	P3-14	66,01
45º	P3-10	126,06	P3-10	85,86	P3-10	66,14
46º	P4-02	127,03	P2-01	86,67	P2-01	66,83
47º	P2-01	127,17	P4-02	86,76	P4-02	67,06
48º	P2-05	127,28	P2-05	86,98	P2-05	67,13
49º	P4-06	127,34	P1-01	87,00	P1-01	67,16
50º	P4-14	127,42	P2-13	87,08	P2-13	67,29
51º	P2-09	127,45	P2-09	87,13	P2-09	67,35
52º	P2-13	127,47	P4-14	87,24	P3-01	67,45
53º	P1-01	127,51	P3-01	87,24	P1-05	67,46
54º	P4-10	127,54	P4-06	87,25	P4-06	67,56
55º	P1-05	127,62	P1-05	87,31	P4-14	67,58
56º	P3-01	127,67	P4-10	87,42	P1-09	67,64
57º	P1-09	127,78	P1-09	87,46	P1-13	67,65
58º	P3-05	127,82	P1-13	87,46	P4-10	67,74
59º	P1-13	127,84	P3-05	87,59	P3-05	67,78
60º	P3-13	127,96	P3-13	87,63	P3-13	67,88
61º	P3-09	128,00	P3-09	87,74	P3-09	68,00
62º	P4-01	128,85	P4-01	88,54	P4-01	68,82
63º	P4-05	129,07	P4-13	88,91	P4-05	69,19
64º	P4-13	129,13	P4-05	88,94	P4-13	69,22
65º	P4-09	129,24	P4-09	89,08	P4-09	69,41

Apêndice C: Análise das cidades nas zonas 1A e 1B

Nas zonas 1A e 1B, observa-se maior diferença percentual entre os modelos com as especificações de referência da ASHRAE em comparação às cidades na zona 0. Em Natal e Campina Grande, cidades na zona 1A, a diferença entre os dois modelos varia de 7,2% a 11,6%, e em Campos Sales e Montes Claros, cidades na zona 1B, varia de 4,9% a 6,8%. Embora sejam classificadas em subzonas diferentes, Campina Grande e Montes Claros apresentam diferença máxima aproximada de 1kWh/m².ano (0%) entre os modelos, propensa a diminuir com o aumento da densidade de ocupação. Nota-se também que os consumos são maiores com baixa infiltração, com diferença de menos de 1,0% entre alta e baixa taxa de infiltração (Figuras C.1 e C.2).

Quanto ao uso final de energia anual, Campina Grande e Natal apresentam comportamentos diferentes. Em Natal, em baixa densidade de ocupação, o resfriamento é responsável pela maior parte do consumo de energia, 38,6% com baixa taxa de infiltração e 38,1% com alta taxa de infiltração. Em Campina Grande, o maior consumo é com iluminação, representando 40,7% e 41,3%, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Em Natal, a diferença nos consumos com resfriamento e iluminação é menor que 2,0%, mas em Campina Grande essa diferença é de quase 10,0%.

Em média densidade de ocupação, o consumo com equipamentos representa a maior parte em Natal e Campina Grande. Em Natal, esse consumo é bem próximo ao de resfriamento. Os equipamentos representam 36,9% e 37,3%, e o resfriamento 35,4% e 34,8%, em baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Em Campina Grande, o consumo com iluminação é quase equivalente ao de resfriamento em baixa taxa de infiltração, 30,2% e 29,5%, respectivamente. Em alta taxa de infiltração, a iluminação representa 30,6% do consumo, e o resfriamento, 28,6%.

Em alta densidade de ocupação, os equipamentos continuam representando a maior parte do consumo total, chegando a aproximadamente 50,0% em Campina Grande e Natal. No entanto, em Campina Grande o resfriamento passa a representar a segunda maior parte do consumo total. Nas condições de baixa taxa de infiltração, o resfriamento representa 27,0% do total, enquanto o consumo com iluminação é de 19,8%. Com alta taxa de infiltração esses percentuais são de 26,4% e 20,0%, respectivamente. Essa elevação de consumo em baixa taxa de infiltração se deve ao fato de a saída de ar não programada aumentar a troca de ar entre os ambientes

externo e interno, reduzindo, assim, a temperatura interna e, conseqüentemente, o consumo com resfriamento (Figuras C.3 e C.4).

Figura C.1: Consumo total de energia anual por m² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1A

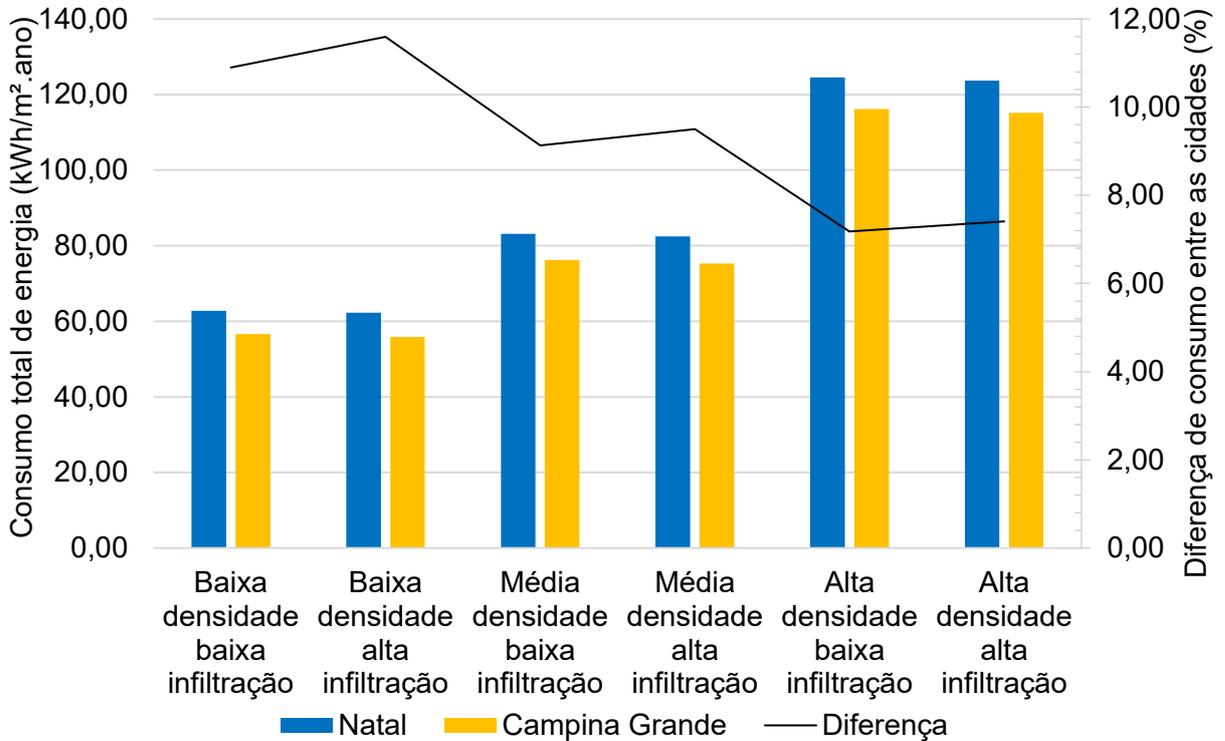


Figura C.2: Consumo total de energia anual por m² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1B

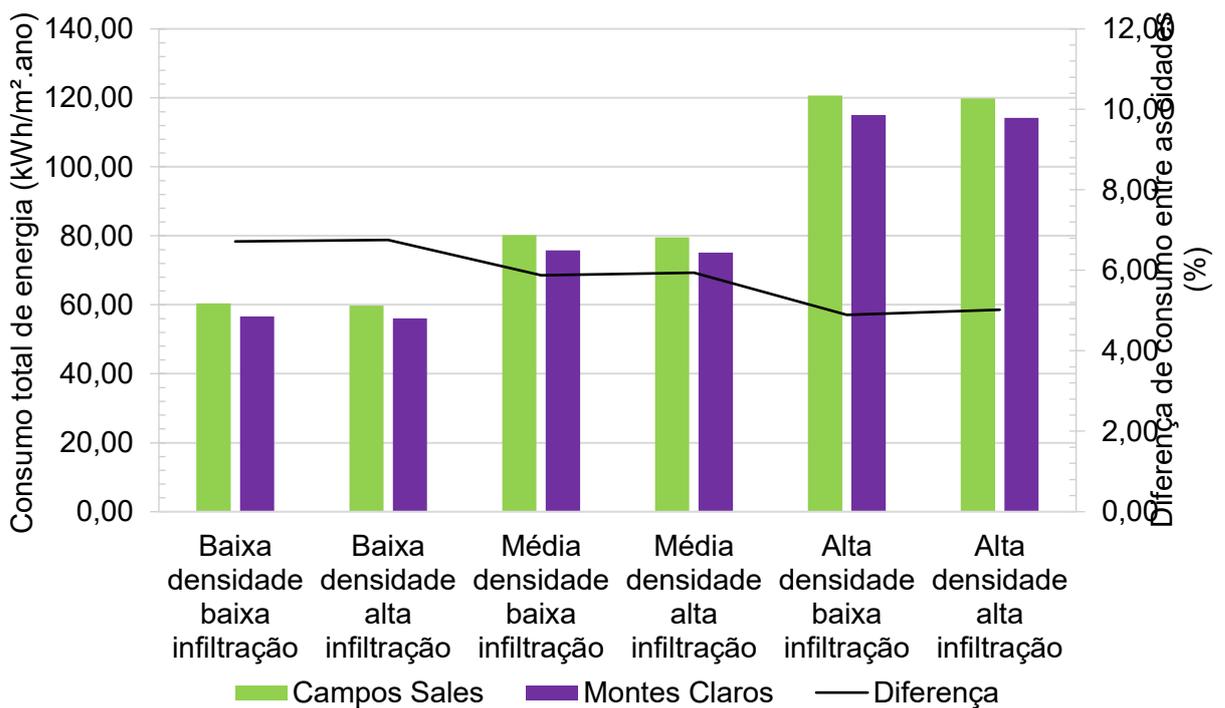


Figura C.3: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1A – Baixa taxa de infiltração

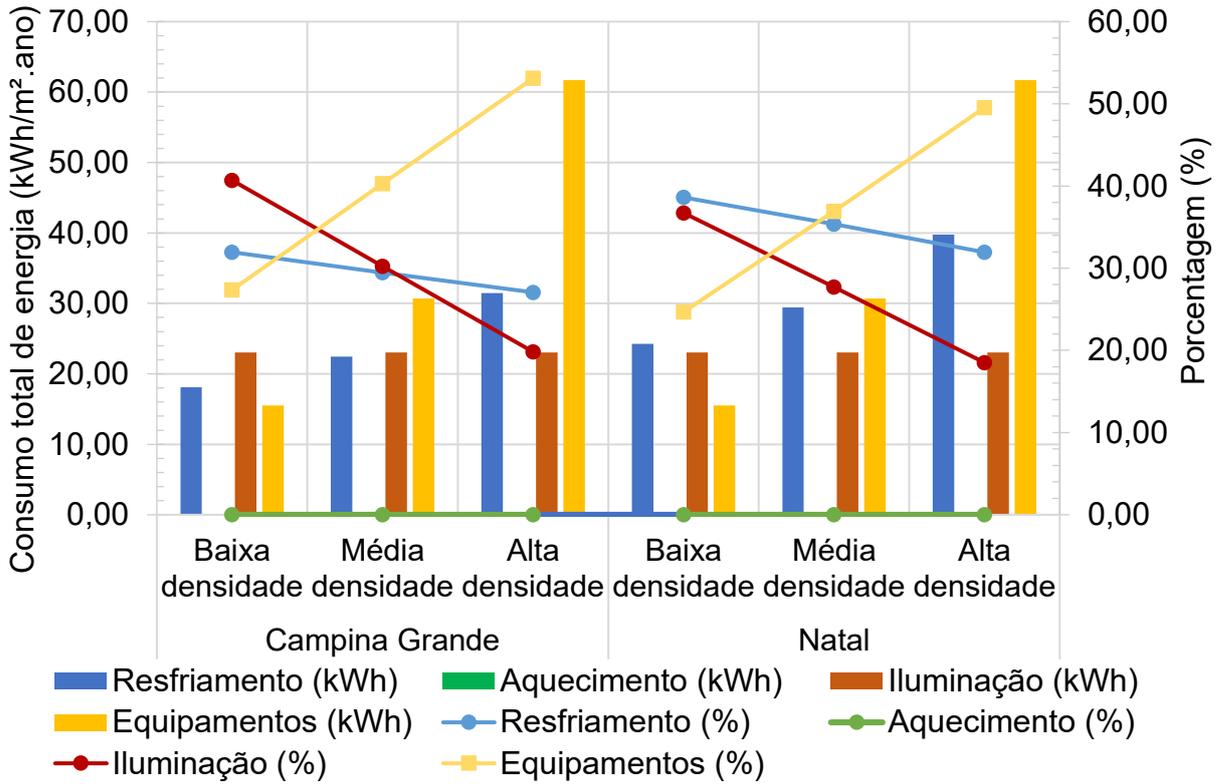
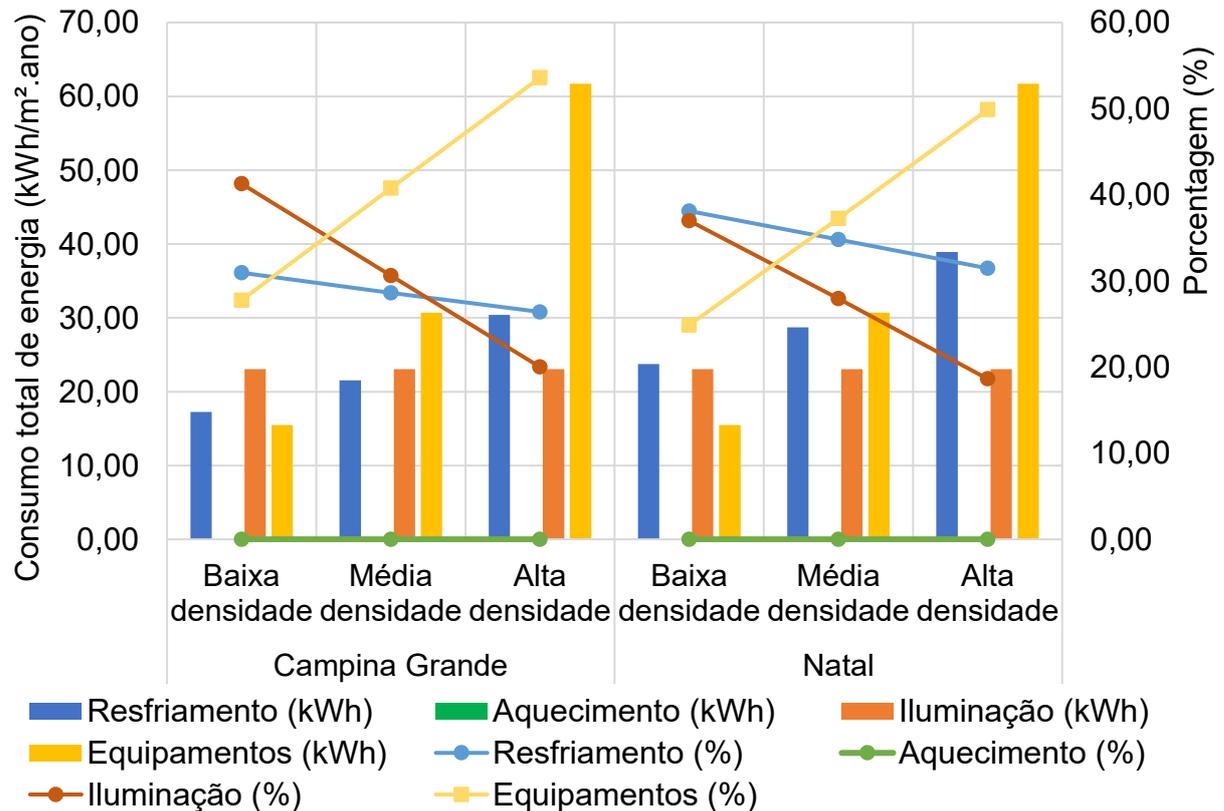


Figura C.4: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1A – Alta taxa de infiltração



Campos Sales e Montes Claros, cidades na zona 1B, também apresentam comportamentos diferentes quanto ao uso final de energia. Em baixa densidade de ocupação, o consumo com iluminação representa maior parte do consumo. Em Montes Claros, no entanto, esse consumo é maior em relação aos demais consumos. A iluminação representa 41,1% e 41,5%, e o resfriamento, 31,5% e 30,8%, em baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Em Campos Sales a iluminação representa 38,5% e 38,9%, e o resfriamento, 35,9% e 35,2%, em baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente.

Em média densidade de ocupação, os equipamentos também passam a representar maior parte do consumo nas duas cidades. Em Campos Sales, o resfriamento apresenta consumo maior do que o de iluminação, enquanto em Montes Claros a iluminação apresenta consumo maior. Com baixa taxa de infiltração, em Montes Claros o consumo com iluminação é 30,7%, e o resfriamento, 28,8%. Em Campos Sales esses consumos são de 29,0% e 32,8%, respectivamente. Com alta taxa de infiltração, os consumos de iluminação e ar-condicionado são de 31,0% e 28,2% em Montes Claros, respectivamente, e 29,2% e 32,2%, em Campos Sales.

Com alta densidade de ocupação, os equipamentos representam mais de 50,0% do consumo. Os consumos com iluminação e resfriamento são mais próximos em Montes Claros do que em Campos Sales, com diferença de aproximadamente 6,0% entre os dois consumos na primeira cidade e de 10,0% na segunda. A única cidade que demanda aquecimento é Montes Claros, consumo que pode ser desconsiderado, pois o maior consumo apresentado é inferior a 5kWh/ano, ou seja, inferior a 0,02% por m² ao ano. Assim como nas cidades na zona 1A, os maiores consumos ocorrem em baixa taxa de infiltração, porque a alta infiltração aumenta as trocas de ar entre os ambientes interno e externo, ajudando a resfriar os espaços (Figuras C.5 e C.6).

Em relação aos consumos encontrados, há maior diferença entre a posição da ASHRAE no *ranking* de consumo na zona 1A. Em Campina Grande, o modelo com a envoltória da ASHRAE está entre o 26º e 30º lugar e em Natal está entre o 15º e o 18º lugar, dependendo da densidade de ocupação e da taxa de infiltração. Ou seja, em Campina Grande, em alta densidade e baixa infiltração, apresentou 29 combinações de envoltória mais eficientes do que a envoltória da ASHRAE, mas em Natal houve somente dezessete combinações mais eficientes na mesma situação.

Figura C.5: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1B – Baixa taxa de infiltração

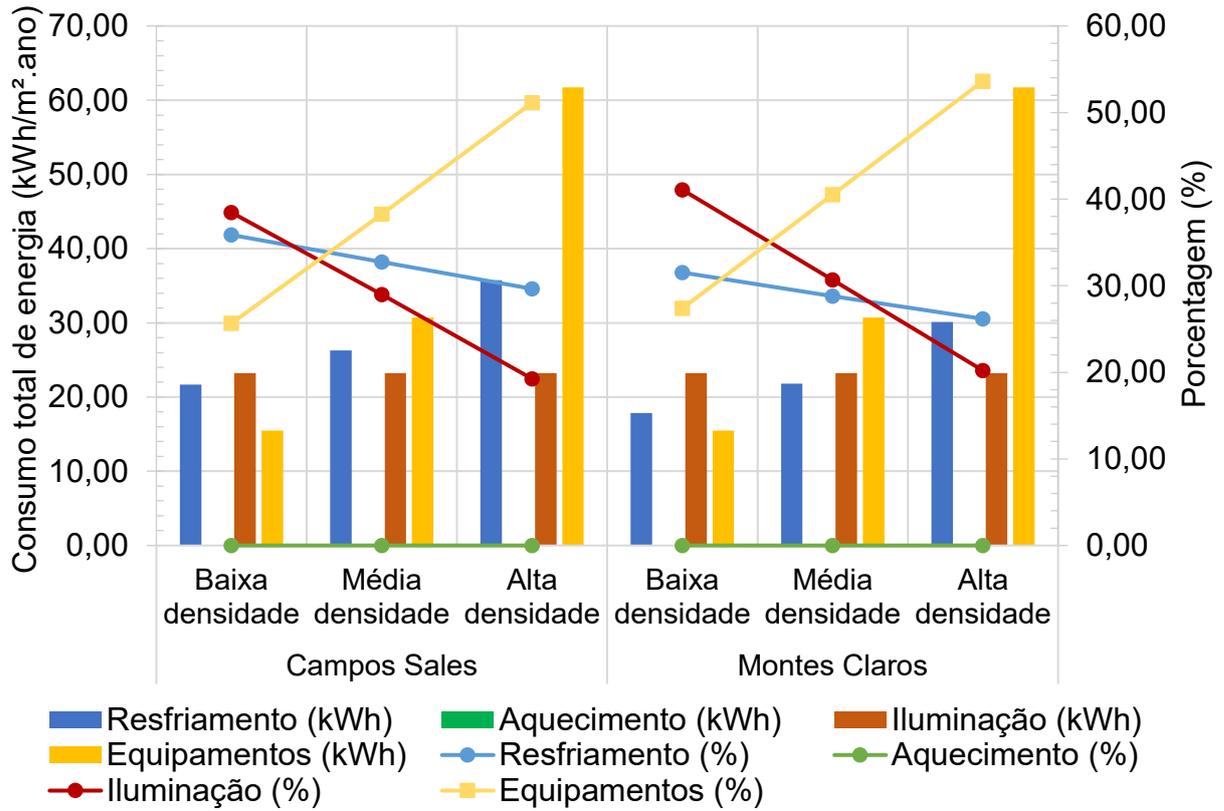
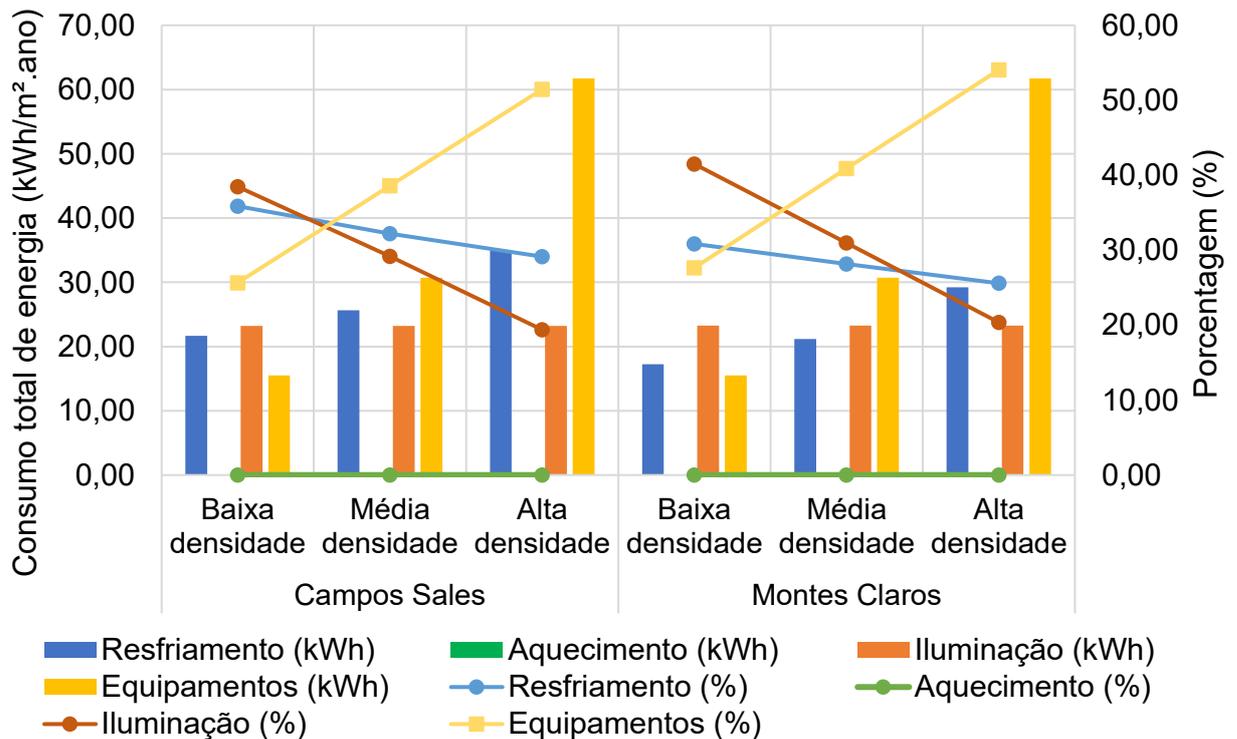


Figura C.6: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 1B – Alta taxa de infiltração



Na zona 1, em todas as cidades estudadas, nenhuma das combinações obteve a redução mínima de energia exigida pela Certificação LEED. Em Campina Grande, a maior economia foi equivalente a 3,9% em baixa densidade e alta infiltração, comparando-se o melhor desempenho encontrado com o modelo da ASHRAE. Em Natal, a maior economia foi de 2,4%, também em baixa densidade e alta infiltração. O *ranking* dos resultados encontrados nas cidades localizadas na zona 1A na situação de baixa taxa de infiltração está apresentado nas Tabelas C.1 a C.4, destacando a posição do modelo da ASHRAE.

Na zona 1B, vê-se que o modelo com a envoltória da ASHRAE ficou entre o 18º e 22º lugar em Campos Sales, enquanto em Montes Claros ficou classificado entre o 24º e o 29º lugar, dependendo da densidade de ocupação e da taxa de infiltração. Assim como nas cidades na zona 1A, não houve reduções acima de 5,0%. Das cidades analisadas, Montes Claros é a que apresenta economia mais próxima da desejada, equivalente a 4,4%, também em baixa densidade e alta infiltração. Em Campos Sales a maior economia foi de 2,9%, na mesma situação. As Tabelas C.5 a C.8 exibem o *ranking* dos resultados obtidos nas cidades da zona 1B em baixa taxa de infiltração, destacando a posição do modelo da ASHRAE.

Quanto aos consumos máximos e mínimos encontrados nas 64 simulações, vê-se que, em alta densidade, há diferença de aproximadamente 6,0% entre o valor máximo e mínimo em Campina Grande e Natal. Em média densidade, a diferença é de 9,0%; e em baixa densidade a diferença sobe para 12,0%. Em Campos Sales e Montes Claros essas diferenças são de aproximadamente 6,0%, 10,0% e 13,0%, respectivamente. Se o consumo médio encontrado fosse o adotado como base de comparação, todas as cidades teriam atingido o valor mínimo de economia exigido pela LEED, em média e baixa densidade, exceto Campina Grande, em média densidade e baixa infiltração.

Em Natal e Campos Sales, o consumo de energia do modelo de referência da ASHRAE está mais próximo do consumo mínimo encontrado nas 64 simulações do que do consumo médio, com base nos 64 valores encontrados. No entanto, Campina Grande e Montes Claros apresentaram resultados mais próximos do consumo médio. Analisando o ciclo de variações obtidas nos resultados, assim como na zona 0, identificou-se que os melhores resultados foram os obtidos com o Vidro 4 (vidro insulado com controle solar), indicando que o vidro exerce maior influência no consumo de energia. As paredes 1 e 2 (parede em *steel frame* e lã de rocha e parede

de tijolo cerâmica, respectivamente) também são as que apresentam melhores resultados (Figuras C.7 e C.8).

Tabela C.1: *Ranking* dos consumos de energia em Natal – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P1-04	123,19	P1-04	81,66	P1-04	61,34
2º	P1-08	123,30	P2-04	81,73	P2-04	61,36
3º	P2-04	123,31	P1-08	81,84	P1-08	61,57
4º	P2-08	123,33	P2-08	81,88	P2-08	61,60
5º	P2-12	123,46	P2-12	82,13	P2-12	61,80
6º	P1-12	123,50	P1-12	82,15	P1-12	61,83
7º	P1-16	123,54	P1-16	82,17	P2-16	61,91
8º	P2-16	123,62	P2-16	82,20	P1-16	61,93
9º	P3-04	123,78	P3-04	82,32	P3-04	62,01
10º	P3-08	123,89	P3-08	82,51	P3-08	62,28
11º	P3-12	124,02	P3-12	82,75	P3-12	62,48
12º	P3-16	124,08	P3-16	82,76	P2-03	62,51
13º	P1-03	124,25	P2-03	82,81	P3-16	62,53
14º	P2-03	124,28	P1-03	82,82	P1-03	62,57
15º	P2-07	124,35	P2-07	82,97	P2-07	62,73
16º	P1-07	124,42	P1-07	83,10	P1-07	62,78
17º	P2-11	124,47	ASHRAE	83,17	ASHRAE	62,78
18º	ASHRAE	124,53	P2-11	83,21	P2-11	62,94
19º	P1-11	124,55	P2-15	83,24	P2-15	63,02
20º	P1-15	124,56	P1-15	83,28	P1-11	63,02
21º	P2-15	124,57	P1-11	83,30	P1-15	63,11
22º	P4-04	124,67	P3-03	83,38	P3-03	63,14
23º	P3-03	124,73	P4-04	83,41	P4-04	63,27
24º	P3-07	124,81	P3-07	83,56	P3-07	63,36
25º	P4-08	124,84	P4-08	83,62	P4-08	63,49
26º	P3-11	124,93	P3-15	83,78	P3-11	63,56
27º	P4-16	124,95	P3-11	83,79	P3-15	63,59
28º	P4-12	124,97	P4-12	83,81	P4-12	63,64
29º	P3-15	125,01	P4-16	83,87	P4-16	63,72
30º	P4-03	125,62	P4-03	84,44	P4-03	64,34
31º	P4-07	125,83	P4-07	84,70	P4-07	64,56
32º	P4-15	125,88	P4-15	84,81	P4-11	64,70
33º	P4-11	125,94	P4-11	84,82	P4-15	64,76
34º	P2-02	127,71	P2-02	86,30	P2-02	66,07

Tabela C.1: Ranking dos consumos de energia em Natal – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-06	127,75	P1-02	86,43	P2-06	66,20
36º	P1-02	127,79	P2-06	86,48	P1-02	66,25
37º	P1-06	127,81	P2-10	86,58	P2-10	66,31
38º	P2-10	127,83	P1-10	86,59	P1-06	66,36
39º	P2-14	127,88	P2-14	86,61	P2-14	66,45
40º	P1-10	127,90	P1-06	86,61	P1-10	66,48
41º	P1-14	127,98	P3-02	86,74	P3-02	66,53
42º	P3-02	128,03	P1-14	86,76	P1-14	66,65
43º	P3-06	128,11	P3-06	86,92	P3-06	66,71
44º	P3-10	128,19	P3-10	87,02	P3-10	66,82
45º	P3-14	128,23	P3-14	87,03	P3-14	66,89
46º	P4-02	128,81	P4-02	87,66	P4-02	67,54
47º	P4-06	128,88	P4-06	87,80	P4-06	67,67
48º	P4-10	128,97	P4-10	87,89	P4-10	67,79
49º	P4-14	129,00	P4-14	87,94	P4-14	67,88
50º	P2-05	130,26	P2-05	88,94	P2-05	68,65
51º	P2-09	130,29	P2-01	88,98	P2-01	68,67
52º	P2-13	130,39	P2-09	88,99	P2-09	68,72
53º	P3-05	130,39	P2-13	89,10	P2-13	68,85
54º	P2-01	130,42	P3-01	89,19	P1-05	68,92
55º	P1-09	130,43	P3-05	89,20	P3-05	68,95
56º	P3-09	130,44	P1-05	89,22	P3-01	68,96
57º	P1-05	130,50	P1-01	89,24	P1-09	68,98
58º	P3-01	130,55	P3-09	89,24	P1-01	69,00
59º	P3-13	130,56	P1-09	89,26	P3-09	69,02
60º	P1-13	130,66	P3-13	89,32	P3-13	69,15
61º	P1-01	130,70	P1-13	89,36	P1-13	69,20
62º	P4-01	130,93	P4-01	89,75	P4-01	69,61
63º	P4-05	130,94	P4-05	89,81	P4-05	69,66
64º	P4-09	130,96	P4-09	89,85	P4-09	69,74
65º	P4-13	130,98	P4-13	89,92	P4-13	69,81

Tabela C.2: Ranking dos consumos de energia em Natal – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	122,39	P2-04	81,02	P2-04	60,81
2º	P1-04	122,39	P1-04	81,03	P1-04	60,89
3º	P1-08	122,51	P2-08	81,47	P2-08	61,18
4º	P1-12	122,61	P1-08	81,54	P1-08	61,25
5º	P2-08	122,62	P2-16	81,55	P2-16	61,37
6º	P2-12	122,73	P1-16	81,59	P1-16	61,47
7º	P2-16	122,79	P2-12	81,64	P2-12	61,48
8º	P1-16	122,81	P3-04	81,68	P3-04	61,51
9º	P3-04	122,98	P1-12	81,72	P1-12	61,63
10º	P3-08	123,12	P3-08	82,00	P3-08	61,78
11º	P3-12	123,26	P2-03	82,15	P2-03	61,98
12º	P3-16	123,35	P3-12	82,16	P3-12	62,01
13º	P2-03	123,42	P3-16	82,17	P3-16	62,02
14º	P1-03	123,49	P1-03	82,20	P1-03	62,11
15º	P1-07	123,52	ASHRAE	82,45	ASHRAE	62,28
16º	P2-07	123,54	P2-07	82,57	P2-07	62,33
17º	P1-11	123,67	P2-15	82,67	P1-07	62,45
18º	P2-11	123,68	P1-07	82,70	P2-15	62,49
19º	ASHRAE	123,68	P2-11	82,71	P2-11	62,62
20º	P2-15	123,78	P1-15	82,72	P3-03	62,64
21º	P1-15	123,87	P3-03	82,78	P1-15	62,64
22º	P3-03	123,89	P4-04	82,85	P4-04	62,73
23º	P4-04	123,97	P1-11	82,86	P1-11	62,81
24º	P3-07	124,09	P3-07	83,08	P3-07	62,90
25º	P4-08	124,20	P3-11	83,23	P4-08	63,09
26º	P3-11	124,23	P4-08	83,23	P3-15	63,11
27º	P4-16	124,32	P3-15	83,26	P3-11	63,12
28º	P3-15	124,33	P4-16	83,31	P4-16	63,19
29º	P4-12	124,34	P4-12	83,39	P4-12	63,31
30º	P4-03	124,96	P4-03	83,90	P4-03	63,82
31º	P4-07	125,17	P4-07	84,28	P4-07	64,20
32º	P4-15	125,28	P4-15	84,32	P4-15	64,25
33º	P4-11	125,30	P4-11	84,40	P4-11	64,37
34º	P2-06	126,64	P2-02	85,45	P2-02	65,31

Tabela C.2: Ranking dos consumos de energia em Natal – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-02	126,66	P1-02	85,63	P1-02	65,52
36º	P1-06	126,71	P2-06	85,78	P2-06	65,68
37º	P2-10	126,75	P2-10	85,87	P2-14	65,73
38º	P1-02	126,83	P3-02	85,95	P1-06	65,76
39º	P1-10	126,84	P2-14	85,97	P2-10	65,82
40º	P2-14	126,94	P1-06	85,98	P3-02	65,84
41º	P3-02	127,10	P1-10	86,07	P1-14	65,96
42º	P3-06	127,11	P1-14	86,17	P1-10	66,08
43º	P1-14	127,11	P3-06	86,19	P3-06	66,20
44º	P3-10	127,22	P3-10	86,29	P3-14	66,23
45º	P3-14	127,36	P3-14	86,39	P3-10	66,34
46º	P4-02	127,94	P4-02	86,93	P4-02	66,87
47º	P4-06	128,07	P4-06	87,25	P4-06	67,21
48º	P4-10	128,19	P4-14	87,29	P4-14	67,23
49º	P4-14	128,20	P4-10	87,36	P4-10	67,34
50º	P2-05	129,00	P2-01	87,93	P2-01	67,70
51º	P2-09	129,08	P2-05	88,00	P2-05	67,89
52º	P2-01	129,17	P2-09	88,07	P2-09	67,90
53º	P1-05	129,19	P1-01	88,15	P2-13	67,98
54º	P1-09	129,28	P3-01	88,19	P1-01	67,98
55º	P2-13	129,28	P2-13	88,20	P3-01	68,01
56º	P3-05	129,30	P3-05	88,35	P1-05	68,17
57º	P3-01	129,35	P1-05	88,36	P3-05	68,21
58º	P3-09	129,38	P1-09	88,40	P1-13	68,26
59º	P1-01	129,43	P3-13	88,42	P3-09	68,29
60º	P3-13	129,46	P3-09	88,43	P3-13	68,30
61º	P1-13	129,55	P1-13	88,52	P1-09	68,34
62º	P4-01	129,97	P4-01	88,95	P4-01	68,83
63º	P4-05	130,00	P4-05	89,15	P4-05	69,07
64º	P4-09	130,10	P4-13	89,17	P4-13	69,09
65º	P4-13	130,11	P4-09	89,23	P4-09	69,14

Tabela C.3: Ranking dos consumos de energia em Campina Grande – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	114,19	P2-04	74,12	P2-04	54,54
2º	P2-08	114,26	P2-08	74,37	P1-04	54,79
3º	P2-12	114,36	P1-04	74,37	P2-08	54,84
4º	P2-16	114,45	P2-12	74,52	P2-12	55,00
5º	P1-04	114,45	P2-16	74,53	P3-04	55,04
6º	P1-08	114,47	P3-04	74,56	P2-16	55,04
7º	P3-04	114,54	P1-08	74,62	P1-08	55,09
8º	P1-12	114,56	P1-12	74,76	P1-12	55,31
9º	P3-08	114,66	P1-16	74,81	P1-16	55,34
10º	P1-16	114,73	P3-08	74,84	P3-08	55,36
11º	P3-12	114,74	P3-16	74,95	P2-03	55,49
12º	P3-16	114,79	P3-12	74,99	P3-16	55,52
13º	P2-03	114,98	P2-03	75,01	P3-12	55,52
14º	P2-07	115,07	P2-07	75,27	P2-07	55,79
15º	P2-11	115,17	P1-03	75,33	P1-03	55,81
16º	P2-15	115,22	P2-15	75,39	P2-15	55,96
17º	P1-03	115,29	P2-11	75,40	P3-03	55,98
18º	P3-03	115,32	P3-03	75,44	P2-11	56,02
19º	P4-04	115,33	P4-04	75,52	P4-04	56,11
20º	P1-07	115,33	P1-07	75,60	P1-07	56,11
21º	P1-11	115,44	P3-07	75,73	P3-07	56,29
22º	P3-07	115,45	P1-11	75,73	P1-15	56,32
23º	P4-08	115,46	P1-15	75,74	P1-11	56,33
24º	P3-11	115,50	P3-15	75,79	P3-15	56,41
25º	P3-15	115,55	P4-08	75,84	P4-08	56,45
26º	P1-15	115,56	P3-11	75,86	P3-11	56,47
27º	P4-16	115,58	P4-16	75,88	P4-16	56,54
28º	P4-12	115,61	P4-12	75,93	P4-12	56,61
29º	P4-03	116,11	ASHRAE	76,21	ASHRAE	56,61
30º	ASHRAE	116,19	P4-03	76,38	P4-03	57,02
31º	P4-07	116,30	P4-07	76,71	P4-07	57,36
32º	P4-15	116,34	P4-15	76,72	P4-15	57,42
33º	P4-11	116,39	P4-11	76,84	P4-11	57,55
34º	P2-06	118,10	P2-02	78,19	P2-02	58,68

Tabela C.3: Ranking dos consumos de energia em Campina Grande – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-10	118,13	P2-06	78,33	P2-06	58,83
36º	P2-02	118,14	P2-10	78,42	P2-10	59,00
37º	P2-14	118,26	P2-14	78,45	P2-14	59,02
38º	P3-02	118,35	P3-02	78,48	P3-02	59,02
39º	P3-06	118,36	P1-02	78,61	P1-02	59,12
40º	P3-10	118,39	P3-06	78,66	P3-06	59,20
41º	P1-06	118,48	P3-14	78,73	P1-06	59,25
42º	P3-14	118,48	P1-06	78,75	P3-14	59,35
43º	P1-10	118,54	P3-10	78,75	P3-10	59,37
44º	P1-02	118,57	P1-10	78,84	P1-10	59,42
45º	P1-14	118,71	P1-14	78,89	P1-14	59,49
46º	P4-02	118,97	P4-02	79,24	P4-02	59,87
47º	P4-06	119,03	P4-06	79,47	P4-06	60,09
48º	P4-10	119,08	P4-14	79,49	P4-14	60,18
49º	P4-14	119,12	P4-10	79,56	P4-10	60,21
50º	P2-05	120,17	P2-05	80,36	P2-05	60,81
51º	P2-09	120,17	P2-01	80,39	P2-01	60,84
52º	P3-09	120,27	P2-09	80,42	P2-09	60,94
53º	P3-05	120,28	P2-13	80,47	P3-01	60,97
54º	P2-13	120,36	P3-01	80,48	P2-13	61,00
55º	P3-13	120,39	P3-05	80,52	P3-05	61,01
56º	P3-01	120,41	P3-13	80,58	P3-13	61,15
57º	P2-01	120,42	P3-09	80,59	P3-09	61,15
58º	P1-05	120,65	P1-05	80,89	P1-05	61,34
59º	P4-05	120,68	P1-09	80,93	P1-01	61,40
60º	P1-09	120,68	P1-01	80,95	P1-09	61,45
61º	P4-09	120,73	P4-01	80,95	P4-01	61,54
62º	P4-01	120,74	P1-13	81,03	P1-13	61,57
63º	P4-13	120,77	P4-13	81,09	P4-05	61,67
64º	P1-13	120,91	P4-05	81,09	P4-13	61,74
65º	P1-01	120,97	P4-09	81,15	P4-09	61,78

Tabela C.4: Ranking dos consumos de energia em Campina Grande – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	112,94	P2-04	73,12	P2-04	53,65
2º	P2-08	113,22	P1-04	73,41	P1-04	53,93
3º	P1-04	113,23	P2-08	73,52	P2-08	54,11
4º	P2-16	113,31	P2-16	73,62	P2-16	54,19
5º	P3-04	113,38	P3-04	73,67	P3-04	54,22
6º	P2-12	113,38	P2-12	73,67	P2-12	54,27
7º	P1-08	113,49	P1-08	73,83	P1-08	54,45
8º	P1-16	113,63	P1-16	73,94	P1-16	54,51
9º	P1-12	113,65	P1-12	73,99	P1-12	54,57
10º	P3-08	113,67	P3-08	74,05	P2-03	54,66
11º	P3-16	113,73	P2-03	74,11	P3-16	54,73
12º	P3-12	113,78	P3-16	74,12	P3-08	54,73
13º	P2-03	113,82	P3-12	74,18	P3-12	54,84
14º	P2-07	114,08	P1-03	74,45	P1-03	55,01
15º	P2-15	114,17	P2-07	74,47	P2-07	55,11
16º	P1-03	114,17	P2-15	74,56	P2-15	55,17
17º	P2-11	114,24	P3-03	74,60	P3-03	55,20
18º	P3-03	114,24	P2-11	74,64	P2-11	55,26
19º	P4-04	114,32	P4-04	74,76	P4-04	55,41
20º	P1-07	114,44	P1-07	74,84	P1-07	55,52
21º	P3-07	114,51	P1-15	74,93	P1-15	55,54
22º	P1-15	114,54	P3-07	74,97	P3-07	55,65
23º	P3-15	114,57	P1-11	75,00	P3-15	55,67
24º	P4-08	114,60	P3-15	75,02	P1-11	55,68
25º	P1-11	114,61	P3-11	75,13	P3-11	55,79
26º	P4-16	114,66	P4-08	75,14	ASHRAE	55,81
27º	P3-11	114,68	P4-16	75,17	P4-08	55,84
28º	P4-12	114,77	ASHRAE	75,29	P4-16	55,87
29º	ASHRAE	115,15	P4-12	75,30	P4-12	56,01
30º	P4-03	115,18	P4-03	75,67	P4-03	56,35
31º	P4-07	115,46	P4-07	76,04	P4-15	56,78
32º	P4-15	115,49	P4-15	76,06	P4-07	56,84
33º	P4-11	115,63	P4-11	76,18	P4-11	56,93
34º	P2-02	116,77	P2-02	77,07	P2-02	57,60

Tabela C.4: Ranking dos consumos de energia em Campina Grande – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-06	116,92	P2-06	77,34	P2-06	57,93
36º	P2-14	117,03	P2-14	77,42	P2-14	58,01
37º	P2-10	117,08	P3-02	77,45	P3-02	58,02
38º	P3-02	117,09	P2-10	77,47	P1-02	58,05
39º	P1-02	117,21	P1-02	77,52	P2-10	58,08
40º	P3-06	117,26	P3-06	77,74	P3-06	58,37
41º	P3-14	117,34	P3-14	77,79	P1-06	58,41
42º	P1-06	117,39	P1-06	77,81	P3-14	58,41
43º	P3-10	117,42	P3-10	77,87	P1-14	58,49
44º	P1-14	117,49	P1-14	77,90	P3-10	58,51
45º	P1-10	117,53	P1-10	77,96	P1-10	58,58
46º	P4-02	117,88	P4-02	78,37	P4-02	59,01
47º	P4-06	118,10	P4-06	78,68	P4-06	59,37
48º	P4-14	118,13	P4-14	78,69	P4-14	59,38
49º	P4-10	118,25	P4-10	78,83	P2-01	59,50
50º	P2-01	118,79	P2-01	79,02	P4-10	59,54
51º	P2-05	118,80	P2-05	79,17	P2-05	59,72
52º	P2-13	118,92	P3-01	79,24	P3-01	59,76
53º	P2-09	118,93	P2-13	79,25	P2-13	59,79
54º	P3-01	118,93	P2-09	79,27	P2-09	59,84
55º	P3-05	118,99	P3-05	79,42	P3-05	60,02
56º	P3-13	119,07	P3-13	79,47	P3-13	60,05
57º	P3-09	119,12	P3-09	79,53	P1-01	60,05
58º	P1-01	119,32	P1-01	79,58	P3-09	60,13
59º	P1-05	119,37	P1-05	79,74	P1-05	60,29
60º	P1-13	119,47	P1-13	79,82	P1-13	60,35
61º	P1-09	119,48	P1-09	79,86	P1-09	60,42
62º	P4-01	119,49	P4-01	79,92	P4-01	60,52
63º	P4-05	119,61	P4-13	80,15	P4-13	60,80
64º	P4-13	119,64	P4-05	80,16	P4-05	60,82
65º	P4-09	119,74	P4-09	80,26	P4-09	60,93

Tabela C.5: Ranking dos consumos de energia em Campos Sales – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	119,12	P2-04	78,59	P2-04	58,74
2º	P1-04	119,13	P1-04	78,68	P1-04	58,83
3º	P1-08	119,18	P1-08	78,80	P1-08	58,99
4º	P2-08	119,18	P2-08	78,82	P2-08	59,02
5º	P1-12	119,30	P1-12	78,95	P1-12	59,17
6º	P2-12	119,33	P2-12	78,99	P2-12	59,20
7º	P2-16	119,43	P2-16	79,11	P2-16	59,38
8º	P1-16	119,52	P1-16	79,19	P1-16	59,44
9º	P3-04	119,71	P3-04	79,29	P3-04	59,49
10º	P3-08	119,84	P3-08	79,52	P3-08	59,80
11º	P3-12	119,97	P2-03	79,68	P2-03	59,88
12º	P3-16	120,00	P1-03	79,72	P3-12	59,97
13º	P2-03	120,09	P3-12	79,72	P3-16	60,01
14º	P1-03	120,14	P3-16	79,72	P1-03	60,02
15º	P2-07	120,23	P2-07	79,91	P2-07	60,18
16º	P1-07	120,26	P1-07	79,99	P1-07	60,23
17º	P2-11	120,34	P2-11	80,10	P2-11	60,35
18º	P2-15	120,38	P2-15	80,12	ASHRAE	60,39
19º	P1-11	120,38	P1-11	80,14	P1-11	60,40
20º	P1-15	120,46	ASHRAE	80,22	P2-15	60,44
21º	P3-03	120,68	P1-15	80,25	P1-15	60,59
22º	ASHRAE	120,70	P3-03	80,36	P3-03	60,62
23º	P3-07	120,86	P3-07	80,61	P3-07	60,93
24º	P4-04	120,89	P4-04	80,65	P4-04	60,95
25º	P3-15	120,95	P3-15	80,76	P3-11	61,09
26º	P3-11	120,97	P3-11	80,80	P3-15	61,09
27º	P4-08	121,11	P4-08	80,97	P4-08	61,28
28º	P4-16	121,16	P4-16	81,04	P4-16	61,42
29º	P4-12	121,22	P4-12	81,12	P4-12	61,46
30º	P4-03	121,87	P4-03	81,70	P4-03	62,06
31º	P4-07	122,10	P4-07	82,03	P4-07	62,38
32º	P4-15	122,16	P4-15	82,07	P4-15	62,49
33º	P4-11	122,22	P4-11	82,18	P4-11	62,54
34º	P2-06	123,58	P2-02	83,16	P2-02	63,38

Tabela C.5: Ranking dos consumos de energia em Campos Sales – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-02	123,58	P2-06	83,29	P2-06	63,52
36º	P2-10	123,66	P1-02	83,33	P1-02	63,58
37º	P1-06	123,67	P2-10	83,40	P2-10	63,64
38º	P1-02	123,71	P1-06	83,42	P1-06	63,65
39º	P1-10	123,76	P2-14	83,46	P2-14	63,77
40º	P2-14	123,77	P1-10	83,53	P1-10	63,79
41º	P1-14	123,89	P1-14	83,69	P3-02	63,95
42º	P3-02	124,05	P3-02	83,69	P1-14	64,01
43º	P3-06	124,08	P3-06	83,86	P3-06	64,14
44º	P3-10	124,14	P3-10	83,97	P3-10	64,25
45º	P3-14	124,20	P3-14	83,98	P3-14	64,31
46º	P4-02	125,03	P4-02	84,83	P4-02	65,17
47º	P4-06	125,13	P4-06	85,05	P4-06	65,39
48º	P4-10	125,19	P4-14	85,10	P4-14	65,51
49º	P4-14	125,20	P4-10	85,16	P4-10	65,56
50º	P2-05	126,02	P2-05	85,66	P2-05	65,84
51º	P2-09	126,05	P2-09	85,70	P2-01	65,87
52º	P2-13	126,21	P2-01	85,73	P2-09	65,91
53º	P1-05	126,23	P2-13	85,83	P2-13	66,06
54º	P1-09	126,27	P1-05	85,90	P1-05	66,09
55º	P2-01	126,27	P1-09	85,95	P1-09	66,18
56º	P3-05	126,30	P1-01	86,01	P1-01	66,18
57º	P3-09	126,34	P3-01	86,02	P3-01	66,23
58º	P3-13	126,43	P3-05	86,02	P3-05	66,25
59º	P3-01	126,46	P3-09	86,07	P3-09	66,33
60º	P1-13	126,56	P3-13	86,13	P1-13	66,41
61º	P1-01	126,58	P1-13	86,14	P3-13	66,42
62º	P4-05	127,07	P4-01	86,82	P4-01	67,14
63º	P4-01	127,10	P4-05	86,93	P4-05	67,23
64º	P4-13	127,13	P4-13	86,97	P4-09	67,33
65º	P4-09	127,13	P4-09	87,00	P4-13	67,34

Tabela C.6: Ranking dos consumos de energia em Campos Sales – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	118,13	P2-04	77,77	P2-04	58,06
2º	P1-04	118,26	P1-04	77,93	P1-04	58,18
3º	P2-08	118,39	P2-08	78,22	P2-08	58,48
4º	P1-08	118,42	P1-08	78,27	P1-08	58,53
5º	P2-16	118,52	P2-16	78,32	P2-16	58,65
6º	P2-12	118,52	P2-12	78,40	P2-12	58,74
7º	P1-12	118,56	P1-12	78,45	P1-12	58,77
8º	P1-16	118,72	P1-16	78,47	P1-16	58,80
9º	P3-04	118,79	P3-04	78,52	P3-04	58,82
10º	P3-08	119,05	P2-03	78,92	P2-03	59,23
11º	P3-16	119,16	P3-08	78,98	P3-08	59,28
12º	P2-03	119,19	P3-16	79,01	P3-16	59,35
13º	P3-12	119,20	P1-03	79,02	P1-03	59,36
14º	P1-03	119,30	P3-12	79,16	P3-12	59,51
15º	P2-07	119,46	P2-07	79,37	P2-07	59,66
16º	P1-07	119,56	P2-15	79,41	P2-15	59,76
17º	P2-15	119,56	P1-07	79,48	P1-07	59,79
18º	P2-11	119,59	P2-11	79,54	ASHRAE	59,80
19º	P1-11	119,68	P1-15	79,54	P2-11	59,92
20º	P1-15	119,70	ASHRAE	79,57	P1-15	59,98
21º	P3-03	119,84	P3-03	79,64	P3-03	59,99
22º	ASHRAE	119,89	P1-11	79,65	P1-11	60,02
23º	P4-04	120,10	P4-04	79,97	P4-04	60,36
24º	P3-07	120,12	P3-15	80,09	P3-07	60,43
25º	P3-15	120,18	P3-07	80,09	P3-15	60,49
26º	P3-11	120,24	P3-11	80,26	P3-11	60,67
27º	P4-08	120,39	P4-16	80,41	P4-08	60,81
28º	P4-16	120,44	P4-08	80,44	P4-16	60,84
29º	P4-12	120,53	P4-12	80,60	P4-12	61,04
30º	P4-03	121,13	P4-03	81,06	P4-03	61,48
31º	P4-07	121,41	P4-15	81,48	P4-07	61,93
32º	P4-15	121,45	P4-07	81,53	P4-15	61,94
33º	P4-11	121,55	P4-11	81,68	P4-11	62,16
34º	P2-02	122,47	P2-02	82,18	P2-02	62,48

Tabela C.6: Ranking dos consumos de energia em Campos Sales – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-06	122,58	P1-02	82,38	P1-02	62,73
36º	P1-02	122,66	P2-06	82,53	P2-06	62,82
37º	P2-10	122,70	P2-14	82,57	P2-14	62,93
38º	P2-14	122,73	P2-10	82,67	P2-10	63,02
39º	P1-06	122,78	P1-06	82,74	P1-06	63,04
40º	P1-10	122,90	P3-02	82,78	P3-02	63,12
41º	P1-14	122,96	P1-14	82,81	P1-14	63,21
42º	P3-02	122,99	P1-10	82,87	P1-10	63,24
43º	P3-06	123,13	P3-06	83,15	P3-06	63,47
44º	P3-14	123,25	P3-14	83,15	P3-14	63,53
45º	P3-10	123,26	P3-10	83,28	P3-10	63,67
46º	P4-02	124,12	P4-02	84,04	P4-02	64,44
47º	P4-06	124,31	P4-14	84,38	P2-01	64,75
48º	P4-14	124,37	P4-06	84,43	P4-06	64,82
49º	P4-10	124,44	P2-01	84,49	P4-14	64,82
50º	P2-05	124,79	P4-10	84,57	P2-05	64,94
51º	P2-01	124,83	P2-05	84,69	P4-10	65,02
52º	P2-09	124,88	P2-13	84,72	P2-13	65,03
53º	P2-13	124,94	P1-01	84,78	P1-01	65,04
54º	P1-05	125,09	P2-09	84,79	P2-09	65,11
55º	P1-01	125,13	P3-01	84,89	P3-01	65,19
56º	P3-01	125,15	P1-05	84,99	P1-05	65,24
57º	P1-09	125,16	P1-13	85,02	P1-13	65,37
58º	P3-05	125,18	P1-09	85,08	P1-09	65,40
59º	P1-13	125,25	P3-13	85,12	P3-05	65,42
60º	P3-09	125,26	P3-05	85,13	P3-13	65,47
61º	P3-13	125,27	P3-09	85,23	P3-09	65,59
62º	P4-01	126,00	P4-01	85,87	P4-01	66,24
63º	P4-05	126,10	P4-13	86,10	P4-13	66,51
64º	P4-13	126,13	P4-05	86,17	P4-05	66,53
65º	P4-09	126,19	P4-09	86,28	P4-09	66,69

Tabela C.7: Ranking dos consumos de energia em Montes Claros – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	112,59	P2-04	73,35	P2-04	54,19
2º	P2-08	112,81	P1-04	73,59	P1-04	54,48
3º	P1-04	112,88	P2-08	73,69	P2-08	54,66
4º	P1-08	112,99	P1-08	73,88	P1-08	54,77
5º	P2-12	113,01	P2-12	73,96	P2-12	54,87
6º	P2-16	113,03	P2-16	74,01	P3-04	54,96
7º	P1-12	113,09	P3-04	74,05	P2-16	54,97
8º	P3-04	113,19	P1-12	74,06	P1-12	54,98
9º	P1-16	113,35	P1-16	74,28	P1-16	55,26
10º	P3-08	113,48	P2-03	74,37	P2-03	55,29
11º	P2-03	113,50	P3-08	74,41	P3-08	55,43
12º	P3-16	113,59	P1-03	74,56	P1-03	55,58
13º	P3-12	113,64	P3-16	74,59	P3-16	55,58
14º	P2-07	113,75	P3-12	74,68	P3-12	55,64
15º	P1-03	113,77	P2-07	74,72	P2-07	55,74
16º	P2-11	113,94	P2-15	74,91	P1-07	55,94
17º	P2-15	113,94	P1-07	74,98	P2-11	55,95
18º	P1-07	113,99	P2-11	74,98	P2-15	55,96
19º	P3-03	114,12	P3-03	75,05	P3-03	56,04
20º	P1-11	114,14	P1-11	75,16	P1-11	56,14
21º	P1-15	114,23	P1-15	75,22	P1-15	56,31
22º	P3-07	114,41	P3-07	75,46	P4-04	56,49
23º	P4-04	114,46	P4-04	75,46	P3-07	56,49
24º	P3-15	114,50	P3-15	75,56	ASHRAE	56,59
25º	P3-11	114,55	P3-11	75,68	P3-15	56,62
26º	P4-08	114,77	ASHRAE	75,77	P3-11	56,68
27º	P4-16	114,79	P4-08	75,92	P4-08	56,95
28º	P4-12	114,91	P4-16	75,95	P4-16	57,05
29º	ASHRAE	115,07	P4-12	76,11	P4-12	57,14
30º	P4-03	115,35	P4-03	76,44	P4-03	57,52
31º	P4-07	115,67	P4-15	76,91	P4-07	57,96
32º	P4-15	115,71	P4-07	76,91	P4-15	58,04
33º	P4-11	115,82	P4-11	77,09	P4-11	58,14
34º	P2-02	116,91	P2-02	77,65	P2-02	58,53

Tabela C.7: Ranking dos consumos de energia em Montes Claros – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-06	116,99	P2-06	77,93	P2-06	58,81
36º	P2-10	117,09	P1-02	78,02	P1-02	58,91
37º	P2-14	117,18	P2-10	78,06	P2-10	58,97
38º	P1-02	117,29	P2-14	78,07	P2-14	59,08
39º	P1-06	117,30	P3-02	78,19	P1-06	59,10
40º	P3-02	117,36	P1-06	78,22	P3-02	59,13
41º	P1-10	117,40	P1-10	78,33	P1-10	59,26
42º	P3-06	117,49	P1-14	78,45	P3-06	59,43
43º	P3-10	117,56	P3-06	78,51	P1-14	59,46
44º	P1-14	117,61	P3-14	78,59	P3-10	59,58
45º	P3-14	117,62	P3-10	78,63	P3-14	59,60
46º	P4-02	118,38	P4-02	79,37	P4-02	60,40
47º	P4-06	118,58	P4-06	79,74	P2-01	60,55
48º	P4-10	118,63	P4-14	79,75	P2-05	60,66
49º	P4-14	118,64	P2-01	79,76	P4-06	60,74
50º	P2-05	119,03	P2-05	79,86	P2-09	60,77
51º	P2-09	119,10	P4-10	79,86	P4-14	60,83
52º	P2-01	119,16	P2-09	79,96	P2-13	60,89
53º	P2-13	119,24	P2-13	79,99	P3-01	60,94
54º	P3-05	119,34	P3-01	80,09	P4-10	60,95
55º	P3-01	119,37	P1-01	80,25	P1-01	61,04
56º	P3-09	119,42	P3-05	80,26	P1-05	61,05
57º	P1-05	119,43	P1-05	80,26	P3-05	61,11
58º	P1-09	119,44	P3-13	80,34	P1-09	61,19
59º	P3-13	119,49	P1-09	80,35	P3-09	61,23
60º	P1-01	119,70	P3-09	80,37	P3-13	61,27
61º	P1-13	119,80	P1-13	80,50	P1-13	61,38
62º	P4-01	120,11	P4-01	81,00	P4-01	61,96
63º	P4-05	120,17	P4-05	81,25	P4-05	62,18
64º	P4-13	120,26	P4-13	81,27	P4-13	62,30
65º	P4-09	120,28	P4-09	81,35	P4-09	62,32

Tabela C.8: Ranking dos consumos de energia em Montes Claros – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	111,56	P2-04	72,50	P2-04	53,54
2º	P1-04	111,87	P1-04	72,78	P1-04	53,88
3º	P2-08	111,96	P2-08	73,13	P2-08	54,14
4º	P2-16	112,08	P2-16	73,13	P2-16	54,32
5º	P2-12	112,12	P3-04	73,27	P1-08	54,32
6º	P1-08	112,15	P1-08	73,30	P3-04	54,35
7º	P3-04	112,24	P2-12	73,34	P2-12	54,42
8º	P1-12	112,29	P1-12	73,51	P1-12	54,63
9º	P1-16	112,41	P1-16	73,52	P2-03	54,68
10º	P2-03	112,56	P2-03	73,58	P1-16	54,74
11º	P3-08	112,66	P1-03	73,81	P1-03	54,89
12º	P3-16	112,74	P3-16	73,87	P3-08	54,93
13º	P1-03	112,81	P3-08	73,90	P3-16	54,98
14º	P3-12	112,81	P3-12	74,11	P3-12	55,24
15º	P2-07	112,96	P2-15	74,18	P2-07	55,25
16º	P2-15	113,04	P2-07	74,20	P2-15	55,30
17º	P2-11	113,11	P3-03	74,31	P3-03	55,43
18º	P3-03	113,21	P2-11	74,41	P1-07	55,50
19º	P1-07	113,21	P1-07	74,43	P2-11	55,55
20º	P1-15	113,32	P1-15	74,51	P1-15	55,70
21º	P1-11	113,34	P1-11	74,61	P1-11	55,78
22º	P4-04	113,60	P4-04	74,76	P4-04	55,91
23º	P3-07	113,62	P3-15	74,86	P3-07	55,99
24º	P3-15	113,67	P3-07	74,93	P3-15	56,01
25º	P3-11	113,75	ASHRAE	75,11	ASHRAE	56,02
26º	P4-08	114,00	P3-11	75,13	P3-11	56,28
27º	P4-16	114,06	P4-16	75,30	P4-08	56,47
28º	ASHRAE	114,16	P4-08	75,39	P4-16	56,47
29º	P4-12	114,16	P4-12	75,58	P4-12	56,75
30º	P4-03	114,56	P4-03	75,79	P4-03	56,95
31º	P4-07	114,96	P4-15	76,30	P4-15	57,48
32º	P4-15	114,98	P4-07	76,40	P4-07	57,54
33º	P4-11	115,11	P4-11	76,59	P2-02	57,61
34º	P2-02	115,67	P2-02	76,61	P4-11	57,76

Tabela C.8: Ranking dos consumos de energia em Montes Claros – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-06	115,92	P1-02	76,95	P1-02	58,04
36º	P1-02	116,01	P2-14	77,12	P2-06	58,11
37º	P2-14	116,05	P2-06	77,12	P2-14	58,17
38º	P2-10	116,07	P3-02	77,23	P3-02	58,27
39º	P3-02	116,21	P2-10	77,28	P2-10	58,36
40º	P1-06	116,29	P1-06	77,46	P1-06	58,45
41º	P1-10	116,44	P1-14	77,52	P1-14	58,61
42º	P3-06	116,49	P1-10	77,62	P1-10	58,70
43º	P1-14	116,49	P3-14	77,71	P3-14	58,80
44º	P3-14	116,58	P3-06	77,75	P3-06	58,84
45º	P3-10	116,65	P3-10	77,91	P3-10	59,02
46º	P4-02	117,39	P2-01	78,44	P2-01	59,36
47º	P2-01	117,61	P4-02	78,55	P4-02	59,66
48º	P4-06	117,71	P2-13	78,82	P1-01	59,78
49º	P4-14	117,75	P2-05	78,83	P2-05	59,78
50º	P2-05	117,75	P1-01	78,87	P2-13	59,80
51º	P4-10	117,86	P3-01	78,91	P3-01	59,87
52º	P2-13	117,87	P2-09	78,96	P2-09	59,97
53º	P2-09	117,87	P4-14	79,00	P4-14	60,14
54º	P3-01	117,98	P4-06	79,08	P1-05	60,15
55º	P1-01	118,06	P4-10	79,23	P4-06	60,20
56º	P3-05	118,17	P1-05	79,25	P1-13	60,28
57º	P1-05	118,19	P3-13	79,28	P3-13	60,29
58º	P3-13	118,24	P1-13	79,28	P3-05	60,32
59º	P3-09	118,29	P3-05	79,33	P1-09	60,35
60º	P1-09	118,30	P1-09	79,37	P4-10	60,37
61º	P1-13	118,33	P3-09	79,46	P3-09	60,50
62º	P4-01	118,92	P4-01	79,99	P4-01	61,03
63º	P4-05	119,18	P4-13	80,35	P4-13	61,43
64º	P4-13	119,19	P4-05	80,46	P4-05	61,51
65º	P4-09	119,30	P4-09	80,58	P4-09	61,69

Figura C.7: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 1A

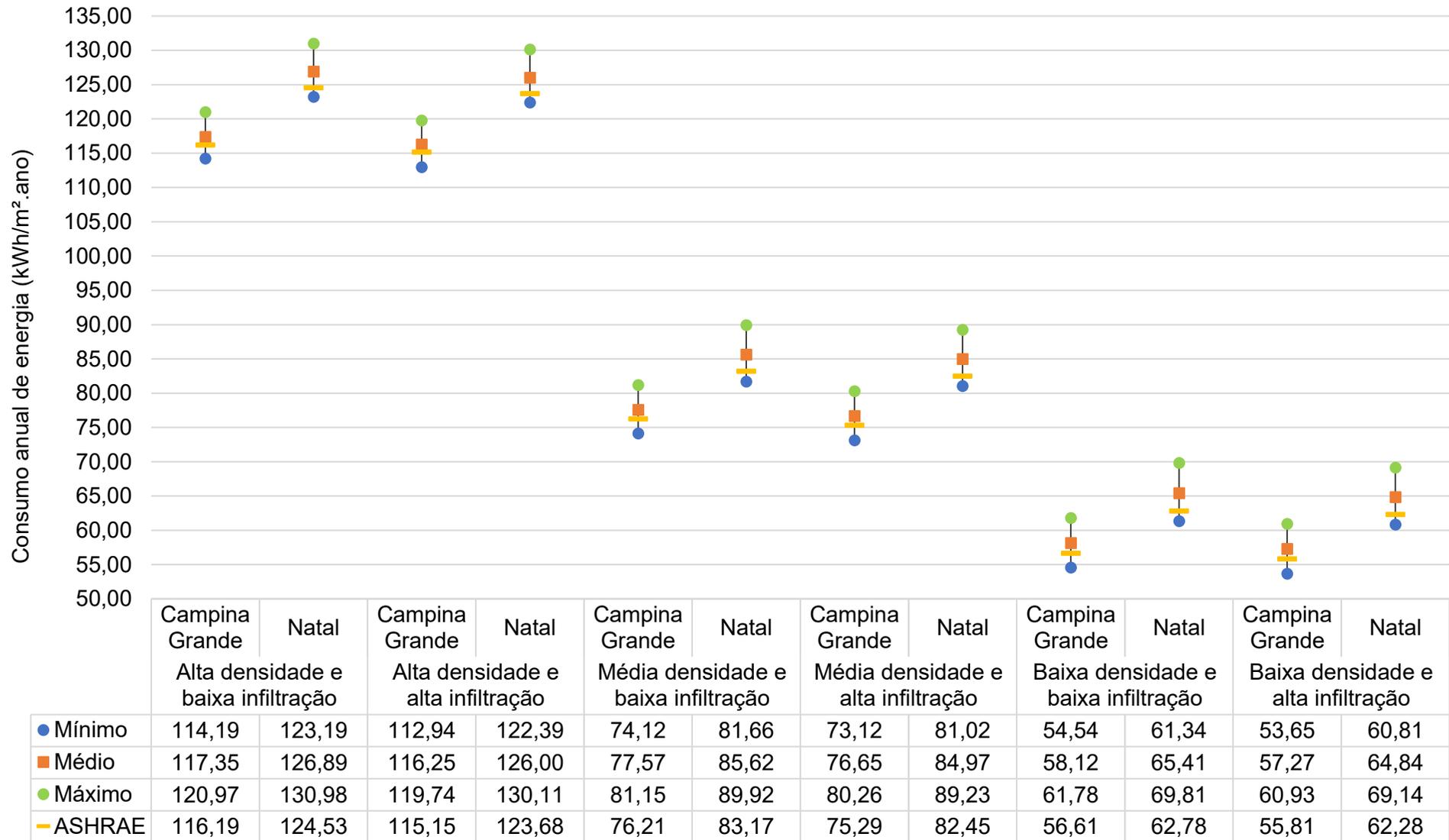
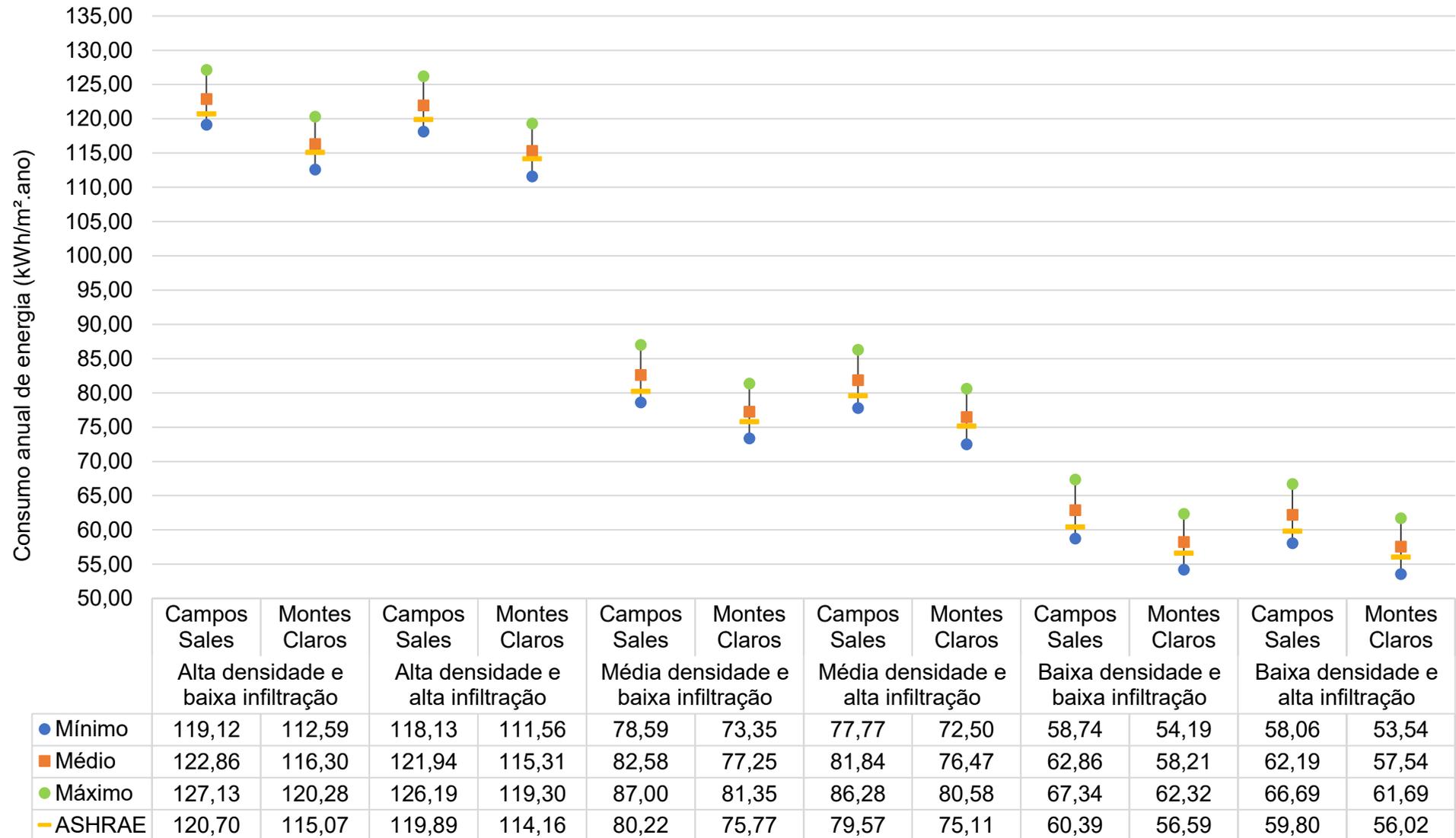


Figura C.8: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 1B



Apêndice D: Análises das cidades nas zonas 2A e 2B

Nas zonas 2A e 2B constatam-se comportamentos diferentes entre os modelos com as especificações de referência da ASHRAE. Em Paraty e São Carlos, a diferença no consumo varia entre 3,4% e 5,6%, e em Caruaru e Campo Grande, a diferença varia somente entre 1,3% e 2,1%. Em ambos os casos, a diferença percentual tende a aumentar quanto menor é a densidade de ocupação. Em Paraty e São Carlos a diferença torna-se maior com o aumento da taxa de infiltração. Em Caruaru e Campo Grande, a diferença reduz com o aumento da taxa de infiltração. Comparando-se o maior e o menor consumo entre Paraty, São Carlos, Caruaru e Campo Grande, tem-se uma diferença percentual de 6,4% em baixa densidade e alta infiltração (Figuras D.1 e D.2).

Quanto ao uso final de energia anual (Figuras D.3 e D.4), verificam-se também comportamentos diferentes em São Carlos e Paraty, de modo geral. Com baixa densidade de ocupação, a iluminação é responsável pela maior parte do consumo de energia nas duas cidades – 40,1% e 40,9% em São Carlos, e 38,7% e 39,2% em Paraty, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Nesse caso, o segundo maior consumo vem do resfriamento. Em Paraty a parcela representativa de resfriamento (35,5% com baixa taxa de infiltração e 34,7% com alta taxa de infiltração) é mais próxima do consumo com iluminação. Por outro lado, São Carlos (32,76% e 31,45% com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente) está mais próxima do consumo com equipamentos. São Carlos e Paraty, devido a condições climáticas, consomem energia com aquecimento, mas esse consumo é maior em São Carlos (0,04% com baixa taxa de infiltração e 0,2% com alta taxa de infiltração) do que em Paraty (0,01% e 0,06% com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente).

Com média densidade de ocupação, o consumo com equipamentos é responsável pela maior parte do consumo em Paraty e São Carlos. Nesta última, a iluminação representa o segundo maior consumo, enquanto em Paraty o consumo com resfriamento segue como o segundo maior. Em São Carlos, os equipamentos representam 40,2% e 40,8%, e a iluminação 30,1% e 30,6%, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Em Paraty, o consumo com equipamentos equivale a 38,6% e 39,1%, e o resfriamento, 32,2% e 31,3%, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Salienta-se que o consumo com aquecimento reduziu nas duas cidades, e sua representatividade nos usos finais diminuiu para 0,02%, com baixa infiltração, e 0,1%, com alta infiltração, em São Carlos. Em Paraty, com baixa

infiltração, não há mais necessidade de aquecimento, e com alta infiltração a parcela de uso final reduziu para 0,04%.

Figura D.1: Consumo total de energia anual por m² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2A

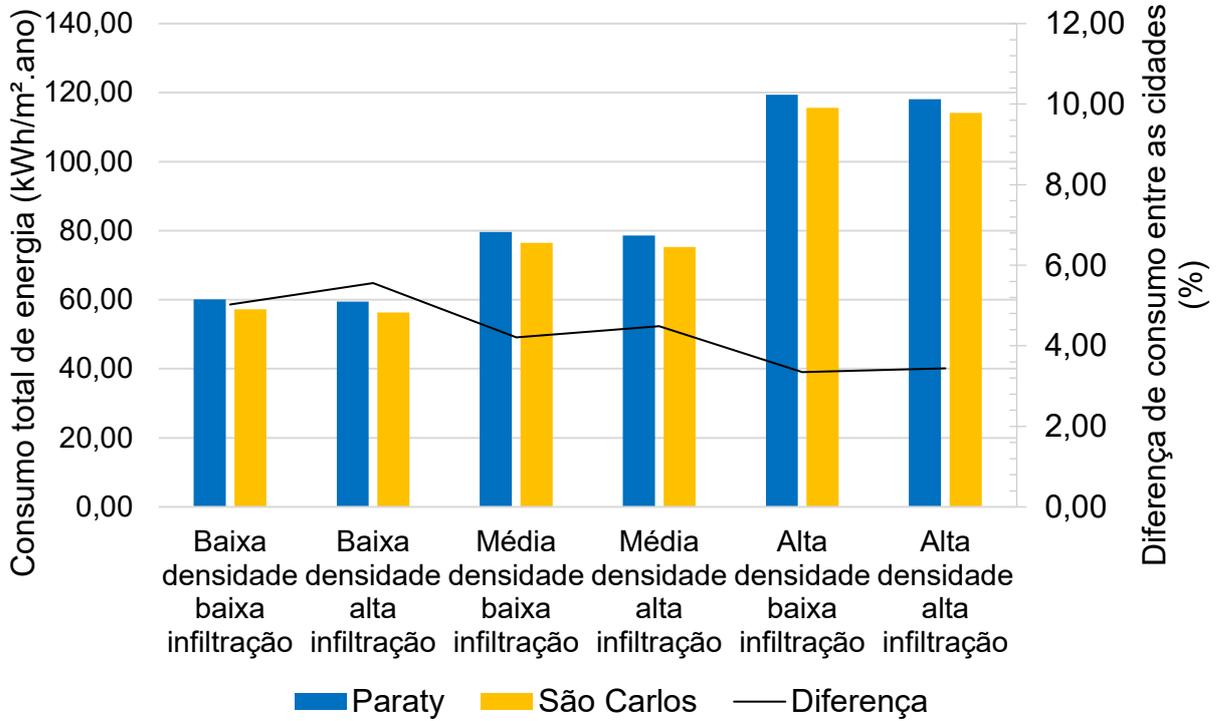
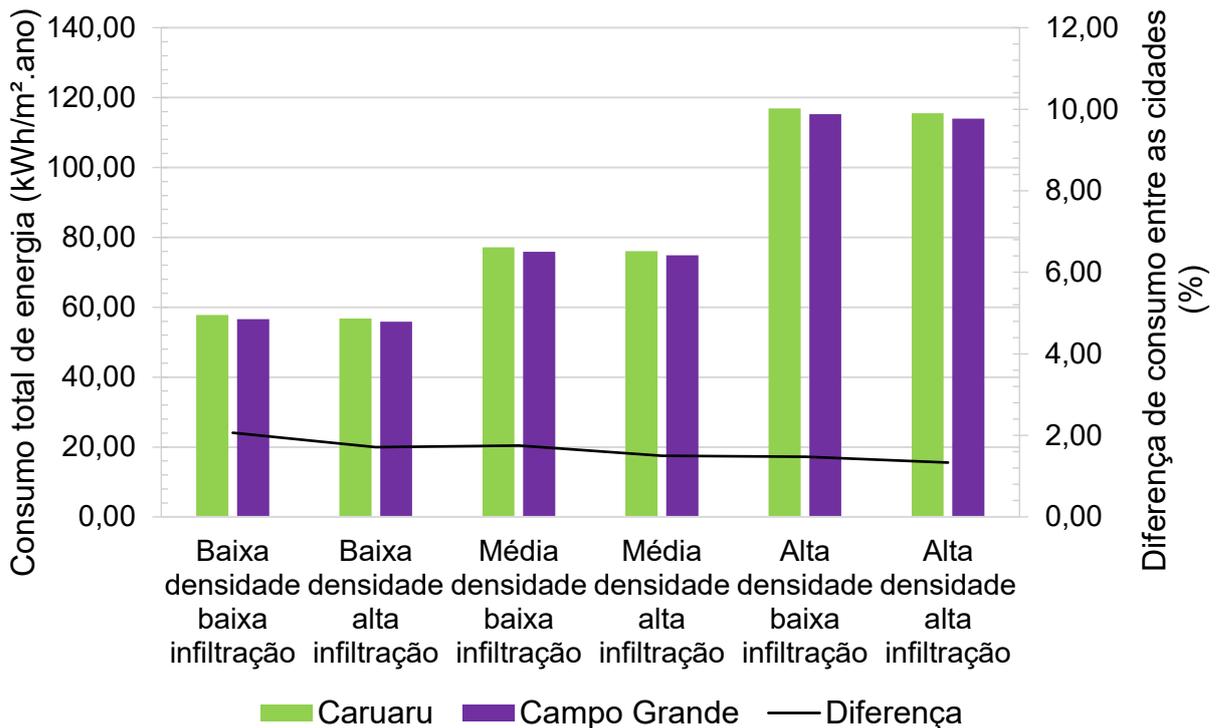


Figura D.2: Consumo total de energia anual por m² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2A



Com alta densidade de ocupação, o consumo é mais similar entre São Carlos e Paraty. Os equipamentos continuam representando a maior parte do consumo total, mais de 50,0% em todos os casos. Com baixa taxa de infiltração, o resfriamento representa 26,7% do total em São Carlos, e 28,8% em Paraty, e o consumo com iluminação é de 19,9% e 19,5%, respectivamente. Com alta taxa de infiltração esses percentuais são de 25,7% e 28,0%, e 20,2% e 19,7%, respectivamente.

Em São Carlos, o aquecimento passa a representar 0,01% e 0,07% do consumo com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente, e em Paraty 0,02%, com alta taxa de infiltração. A necessidade de aquecimento reduziu com o aumento da densidade de ocupação devido ao calor interno gerado. De modo geral, nota-se que esse consumo é menor nas edificações com alta taxa de infiltração porque com a troca de ar não intencional esse calor gerado sai da edificação mais rapidamente, demandando menos energia para o resfriamento. No entanto, é visto que o consumo com aquecimento aumentou nos casos de alta taxa de infiltração pelo mesmo motivo. Considerando que a necessidade de aquecimento é muito inferior à necessidade de resfriamento, de forma geral, os casos de alta taxa de infiltração se mantêm com consumos totais mais baixos.

Figura D.3: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2A – Baixa taxa de infiltração

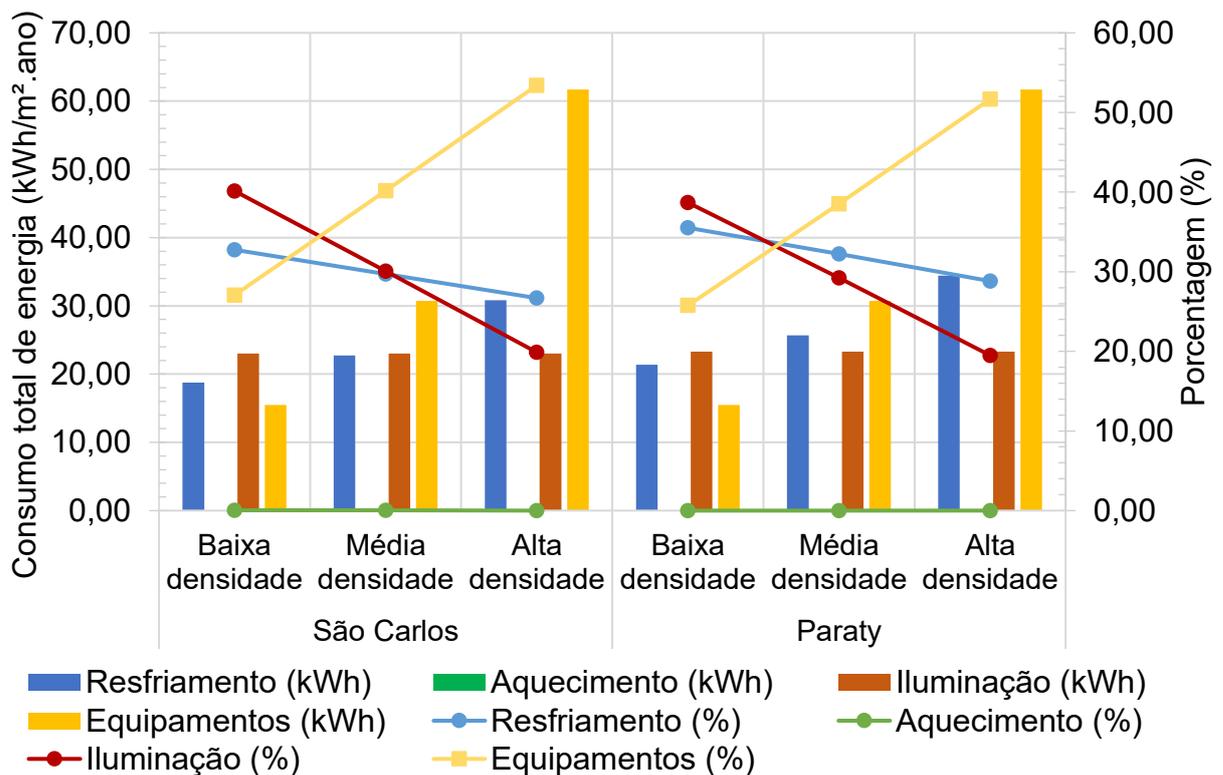
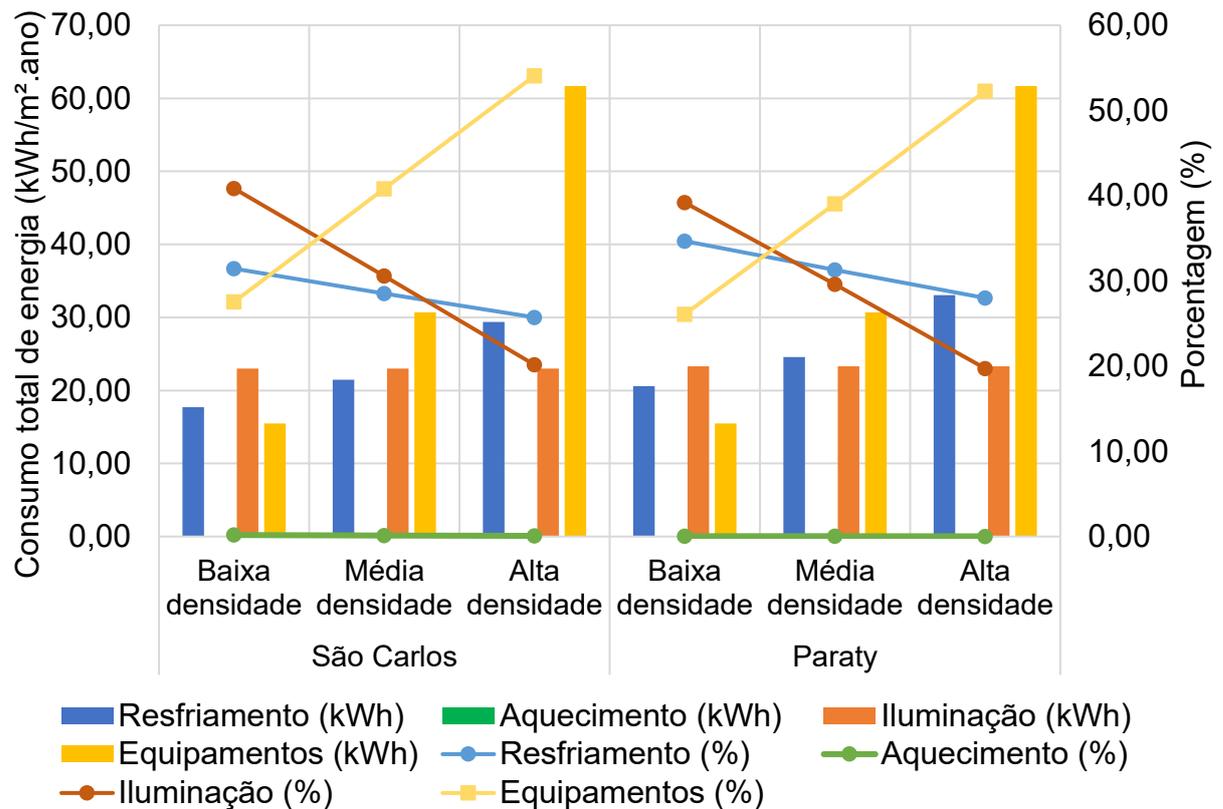


Figura D.4: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2A – Alta taxa de infiltração



Em Caruaru e Campo Grande, cidades na zona 1B, em baixa densidade de ocupação, a iluminação representa maior parte do consumo total em todos os casos, seguida pelo consumo com resfriamento. Em Caruaru, ela representa 39,9% e 40,6%, e o resfriamento 33,3% e 32,1%, em baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Em Campo Grande, a iluminação representa 41,5% e 42,1%, e o resfriamento, 31,0% e 29,8%, em baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Além disso, em Campo Grande, há necessidade de aquecimento em todas as situações (0,1% e 0,3% com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente), mas em Caruaru não há necessidade de aquecimento em nenhuma situação (Figuras D.5 e D.6).

Com média densidade, os equipamentos também passam a representar maior parte do consumo em Campo Grande e Caruaru, seguidos pela iluminação, exceto em Caruaru com baixa taxa de infiltração, em que o resfriamento passa a ser o segundo maior consumo. Com baixa taxa de infiltração, em Caruaru, o consumo com iluminação corresponde a 29,8%, e o resfriamento, 30,4%. Em Campo Grande esses consumos são de 31,0% e 28,5%, respectivamente. Com alta taxa de infiltração, os consumos com iluminação e resfriamento são de 30,3% e 29,3% em Caruaru, respectivamente, e 31,4% e 27,4% em Campo Grande. O aquecimento em Campo

Grande passa a representar 0,1% do total com baixa taxa de infiltração, e 0,2% com alta infiltração.

Figura D.5: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2B – Baixa taxa de infiltração

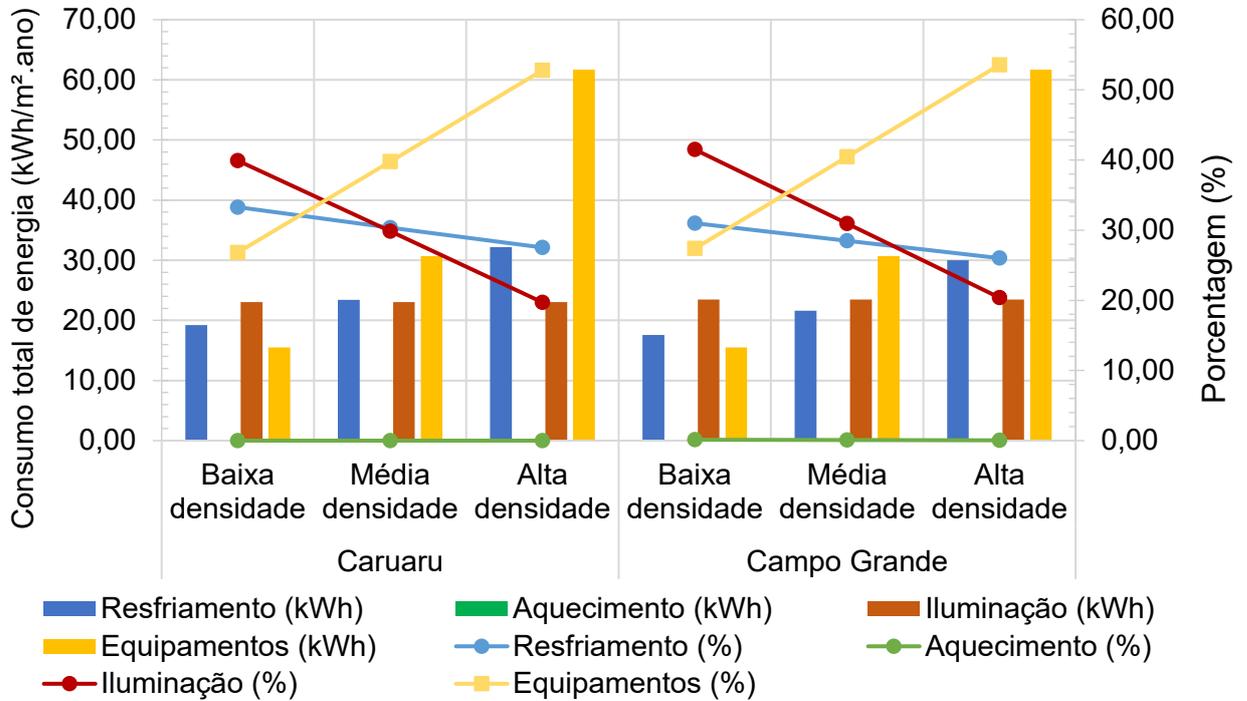
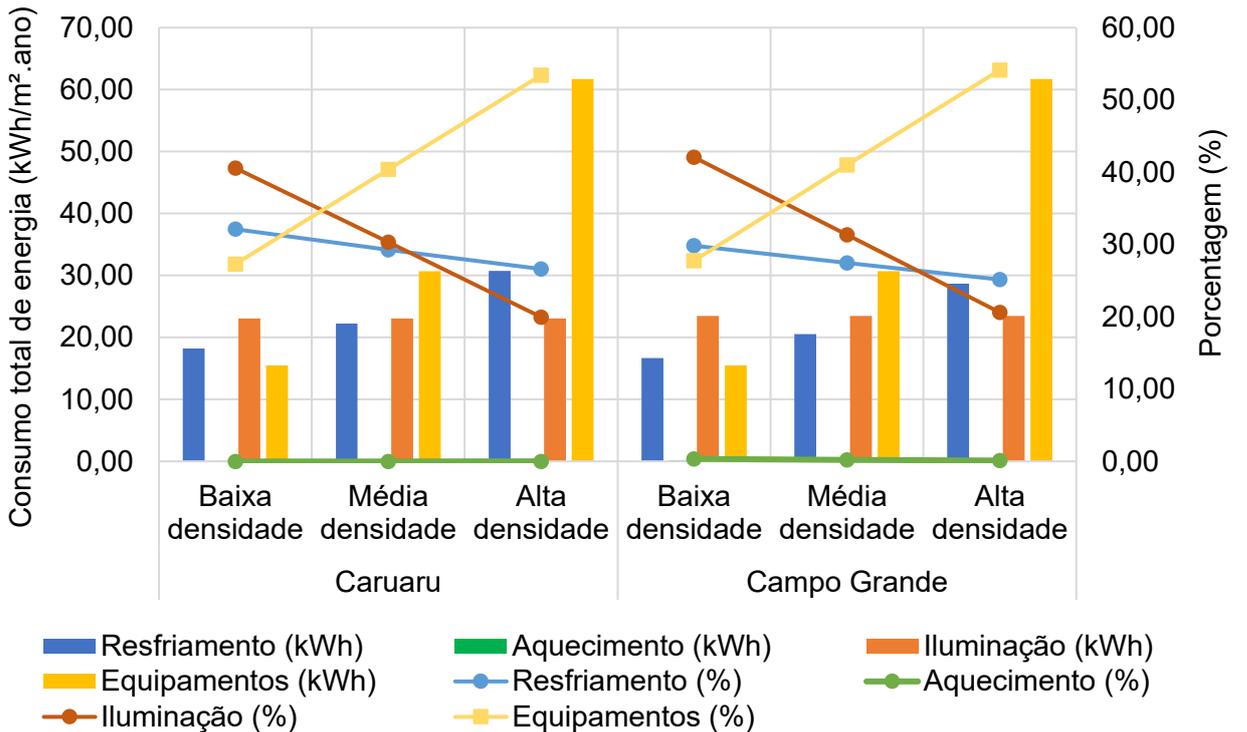


Figura D.6: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 2B – Alta taxa de infiltração



Com alta densidade de ocupação, os equipamentos continuam representando a maior parte do consumo em Campo Grande e Caruaru. Com baixa taxa de infiltração, em Caruaru, os equipamentos representam 52,8%, e o resfriamento, 27,5%. Em Campo Grande, esses consumos são de 53,6% e 26,0%, respectivamente. Com alta infiltração, esses consumos são de 53,4% e 26,6% em Caruaru, e 54,1% e 25,2% em Campo Grande, respectivamente. Além disso, o consumo com aquecimento em Campo Grande cai para 0,1% nas duas taxas de infiltração. Em Campo Grande e Caruaru, o consumo com aquecimento também reduz com o aumento da densidade de ocupação.

Quanto aos consumos encontrados em todos os modelos simulados, a posição do modelo da ASHRAE é mais próxima entre as cidades na zona 2A, mas esse modelo é menos eficiente do que nas outras zonas. Em São Carlos, o modelo com a envoltória da ASHRAE ficou entre o 42º e 54º lugar, e em Paraty entre o 41º e o 51º lugar, dependendo da densidade de ocupação e a taxa de infiltração. Desse modo, em São Carlos e Paraty, com alta densidade e baixa infiltração, houve 53 e 50 combinações de envoltória mais eficientes, respectivamente, do que a envoltória da ASHRAE. Destaca-se que, com média densidade de ocupação, houve equivalência na posição do modelo da ASHRAE em São Carlos e Paraty.

Diferentemente das outras zonas, em São Carlos seria possível atender o pré-requisito da certificação em quase todas as situações simuladas. Lá, a maior economia encontrada foi equivalente a 9,4% em baixa densidade e baixa infiltração, comparando-se o melhor desempenho encontrado com o modelo da ASHRAE. A menor economia foi de 5,0% em alta densidade e alta infiltração. Com baixa taxa de infiltração, houve sete, 24 e 28 modelos com reduções de energia maior que 5,0% nas situações de alta, média e baixa densidade de ocupação, respectivamente. Com alta taxa de infiltração, somente um modelo obteve redução maior que 5,0%, com alta densidade de ocupação, quinze modelos com média densidade de ocupação e 24 com baixa densidade de ocupação.

Em Paraty, somente com alta densidade de ocupação não seria possível atingir a redução mínima de energia. A maior economia foi de 8,3%, também com baixa densidade e baixa infiltração, mas a menor economia foi de 4,5%, na alta densidade e alta infiltração. Com baixa taxa de infiltração, houve situação de dezessete e 21 modelos com economia de energia maior que 5,0% em comparação ao modelo de referência, com média e baixa densidade, respectivamente. Com alta taxa de infiltração, houve somente oito e dezessete modelos atendendo a economia mínima

de energia exigida pela certificação. As Tabelas D.1 a D.4 apresentam o *ranking* dos resultados na zona 2A, mostrando também a posição do modelo da ASHRAE.

Tabela D.1: Ranking dos consumos de energia em São Carlos – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	109,30	P2-04	70,71	P2-04	51,87
2º	P2-08	109,46	P2-08	71,00	P2-08	52,19
3º	P2-12	109,56	P1-04	71,07	P1-04	52,33
4º	P2-16	109,56	P2-16	71,12	P2-12	52,35
5º	P1-04	109,72	P2-12	71,16	P2-16	52,42
6º	P1-08	109,76	P3-04	71,29	P1-08	52,50
7º	P3-04	109,77	P1-08	71,33	P3-04	52,51
8º	P1-12	109,91	P1-12	71,49	P1-12	52,67
9º	P3-08	109,99	P1-16	71,60	P1-16	52,84
10º	P3-16	110,05	P3-08	71,61	P3-08	52,86
11º	P1-16	110,06	P3-16	71,68	P2-03	52,94
12º	P3-12	110,10	P2-03	71,71	P3-16	52,97
13º	P2-03	110,19	P3-12	71,75	P3-12	53,02
14º	P2-07	110,38	P2-07	72,01	P2-07	53,25
15º	P2-15	110,45	P2-15	72,10	P2-15	53,38
16º	P2-11	110,46	P1-03	72,14	P1-03	53,38
17º	P1-03	110,64	P2-11	72,14	P2-11	53,44
18º	P3-03	110,66	P3-03	72,27	P3-03	53,56
19º	P1-07	110,76	P1-07	72,42	P1-07	53,65
20º	P3-07	110,87	P4-04	72,54	P1-11	53,80
21º	P4-04	110,89	P1-15	72,55	P4-04	53,87
22º	P1-11	110,92	P1-11	72,57	P3-07	53,89
23º	P3-11	110,94	P3-07	72,59	P1-15	53,90
24º	P1-15	110,94	P3-15	72,62	P3-15	53,96
25º	P3-15	110,96	P3-11	72,71	P3-11	54,10
26º	P4-08	111,10	P4-08	72,88	P4-08	54,23
27º	P4-16	111,15	P4-16	72,89	P4-16	54,27
28º	P4-12	111,21	P4-12	73,03	P4-12	54,38
29º	P4-03	111,79	P4-03	73,51	P4-03	54,90
30º	P4-07	112,01	P4-15	73,84	P4-07	55,24
31º	P4-15	112,02	P4-07	73,88	P4-15	55,26
32º	P4-11	112,06	P4-11	73,97	P4-11	55,44
33º	P2-06	113,48	P2-02	74,92	P2-02	56,14
34º	P2-02	113,48	P2-06	75,09	P2-06	56,31

Tabela D.1: Ranking dos consumos de energia em São Carlos – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35 ^o	P2-10	113,53	P2-14	75,18	P2-10	56,43
36 ^o	P2-14	113,60	P2-10	75,19	P2-14	56,47
37 ^o	P3-02	113,81	P3-02	75,36	P3-02	56,64
38 ^o	P3-06	113,89	P1-02	75,45	P1-02	56,70
39 ^o	P3-10	113,93	P3-06	75,57	P1-06	56,82
40 ^o	P3-14	113,97	P1-06	75,59	P3-06	56,83
41 ^o	P1-06	113,98	P3-14	75,61	P1-10	56,94
42 ^o	P1-10	114,03	P3-10	75,67	P3-14	56,95
43 ^o	P1-02	114,06	P1-10	75,69	P3-10	57,01
44 ^o	P1-14	114,22	P1-14	75,76	P1-14	57,07
45 ^o	P4-02	114,75	P4-02	76,43	ASHRAE	57,28
46 ^o	P4-06	114,83	ASHRAE	76,45	P4-02	57,80
47 ^o	P4-14	114,90	P4-14	76,67	P2-01	57,90
48 ^o	P4-10	114,93	P4-06	76,68	P2-05	57,91
49 ^o	P2-05	115,33	P2-01	76,79	P2-09	57,98
50 ^o	P2-09	115,36	P4-10	76,79	P4-06	58,04
51 ^o	P2-13	115,46	P2-05	76,79	P2-13	58,06
52 ^o	P2-01	115,53	P2-09	76,85	P4-14	58,09
53 ^o	P3-05	115,55	P2-13	76,87	P4-10	58,15
54 ^o	ASHRAE	115,55	P3-01	77,03	P3-01	58,21
55 ^o	P3-09	115,59	P3-05	77,10	P3-05	58,27
56 ^o	P3-13	115,62	P3-13	77,13	P3-09	58,34
57 ^o	P3-01	115,64	P3-09	77,14	P3-13	58,38
58 ^o	P1-05	115,94	P1-05	77,43	P1-05	58,54
59 ^o	P1-09	115,99	P1-01	77,47	P1-09	58,61
60 ^o	P1-13	116,20	P1-09	77,47	P1-01	58,61
61 ^o	P4-01	116,25	P1-13	77,57	P1-13	58,78
62 ^o	P4-05	116,28	P4-01	77,81	P4-01	59,11
63 ^o	P4-13	116,29	P4-13	77,94	P4-05	59,23
64 ^o	P4-09	116,29	P4-05	77,99	P4-13	59,28
65 ^o	P1-01	116,29	P4-09	78,05	P4-09	59,30

Tabela D.2: Ranking dos consumos de energia em São Carlos – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	108,40	P2-04	69,95	P2-04	51,27
2º	P2-08	108,68	P1-04	70,34	P1-04	51,64
3º	P2-16	108,77	P2-16	70,42	P2-08	51,74
4º	P1-04	108,81	P2-08	70,43	P2-16	51,78
5º	P2-12	108,82	P3-04	70,57	P3-04	51,95
6º	P3-04	108,94	P2-12	70,59	P2-12	51,97
7º	P1-08	109,09	P1-08	70,82	P1-08	52,08
8º	P1-12	109,25	P1-16	70,91	P1-16	52,29
9º	P3-08	109,25	P1-12	70,99	P1-12	52,34
10º	P1-16	109,28	P2-03	71,00	P2-03	52,37
11º	P3-16	109,31	P3-16	71,03	P3-08	52,42
12º	P2-03	109,37	P3-08	71,08	P3-16	52,43
13º	P3-12	109,39	P3-12	71,22	P3-12	52,64
14º	P2-07	109,65	P2-15	71,43	P1-03	52,80
15º	P2-15	109,72	P1-03	71,46	P2-07	52,81
16º	P2-11	109,79	P2-07	71,48	P2-15	52,83
17º	P1-03	109,83	P3-03	71,61	P3-03	53,02
18º	P3-03	109,91	P2-11	71,63	P2-11	53,05
19º	P1-07	110,13	P1-15	71,92	P1-07	53,24
20º	P4-04	110,16	P4-04	71,93	P1-15	53,28
21º	P3-07	110,20	P1-07	71,93	P4-04	53,39
22º	P1-15	110,21	P3-15	72,02	P3-15	53,45
23º	P3-15	110,24	P1-11	72,08	P1-11	53,47
24º	P1-11	110,28	P3-07	72,09	P3-07	53,47
25º	P3-11	110,36	P3-11	72,25	P3-11	53,71
26º	P4-08	110,48	P4-16	72,35	P4-16	53,82
27º	P4-16	110,50	P4-08	72,43	P4-08	53,86
28º	P4-12	110,64	P4-12	72,59	P4-12	54,05
29º	P4-03	111,11	P4-03	72,95	P4-03	54,43
30º	P4-15	111,41	P4-15	73,31	P4-15	54,81
31º	P4-07	111,42	P4-07	73,43	P4-07	54,88
32º	P4-11	111,55	P4-11	73,56	P4-11	55,09
33º	P2-02	112,40	P2-02	73,99	P2-02	55,32
34º	P2-06	112,58	P2-14	74,34	P2-14	55,69

Tabela D.2: Ranking dos consumos de energia em São Carlos – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-14	112,66	P2-06	74,36	P2-06	55,72
36º	P2-10	112,69	P2-10	74,50	P1-02	55,86
37º	P3-02	112,84	P3-02	74,51	P2-10	55,86
38º	P1-02	112,95	P1-02	74,54	P3-02	55,87
39º	P3-06	113,04	P3-14	74,83	P3-14	56,21
40º	P3-14	113,09	P3-06	74,90	P1-14	56,29
41º	P1-06	113,13	P1-14	74,91	P3-06	56,29
42º	P3-10	113,15	P1-06	74,93	ASHRAE	56,29
43º	P1-14	113,21	P3-10	75,03	P1-06	56,29
44º	P1-10	113,25	P1-10	75,04	P1-10	56,38
45º	P4-02	113,90	ASHRAE	75,24	P3-10	56,42
46º	P2-01	114,10	P2-01	75,56	P2-01	56,79
47º	P4-06	114,13	P4-02	75,69	P2-13	57,05
48º	P4-14	114,13	P2-13	75,79	P2-05	57,09
49º	ASHRAE	114,13	P2-05	75,84	P4-02	57,13
50º	P2-05	114,17	P2-09	75,92	P3-01	57,19
51º	P2-13	114,23	P3-01	75,93	P2-09	57,22
52º	P4-10	114,23	P4-14	75,99	P4-14	57,44
53º	P2-09	114,25	P4-06	76,11	P3-13	57,45
54º	P3-01	114,38	P3-13	76,15	P1-01	57,46
55º	P3-05	114,50	P4-10	76,21	P3-05	57,52
56º	P3-13	114,53	P3-05	76,24	P4-06	57,57
57º	P3-09	114,59	P1-01	76,25	P3-09	57,65
58º	P1-01	114,80	P3-09	76,32	P4-10	57,69
59º	P1-05	114,84	P1-13	76,49	P1-13	57,76
60º	P1-09	114,91	P1-05	76,50	P1-05	57,77
61º	P1-13	114,92	P1-09	76,58	P1-09	57,86
62º	P4-01	115,22	P4-01	76,91	P4-01	58,24
63º	P4-13	115,37	P4-13	77,15	P4-13	58,49
64º	P4-05	115,40	P4-05	77,27	P4-05	58,64
65º	P4-09	115,48	P4-09	77,35	P4-09	58,74

Tabela D.3: Ranking dos consumos de energia em Paraty – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. Do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	113,7	P2-04	74,31	P2-04	55,19
2º	P3-04	113,8	P2-12	74,69	P2-08	55,53
3º	P2-08	113,9	P1-04	74,70	P1-04	55,67
4º	P2-12	113,9	P3-04	74,72	P2-12	55,73
5º	P2-16	114,1	P2-08	74,76	P3-04	55,74
6º	P3-08	114,2	P2-16	74,84	P2-16	55,78
7º	P1-04	114,2	P3-08	75,04	P3-08	55,91
8º	P1-08	114,3	P1-08	75,17	P1-08	55,96
9º	P3-12	114,3	P3-12	75,21	P3-12	56,11
10º	P1-12	114,4	P2-03	75,26	P1-12	56,14
11º	P2-07	114,4	P1-16	75,26	P2-03	56,20
12º	P3-16	114,5	P3-16	75,30	P1-16	56,29
13º	P1-16	114,5	P1-12	75,33	P3-16	56,29
14º	P2-03	114,5	P3-03	75,50	P2-07	56,52
15º	P2-11	114,6	P2-07	75,55	P2-11	56,59
16º	P3-03	114,7	P2-11	75,63	P1-03	56,72
17º	P2-15	114,9	P1-03	75,67	P3-03	56,73
18º	P4-04	115,0	P2-15	75,75	P2-15	56,77
19º	P1-03	115,0	P4-04	75,92	P4-04	56,88
20º	P3-07	115,0	P3-07	76,05	P1-07	56,98
21º	P1-07	115,1	P1-11	76,08	P3-07	56,98
22º	P3-15	115,1	P3-15	76,14	P3-11	57,15
23º	P3-11	115,2	P1-07	76,16	P1-11	57,15
24º	P1-11	115,2	P3-11	76,19	P3-15	57,28
25º	P4-08	115,3	P1-15	76,22	P1-15	57,30
26º	P4-16	115,3	P4-08	76,34	P4-08	57,30
27º	P1-15	115,3	P4-16	76,37	P4-16	57,34
28º	P4-12	115,4	P4-12	76,46	P4-12	57,48
29º	P4-03	115,8	P4-03	76,90	P4-03	57,92
30º	P4-07	116,1	P4-07	77,34	P4-07	58,25
31º	P4-15	116,2	P4-15	77,34	P4-15	58,38
32º	P4-11	116,3	P4-11	77,44	P4-11	58,42
33º	P2-02	117,6	P2-02	78,21	P2-02	59,23
34º	P2-06	117,6	P2-10	78,52	P2-06	59,43

Tabela D.3: Ranking dos consumos de energia em Paraty – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-10	117,70	P2-06	78,59	P2-10	59,54
36º	P3-06	117,77	P3-02	78,62	P3-06	59,64
37º	P2-14	117,82	P2-14	78,66	P3-02	59,65
38º	P3-02	117,86	P3-06	78,74	P2-14	59,72
39º	P3-10	117,91	P1-02	78,74	P3-10	59,76
40º	P3-14	118,09	P3-10	78,85	P1-02	59,80
41º	P1-06	118,14	P3-14	79,01	P1-06	59,97
42º	P1-02	118,18	P1-10	79,04	P1-10	60,09
43º	P1-10	118,23	P1-06	79,12	P3-14	60,11
44º	P1-14	118,39	P1-14	79,19	ASHRAE	60,15
45º	P4-02	118,58	P4-02	79,62	P1-14	60,32
46º	P4-06	118,78	ASHRAE	79,66	P4-02	60,53
47º	P4-14	118,83	P2-01	79,95	P2-01	60,85
48º	P4-10	118,88	P4-06	79,98	P2-05	60,89
49º	P2-05	119,38	P4-14	79,98	P4-14	60,91
50º	P2-09	119,41	P2-09	80,05	P4-06	60,93
51º	ASHRAE	119,42	P4-10	80,07	P2-09	60,96
52º	P3-05	119,47	P3-01	80,15	P4-10	61,04
53º	P3-09	119,52	P2-05	80,16	P3-05	61,06
54º	P2-01	119,55	P2-13	80,22	P3-01	61,08
55º	P2-13	119,58	P3-05	80,23	P3-09	61,14
56º	P3-01	119,60	P3-09	80,27	P2-13	61,21
57º	P3-13	119,65	P3-13	80,42	P3-13	61,39
58º	P1-05	119,80	P1-01	80,70	P1-05	61,58
59º	P1-09	119,97	P1-09	80,81	P1-01	61,61
60º	P4-01	120,08	P1-05	80,84	P1-09	61,69
61º	P4-05	120,15	P1-13	80,95	P4-01	61,86
62º	P4-13	120,21	P4-01	80,98	P1-13	61,97
63º	P4-09	120,25	P4-05	81,22	P4-05	62,14
64º	P1-01	120,32	P4-13	81,25	P4-13	62,16
65º	P1-13	120,34	P4-09	81,31	P4-09	62,26

Tabela D.4: Ranking dos consumos de energia em Paraty – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	112,77	P2-04	73,69	P2-04	54,82
2º	P2-08	112,79	P3-04	74,04	P2-08	55,11
3º	P2-12	113,00	P2-08	74,12	P1-04	55,25
4º	P3-04	113,19	P1-04	74,12	P3-04	55,30
5º	P1-08	113,25	P2-12	74,28	P2-16	55,43
6º	P1-04	113,30	P2-16	74,32	P2-12	55,43
7º	P2-16	113,32	P2-03	74,53	P1-08	55,66
8º	P1-12	113,40	P3-08	74,67	P3-08	55,67
9º	P3-08	113,50	P3-16	74,70	P2-03	55,74
10º	P2-03	113,59	P1-16	74,75	P1-16	55,89
11º	P3-16	113,63	P1-08	74,78	P3-16	55,91
12º	P3-12	113,67	P3-12	74,83	P3-12	55,95
13º	P1-16	113,74	P1-12	74,96	P2-07	56,05
14º	P2-07	113,81	P2-07	75,04	P1-12	56,15
15º	P2-11	113,97	P3-03	75,11	P3-03	56,17
16º	P3-03	114,09	P2-11	75,12	P1-03	56,31
17º	P2-15	114,10	P1-03	75,15	P2-15	56,38
18º	P1-07	114,15	P2-15	75,25	P2-11	56,51
19º	P1-03	114,17	P4-04	75,44	P4-04	56,52
20º	P1-11	114,29	P3-15	75,56	P3-07	56,66
21º	P4-04	114,35	P3-07	75,66	P1-07	56,69
22º	P3-07	114,40	P1-15	75,77	P3-15	56,83
23º	P3-15	114,44	P1-07	75,78	P1-15	56,91
24º	P3-11	114,56	P3-11	75,81	P3-11	56,93
25º	P1-15	114,58	P1-11	75,86	P4-08	57,01
26º	P4-08	114,68	P4-16	75,95	P4-16	57,05
27º	P4-16	114,75	P4-08	75,99	P1-11	57,16
28º	P4-12	114,83	P4-12	76,15	P4-12	57,27
29º	P4-03	115,26	P4-03	76,44	P4-03	57,49
30º	P4-07	115,58	P4-15	76,92	P4-15	57,98
31º	P4-15	115,64	P4-07	76,97	P4-07	58,02
32º	P4-11	115,77	P4-11	77,11	P4-11	58,22
33º	P2-02	116,44	P2-02	77,42	P2-02	58,52
34º	P2-06	116,54	P2-06	77,69	P2-06	58,73

Tabela D.4: Ranking dos consumos de energia em Paraty – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-10	116,66	P3-02	77,77	P3-02	58,78
36º	P3-02	116,81	P2-10	77,81	P2-14	59,00
37º	P2-14	116,84	P2-14	77,94	P2-10	59,05
38º	P1-06	117,01	P1-02	77,98	P1-02	59,12
39º	P3-06	117,07	P3-14	78,22	P3-06	59,28
40º	P3-14	117,08	P3-06	78,31	P3-14	59,34
41º	P1-02	117,14	P3-10	78,44	ASHRAE	59,42
42º	P3-10	117,20	P1-14	78,54	P1-06	59,44
43º	P1-10	117,21	P1-06	78,54	P3-10	59,50
44º	P1-14	117,46	P1-10	78,61	P1-14	59,65
45º	P4-02	117,87	ASHRAE	78,61	P1-10	59,74
46º	P2-01	118,01	P2-01	78,81	P2-01	59,82
47º	ASHRAE	118,06	P4-02	79,04	P2-05	60,07
48º	P4-06	118,13	P2-05	79,22	P4-02	60,07
49º	P4-14	118,19	P3-01	79,30	P2-09	60,23
50º	P2-05	118,22	P2-09	79,32	P3-01	60,24
51º	P4-10	118,31	P2-13	79,43	P2-13	60,32
52º	P2-13	118,31	P4-06	79,51	P4-06	60,46
53º	P2-09	118,36	P4-14	79,51	P4-14	60,49
54º	P3-01	118,42	P1-01	79,59	P3-13	60,54
55º	P3-05	118,54	P3-13	79,62	P3-05	60,58
56º	P3-13	118,60	P4-10	79,62	P1-01	60,62
57º	P3-09	118,69	P3-05	79,65	P4-10	60,64
58º	P1-05	118,70	P3-09	79,76	P3-09	60,74
59º	P1-09	118,94	P1-05	79,99	P1-05	60,83
60º	P1-01	118,94	P1-13	80,00	P1-09	60,96
61º	P1-13	119,10	P1-09	80,03	P1-13	61,04
62º	P4-01	119,18	P4-01	80,24	P4-01	61,27
63º	P4-05	119,38	P4-05	80,63	P4-05	61,61
64º	P4-13	119,40	P4-13	80,63	P4-13	61,61
65º	P4-09	119,53	P4-09	80,75	P4-09	61,76

Na zona 1B, o modelo com a envoltória da ASHRAE ficou entre o 43º e 49º lugar em Caruaru, e em Campo Grande ficou entre o 41º e o 49º lugar, dependendo da densidade de ocupação e a taxa de infiltração. Nos dois casos de alta densidade de ocupação e no caso de média densidade e baixa taxa de infiltração, a posição do modelo da ASHRAE foi a mesma em Campo Grande e Caruaru. Com alta densidade de ocupação, não houve modelos com reduções acima de 5,0% em nenhuma dessas localidades.

Em Caruaru, a maior economia encontrada foi equivalente a 8,7% nas situações de baixa densidade e baixa taxa de infiltração, comparando-se o melhor desempenho encontrado com o modelo da ASHRAE. A menor economia foi de 4,5% com alta densidade e alta infiltração. Com baixa taxa de infiltração, houve dezesseis e 25 modelos apresentando economia de energia maior que 5,0% em comparação ao modelo de referência, em média e baixa densidade, respectivamente, e com alta taxa de infiltração houve doze e vinte modelos, respectivamente.

Em Campo Grande, as reduções máximas encontradas foram menores em comparação a Caruaru. Com alta densidade de ocupação também não seria possível atingir a economia mínima de energia exigida pela certificação, sendo a menor economia equivalente a 4,0%, com alta densidade e baixa infiltração. A maior economia foi de 7,0%, com baixa densidade e alta infiltração. Nota-se também que em Campo Grande a quantidade de modelos que atenderiam o pré-requisito também é menor. Com baixa taxa de infiltração, houve quatro e quatorze modelos com economia de energia maior que 5,0%, com média e baixa densidade, respectivamente. Com alta taxa de infiltração, houve somente dois e onze modelos, respectivamente. O *ranking* dos resultados obtidos nas cidades na zona 2B com baixa taxa de infiltração e a posição do modelo da ASHRAE pode ser visto nas Tabelas D.5 a D.8.

Tabela D.5: Ranking dos consumos de energia em Caruaru – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	111,52	P2-04	71,97	P2-04	52,77
2º	P2-08	111,61	P1-04	72,23	P1-04	52,98
3º	P2-12	111,71	P2-08	72,30	P2-08	53,12
4º	P2-16	111,80	P2-16	72,42	P2-16	53,29
5º	P1-04	111,82	P2-12	72,45	P2-12	53,29
6º	P3-04	111,88	P3-04	72,47	P3-04	53,34
7º	P1-08	111,91	P1-08	72,56	P1-08	53,36
8º	P1-12	111,98	P1-16	72,70	P1-12	53,52
9º	P3-08	112,02	P1-12	72,70	P1-16	53,59
10º	P1-16	112,11	P3-08	72,84	P3-08	53,73
11º	P3-12	112,12	P2-03	72,89	P2-03	53,75
12º	P3-16	112,16	P3-16	72,91	P3-16	53,85
13º	P2-03	112,29	P3-12	72,98	P3-12	53,90
14º	P2-07	112,43	P1-03	73,20	P1-03	54,04
15º	P2-11	112,53	P2-07	73,23	P2-07	54,11
16º	P2-15	112,56	P2-15	73,31	P2-15	54,25
17º	P1-03	112,64	P2-11	73,34	P2-11	54,28
18º	P3-03	112,66	P3-03	73,38	P3-03	54,32
19º	P4-04	112,75	P1-07	73,55	P1-07	54,42
20º	P1-07	112,78	P4-04	73,59	P1-15	54,57
21º	P3-07	112,81	P1-15	73,64	P4-04	54,60
22º	P1-11	112,84	P1-11	73,68	P1-11	54,65
23º	P3-15	112,93	P3-07	73,74	P3-07	54,68
24º	P1-15	112,93	P3-15	73,79	P3-15	54,79
25º	P3-11	112,93	P3-11	73,84	P3-11	54,85
26º	P4-08	112,94	P4-08	73,98	P4-08	54,98
27º	P4-16	113,03	P4-16	73,99	P4-16	55,05
28º	P4-12	113,08	P4-12	74,12	P4-12	55,14
29º	P4-03	113,55	P4-03	74,48	P4-03	55,54
30º	P4-07	113,78	P4-15	74,86	P4-07	55,91
31º	P4-15	113,80	P4-07	74,86	P4-15	55,97
32º	P4-11	113,87	P4-11	75,01	P4-11	56,12
33º	P2-02	115,40	P2-02	76,01	P2-02	56,83
34º	P2-06	115,41	P2-06	76,22	P2-06	57,07

Tabela D.5: Ranking dos consumos de energia em Caruaru – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-10	115,49	P2-14	76,31	P2-14	57,22
36º	P2-14	115,55	P2-10	76,31	P1-02	57,24
37º	P3-02	115,64	P3-02	76,38	P2-10	57,25
38º	P3-06	115,72	P1-02	76,43	P3-02	57,27
39º	P3-10	115,80	P3-06	76,62	P1-06	57,47
40º	P3-14	115,81	P1-06	76,63	P3-06	57,53
41º	P1-06	115,85	P3-14	76,66	P1-14	57,63
42º	P1-02	115,85	P3-10	76,72	P3-14	57,64
43º	P1-10	115,89	P1-10	76,74	P1-10	57,65
44º	P1-14	116,02	P1-14	76,75	P3-10	57,71
45º	P4-02	116,37	ASHRAE	77,19	ASHRAE	57,78
46º	P4-06	116,52	P4-02	77,29	P4-02	58,30
47º	P4-14	116,55	P4-14	77,58	P4-06	58,59
48º	P4-10	116,58	P4-06	77,58	P4-14	58,66
49º	ASHRAE	116,92	P4-10	77,68	P4-10	58,77
50º	P2-05	117,36	P2-01	78,05	P2-01	58,81
51º	P2-09	117,40	P2-05	78,10	P2-05	58,88
52º	P3-05	117,49	P2-09	78,16	P2-09	58,96
53º	P2-13	117,50	P2-13	78,18	P2-13	59,03
54º	P2-01	117,51	P3-01	78,22	P3-01	59,06
55º	P3-09	117,54	P3-05	78,33	P3-05	59,17
56º	P3-01	117,56	P3-13	78,36	P3-09	59,26
57º	P3-13	117,57	P3-09	78,40	P3-13	59,28
58º	P1-05	117,90	P1-01	78,62	P1-01	59,37
59º	P1-09	117,92	P1-05	78,64	P1-05	59,40
60º	P4-01	118,02	P1-09	78,70	P1-09	59,54
61º	P4-05	118,03	P1-13	78,75	P1-13	59,59
62º	P4-09	118,07	P4-01	78,87	P4-01	59,83
63º	P4-13	118,09	P4-13	79,05	P4-05	60,00
64º	P1-13	118,09	P4-05	79,06	P4-13	60,07
65º	P1-01	118,11	P4-09	79,13	P4-09	60,16

Tabela D.6: Ranking dos consumos de energia em Caruaru – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	110,29	P2-04	71,10	P2-04	51,99
2º	P2-08	110,59	P1-04	71,36	P1-04	52,22
3º	P1-04	110,61	P2-08	71,52	P2-16	52,55
4º	P2-16	110,69	P2-16	71,60	P2-08	52,57
5º	P3-04	110,75	P2-12	71,68	P3-04	52,65
6º	P2-12	110,78	P3-04	71,69	P2-12	52,68
7º	P1-08	110,92	P1-08	71,79	P1-16	52,80
8º	P1-16	111,02	P1-16	71,89	P1-08	52,83
9º	P3-08	111,07	P1-12	71,97	P1-12	52,93
10º	P1-12	111,11	P2-03	72,09	P2-03	53,04
11º	P3-16	111,13	P3-08	72,10	P3-16	53,17
12º	P2-03	111,16	P3-16	72,16	P3-08	53,21
13º	P3-12	111,25	P3-12	72,26	P1-03	53,33
14º	P2-07	111,44	P1-03	72,40	P3-12	53,36
15º	P1-03	111,53	P2-07	72,49	P2-15	53,55
16º	P2-15	111,54	P2-15	72,56	P2-07	53,59
17º	P3-03	111,62	P2-11	72,65	P3-03	53,66
18º	P2-11	111,65	P3-03	72,66	P2-11	53,72
19º	P4-04	111,78	P1-07	72,84	P1-15	53,87
20º	P1-07	111,85	P1-15	72,90	P1-07	53,92
21º	P1-15	111,92	P4-04	72,92	P4-04	53,98
22º	P3-07	111,94	P1-11	72,99	P1-11	54,01
23º	P3-15	111,98	P3-07	73,04	P3-15	54,14
24º	P1-11	112,03	P3-15	73,10	P3-07	54,20
25º	P4-08	112,11	P3-11	73,21	P3-11	54,32
26º	P3-11	112,12	P4-08	73,31	P4-16	54,45
27º	P4-16	112,14	P4-16	73,35	P4-08	54,51
28º	P4-12	112,29	P4-12	73,47	P4-12	54,65
29º	P4-03	112,64	P4-03	73,86	P4-03	54,95
30º	P4-07	112,98	P4-07	74,23	P4-15	55,38
31º	P4-15	112,98	P4-15	74,26	P4-07	55,47
32º	P4-11	113,15	P4-11	74,39	P4-11	55,58
33º	P2-02	114,04	P2-02	74,95	P2-02	55,84
34º	P2-06	114,23	P2-06	75,26	P1-02	56,26

Tabela D.6: Ranking dos consumos de energia em Caruaru – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-14	114,33	P2-14	75,34	P2-06	56,27
36º	P2-10	114,40	P1-02	75,38	P2-14	56,29
37º	P3-02	114,40	P2-10	75,40	P3-02	56,35
38º	P1-02	114,51	P3-02	75,40	P2-10	56,45
39º	P3-06	114,61	P1-06	75,72	P1-14	56,73
40º	P3-14	114,68	P3-06	75,73	P1-06	56,75
41º	P1-06	114,72	P3-14	75,77	P3-14	56,77
42º	P3-10	114,78	P1-14	75,79	P3-06	56,78
43º	P1-14	114,82	P3-10	75,86	ASHRAE	56,78
44º	P1-10	114,88	P1-10	75,87	P1-10	56,88
45º	P4-02	115,31	ASHRAE	76,01	P3-10	56,95
46º	ASHRAE	115,49	P4-02	76,48	P4-02	57,52
47º	P4-06	115,55	P2-01	76,75	P2-01	57,58
48º	P4-14	115,58	P4-06	76,82	P4-14	57,91
49º	P4-10	115,71	P4-14	76,83	P2-05	57,93
50º	P2-01	115,90	P2-05	76,95	P2-13	57,94
51º	P2-05	115,97	P4-10	76,96	P4-06	57,94
52º	P2-13	116,08	P2-13	77,03	P3-01	57,95
53º	P3-01	116,11	P3-01	77,06	P2-09	58,02
54º	P2-09	116,12	P2-09	77,08	P1-01	58,08
55º	P3-05	116,22	P1-01	77,28	P4-10	58,09
56º	P3-13	116,30	P3-05	77,28	P3-13	58,29
57º	P3-09	116,37	P3-13	77,34	P3-05	58,31
58º	P1-01	116,47	P3-09	77,42	P3-09	58,41
59º	P1-05	116,57	P1-05	77,51	P1-13	58,42
60º	P1-13	116,65	P1-13	77,56	P1-05	58,42
61º	P1-09	116,70	P1-09	77,63	P1-09	58,57
62º	P4-01	116,79	P4-01	77,90	P4-01	58,88
63º	P4-05	116,95	P4-05	78,16	P4-13	59,22
64º	P4-13	116,98	P4-13	78,18	P4-05	59,27
65º	P4-09	117,10	P4-09	78,31	P4-09	59,37

Tabela D.7: Ranking dos consumos de energia em Campo Grande – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	110,67	P2-04	71,69	P1-04	52,72
2º	P1-04	110,69	P1-04	71,70	P2-04	52,72
3º	P2-08	110,75	P2-08	71,97	P2-08	53,04
4º	P1-08	110,78	P1-08	72,01	P1-08	53,08
5º	P2-12	110,86	P2-12	72,10	P2-12	53,20
6º	P1-12	110,88	P1-12	72,16	P3-04	53,25
7º	P2-16	110,95	P2-16	72,17	P1-12	53,25
8º	P1-16	110,96	P1-16	72,17	P2-16	53,26
9º	P3-04	111,07	P3-04	72,20	P1-16	53,29
10º	P3-08	111,21	P2-03	72,40	P2-03	53,47
11º	P2-03	111,27	P1-03	72,46	P1-03	53,53
12º	P3-12	111,31	P3-08	72,51	P3-08	53,62
13º	P3-16	111,33	P3-16	72,62	P3-16	53,76
14º	P1-03	111,34	P3-12	72,65	P3-12	53,77
15º	P2-07	111,41	P1-07	72,71	P2-07	53,83
16º	P1-07	111,43	P2-07	72,71	P1-07	53,83
17º	P2-11	111,51	P2-11	72,84	P2-11	53,98
18º	P1-11	111,54	P2-15	72,84	P2-15	53,98
19º	P2-15	111,55	P1-11	72,85	P3-03	54,00
20º	P1-15	111,61	P1-15	72,90	P1-11	54,00
21º	P3-03	111,69	P3-03	72,92	P1-15	54,05
22º	P4-04	111,85	P4-04	73,15	P4-04	54,26
23º	P3-07	111,86	P3-07	73,23	P3-07	54,38
24º	P3-15	111,95	P3-15	73,32	P3-15	54,46
25º	P3-11	111,96	P3-11	73,36	P3-11	54,53
26º	P4-08	112,06	P4-08	73,49	P4-08	54,65
27º	P4-16	112,12	P4-16	73,55	P4-16	54,72
28º	P4-12	112,17	P4-12	73,62	P4-12	54,80
29º	P4-03	112,47	P4-03	73,85	P4-03	55,00
30º	P4-07	112,69	P4-07	74,18	P4-07	55,37
31º	P4-15	112,73	P4-15	74,23	P4-15	55,42
32º	P4-11	112,80	P4-11	74,30	P4-11	55,52
33º	P2-06	114,06	P2-02	75,14	P2-02	56,15
34º	P2-02	114,09	P1-02	75,26	P1-02	56,26

Tabela D.7: Ranking dos consumos de energia em Campo Grande – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-10	114,13	P2-06	75,29	P2-06	56,33
36º	P1-06	114,19	P2-10	75,38	P1-06	56,46
37º	P1-10	114,23	P1-06	75,42	P2-10	56,47
38º	P1-02	114,23	P2-14	75,44	P2-14	56,53
39º	P2-14	114,25	P3-02	75,50	P3-02	56,54
40º	P3-02	114,35	P1-10	75,51	P1-10	56,59
41º	P1-14	114,37	P1-14	75,56	ASHRAE	56,61
42º	P3-06	114,40	P3-06	75,69	P1-14	56,65
43º	P3-10	114,47	P3-14	75,78	P3-06	56,78
44º	P3-14	114,50	P3-10	75,79	P3-14	56,88
45º	P4-02	114,96	ASHRAE	75,87	P3-10	56,90
46º	P4-06	115,08	P4-02	76,25	P4-02	57,35
47º	P4-14	115,13	P4-06	76,49	P4-06	57,61
48º	P4-10	115,15	P4-14	76,53	P4-14	57,69
49º	ASHRAE	115,22	P4-10	76,59	P4-10	57,73
50º	P2-05	116,04	P2-05	77,14	P2-01	58,09
51º	P2-09	116,06	P2-01	77,19	P2-05	58,12
52º	P3-05	116,18	P2-09	77,20	P2-09	58,19
53º	P3-09	116,22	P2-13	77,30	P2-13	58,28
54º	P2-13	116,23	P3-01	77,33	P3-01	58,29
55º	P1-05	116,25	P1-05	77,36	P1-05	58,31
56º	P2-01	116,26	P3-05	77,37	P1-01	58,32
57º	P3-13	116,28	P1-09	77,40	P3-05	58,38
58º	P3-01	116,28	P1-01	77,42	P1-09	58,39
59º	P1-09	116,29	P3-09	77,43	P3-09	58,47
60º	P1-13	116,42	P3-13	77,45	P3-13	58,49
61º	P1-01	116,49	P1-13	77,51	P1-13	58,50
62º	P4-05	116,61	P4-01	77,80	P4-01	58,84
63º	P4-01	116,62	P4-05	77,92	P4-05	59,00
64º	P4-13	116,65	P4-13	77,96	P4-13	59,06
65º	P4-09	116,66	P4-09	78,00	P4-09	59,09

Tabela D.8: Ranking dos consumos de energia em Campo Grande – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	109,42	P2-04	70,75	P2-04	51,92
2º	P1-04	109,48	P1-04	70,79	P1-04	52,00
3º	P2-08	109,74	P2-08	71,24	P2-08	52,42
4º	P1-08	109,76	P2-16	71,29	P1-08	52,49
5º	P2-16	109,84	P1-08	71,32	P3-04	52,53
6º	P2-12	109,88	P1-16	71,32	P2-16	52,53
7º	P1-16	109,91	P3-04	71,35	P1-16	52,59
8º	P1-12	109,91	P2-12	71,40	P2-12	52,62
9º	P3-04	109,94	P1-12	71,48	P2-03	52,74
10º	P2-03	110,15	P2-03	71,55	P1-12	52,75
11º	P1-03	110,20	P1-03	71,62	P1-03	52,85
12º	P3-08	110,27	P3-08	71,82	P3-08	53,04
13º	P3-16	110,32	P3-16	71,83	P3-16	53,06
14º	P3-12	110,42	P3-12	71,98	P3-12	53,23
15º	P2-07	110,47	P2-07	72,03	P2-07	53,23
16º	P2-15	110,54	P2-15	72,03	P1-07	53,27
17º	P1-07	110,54	P1-07	72,08	P2-15	53,28
18º	P2-11	110,61	P1-15	72,12	P3-03	53,33
19º	P1-15	110,65	P3-03	72,12	P1-15	53,39
20º	P3-03	110,66	P2-11	72,18	P2-11	53,42
21º	P1-11	110,69	P1-11	72,25	P1-11	53,45
22º	P4-04	110,89	P4-04	72,41	P4-04	53,64
23º	P3-07	110,99	P3-15	72,57	P3-07	53,82
24º	P3-15	111,02	P3-07	72,59	P3-15	53,82
25º	P3-11	111,13	P3-11	72,74	P3-11	54,00
26º	P4-08	111,24	P4-16	72,84	P4-16	54,11
27º	P4-16	111,25	P4-08	72,88	P4-08	54,13
28º	P4-12	111,37	P4-12	73,03	P4-12	54,31
29º	P4-03	111,58	P4-03	73,16	P4-03	54,41
30º	P4-15	111,92	P4-15	73,57	P4-15	54,85
31º	P4-07	111,93	P4-07	73,62	P4-07	54,88
32º	P4-11	112,06	P4-11	73,76	P4-11	55,05
33º	P2-02	112,70	P2-02	74,00	P2-02	55,15
34º	P1-02	112,85	P1-02	74,15	P1-02	55,31

Tabela D.8: Ranking dos consumos de energia em Campo Grande – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-06	112,92	P2-14	74,39	P2-06	55,56
36º	P2-14	112,98	P2-06	74,39	P2-14	55,57
37º	P2-10	113,04	P3-02	74,47	P3-02	55,64
38º	P1-06	113,05	P1-06	74,49	P1-06	55,66
39º	P3-02	113,10	P2-10	74,53	P2-10	55,71
40º	P1-14	113,16	P1-14	74,55	P1-14	55,76
41º	P1-10	113,17	P1-10	74,63	P1-10	55,81
42º	P3-06	113,35	P3-14	74,85	ASHRAE	55,82
43º	P3-14	113,38	P3-06	74,87	P3-14	56,05
44º	P3-10	113,46	ASHRAE	74,89	P3-06	56,06
45º	P4-02	113,89	P3-10	74,99	P3-10	56,20
46º	ASHRAE	113,97	P4-02	75,37	P4-02	56,58
47º	P4-14	114,15	P4-14	75,72	P2-01	56,80
48º	P4-06	114,15	P2-01	75,75	P4-14	56,97
49º	P4-10	114,27	P4-06	75,77	P4-06	57,02
50º	P2-01	114,54	P4-10	75,89	P1-01	57,03
51º	P2-05	114,63	P1-01	75,98	P2-05	57,09
52º	P2-13	114,69	P2-05	75,99	P2-13	57,11
53º	P2-09	114,71	P2-13	76,01	P3-01	57,14
54º	P3-01	114,77	P3-01	76,05	P4-10	57,14
55º	P1-01	114,80	P2-09	76,09	P2-09	57,20
56º	P1-05	114,86	P1-05	76,21	P1-05	57,27
57º	P3-05	114,91	P1-13	76,24	P1-13	57,35
58º	P3-13	114,94	P3-13	76,31	P1-09	57,38
59º	P1-09	114,94	P1-09	76,31	P3-05	57,45
60º	P1-13	114,96	P3-05	76,33	P3-13	57,45
61º	P3-09	114,99	P3-09	76,43	P3-09	57,56
62º	P4-01	115,33	P4-01	76,72	P4-01	57,86
63º	P4-13	115,51	P4-13	76,98	P4-13	58,16
64º	P4-05	115,52	P4-05	77,05	P4-05	58,20
65º	P4-09	115,61	P4-09	77,15	P4-09	58,31

O consumo de energia do modelo de referência da ASHRAE nas cidades localizadas na zona 2 está mais próximo do consumo máximo encontrado nas 64 simulações do que do consumo médio, diferentemente do que ocorre nas zonas 0 e 1. Quanto menor é a densidade de ocupação, mais próximo o consumo da ASHRAE está do consumo médio. Além disso, a diferença entre os consumos máximo e mínimo varia de 6,0% a 12,7% em São Carlos, e de 5,5% a 11,2% em Paraty, sendo maior com baixa densidade. Em Caruaru, essa variação é de 5,6% a 12,4%, e em Campo Grande é de 5,1 a 11,0%, também aumentando conforme se reduz a densidade de ocupação.

Em São Carlos e Paraty, diferentemente da zona 1, se o consumo médio encontrado fosse o adotado como base de comparação, todas as cidades só teriam atingido o valor mínimo de economia exigido pela LEED com baixa densidade. As variações mostraram que, assim como nas zonas 0 e 1, os melhores resultados foram os obtidos com o Vidro 4 (vidro insulado com controle solar), mas nesses casos a parede 2 (parede de tijolo cerâmico) apresentou melhores resultados (Figuras D.7 e D.8).

Na zona 2, as cidades estudadas têm temperaturas mais baixas, estando acima de 24°C em 78 dias do ano em São Carlos, 132 dias em Paraty, 127 dias em Caruaru e 162 dias em Campo Grande. Além disso, essas cidades também apresentam temperaturas abaixo de 18°C (*setpoint* de aquecimento). Com a redução das temperaturas, é visto que o desempenho do modelo da ASHRAE também caiu. O posicionamento do modelo da ASHRAE comparado aos outros modelos reforça a conclusão de que o uso de isolamento não é tão favorável em cidades com temperaturas mais amenas. Nesses casos, o isolamento impede a dissipação das cargas térmicas internas geradas na edificação, aumentando, assim, a temperatura interna e a necessidade de resfriamento (Figura D.9).

Figura D.7: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 2A

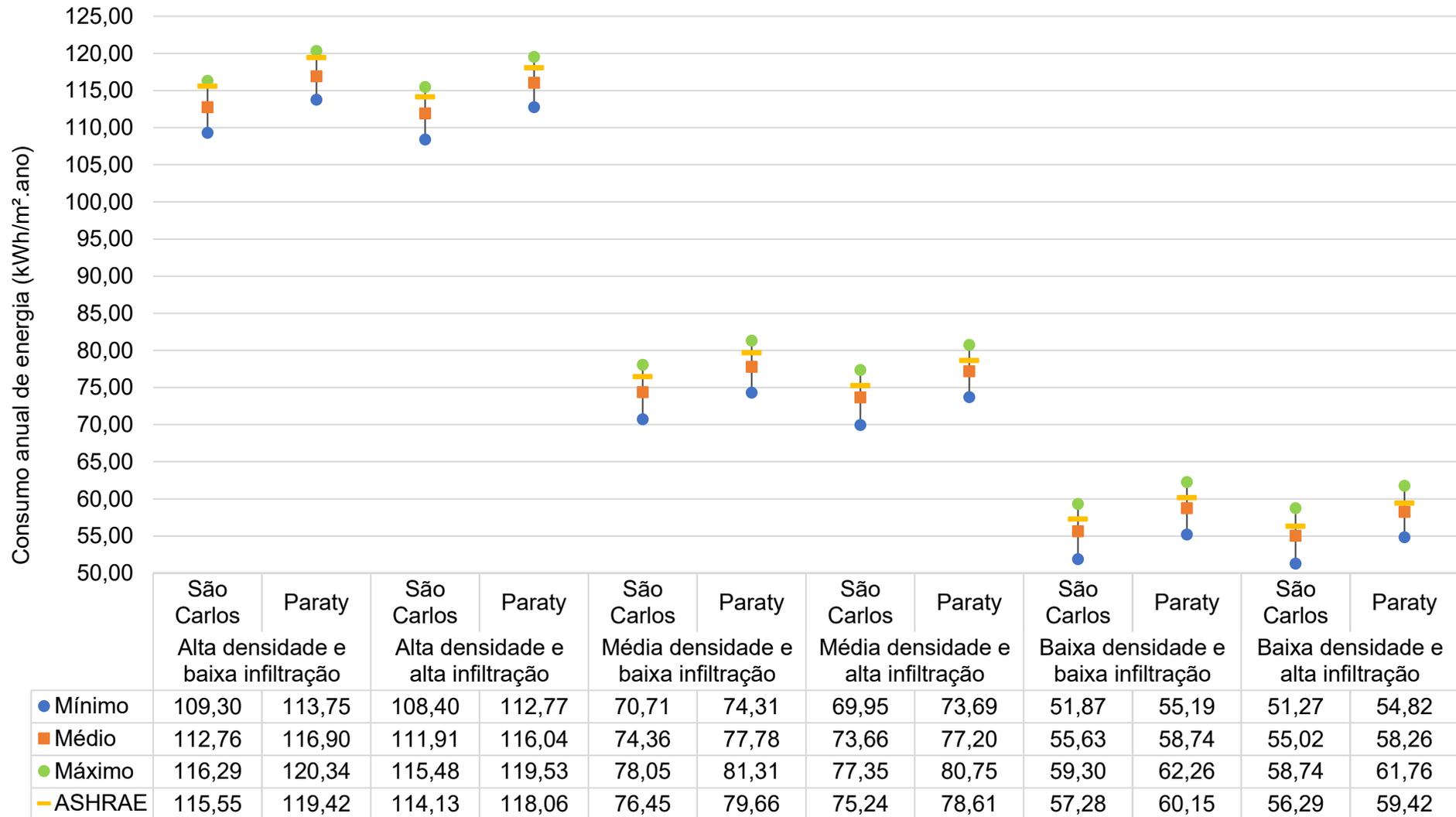


Figura D.8: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 2B

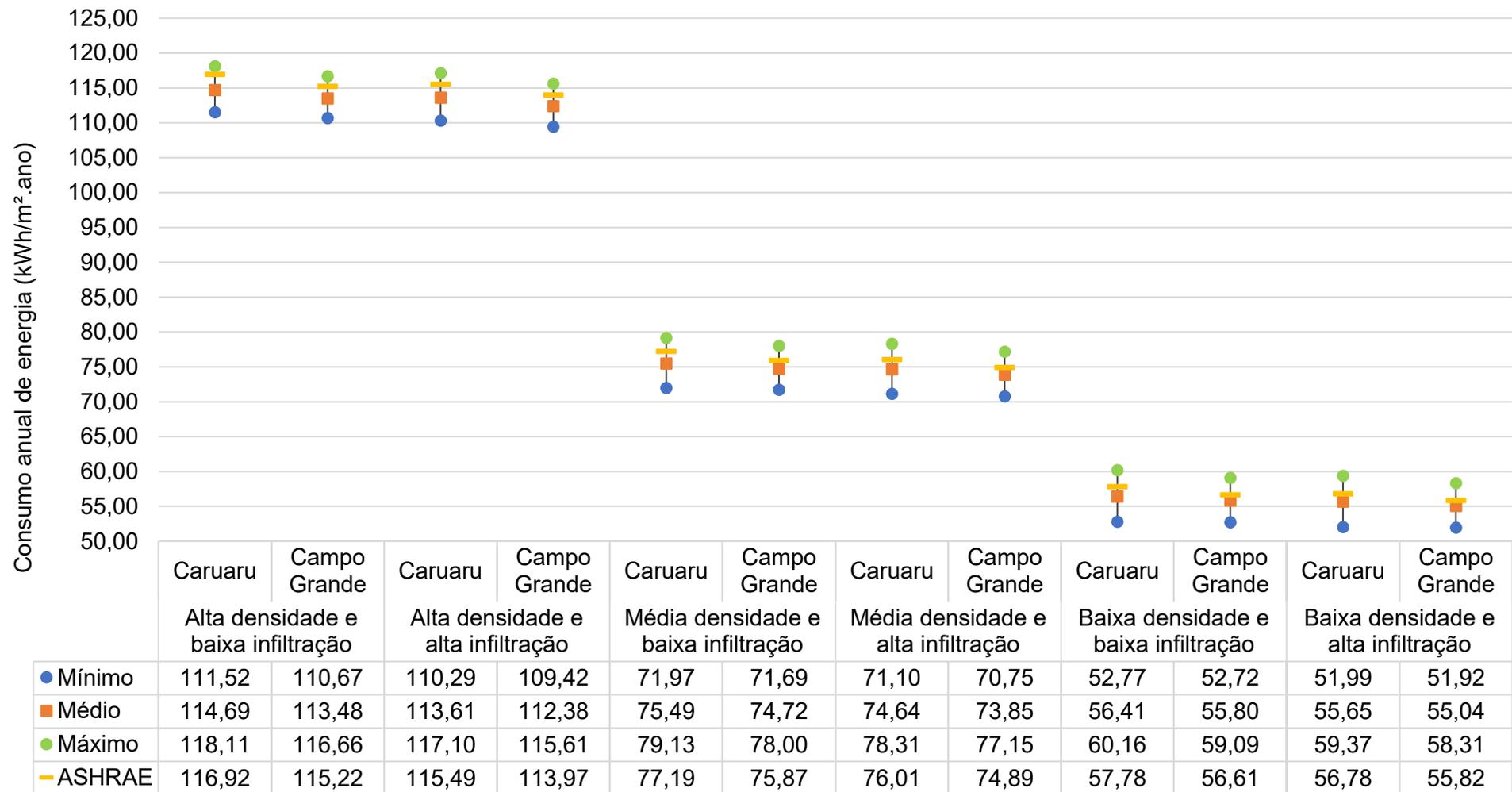
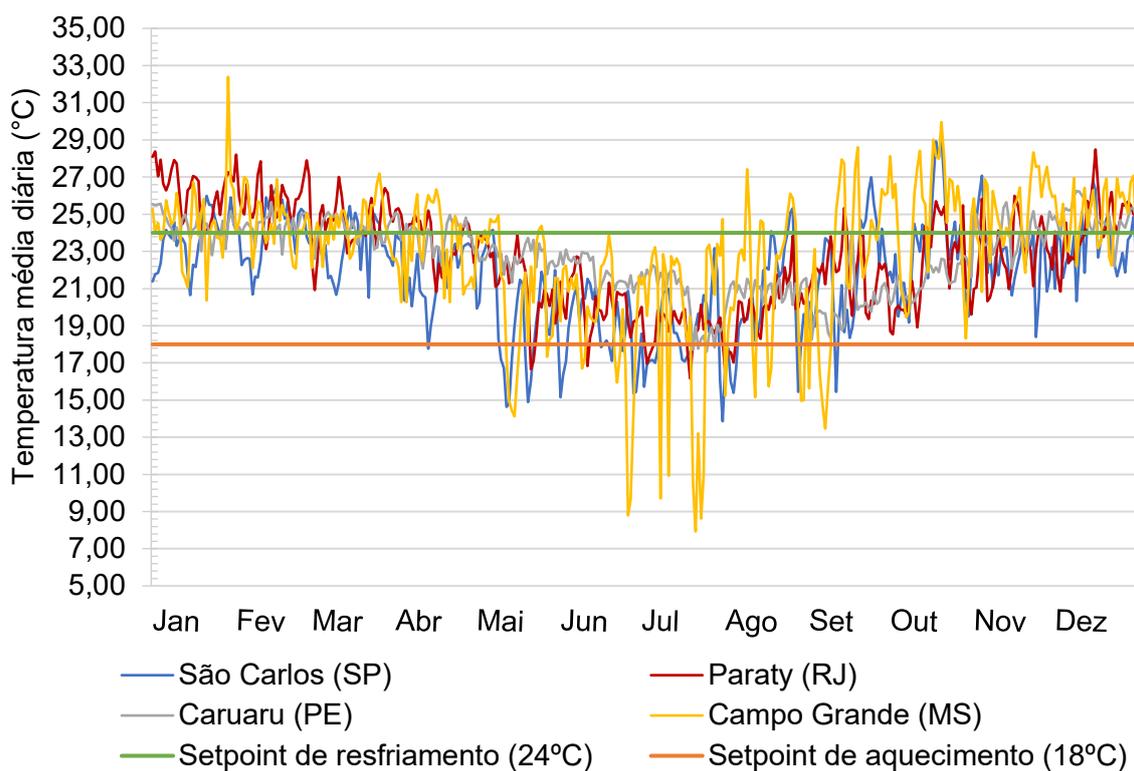
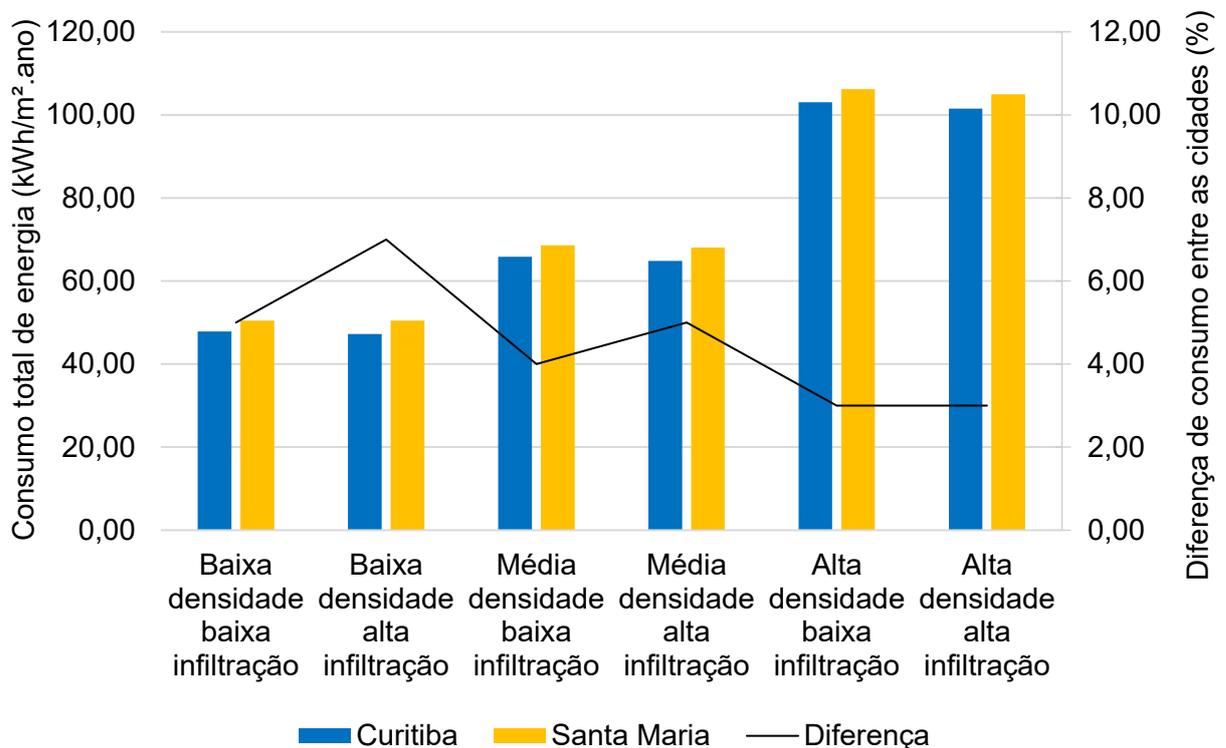


Figura D.9: Temperatura do ar externo nas cidades na zona 2 – médias diárias

Apêndice E: Análises das cidades na zona 3A

Os resultados obtidos na zona 3A também indicam comportamentos diferentes entre os modelos com as especificações de referência da ASHRAE. A diferença no consumo entre Curitiba e Santa Maria varia entre 3,1% e 6,8%. Essa diferença tende a aumentar quanto menor é a densidade de ocupação, sendo maior com alta taxa de infiltração (Figura E.1).

Figura E.1: Consumo total de energia anual por m² do modelo ASHRAE nas cidades na zona 3A



Os resultados do uso final de energia anual mostram que há comportamentos diferentes em relação às outras zonas estudadas, porém similares entre Curitiba e Santa Maria. De forma oposta às outras zonas, o consumo com resfriamento representa o terceiro menor consumo em todas as situações nessas duas cidades.

Com baixa densidade de ocupação, a iluminação também é responsável pela maior parte do consumo de energia da edificação em Curitiba e Santa Maria. No entanto, o consumo com equipamentos representa o segundo maior consumo, seguido pelo resfriamento. Em Curitiba, o consumo com iluminação representa 48,7% e 49,3%, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente, e os equipamentos, 32,4% e 32,9%. O consumo com resfriamento em Curitiba representa 18,5% com

baixa taxa de infiltração, e 16,5% com alta taxa de infiltração, e com o aquecimento, 0,5% e 1,4%, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente.

Em Santa Maria, os consumos com iluminação e equipamentos são iguais nas duas taxas de infiltração, 46,7% e 30,7%, respectivamente. Entretanto, o consumo para resfriamento e aquecimento é diferente entre as taxas de infiltração. O resfriamento representa 21,3% e 19,5%, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente, e o aquecimento, 1,3% e 3,1%, respectivamente.

Com média densidade de ocupação, ocorre inversão nos consumos de equipamentos e iluminação. Os equipamentos também passam a representar maior parte do consumo total nessas duas cidades – 46,6% e 47,4% em Curitiba, e 44,8% e 45,1% em Santa Maria, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. A iluminação passa a representar 35,3% e 35,9% em Curitiba, e 34,3% e 34,6% em Santa Maria, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente. Com relação ao resfriamento, há pouca diferença na porcentagem de consumo entre baixa e média densidade. Em Curitiba, o resfriamento representa 17,7% e 16,0% com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente, e em Santa Maria representa 20,1% e 18,5%. O consumo com aquecimento também reduz nas duas cidades com o aumento da densidade de ocupação, 0,3% e 0,8% em Curitiba, e 0,8% e 1,8% em Santa Maria, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente.

Com alta taxa de densidade, o consumo com iluminação se aproxima ao de resfriamento em todos os casos, e os equipamentos continuam representando a maior parte do consumo total, quase 60,0% em todos os casos. Com baixa taxa de infiltração, o resfriamento representa 17,3% do total em Curitiba, e 19,3% em Santa Maria, enquanto o consumo com iluminação é de 22,6% e 22,2%, respectivamente. Com alta taxa de infiltração, o consumo com resfriamento e iluminação é 15,9% e 22,93% em Curitiba, e 17,9% e 22,4% em Santa Maria, respectivamente. O consumo com aquecimento também reduz nas duas cidades – 0,2% e 0,4% em Curitiba, e 0,5% e 0,9% em Santa Maria, com baixa e alta taxa de infiltração, respectivamente.

Em Curitiba e Santa Maria, mais uma vez, o aumento da densidade de ocupação reduz o consumo com aquecimento, uma vez que aumenta o calor interno gerado. Porém, o aumento da taxa de infiltração aumenta esse consumo, uma vez que aumenta as trocas de ar entre os ambientes interno e externo. No entanto, a alta taxa de infiltração ainda se mostra como favorável à redução do consumo de energia, pois reduz a necessidade de resfriamento em uma parcela maior do que o aumento do consumo de aquecimento (Figuras E.2 e E.3).

Figura E.2: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 3A – Baixa taxa de infiltração

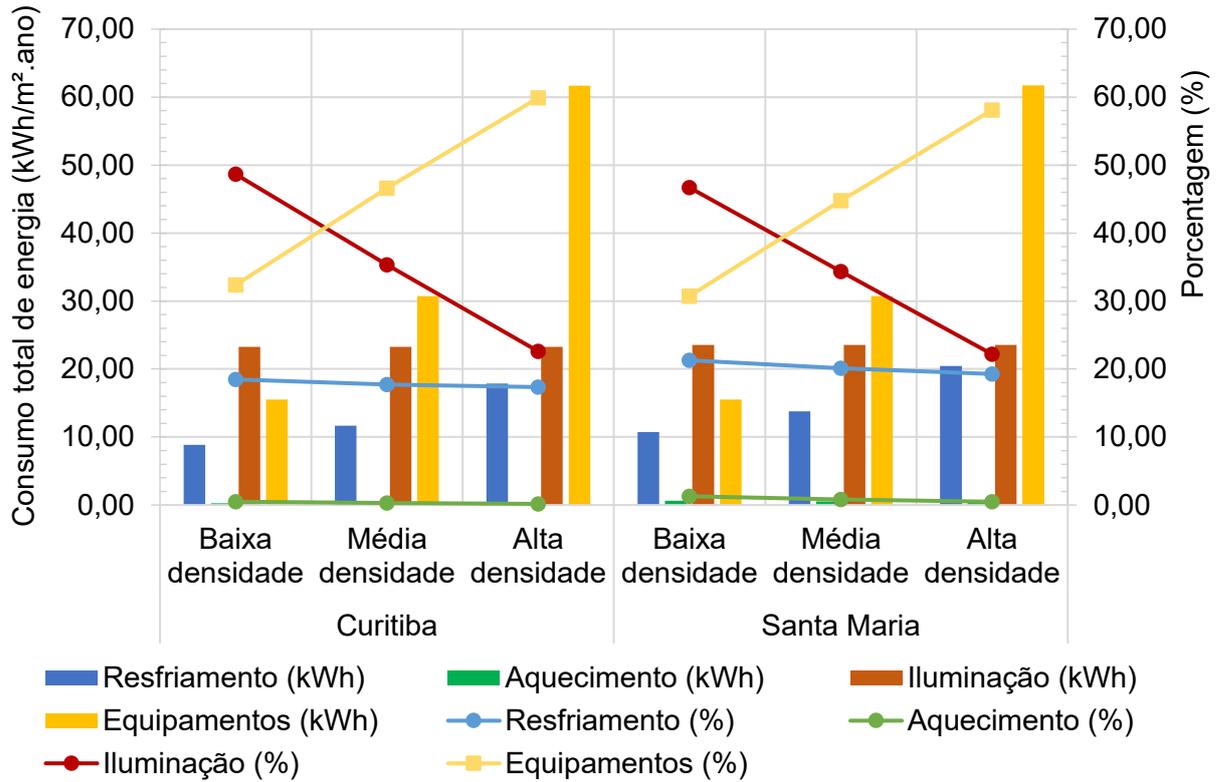
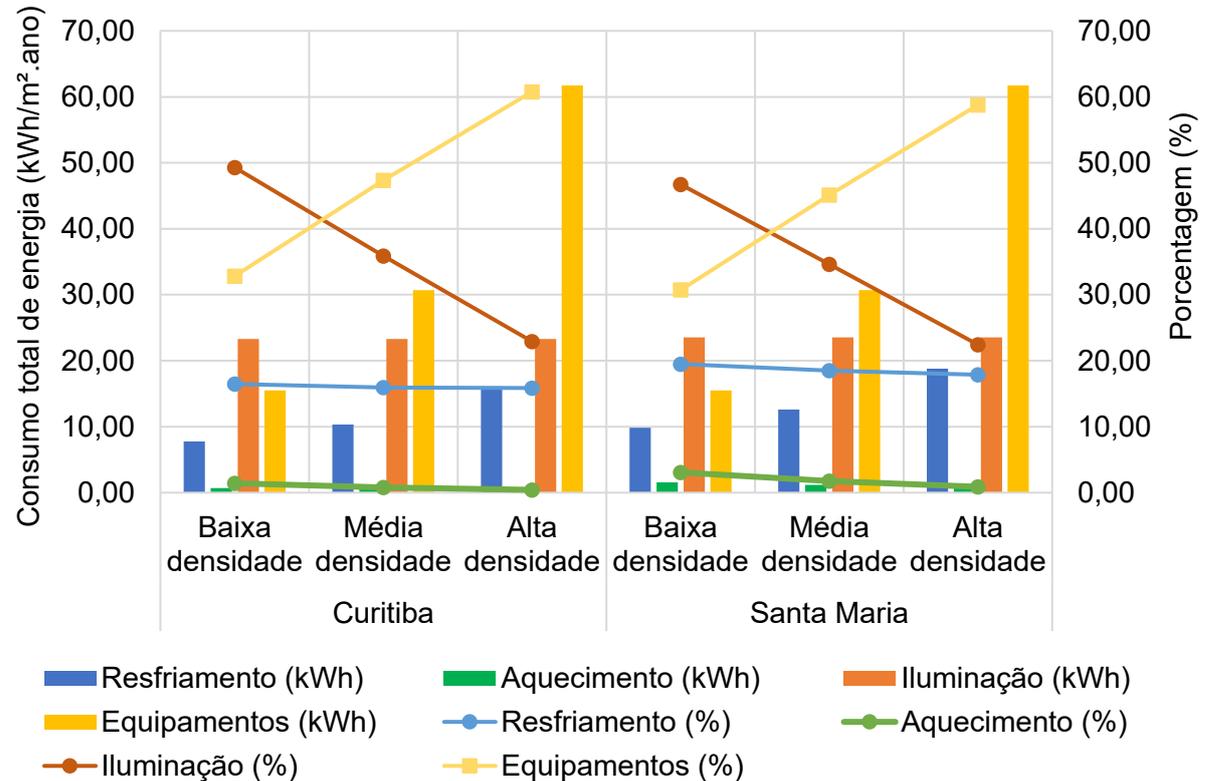


Figura E.3: Uso final de energia do modelo ASHRAE nas cidades na zona 3A – Alta taxa de infiltração



Na zona 3A, o modelo de referência da ASHRAE é menos eficiente do que nas outras zonas analisadas. Em Santa Maria, o modelo com a envoltória da ASHRAE ficou entre o 42º e 65º lugar, dependendo da densidade de ocupação e da taxa de infiltração, mas em Curitiba o modelo apresentou o maior consumo em todas as situações. Ou seja, em Curitiba, todas as combinações de envoltória foram mais eficientes do que a envoltória da ASHRAE.

Em Curitiba, seria possível atender o pré-requisito da certificação em todas as situações simuladas. Nela, a maior economia encontrada foi de 8,1% com baixa densidade de ocupação e baixa taxa de infiltração, comparando-se o melhor desempenho encontrado com o modelo da ASHRAE. A menor economia foi de 5,2% com alta densidade de ocupação e alta taxa de infiltração. Nessa cidade, 32 modelos apresentaram reduções de energia maior que 5,0%, com alta e média densidade e baixa taxa de infiltração.

Entretanto, em Santa Maria, com alta e média densidade de ocupação e alta taxa de infiltração, não seria possível atingir a redução mínima de energia. A maior economia foi de 5,8%, também em baixa densidade e baixa infiltração, mas a menor economia foi de 4,4%, em alta densidade e alta infiltração. Na situação de maior economia, somente dois modelos atenderiam o pré-requisito de economia de energia. As Tabelas E.1 a E.4 mostram o *ranking* dos resultados encontrados nas localidades na zona 3A, evidenciando a posição do modelo da ASHRAE.

O consumo do modelo de referência da ASHRAE é maior do que o consumo máximo encontrado em todos os casos em Curitiba, mas em Santa Maria essa situação acontece somente com alta densidade de ocupação. Com média densidade, o consumo da ASHRAE está mais próximo do consumo máximo encontrado, mas com baixa densidade esse consumo está mais próximo do consumo médio. A diferença entre os consumos máximo e mínimo varia de 6,3% a 6,6% em Curitiba, e de 3,7% a 8,0% em Santa Maria, sendo maior com baixa densidade (Figura E.4).

Em Curitiba e Santa Maria, o consumo médio também não poderia ser considerado como base de comparação, pois nenhum dos casos atingiria o valor mínimo de economia exigido pela LEED. Mais uma vez, assim como nas zonas anteriores, os melhores resultados foram obtidos com o Vidro 4 (vidro insulado com controle solar). Entretanto, nessas duas cidades, os melhores resultados, com alta densidade de ocupação, foram obtidos com as paredes 2 e 3 (parede de tijolo cerâmico e parede de bloco de concreto, respectivamente).

Tabela E.1: Ranking dos consumos de energia em Curitiba – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-16	96,85	P2-04	61,18	P2-04	43,99
2º	P3-16	96,86	P2-16	61,32	P1-04	44,13
3º	P2-08	96,87	P3-04	61,34	P3-04	44,32
4º	P2-12	96,87	P2-08	61,36	P2-16	44,35
5º	P3-04	96,90	P2-12	61,43	P2-03	44,37
6º	P3-08	96,90	P2-03	61,47	P1-16	44,40
7º	P3-12	96,92	P1-04	61,50	P2-08	44,41
8º	P2-04	96,96	P3-16	61,52	P1-08	44,46
9º	P2-15	96,99	P3-08	61,57	P1-03	44,52
10º	P3-15	97,02	P1-16	61,60	P2-12	44,54
11º	P2-07	97,03	P2-15	61,61	P1-12	44,58
12º	P3-03	97,04	P1-08	61,62	P3-16	44,71
13º	P2-11	97,05	P3-03	61,63	P3-03	44,72
14º	P4-04	97,05	P3-12	61,65	P2-15	44,73
15º	P2-03	97,05	P2-07	61,67	P1-15	44,79
16º	P3-07	97,08	P1-12	61,68	P3-08	44,80
17º	P4-16	97,08	P2-11	61,74	P2-07	44,82
18º	P3-11	97,10	P1-03	61,82	P1-07	44,88
19º	P4-08	97,14	P3-15	61,82	P3-12	44,94
20º	P4-12	97,18	P4-04	61,82	P2-11	44,95
21º	P4-03	97,23	P3-07	61,89	P1-11	45,00
22º	P1-16	97,28	P1-15	61,92	P4-04	45,10
23º	P4-15	97,28	P1-07	61,95	P3-15	45,11
24º	P1-08	97,29	P3-11	61,97	P3-07	45,23
25º	P1-12	97,29	P1-11	62,01	P3-11	45,36
26º	P4-07	97,37	P4-16	62,04	P4-16	45,50
27º	P4-11	97,41	P4-08	62,12	P4-03	45,52
28º	P1-04	97,42	P4-03	62,17	P2-02	45,55
29º	P1-15	97,42	P4-12	62,21	P4-08	45,62
30º	P1-07	97,45	P4-15	62,38	P2-14	45,70
31º	P1-11	97,46	P4-07	62,48	P3-02	45,72
32º	P1-03	97,50	P4-11	62,57	P2-06	45,74
33º	P3-14	98,47	P2-02	62,94	P4-12	45,75
34º	P2-14	98,51	P2-14	63,01	P2-10	45,82

Tabela E.1: Ranking dos consumos de energia em Curitiba – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P3-10	98,52	P3-02	63,03	P4-15	45,91
36º	P3-06	98,52	P2-06	63,06	P3-14	45,93
37º	P2-10	98,53	P2-10	63,09	P1-02	45,96
38º	P3-02	98,55	P3-14	63,13	P3-06	46,02
39º	P2-06	98,55	P3-06	63,17	P1-14	46,03
40º	P4-14	98,61	P3-10	63,22	P4-07	46,03
41º	P4-02	98,64	P4-02	63,35	P1-06	46,06
42º	P2-02	98,64	P1-02	63,37	P1-10	46,11
43º	P4-06	98,67	P1-14	63,41	P3-10	46,11
44º	P4-10	98,69	P1-06	63,46	P4-11	46,15
45º	P1-14	98,99	P1-10	63,49	P4-02	46,28
46º	P1-10	99,02	P4-14	63,50	P3-01	46,42
47º	P1-06	99,03	P4-06	63,60	P2-01	46,44
48º	P1-02	99,18	P4-10	63,64	P2-13	46,46
49º	P3-13	99,30	P2-13	63,79	P2-05	46,47
50º	P4-13	99,31	P3-13	63,81	P3-13	46,50
51º	P3-09	99,35	P3-01	63,82	P2-09	46,51
52º	P3-05	99,37	P2-05	63,84	P4-14	46,56
53º	P4-01	99,38	P2-09	63,84	P3-05	46,58
54º	P4-09	99,39	P3-05	63,87	P3-09	46,63
55º	P4-05	99,39	P3-09	63,89	P4-06	46,67
56º	P2-09	99,48	P2-01	63,95	P4-10	46,77
57º	P2-13	99,49	P4-01	64,01	P4-01	46,79
58º	P2-05	99,52	P4-13	64,06	P1-13	46,93
59º	P3-01	99,52	P4-05	64,12	P1-05	46,94
60º	P2-01	99,81	P4-09	64,16	P1-09	46,96
61º	P1-09	100,09	P1-09	64,36	P4-13	46,96
62º	P1-13	100,12	P1-13	64,36	P1-01	46,96
63º	P1-05	100,14	P1-05	64,38	P4-05	47,05
64º	P1-01	100,48	P1-01	64,54	P4-09	47,11
65º	ASHRAE	103,02	ASHRAE	65,88	ASHRAE	47,84

Tabela E.2: Ranking dos consumos de energia em Curitiba – Alta taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	96,28	P2-04	60,79	P1-04	44,07
2º	P2-16	96,37	P1-04	61,04	P2-04	44,10
3º	P3-04	96,39	P2-16	61,07	P1-16	44,46
4º	P2-08	96,45	P3-04	61,07	P1-03	44,47
5º	P2-12	96,50	P2-03	61,14	P2-03	44,50
6º	P2-03	96,51	P2-08	61,16	P3-04	44,54
7º	P3-16	96,51	P1-16	61,26	P2-16	44,56
8º	P3-08	96,60	P2-12	61,27	P1-08	44,59
9º	P2-15	96,62	P1-08	61,35	P2-08	44,70
10º	P3-03	96,63	P3-16	61,36	P1-12	44,73
11º	P3-12	96,66	P1-03	61,38	P2-12	44,83
12º	P1-04	96,70	P3-03	61,40	P1-15	44,85
13º	P2-07	96,70	P2-15	61,41	P2-15	44,93
14º	P1-16	96,74	P1-12	61,44	P3-03	44,94
15º	P4-04	96,75	P3-08	61,46	P3-16	45,00
16º	P2-11	96,75	P2-07	61,49	P1-07	45,00
17º	P3-15	96,76	P3-12	61,57	P2-07	45,06
18º	P1-08	96,81	P2-11	61,59	P3-08	45,12
19º	P1-12	96,86	P1-15	61,61	P1-11	45,13
20º	P3-07	96,87	P4-04	61,68	P2-11	45,20
21º	P4-16	96,91	P3-15	61,69	P2-02	45,23
22º	P3-11	96,92	P1-07	61,71	P3-12	45,26
23º	P1-03	96,94	P1-11	61,79	P3-15	45,36
24º	P1-15	97,00	P3-07	61,80	P4-04	45,37
25º	P4-08	97,01	P3-11	61,90	P1-02	45,48
26º	P4-03	97,03	P4-16	61,99	P3-07	45,49
27º	P4-12	97,07	P4-03	62,05	P2-14	45,53
28º	P1-07	97,09	P4-08	62,11	P3-02	45,55
29º	P1-11	97,13	P4-12	62,22	P3-11	45,62
30º	P4-15	97,19	P4-15	62,34	P2-06	45,65
31º	P4-07	97,29	P2-02	62,43	P1-14	45,72
32º	P4-11	97,36	P4-07	62,47	P2-10	45,75
33º	P2-14	98,01	P2-14	62,55	P4-03	45,77
34º	P2-02	98,03	P4-11	62,57	P4-16	45,79

Tabela E.2: Ranking dos consumos de energia em Curitiba – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P3-14	98,05	P3-02	62,58	P2-01	45,80
36º	P3-02	98,06	P2-06	62,62	P1-06	45,84
37º	P2-06	98,09	P2-10	62,68	P3-14	45,87
38º	P2-10	98,11	P3-14	62,73	P4-08	45,92
39º	P3-06	98,15	P3-06	62,82	P1-10	45,92
40º	P3-10	98,18	P1-02	62,84	P2-13	45,97
41º	P4-02	98,32	P3-10	62,89	P3-01	45,99
42º	P4-14	98,36	P1-14	62,93	P3-06	46,00
43º	P4-06	98,49	P1-06	63,01	P4-12	46,05
44º	P1-14	98,51	P1-10	63,06	P2-05	46,07
45º	P1-02	98,52	P4-02	63,08	P3-10	46,10
46º	P4-10	98,53	P2-01	63,12	P2-09	46,13
47º	P1-06	98,61	P2-13	63,20	P4-15	46,15
48º	P1-10	98,62	P3-01	63,21	P3-13	46,19
49º	P3-13	98,86	P4-14	63,26	P1-01	46,22
50º	P2-13	98,88	P2-05	63,29	P4-07	46,28
51º	P3-01	98,90	P3-13	63,32	P4-02	46,30
52º	P2-01	98,95	P2-09	63,34	P3-05	46,32
53º	P3-05	98,97	P4-06	63,39	P1-13	46,32
54º	P3-09	98,98	P3-05	63,41	P3-09	46,39
55º	P2-05	98,99	P4-10	63,46	P4-11	46,40
56º	P2-09	98,99	P3-09	63,46	P1-05	46,41
57º	P4-01	99,03	P4-01	63,55	P1-09	46,46
58º	P4-13	99,04	P1-01	63,61	P4-01	46,54
59º	P4-05	99,16	P1-13	63,65	P4-14	46,61
60º	P4-09	99,18	P4-13	63,70	P4-06	46,75
61º	P1-13	99,44	P1-05	63,75	P4-13	46,79
62º	P1-09	99,54	P1-09	63,79	P4-10	46,85
63º	P1-05	99,55	P4-05	63,83	P4-05	46,93
64º	P1-01	99,55	P4-09	63,89	P4-09	47,01
65º	ASHRAE	101,53	ASHRAE	64,86	ASHRAE	47,23

Tabela E.3: Ranking dos consumos de energia em Santa Maria – Baixa taxa de infiltração

(continua)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-08	100,97	P2-04	64,79	P1-04	47,50
2º	P2-04	100,98	P1-04	64,81	P2-04	47,69
3º	P2-12	101,02	P1-08	65,17	P1-08	48,13
4º	P2-16	101,04	P2-08	65,22	P1-16	48,20
5º	P3-04	101,16	P1-16	65,26	P1-03	48,22
6º	P1-08	101,17	P3-04	65,28	P1-12	48,34
7º	P1-12	101,21	P2-16	65,30	P3-04	48,37
8º	P3-08	101,25	P1-12	65,33	P2-03	48,39
9º	P1-16	101,27	P2-03	65,37	P2-08	48,41
10º	P1-04	101,27	P1-03	65,38	P2-16	48,46
11º	P2-03	101,27	P2-12	65,39	P2-12	48,64
12º	P3-16	101,29	P3-08	65,78	P1-07	48,83
13º	P3-12	101,31	P1-07	65,80	P1-15	48,86
14º	P2-07	101,36	P3-16	65,83	P1-11	49,03
15º	P2-15	101,40	P2-07	65,84	P3-03	49,06
16º	P2-11	101,41	P1-15	65,85	P2-07	49,10
17º	P3-03	101,51	P2-15	65,87	P2-15	49,11
18º	P1-03	101,55	P3-03	65,88	P3-08	49,13
19º	P1-07	101,56	P1-11	65,95	P3-16	49,13
20º	P1-11	101,61	P3-12	65,96	P2-11	49,31
21º	P1-15	101,61	P2-11	66,00	P3-12	49,36
22º	P3-07	101,66	P4-04	66,32	P2-02	49,43
23º	P3-15	101,68	P3-07	66,39	P1-02	49,47
24º	P4-04	101,73	P3-15	66,41	P4-04	49,61
25º	P3-11	101,74	P3-11	66,56	P3-15	49,77
26º	P4-08	101,93	P2-02	66,76	P3-07	49,80
27º	P4-16	101,94	P4-16	66,85	P1-06	49,87
28º	P4-12	102,02	P4-08	66,86	P2-06	49,91
29º	P4-03	102,17	P4-03	66,93	P1-14	49,93
30º	P4-15	102,39	P1-02	66,93	P3-02	49,94
31º	P4-07	102,40	P2-06	67,02	P2-14	49,95
32º	P4-11	102,50	P4-12	67,03	P3-11	50,01
33º	P2-06	102,97	P2-14	67,06	P1-10	50,03
34º	P2-10	102,99	P3-02	67,12	P2-10	50,08

Tabela E.3: Ranking dos consumos de energia em Santa Maria – Baixa taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-14	103,00	P2-10	67,13	P2-01	50,09
36º	P2-02	103,04	P1-06	67,14	P4-03	50,29
37º	P3-02	103,12	P1-14	67,19	P4-16	50,32
38º	P3-06	103,16	P1-10	67,24	P1-01	50,34
39º	P3-14	103,18	P4-15	67,45	P4-08	50,36
40º	P3-10	103,20	P3-06	67,45	P2-05	50,37
41º	P1-06	103,27	P3-14	67,46	P2-13	50,42
42º	P1-10	103,29	P4-07	67,47	P3-01	50,43
43º	P1-14	103,33	P3-10	67,57	ASHRAE	50,44
44º	P1-02	103,45	P4-11	67,63	P3-06	50,48
45º	P4-02	103,63	P2-01	67,68	P3-14	50,48
46º	P4-14	103,75	P2-05	67,76	P2-09	50,49
47º	P4-06	103,76	P2-13	67,80	P1-05	50,49
48º	P4-10	103,81	P2-09	67,82	P1-13	50,56
49º	P2-09	104,02	P3-01	67,86	P4-12	50,58
50º	P2-05	104,05	P4-02	67,99	P1-09	50,58
51º	P3-05	104,06	P1-05	68,03	P3-10	50,64
52º	P3-09	104,06	P1-01	68,03	P3-05	50,79
53º	P3-13	104,08	P3-05	68,03	P3-13	50,81
54º	P2-13	104,10	P3-13	68,06	P3-09	50,91
55º	P3-01	104,22	P1-09	68,07	P4-02	50,95
56º	P2-01	104,35	P1-13	68,08	P4-15	50,96
57º	P4-01	104,42	P3-09	68,11	P4-07	51,02
58º	P4-13	104,43	P4-14	68,34	P4-11	51,21
59º	P4-05	104,45	P4-06	68,36	P4-01	51,28
60º	P1-09	104,48	P4-10	68,49	P4-14	51,49
61º	P4-09	104,48	P4-01	68,49	P4-06	51,54
62º	P1-05	104,53	ASHRAE	68,60	P4-10	51,71
63º	P1-13	104,61	P4-13	68,76	P4-13	51,71
64º	P1-01	104,85	P4-05	68,77	P4-05	51,74
65º	ASHRAE	106,20	P4-09	68,87	P4-09	51,88

Tabela E.4: Ranking dos consumos de energia em Santa Maria – Alta taxa de infiltração

(continua)

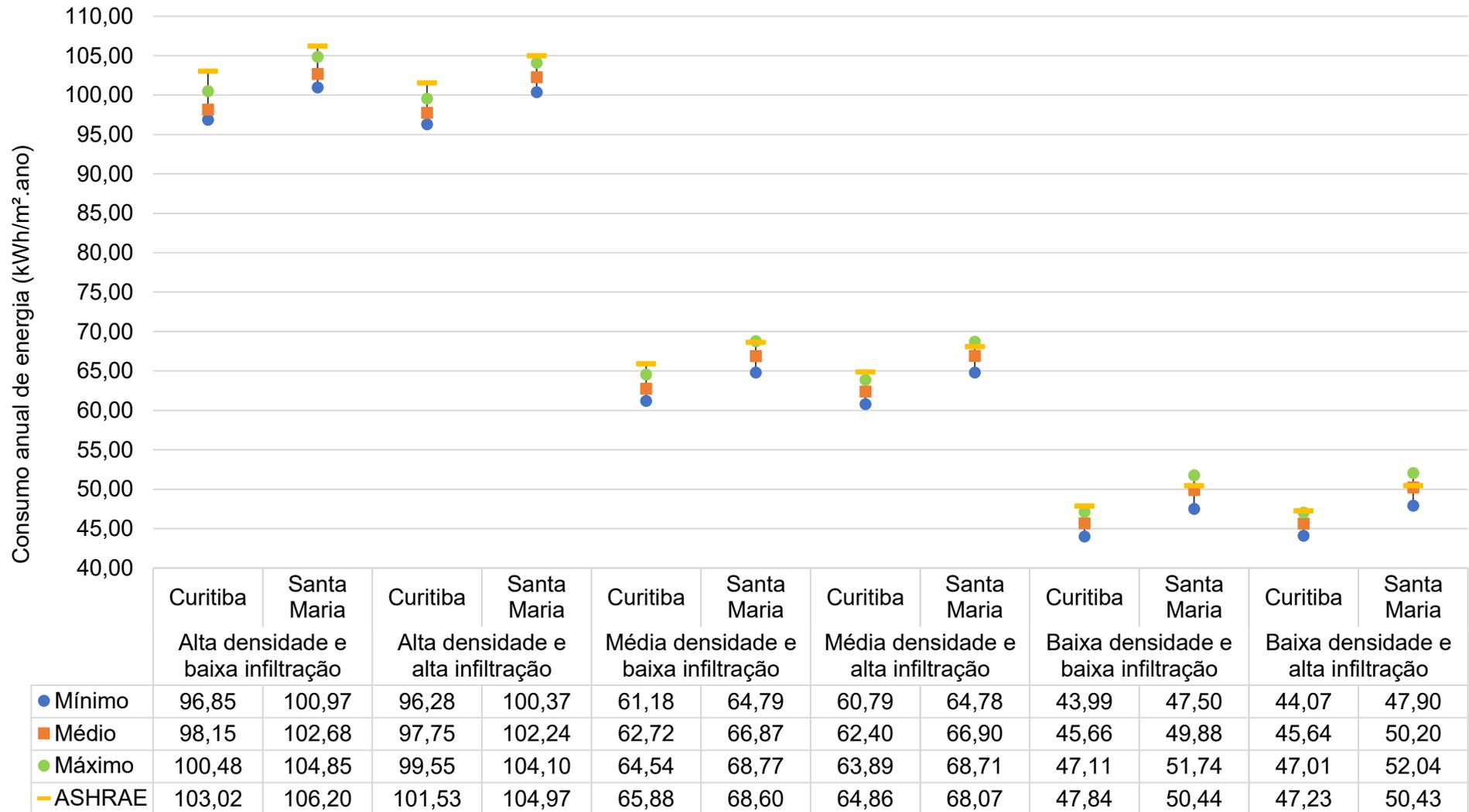
Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
1º	P2-04	100,37	P1-04	64,78	P1-04	47,90
2º	P1-04	100,57	P2-04	64,88	P2-04	48,25
3º	P2-16	100,61	P1-16	65,32	P1-03	48,57
4º	P2-08	100,64	P1-08	65,34	P1-16	48,64
5º	P3-04	100,70	P1-03	65,42	P1-08	48,65
6º	P2-12	100,73	P2-16	65,49	P1-12	48,87
7º	P1-16	100,78	P3-04	65,49	P2-03	48,91
8º	P2-03	100,81	P2-03	65,50	P3-04	48,99
9º	P1-08	100,82	P1-12	65,51	P2-16	49,04
10º	P1-12	100,89	P2-08	65,51	P2-08	49,06
11º	P3-16	100,98	P2-12	65,69	P1-15	49,26
12º	P1-03	101,00	P1-15	65,94	P2-12	49,29
13º	P3-08	101,02	P1-07	65,97	P1-07	49,30
14º	P2-15	101,07	P2-15	66,08	P1-02	49,49
15º	P2-07	101,09	P3-03	66,09	P1-11	49,51
16º	P3-12	101,13	P3-16	66,09	P2-02	49,56
17º	P3-03	101,16	P2-07	66,10	P3-03	49,62
18º	P2-11	101,20	P3-08	66,11	P2-15	49,64
19º	P1-15	101,24	P1-11	66,13	P2-07	49,67
20º	P1-07	101,27	P2-11	66,27	P3-16	49,75
21º	P1-11	101,35	P3-12	66,29	P3-08	49,78
22º	P4-04	101,45	P2-02	66,54	P2-11	49,88
23º	P3-15	101,46	P4-04	66,58	P2-01	49,89
24º	P3-07	101,51	P1-02	66,63	P1-01	49,97
25º	P3-11	101,60	P3-15	66,65	P3-12	50,00
26º	P4-16	101,78	P3-07	66,69	P1-14	50,03
27º	P4-08	101,84	P3-11	66,85	P1-06	50,05
28º	P4-12	101,95	P2-14	66,98	P2-14	50,13
29º	P4-03	101,96	P2-06	66,99	P3-02	50,15
30º	P4-15	102,27	P1-14	67,00	P2-06	50,16
31º	P2-02	102,32	P3-02	67,01	P1-10	50,20
32º	P4-07	102,34	P1-06	67,05	P4-04	50,21
33º	P4-11	102,45	P2-10	67,12	P3-15	50,31
34º	P2-14	102,46	P4-16	67,14	P2-10	50,32

Tabela E.4: Ranking dos consumos de energia em Santa Maria – Alta taxa de infiltração

(conclusão)

Lugar	Alta densidade de ocupação		Média densidade de ocupação		Baixa densidade de ocupação	
	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)	Id. do modelo	Consumo (kWh/m ² .ano)
35º	P2-06	102,47	P4-03	67,16	P2-13	50,34
36º	P2-10	102,54	P2-01	67,17	P3-07	50,35
37º	P3-02	102,57	P4-08	67,17	P2-05	50,35
38º	P1-02	102,63	P1-10	67,17	P1-13	50,37
39º	P3-14	102,73	P4-12	67,34	P1-05	50,39
40º	P1-14	102,74	P1-01	67,39	P3-01	50,39
41º	P3-06	102,76	P3-14	67,45	ASHRAE	50,43
42º	P1-06	102,76	P2-13	67,47	P2-09	50,50
43º	P1-10	102,83	P2-05	67,48	P1-09	50,51
44º	P3-10	102,83	P3-06	67,49	P3-11	50,56
45º	P4-02	103,22	P3-01	67,53	P3-14	50,72
46º	P2-01	103,28	P2-09	67,58	P3-06	50,76
47º	P2-13	103,29	P3-10	67,62	P4-03	50,84
48º	P2-05	103,33	P1-13	67,63	P3-13	50,87
49º	P2-09	103,37	P1-05	67,66	P4-16	50,89
50º	P3-01	103,39	P4-15	67,69	P3-05	50,91
51º	P4-14	103,43	P4-07	67,74	P3-10	50,92
52º	P3-13	103,48	P1-09	67,75	P4-08	50,94
53º	P4-06	103,48	P3-13	67,86	P3-09	51,06
54º	P3-05	103,52	P4-11	67,89	P4-12	51,14
55º	P4-10	103,56	P3-05	67,89	P4-02	51,28
56º	P3-09	103,56	P4-02	68,00	P4-01	51,37
57º	P1-13	103,69	P3-09	68,00	P4-15	51,46
58º	P1-05	103,72	ASHRAE	68,07	P4-07	51,51
59º	P1-09	103,75	P4-01	68,30	P4-11	51,70
60º	P1-01	103,75	P4-14	68,42	P4-14	51,83
61º	P4-01	103,85	P4-06	68,48	P4-13	51,84
62º	P4-13	103,98	P4-10	68,62	P4-06	51,88
63º	P4-05	104,05	P4-13	68,66	P4-05	51,90
64º	P4-09	104,10	P4-05	68,71	P4-10	52,04
65º	ASHRAE	104,97	P4-09	68,83	P4-09	52,05

Figura E.4: Consumos máximos, médios, mínimos e da ASHRAE nas cidades na zona 3A



Na zona 3A, as cidades estudadas possuem temperaturas abaixo da temperatura de *setpoint* de resfriamento na maior parte do ano, sendo que Santa Maria conta com 59 dias acima dos 24°C e Curitiba apresenta somente sete dias. Em Curitiba, o modelo da ASHRAE apresentou o maior consumo em todas as situações, e Santa Maria obteve resultados melhores com a redução da densidade de ocupação. Além disso, a redução do consumo com resfriamento e aquecimento nas diferentes densidades foi menor do que nas outras zonas, variando entre 2,2% e 5,6%; nas outras zonas as reduções eram maiores que 8,0%. Esses resultados reforçam que, em casos de temperaturas amenas e baixas, o isolamento térmico impede a dissipação das cargas térmicas internas geradas na edificação, aumentando a necessidade de resfriamento. Em climas com temperaturas muito baixas, como nos Estados Unidos para o qual a norma foi elaborada, esse bloqueio da troca de calor torna-se uma vantagem, gerando economia no consumo com aquecimento do ar (Figura E.5).

Figura E.5: Temperatura do ar externo nas cidades na zona 3 – médias diárias

