



UFPA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIAS ELÉTRICA E BIOMÉDICA

**MODELAGEM DO PADRÃO DE USO DE ENERGIA DAS HABITAÇÕES SOCIAIS
MULTIFAMILIARES DE BELÉM**

MARIA EDUARDA DA CUNHA REIS

UFPA/ITEC/FEEB
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA

**MODELAGEM DO PADRÃO DE USO DE ENERGIA DAS HABITAÇÕES SOCIAIS
MULTIFAMILIARES DE BELÉM**

MARIA EDUARDA DA CUNHA REIS

Trabalho de curso, apresentado à Faculdade De Engenharia Elétrica e Biomédica da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Ramos Zemero.

UFPA/ITEC/FEEB
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2025

MARIA EDUARDA DA CUNHA REIS

**MODELAGEM DO PADRÃO DE USO DE ENERGIA DAS HABITAÇÕES SOCIAIS
MULTIFAMILIARES DE BELÉM**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Belém, 9 de Setembro de 2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Bruno Ramos Zemero (Orientador)- FAU -UFPA

Prof. Dr^a. Carminda Célia Moura de Moura Carvalho - FEEB - UFPA

Prof. Dr^a. Adriana Rosa Garcez Castro - FEEB - UFPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me sustentar nos momentos de incerteza, e à minha família, meu alicerce, que com amor, paciência e força inabalável esteve ao meu lado nos dias difíceis, sendo minha rocha segura.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Tecnologia (ITEC) e à Faculdade de Engenharias Elétrica e Biomédica (FEEB), pela sólida formação acadêmica e pelas oportunidades de crescimento científico e pessoal ao longo dessa trajetória.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Bruno Ramos Zemerero, pela orientação comprometida, incentivo constante e por acreditar na relevância deste trabalho desde o início.

Ao projeto Hab.LabEEE (UFSC), pela oportunidade de integrar uma pesquisa tão enriquecedora, e à nossa equipe de trabalho, por representar um espaço de colaboração, apoio mútuo e desenvolvimento coletivo. Juntos, somos mais fortes e iremos ainda mais longe.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso, deixo registrada minha mais sincera gratidão.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica tem como objetivo modelar o padrão de uso de energia elétrica em habitações sociais multifamiliares do município de Belém (PA), respondendo à seguinte pergunta: qual é o perfil termoenergético do estoque de conjuntos habitacionais de Belém? A pesquisa foi desenvolvida no âmbito do projeto Hab.LabEEE.

A metodologia compreende a caracterização de 3 conjuntos do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), com base em tipologia construtiva, inserção urbana, materiais e densidade habitacional. Os levantamentos transversais utilizaram o instrumento confortímetro HD32.3TC (Delta OHM), fornecendo dados de temperatura operativa, umidade relativa e padrões de ocupação. As faixas de temperatura aceitável foram determinadas a partir de percepções dos moradores correlacionadas com os dados medidos.

Combinando medições térmicas, informações das contas de luz e rotinas de uso, o estudo resultou na modelagem de um arquétipo representativo das habitações sociais de Belém, possibilitando a estimativa de potência instalada e hábitos energéticos. Os resultados contribuem para o planejamento energético urbano, estratégias de *retrofit* e desenvolvimento de políticas públicas de eficiência energética adaptadas ao contexto amazônico.

Palavras-chave: Eficiência energética, habitação social, modelagem termoenergética, conforto térmico, temperatura operativa.

ABSTRACT

This undergraduate thesis in Electrical Engineering aims to model the pattern of electricity use in multifamily social housing units in the municipality of Belém (PA), addressing the following research question: what is the thermoenergetic profile of the social housing stock in Belém? The study was developed within the scope of the Hab.LabEEE project.

The methodology involves the characterization of three housing complexes from the "Minha Casa Minha Vida" (MCMV) program, based on construction typology, urban context, building materials, and occupancy density. Cross-sectional field surveys were carried out using the HD32.3TC thermal comfort meter (Delta OHM), providing data on operative temperature, relative humidity, and occupancy patterns. Acceptable temperature ranges were determined by correlating occupants' thermal perceptions with the measured environmental data.

By combining thermal measurements, electricity bill data, and usage routines, the study resulted in the modeling of a representative archetype for the social housing units in Belém. This model enables the estimation of installed load and energy-use habits. The findings contribute to urban energy planning, building retrofit strategies, and the development of energy efficiency policies tailored to the Amazonian context.

Keywords: Social housing; thermal comfort; operative temperature; energy efficiency; residential archetypes.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	Problema de Pesquisa.....	8
1.2	Hipótese de Solução.....	8
1.3	Objetivos.....	9
1.3.1	Objetivo Geral.....	9
1.3.2	Objetivos Específicos.....	9
1.4	Justificativa.....	9
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1	Habitação Social e o Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV).....	11
2.2	Conforto térmico e temperatura operativa.....	11
2.3	Indicadores de desempenho energético em edificações.....	13
2.4	Modelagem termoenergética e arquétipos residenciais.....	14
3.	METODOLOGIA.....	15
3.1	Estrutura geral do estudo.....	15
3.2	Levantamento e seleção dos conjuntos habitacionais.....	17
3.3	Caracterização dos Conjuntos Habitacionais.....	18
3.4	Coleta de Dados – Protocolo Hab.LabEEE (Levantamento Transversal).....	23
3.5	Construção dos Arquétipos Energéticos Reais.....	27
3.5.1	Fundamentação e Racionalidade Metodológica.....	28
3.5.2	Etapas Operacionais para a Construção dos Arquétipos.....	28
3.5.3	Aplicações e Relevância.....	30
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1	Perfil Termoenergético dos Conjuntos Habitacionais.....	31
4.1.1	Viver Independência – Março e Junho de 2025.....	31
4.1.2	Riacho Doce II – Abril de 2025.....	32
4.1.3	Paulo Fonteles – Maio de 2025.....	33
4.1.4	Comparativo Final entre os Conjuntos.....	34
4.2	Dados de Consumo de Energia Elétrica nos Conjuntos Habitacionais.....	35
4.2.1	Consumo mensal por unidade.....	35
4.2.2	Consumo médio por conjunto habitacional.....	37
4.2.3	Equipamentos e hábitos de uso.....	38
4.2.4	Discussão crítica dos dados.....	40
4.3	Estimativa de Consumo Elétrico com Base nas Posses e Hábitos – Abordagem <i>Bottom-Up</i>	40
4.3.1	Procedimento de Cálculo.....	40
4.3.2	Estimativas de Consumo Médio por Conjunto.....	41

4.3.3	Comparação com Dados Reais de Consumo.....	42
4.3.4	Considerações.....	43
4.4	Arquétipo Energético Consolidado das Unidades Habitacionais de Interesse Social	43
4.4.1	Características Termoambientais Médias.....	44
4.4.2	Equipamentos Domésticos e Padrões de Uso.....	44
4.4.3	Consumo Energético Médio Consolidado.....	45
4.4.4	Descrição do Arquétipo Consolidado.....	45
4.4.5	Considerações Finais	48
5.	DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES	49
5.1	Desempenho Térmico e Estratégias de Adaptação.....	49
5.2	Padrões de Consumo e Eficiência Energética	49
5.3	Arquétipo Energético como Ferramenta de Simulação.....	49
5.4	Limitações do Estudo	50
5.5	Recomendações	50
5.6	Contribuições do Estudo.....	51
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
6.1	Síntese dos Resultados	52
6.2	Contribuições do Estudo.....	53
6.3	Limitações e Perspectivas Futuras.....	53
6.4	Conclusões.....	54
7.	REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problema de Pesquisa

O crescimento urbano desordenado e a persistência do déficit habitacional brasileiro têm motivado políticas públicas de provisão habitacional em larga escala. Entre 2019 e 2022, o déficit habitacional no país aumentou 4,2%, sendo a região Norte a mais afetada, concentrando 42,8% das inadequações domiciliares (FJP, 2024). Nesse contexto, o Programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV), embora tenha desempenhado papel relevante na ampliação do acesso à moradia, promoveu a reprodução de soluções construtivas padronizadas, frequentemente dissociadas das características climáticas locais (BAVARESCO et al., 2021).

No município de Belém, capital do estado do Pará, inserido na Zona Bioclimática 6A conforme a NBR 15220-3 (ABNT, 2024), os empreendimentos do MCMV enfrentam severas limitações térmicas devido ao clima equatorial úmido, com altas temperaturas médias e umidade relativa elevada durante praticamente todo o ano. As habitações analisadas, localizadas nos conjuntos Viver Independência, Riacho Doce II e Paulo Fonteles, apresentam deficiências importantes de desempenho térmico, o que potencializa o uso de ventiladores e eleva o consumo energético residencial (GARCIA, 2020; MORAES et al., 2021).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023), o setor residencial representou 31% do consumo total de energia elétrica no Brasil em 2023, destacando-se como a segunda maior classe consumidora. Entre 2004 e 2023, o crescimento do consumo residencial foi da ordem de 110%, impulsionado pela maior penetração de equipamentos elétricos e pelas limitações térmicas dos edifícios, que exigem estratégias artificiais para garantir habitabilidade. Tal cenário é especialmente crítico em regiões tropicais, como a Amazônia urbana, onde o desconforto térmico é recorrente e impacta diretamente a qualidade de vida dos moradores (SILVA et al., 2023; KOMMENDA et al., 2023).

1.2 Hipótese de Solução

Considerando a replicação de modelos construtivos padronizados no âmbito do MCMV e a ausência de adaptação às condições bioclimáticas amazônicas, é plausível supor que as Habitações de Interesse Social (HIS) do município de Belém apresentam um perfil de consumo energético condicionado pela ineficiência térmica das edificações e pela adoção de estratégias artificiais de climatização. A construção de um arquétipo de consumo energético real,

fundamentado em dados empíricos sobre posse de equipamentos, hábitos de uso e padrões de ocupação, poderá contribuir significativamente para o entendimento do comportamento energético dessas unidades e para o desenvolvimento de modelos preditivos mais robustos em estudos futuros.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Modelar o perfil de consumo energético real de habitações sociais multifamiliares do município de Belém-PA, por meio da abordagem *bottom-up*¹, utilizando dados térmicos, ocupacionais e de consumo elétrico para construção de um arquétipo representativo que subsidie pesquisas futuras em eficiência energética.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os conjuntos habitacionais Viver Independência, Riacho Doce II e Paulo Fonteles, com base em sua tipologia, inserção urbana e materiais construtivos;
- Levantar dados empíricos de variáveis térmicas (temperatura operativa, umidade relativa, velocidade do ar) a partir de monitoramento com o confortímetro HD32.3TC, segundo o protocolo transversal do HAB.LABEEE (OLIVEIRA et al., 2024);
- Identificar o padrão de posse e uso dos principais equipamentos eletrodomésticos nas unidades analisadas;
- Estimar o consumo elétrico por meio da metodologia *bottom-up*, com base na frequência de uso e potência dos equipamentos;
- Comparar os valores estimados com os dados reais de consumo constantes nas contas de luz dos moradores;
- Desenvolver um arquétipo energético consolidado a partir das médias obtidas nos três conjuntos, com potencial para alimentar modelos computacionais de simulação e predição energética em estudos de continuidade.

1.4 Justificativa

¹ A abordagem *bottom-up* estima o consumo de energia a partir da posse de equipamentos e seus padrões reais de uso, possibilitando modelagens energéticas de base empírica.

A complexidade dos problemas termoenergéticos nas HIS brasileiras exige abordagens metodológicas que combinem dados objetivos, como medições térmicas e registros de consumo, com variáveis comportamentais dos usuários. No caso de Belém, a combinação do clima severo com edificações pouco adaptadas agrava o desconforto térmico e intensifica o uso de equipamentos elétricos para compensação ambiental (GHISI; LAMBERTS, 2003; JAYNE, 2020).

A aplicação da metodologia *bottom-up*, consolidada em estudos nacionais e internacionais, permite mapear o consumo energético de forma desagregada, com base na posse de equipamentos, tempo de uso e número de moradores por domicílio (SCHAEFFER et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2022). Essa abordagem, ao considerar a diversidade de hábitos e contextos sociais, viabiliza a construção de arquétipos energéticos fidedignos, que poderão alimentar futuros modelos preditivos com uso de inteligência artificial, como redes neurais artificiais, contribuindo com pesquisas de maior escopo em programas de pós-graduação.

O presente trabalho, portanto, busca oferecer uma base empírica qualificada sobre o comportamento energético real de conjuntos habitacionais do MCMV em Belém-PA, com vistas a subsidiar estudos futuros voltados ao aprimoramento da eficiência energética no setor residencial popular, respeitando as particularidades regionais e socioeconômicas da população amazônica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Habitação Social e o Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV)

A habitação social no Brasil é um vetor fundamental de políticas públicas voltadas à redução do déficit habitacional e à promoção da equidade urbana. Desde 2009, com o lançamento do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), o país passou a investir sistematicamente em empreendimentos destinados às camadas de menor renda. Contudo, apesar de sua abrangência, o programa tem sido criticado pela padronização excessiva, baixa eficiência energética e desconexão com o contexto climático local.

O MCMV priorizou a construção de unidades habitacionais com baixo custo inicial, o que, por consequência, levou ao uso de materiais de baixa inércia térmica e pouca consideração por estratégias bioclimáticas. Essas limitações refletem-se diretamente no desempenho termoenergético das edificações, impactando tanto o conforto dos moradores quanto a eficiência do uso da energia elétrica.

Estudos de campo, como os realizados por Garcia (2020) e Machado (2022), mostram que as habitações MCMV frequentemente não atingem níveis mínimos de conforto térmico estabelecidos pelas normas técnicas nacionais (como a NBR 15575 e NBR 15220). O baixo desempenho térmico das envoltórias leva ao aumento do uso de ventiladores, condicionadores de ar ou outros dispositivos de resfriamento, resultando em maior consumo energético nas regiões quentes e úmidas, como Belém/PA.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe-se a contribuir com diagnósticos e soluções mais técnicas para o setor, estruturando arquétipos de consumo energético baseados em levantamentos térmicos reais e modelagens dinâmicas. A pesquisa realiza modelagem “de baixo para cima” do perfil energético das habitações considerando o consumo real e comparando com o perfil energético dos parâmetros normativos da NBR 15575:2021, utilizada na etiquetagem residencial brasileira INI-R (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais).

2.2 Conforto térmico e temperatura operativa

O conforto térmico em edificações é um dos principais indicadores de qualidade ambiental interna e está diretamente associado ao bem-estar dos ocupantes e ao uso racional de sistemas eletromecânicos de climatização. Em regiões de clima quente e úmido, como Belém,

a ausência de estratégias de ventilação natural e sombreamento adequado contribui para o superaquecimento dos ambientes, forçando o uso de aparelhos como ventiladores e condicionadores de ar. Esse comportamento tem implicações diretas no consumo de energia elétrica e no dimensionamento das cargas internas das habitações sociais.

A avaliação do conforto térmico pode ser feita com base em diversos indicadores, sendo a temperatura operativa (Top) um dos mais representativos. Esse parâmetro sintetiza o efeito combinado da temperatura do ar e da radiação térmica das superfícies internas, sendo especialmente relevante em ambientes naturalmente ventilados. Segundo a norma ASHRAE Standard 55 e a NBR 16401-2:2021, a temperatura operativa é o parâmetro mais adequado para representar a sensação térmica dos ocupantes quando a velocidade do ar é inferior a 0,2 m/s e a diferença entre temperatura radiante e do ar é significativa.

No contexto da habitação social, a análise da temperatura operativa é essencial para identificar o grau de desconforto térmico, especialmente considerando os padrões construtivos do programa MCMV, frequentemente marcados por materiais de baixa inércia térmica, ausência de isolamento e aberturas mal posicionadas. Estudos conduzidos por Machado (2022) e Favero et al. (2024) reforçam que a sensação térmica real pode ser subestimada se apenas a temperatura do ar for considerada, o que reforça a importância do uso da Top em levantamentos de campo.

Além disso, a pesquisa de Favero et al. (2024) chama atenção para os desafios metodológicos na coleta e interpretação de dados ambientais em investigações centradas no conforto humano. O artigo propõe o uso combinado de estatística robusta e protocolos de medição bem definidos, destacando que as interpretações equivocadas podem comprometer a validade dos resultados de conforto térmico em edifícios residenciais.

Os dados de temperatura operativa foram obtidos a partir de medições com confortímetro HD32.3TC, que registra simultaneamente temperatura de globo, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar — parâmetros que, em conjunto, permitem o cálculo preciso da Top.

A partir desses dados, foram definidas zonas de aceitabilidade térmica adaptativas, considerando a temperatura média externa conforme previsto na ASHRAE 55, ajustada ao contexto amazônico. Esse método permite inferir quais faixas de temperatura operativa são potencialmente aceitáveis para os ocupantes, sem a necessidade de climatização artificial, o que

é particularmente útil para a modelagem de arquétipos energéticos compatíveis com habitação de interesse social.

2.3 Indicadores de desempenho energético em edificações

A avaliação do desempenho energético em edificações é um tema central para a Engenharia Elétrica, pois envolve o diagnóstico e a previsão da demanda energética, a análise da eficiência de sistemas e a proposição de estratégias de racionalização de consumo. No Brasil, esse processo é orientado por instrumentos normativos e regulatórios, como a INI-R (Instruções Normativas do Inmetro), que estabelecem critérios para classificação do desempenho energético de residências unifamiliares e multifamiliares.

Tais indicadores consideram variáveis como: área construída, carga térmica interna, potência instalada de equipamentos, ventilação natural, desempenho da envoltória e sistemas de condicionamento de ar. O enfoque técnico da Engenharia Elétrica contribui nesse processo por meio da análise de perfil de carga e da distribuição dos usos finais de energia, como iluminação, refrigeração, cocção, aquecimento elétrico e eletrônicos — componentes diretamente relacionados ao consumo de energia elétrica e ao dimensionamento das instalações.

Estudos como o de Schaeffer et al. (2020) e Favero et al. (2020) reforçam a importância de modelos *bottom-up* para estimar o consumo residencial, partindo da caracterização dos equipamentos presentes, de sua frequência de uso e de dados climáticos regionais. Em contextos como o de Belém, onde o desconforto térmico impulsiona o uso de ventiladores e condicionadores de ar, a presença desses aparelhos tem peso significativo na curva de carga residencial e, portanto, deve ser incluída nos indicadores de desempenho energético.

Segundo dados do Plano Nacional de Energia (EPE, 2025), o setor residencial brasileiro representava cerca de 25% da demanda total de eletricidade, com destaque para o crescimento do uso de aparelhos eletrodomésticos e sistemas de climatização nas regiões Norte e Nordeste. O estudo de Medeiros et al. (2021) também mostra que o uso final da energia elétrica no setor residencial é fortemente influenciado por fatores como clima, renda e padrões culturais, o que demanda metodologias regionalizadas para análise energética.

No contexto deste trabalho, os indicadores de desempenho energético foram definidos a partir da potência instalada média por tipo de ambiente, da frequência de uso dos equipamentos (informada pelos moradores) e da correspondência entre a rotina de ocupação e

consumo energético mensal. Essa abordagem permite avaliar com maior precisão os impactos do comportamento do usuário no consumo de energia elétrica, propondo arquétipos termoenergéticos que refletem o uso real da habitação e não apenas seu potencial construtivo.

Além disso, a proposição de modelos simplificados de consumo energético por faixa de temperatura operativa pode subsidiar a criação de indicadores mais sensíveis à realidade das habitações sociais da Região Norte, permitindo simulações energéticas que considerem estratégias passivas e a racionalização do uso de climatizadores. Tais estratégias reforçam a contribuição da Engenharia Elétrica na busca por soluções sustentáveis e acessíveis para o setor residencial.

2.4 Modelagem termoenergética e arquétipos residenciais

A modelagem termoenergética de edificações é uma ferramenta essencial para estimar o desempenho térmico e energético de ambientes construídos, permitindo simular diferentes cenários de uso, materiais e estratégias de climatização. Para habitações sociais, onde os recursos são limitados e as condições construtivas frequentemente comprometem o conforto ambiental, a modelagem se apresenta como instrumento técnico de diagnóstico e proposição de melhorias com base em evidências.

No âmbito da Engenharia Elétrica, essa modelagem permite compreender a variação da carga térmica interna, a demanda por energia elétrica e os impactos da ocupação e do clima no perfil de consumo energético. A abordagem mais adotada em estudos desse tipo é a modelagem *bottom-up*, que parte da caracterização detalhada das unidades residenciais — equipamentos presentes, frequência de uso, número de moradores, área útil, ventilação — e do uso combinado de dados ambientais reais e simulações computacionais.

Autores como Schaeffer et al. (2020) e Jayne Garcia (2020) aplicam essa abordagem para desenvolver arquétipos energéticos residenciais, definidos como unidades habitacionais-tipo que representam o comportamento térmico e energético de um grupo de edificações com características semelhantes. Esses arquétipos podem ser classificados por região, faixa de renda, tipologia construtiva ou nível de eficiência, e são amplamente utilizados em estudos de planejamento energético, dimensionamento de sistemas de climatização e avaliação de políticas públicas.

3. METODOLOGIA

A modelagem termoenergética foi construída com base em dados primários coletados em campo, por meio de levantamentos transversais com o confortímetro HD32.3TC, e questionários aplicados durante entrevistas com os moradores. As variáveis analisadas incluíram temperatura operativa, umidade relativa, frequência de uso de climatizadores e padrão de ocupação dos ambientes. Esses dados foram cruzados com os consumos mensais de energia elétrica informados pelos moradores, possibilitando a estimativa da potência instalada média e da demanda diária de cada grupo habitacional.

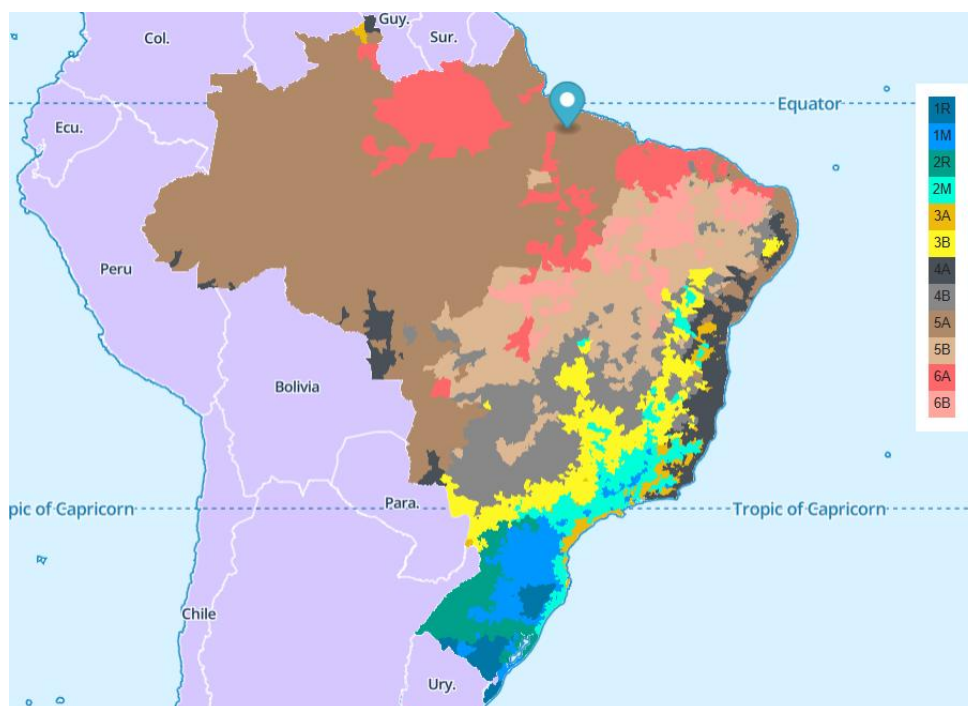
Com base nesses dados, foi desenvolvido um arquétipo real, representativo da estimativa de potência instalada e dos hábitos energéticos observados nos conjuntos habitacionais de Belém. Esse arquétipo não apenas sintetiza a diversidade de condições habitacionais encontradas, como também pode ser utilizado para simulações energéticas futuras (via software como EnergyPlus), subsidiando o dimensionamento de redes, a avaliação de políticas tarifárias ou o desenvolvimento de programas de eficiência energética voltados à habitação de interesse social.

A construção desse arquétipo baseado em dados reais representa uma contribuição metodológica relevante da Engenharia Elétrica aplicada à edificação, ao permitir a transição de análises teóricas para diagnósticos práticos e contextualizados. Com isso, amplia-se o potencial de intervenção técnica sobre um dos setores mais vulneráveis ao desconforto térmico e à ineficiência energética: a habitação social urbana.

3.1 Estrutura geral do estudo

O trabalho foi desenvolvido com base em uma abordagem quantitativa aplicada, integrando dados empíricos e modelagem técnico-científica para construção de um arquétipo termoenergético representativo, consumo energético e condições ambientais coletados em conjuntos habitacionais do programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV), localizados em Belém-PA região classificada como zona bioclimática 6A, conforme mostrado na Figura 1. A pesquisa busca compreender o perfil termoenergético dessas habitações e propor um arquétipo real representativo, fundamentado nas medições de campo e no comportamento dos usuários.

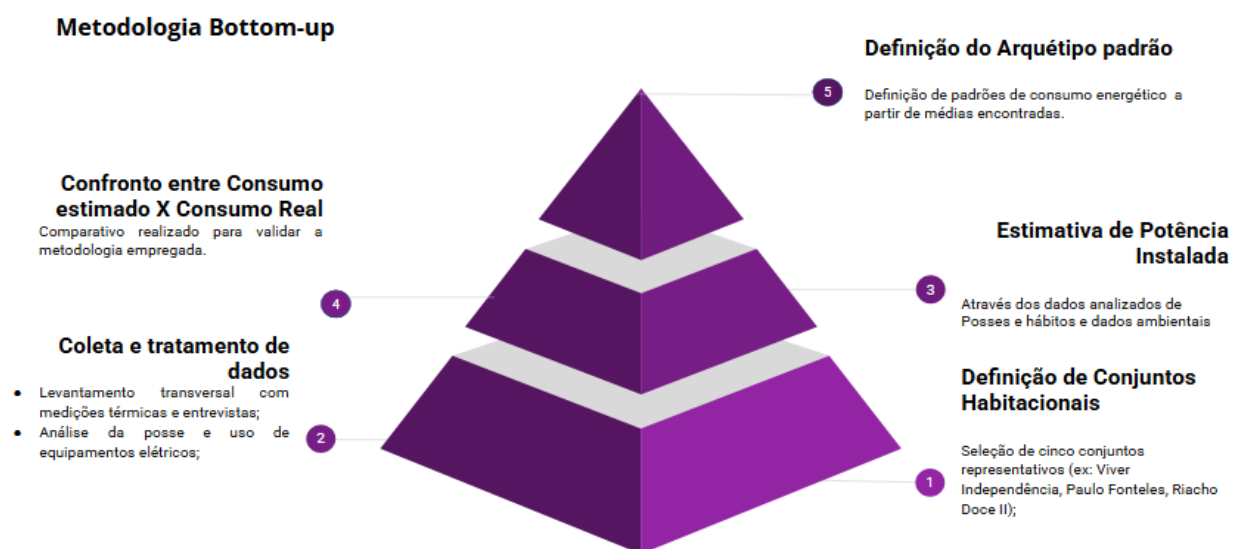
Figura 1: Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: Hab.Labeece

A metodologia adotada segue um encadeamento lógico de etapas, conforme ilustrado na Figura 2, que orienta desde a seleção da amostra até a consolidação dos dados para construção do arquétipo termoenergético. O percurso metodológico compreende:

Figura 2: Esquema da metodologia aplicada bottom-up



Fonte: Autor

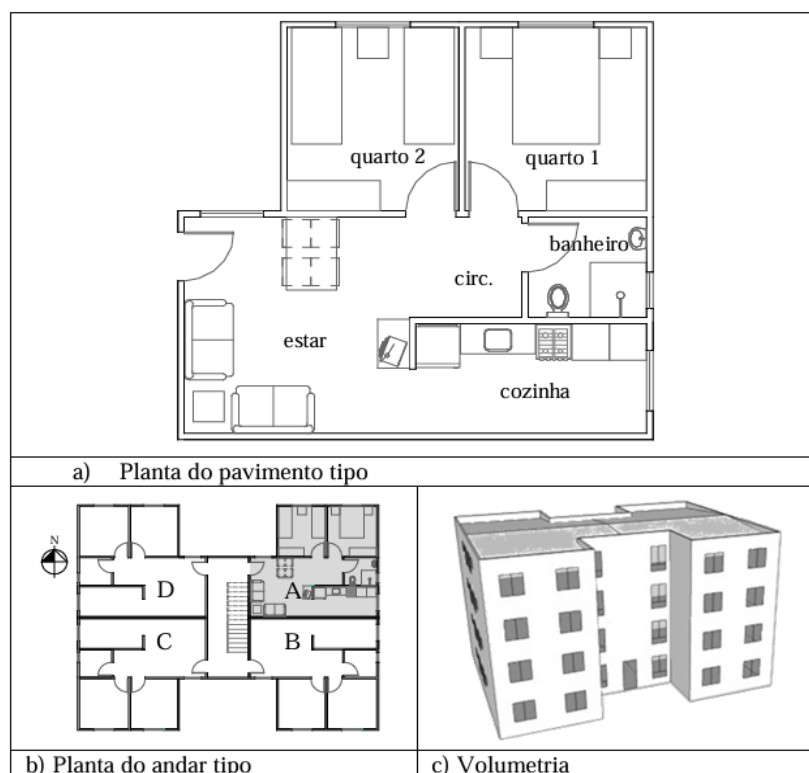
3.2 Levantamento e seleção dos conjuntos habitacionais

Inicialmente, realizou-se a identificação e mapeamento dos principais Habitações de Interesse Social (HIS) multifamiliares localizadas na cidade de Belém/PA (Zona Bioclimática 6A). A seleção da amostra considerou variáveis como: tipologia construtiva, inserção urbana, densidade populacional e representatividade no contexto local.

Foram definidos três conjuntos habitacionais multifamiliares que refletem a diversidade do estoque construído no contexto amazônico urbano. A escolha baseou-se em critérios como:

- Localização geográfica em áreas de alta e baixa densidade urbana;
- Tipologias construtivas típicas do MCMV, conforme mostrado na Figura 3 (H linear, H quadrado, sobrado);
- Viabilidade de acesso para realização das medições e aplicação dos questionários;
- Parceria com o projeto Hab.LabEEE, que forneceu suporte técnico para a execução do levantamento.

Figura 3: Tipologia de edifício multifamiliar com planta em formato H



Fonte: Triana Montes (2016)

3.3 Caracterização dos Conjuntos Habitacionais

Conjunto Residencial Riacho Doce II

O Conjunto Riacho Doce II mostrado na Figura 4, está situado na Avenida Perimetral, bairro do Guamá, em Belém–PA. Insere-se em uma região urbana de alto adensamento populacional, com tráfego intenso, proximidade da Universidade Federal do Pará (UFPA) e forte incidência solar ao longo do dia. Essas características tornam o conjunto representativo de um contexto urbano crítico para o desempenho térmico e energético das edificações.

- **Tipologia Construtiva**

O conjunto é composto por edifícios multifamiliares com tipologia “H” linear, típica dos empreendimentos MCMV. Cada bloco possui quatro pavimentos, com oito unidades habitacionais por andar, totalizando 32 apartamentos por edifício.

- **Materiais e Envoltória**

As unidades são construídas com: Cobertura com telha cerâmica, esquadrias de alumínio com vidro incolor, paredes em alvenaria de blocos cerâmicos, pé-direito médio de 2,90 metros. As aberturas estão expostas diretamente à radiação solar, sem proteção externa, o que contribui para a ganho térmico significativo no interior dos ambientes.

- **Configuração Interna**

Cada unidade conta com aproximadamente 38,11 m² de área construída, na Figura 5 é apresentada a planta baixa dele, distribuída em: Sala de estar, cozinha, três dormitórios, banheiro e área de serviço. Essa organização espacial reflete o padrão mínimo de habitabilidade adotado pelo programa MCMV, com limitações tanto em área útil quanto em ventilação cruzada.

Figura 4: Localização e imagem do Conjunto Residencial Riacho Doce II



Fonte: Google

Figura 5: Planta Baixa do Conjunto Residencial Riacho Doce II



Fonte: Lobo (2018)

Conjunto Residencial Paulo Fonteles Filho

O Residencial Paulo Fonteles Filho conforme é mostrado na Figura 6, está localizado no bairro do Jurunas, próximo à região do Portal da Amazônia, em Belém-PA. Trata-se de um empreendimento residencial multifamiliar inserido na faixa 1 do Programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV), destinado a famílias de baixa renda.

- **Tipologia Construtiva**

O conjunto adota a tipologia “H” verticalizada em sobrado conforme a Figura 7, composta por blocos com dois pavimentos. Em cada pavimento tipo, há quatro unidades habitacionais, totalizando oito apartamentos por bloco. Algumas unidades térreas foram adaptadas para Pessoa com Necessidade Especial (PNE), conforme os requisitos de acessibilidade do programa habitacional.

- **Materiais e Envoltória**

As edificações apresentam uma estética padronizada, com pintura externa nas cores branca e azul-claro. A envoltória construtiva inclui:

- Cobertura com telha cerâmica de duas águas;
- Esquadrias mistas, com parte das unidades utilizando esquadrias originais de madeira e outras com alterações para alumínio e vidro incolor, o que gera heterogeneidade no comportamento térmico das fachadas;
- Paredes em alvenaria cerâmica e ausência de sombreamento externo.

Essas características indicam diferentes níveis de modificação ao longo do tempo de uso, o que pode impactar a ventilação natural e os ganhos térmicos internos.

- **Configuração Interna**

A planta baixa do pavimento tipo (Figura 7) revela uma organização funcional composta por: Sala de estar, cozinha, dois dormitórios, banheiro e área de serviço externa.

As unidades apresentam área construída aproximada de 36 m², refletindo o padrão mínimo de habitação popular e com limitações em termos de flexibilidade espacial e conforto térmico.

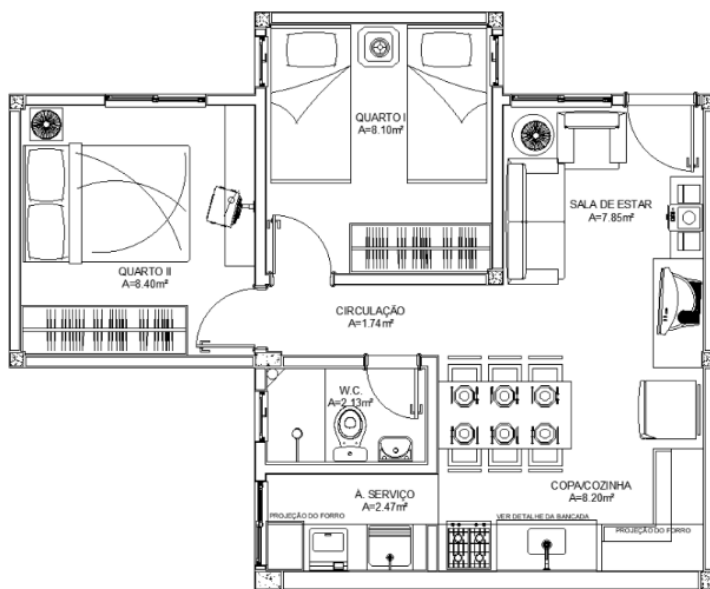
O conjunto está inserido em um entorno urbanístico intermediário, com certo grau de adensamento, mas com presença de ventilação cruzada favorecida pela proximidade com áreas abertas e influência da brisa do rio. Isso proporciona condições mais favoráveis para ventilação natural em comparação com conjuntos situados em áreas densamente edificadas.

Figura 6: Localização e imagem do Conjunto Residencial Paulo Fonteles Filho



Fonte: Google

Figura 7: Planta baixa (tipo) do Residencial Paulo Fonteles Filho



Fonte: Prefeitura Municipal de Belém (2009)

Conjunto Residencial Viver Independência

O Residencial Viver Independência conforme é mostrado na Figura 8, está localizado na Rua Mangueiras, no bairro do Coqueiro, em Belém-PA. Trata-se de um empreendimento habitacional da faixa 1 do Programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV), voltado para famílias de baixa renda, inserido em uma área de alto adensamento urbano, com poucas áreas de respiro e forte exposição solar.

- **Tipologia Construtiva**

O conjunto é constituído por edifícios multifamiliares de tipologia “H” linear, implantados em um terreno que abriga um total de onze blocos residenciais. Cada bloco é composto por:

- Quatro pavimentos (térreo + três andares superiores);
- Oito apartamentos por pavimento, totalizando 32 unidades por edifício.

A organização dos blocos no lote segue uma configuração paralela, com pouco afastamento entre fachadas e baixa permeabilidade ao vento, o que compromete a ventilação natural nos pavimentos centrais.

- **Materiais e Envoltória**

As edificações apresentam acabamentos padronizados, com variações cromáticas entre os blocos, o que facilita a identificação visual dentro do lote:

- Pintura externa em tons de amarelo e cinza;
- Esquadrias de alumínio com vidro incolor, padrão do MCMV, sem proteção externa contra a radiação solar;
- Cobertura com telha cerâmica de duas águas, sem isolamento térmico adicional.

As fachadas estão expostas diretamente à insolação e apresentam poucos elementos de sombreamento passivo, o que contribui para o aquecimento dos ambientes internos ao longo do dia.

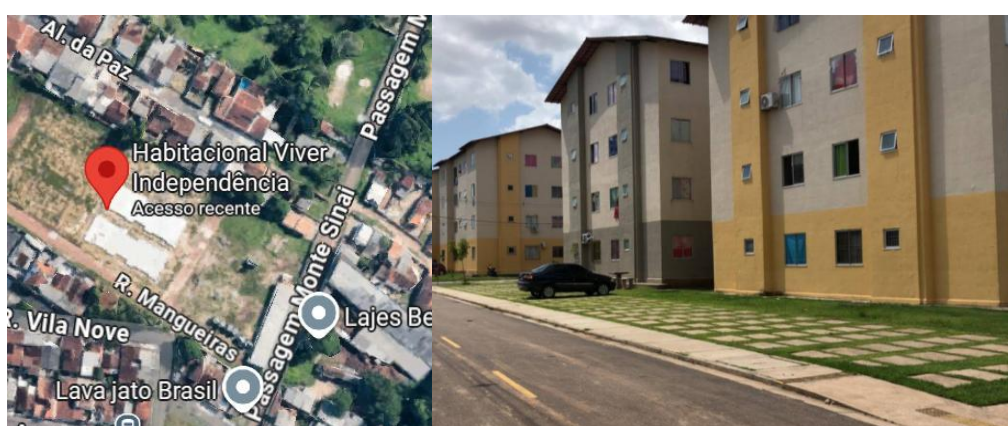
- **Configuração Interna**

Embora não haja planta detalhada descrita no documento original, as unidades seguem o padrão típico MCMV, contendo: Sala de estar, cozinha, dois ou três dormitórios, banheiro e

área de serviço. A área construída estimada é de aproximadamente 38 m², com pé-direito convencional em torno de 2,70 a 2,90 m.

O residencial está inserido em uma malha urbana bastante compacta, com ruas estreitas, tráfego intenso e forte adensamento de edificações no entorno. Isso reduz a ventilação natural disponível e aumenta a absorção de calor urbano, características que impactam diretamente o desempenho térmico das unidades.

Figura 8: Localização e imagem do Conjunto Residencial Viver Independência



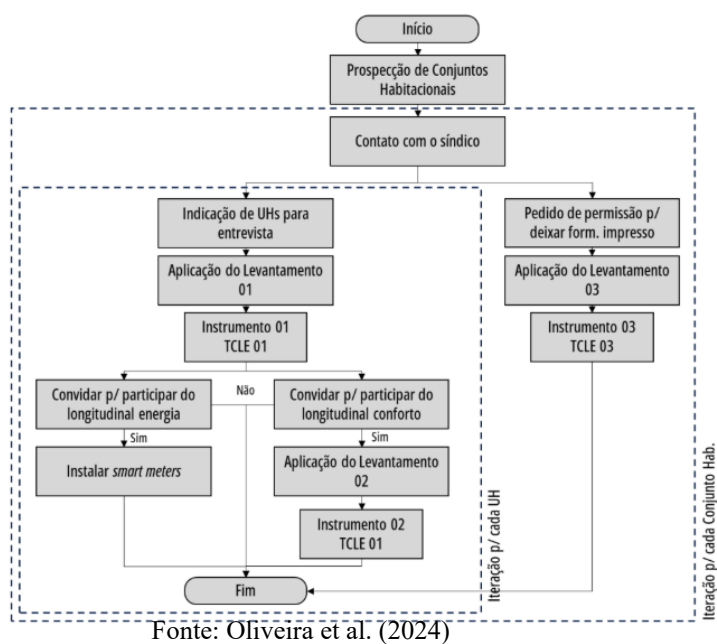
Fonte: Google

3.4. Coleta de Dados – Protocolo Hab.LabEEE (Levantamento Transversal)

A presente pesquisa adota como base metodológica o protocolo de coleta de dados desenvolvido no projeto Hab.LabEEE, na Figura 9 mostra o fluxograma geral do projeto, com foco exclusivo no levantamento transversal, etapa essencial para a caracterização pontual das condições ambientais internas, percepções de conforto térmico e hábitos de uso de energia em habitações sociais multifamiliares.

O levantamento transversal detalhado no fluxograma da Figura 11 tem por objetivo coletar dados instantâneos sobre o desempenho térmico das unidades habitacionais, além de obter informações sociocomportamentais dos moradores, consumo energético, padrão de ocupação e contexto urbano. Essa abordagem foi aplicada em campo por meio de visitas presenciais aos conjuntos da amostra, utilizando entrevistas estruturadas e medições ambientais simultâneas.

Figura 9: Fluxograma geral do projeto



Nota: UH = Unidade Habitacional

TCLE = Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

- Instrumentação

Durante a visita, foi utilizado o equipamento Confortímetro HD32.3TC (Delta OHM) mostrado na Figura 10, para realizar a coleta das variáveis climáticas, incluindo:

- Temperatura do ar (bulbo seco) [°C]
- Temperatura de globo [°C]
- Umidade relativa do ar [%]
- Velocidade do ar [m/s]

As medições foram realizadas durante o tempo necessário para a aplicação dos questionários, com frequência de 1 minuto, e todos os sensores foram fixados em um tripé único, posicionado a 60 cm do piso, altura correspondente ao tronco de uma pessoa sentada — condição sob a qual a entrevista era conduzida.

Figura 10 – Confortímetro HD32.3TC



Fonte: <https://runrite.co.za/product/thermal-comfort-meter/>

- Procedimento de Campo

Após o consentimento formal do morador, mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), os pesquisadores instalaram o equipamento de medição dentro da unidade habitacional (UH), em ambiente de permanência prolongada (sala ou quarto). Em paralelo à medição, foi aplicado um questionário estruturado, que abordou os seguintes tópicos:

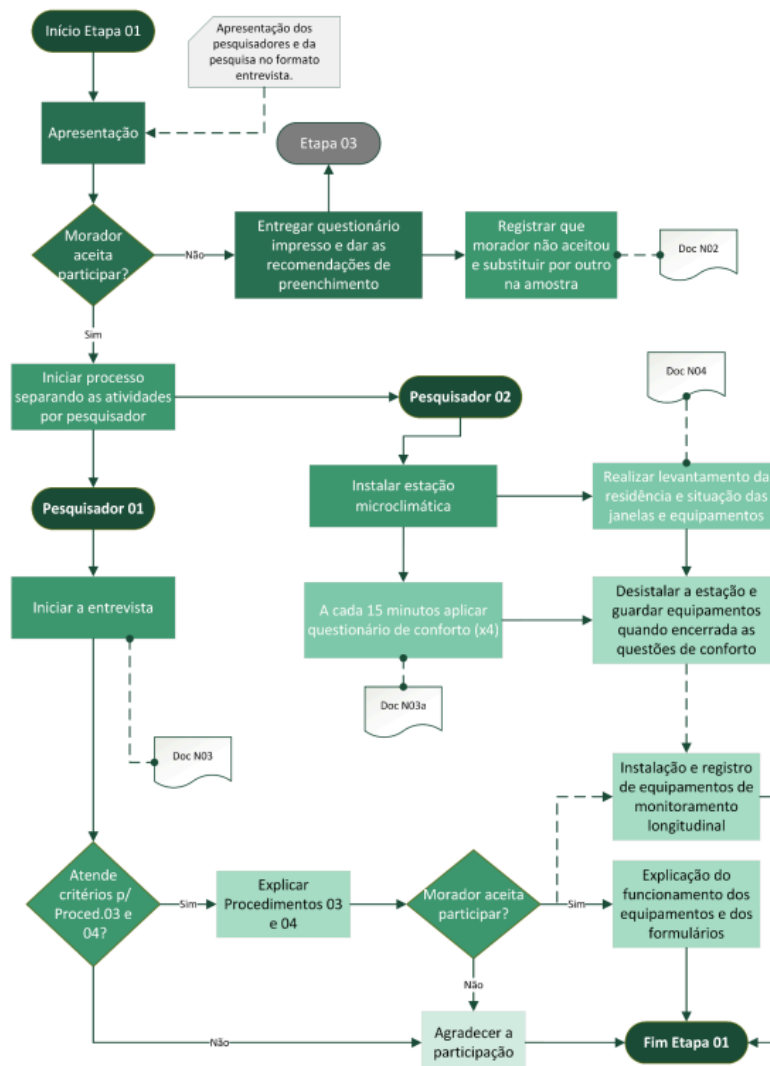
- Dados sociodemográficos e permanência na moradia;
- Informações sobre contexto urbano e custo de vida;
- Percepção geral de conforto térmico e ambiental;
- Uso de aberturas (portas, janelas, cortinas);
- Equipamentos eletroeletrônicos disponíveis (posses);
- Hábitos de uso de energia elétrica;
- Rotina diária e padrão de ocupação da unidade;
- Sensação térmica no momento da visita.

Essa abordagem permitiu a correlação entre os dados objetivos (medidos) e as percepções subjetivas dos ocupantes, gerando um panorama detalhado das condições térmicas reais e dos fatores que influenciam o consumo energético.

- Amostragem

O protocolo original prevê a aplicação do levantamento em 120 unidades habitacionais (UHs), distribuídas entre os cinco conjuntos da amostra, representando distintos contextos urbanos e construtivos. A seleção das unidades monitoradas respeitou critérios de acesso, disponibilidade dos moradores e segurança operacional. Como o experimento ainda está em andamento, este trabalho irá utilizar os dados de três conjuntos e 48 unidades levantadas no período de Março a Junho de 2025.

Figura 11: Fluxograma do Levantamento Transversal



Fonte: Oliveira et al. (2024)

3.5 Construção dos Arquétipos Energéticos Reais

A etapa final da metodologia contempla a construção de arquétipos termoenergéticos representativos das habitações multifamiliares estudadas. Tais arquétipos têm por finalidade sintetizar os padrões médios de uso de energia elétrica e de condições de conforto térmico percebidas pelos moradores, considerando as características físicas das unidades, as variáveis ambientais medidas e os hábitos de consumo identificados por meio de entrevistas. Essa modelagem é baseada na abordagem *bottom-up*, amplamente adotada em estudos energéticos no setor residencial (TEIXEIRA et al., 2022).

A modelagem *bottom-up*, conforme discutido por Teixeira et al. (2022), busca descrever o consumo energético total de uma habitação a partir da soma dos consumos dos seus usos finais, ou seja, parte do comportamento real dos usuários, da posse e uso dos equipamentos e das condições construtivas da edificação, na Figura 12 é apresentado um fluxo de atividades desenvolvidas para a aplicação da modelagem. Esta abordagem contrasta com métodos *top-down*, que se baseiam em dados agregados, e se mostra mais eficaz na caracterização de grupos populacionais específicos, como é o caso das habitações de interesse social.

Figura 12: Metodologia pós coleta de dados.



Fonte: Autor

3.5.1 Fundamentação e Racionalidade Metodológica

A construção dos arquétipos segue três dimensões fundamentais:

- Características físico-construtivas da unidade habitacional: tipologia edificada, número de pavimentos, materiais da envoltória, ventilação natural e orientação solar;
- Perfil de ocupação e rotina dos usuários: número de moradores, tempo médio de permanência no domicílio, uso de ventilação mecânica e abertura de vãos;
- Inventário de equipamentos e padrão de uso: posse de eletrodomésticos, potência dos aparelhos, frequência e tempo diário de utilização.

O levantamento dessas informações ocorreu por meio do monitoramento transversal, conforme protocolo do HAB.LABEEE (OLIVEIRA et al., 2024), no qual foram aplicados questionários estruturados em 48 unidades habitacionais de diferentes conjuntos multifamiliares do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) em Belém/PA. Simultaneamente, foi realizada a medição de variáveis climáticas (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura de globo) por meio do confortímetro HD32.3TC.

3.5.2 Etapas Operacionais para a Construção dos Arquétipos

A construção dos arquétipos seguiu as etapas conforme o fluxo descrito na Figura 13 a seguir:

Figura 13: Metodologia para construção dos arquétipos energéticos



Fonte: Autor

a) Organização e sistematização dos dados: Todos os dados coletados foram organizados em planilhas por conjunto habitacional e tipo de informação: variáveis ambientais, consumo mensal (em kWh), posse e uso de equipamentos, dados demográficos e percepção de conforto térmico.

b) Categorização dos perfis energéticos: Com base nas faturas de energia fornecidas pelos moradores, foram definidas faixas de consumo (baixo, médio e alto), permitindo uma primeira classificação das unidades habitacionais. Essa categorização possibilita compreender a variabilidade intraempreendimento e estabelecer médias ponderadas por conjunto.

c) Estimativa da demanda instalada e do consumo energético diário: Com base no inventário de equipamentos declarado pelos moradores e nos dados de uso informados nos questionários, foi estimada a demanda instalada média por unidade habitacional. A potência de cada equipamento foi associada ao seu tempo médio de uso diário, segundo a Equação 1:

Equação 1

$$E = \sum_{i=1} P_i * t_i * f_i$$

Onde:

- E: consumo energético estimado (kWh/mês);
- Pi: potência nominal do equipamento i (kW);
- ti: tempo médio de uso diário (h/dia);
- fi: frequência de uso semanal (dias/semana) ou sazonal.

Nota: O parâmetro fi é fundamental para representar a quantidade de dias efetivos em que o equipamento é utilizado ao longo do mês. Quando o uso é regular, considera-se fi=7 (uso diário); quando esporádico, esse valor é ajustado para refletir a frequência real observada (por exemplo, 3 vezes por semana). Esse ajuste permite maior precisão na estimativa do consumo mensal total.

d) Construção do perfil horário de consumo: A partir dos dados de ocupação e uso de equipamentos, foram geradas curvas de carga representativas para os dias úteis e finais de semana. Essas curvas permitem identificar os horários de pico de uso de energia e sua correlação com a percepção térmica e as variáveis ambientais medidas.

e) Integração dos dados ambientais: Foram analisadas as temperaturas operativas médias durante a coleta de dados, correlacionadas com a sensação térmica reportada nos questionários, a fim de compor um panorama completo do desempenho termoenergético das unidades.

f) Modelagem final dos arquétipos: Os arquétipos resultantes sintetizam:

- As principais características construtivas do conjunto;
- O perfil médio de permanência e rotina dos moradores;
- A demanda instalada típica (W/unidade);
- O consumo médio mensal estimado e registrado (kWh);
- A percepção térmica predominante e as temperaturas medidas.

Cada arquétipo foi nomeado segundo o conjunto habitacional correspondente e representa uma média ponderada das UHs estudadas naquele contexto urbano específico.

3.5.3 Aplicações e Relevância

Os arquétipos construídos permitem não apenas compreender o comportamento energético das habitações analisadas, mas também constituem uma base sólida para simulações termoenergéticas e projeções de consumo em modelos computacionais. A metodologia *bottom-up* demonstrou-se eficaz para o diagnóstico energético de habitações populares, sendo recomendada por diversos autores no Brasil (GHISI; LAMBERTS, 2003; TEIXEIRA et al., 2022; SILVA et al., 2023).

A relevância desta etapa reside na possibilidade de subsidiar políticas públicas de *retrofit* energético, dimensionamento de redes de distribuição e incentivo à adoção de equipamentos mais eficientes, com base em evidências reais e contextualizadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perfil Termoenergético dos Conjuntos Habitacionais

A análise do desempenho termoenergético dos conjuntos residenciais investigados neste estudo baseia-se em dados empíricos coletados a partir do levantamento transversal, conforme o protocolo do HAB.LABEEE (OLIVEIRA et al., 2024). O objetivo desta etapa foi identificar os padrões térmicos internos das unidades habitacionais e sua relação com a percepção de conforto dos moradores e o uso da energia elétrica, contribuindo assim para a construção de arquétipos energéticos fundamentados em dados reais.

Conforme Ghisi e Lamberts (2003), o desempenho térmico de habitações populares em climas tropicais úmidos está fortemente associado às características construtivas, à ventilação natural e à densidade de ocupação. Os resultados aqui apresentados sintetizam os dados dos conjuntos Viver Independência, Riacho Doce II e Paulo Fonteles, representativos do modelo construtivo “H” do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), localizados na cidade de Belém/PA.

4.1.1 Viver Independência – Março e Junho de 2025

O monitoramento ambiental realizado no conjunto Viver Independência no mês de março de 2025 revelou condições típicas de clima equatorial úmido, com elevadas temperaturas internas e forte influência da ventilação natural restrita onde esses dados são sintetizados na Tabela 1. Os dados foram coletados por meio do Confortímetro HD32.3TC, registrando variáveis a cada minuto durante as entrevistas.

Tabela 1 - Médias ambientais registradas (Viver Independência)

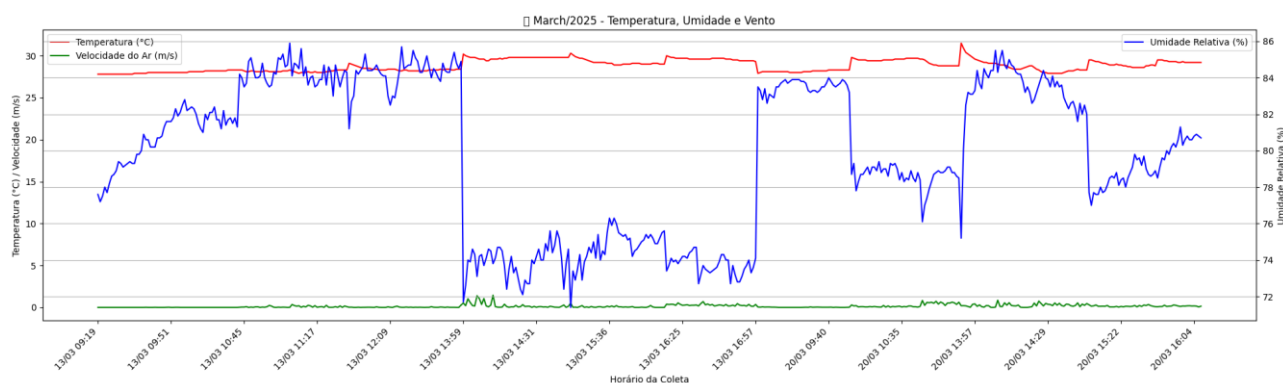
Variável	Valor Médio	Desvio Padrão
Temperatura do Ar (°C)	31,6	±1,2
Umidade Relativa do Ar (%)	72,4	±4,1
Velocidade do Ar (m/s)	0,08	±0,03
Temperatura de Globo (°C)	32,8	±1,3
Temperatura Operativa (°C)*	32,2	—

*Cálculo segundo NBR 15220-3 (ABNT, 2024).

Fonte: Autor

A Figura 14 apresenta a variação das variáveis térmicas durante o dia de coleta:

Figura 14: Gráfico de temperatura, umidade e velocidade do ar – Março 2025 – Viver Independência



Fonte: Autor

A temperatura operativa média de 32,2 °C ultrapassa os limites superiores da zona de conforto adaptativo recomendada pela literatura para regiões tropicais, especialmente para edificações naturalmente ventiladas (SILVA et al., 2023; GARCIA, 2020). A baixa velocidade do ar no interior das unidades indica um potencial restrito de ventilação cruzada, condição reforçada pelas observações em campo quanto ao entorno adensado e ausência de sombreamento efetivo.

4.1.2 Riacho Doce II – Abril de 2025

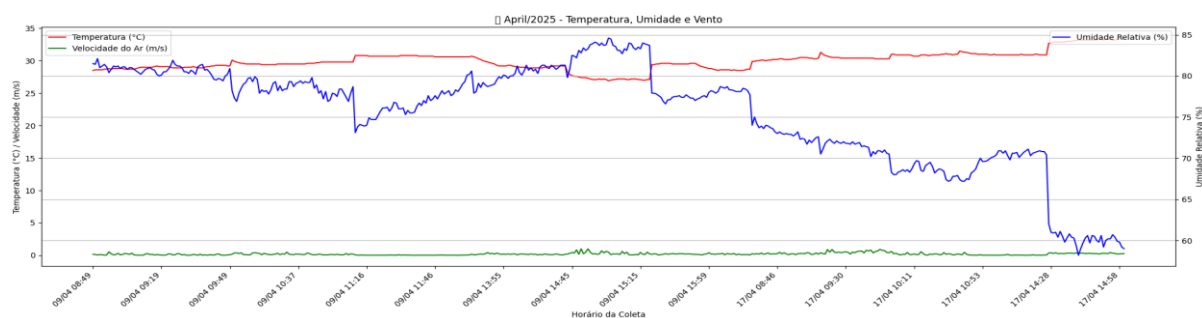
O conjunto Riacho Doce II foi monitorado em abril de 2025 onde o gráfico com as variações ambientais está apresentado na Figura 15. As edificações apresentam a mesma tipologia construtiva, mas estão inseridas em um entorno mais ventilado. As variáveis ambientais registradas são descritas na Tabela 2:

Tabela 2 – Médias ambientais registradas (Riacho Doce II)

Variável	Valor Médio	Desvio Padrão
Temperatura do Ar (°C)	30,8	±1,0
Umidade Relativa do Ar (%)	76,1	±3,7
Velocidade do Ar (m/s)	0,13	±0,05
Temperatura de Globo (°C)	31,6	±1,1
Temperatura Operativa (°C)	31,2	—

Fonte: Autor

Figura 15: Gráfico de temperatura, umidade e velocidade do ar – Abril 2025 – Riacho Doce II



Fonte: Autor

A temperatura operativa registrada neste conjunto foi ligeiramente inferior à observada no Viver Independência. A maior velocidade do ar registrada, mesmo que ainda limitada, pode ter contribuído para um nível ligeiramente melhor de conforto térmico percebido, conforme relatado nas entrevistas realizadas com os moradores.

4.1.3 Paulo Fonteles – Maio de 2025

O conjunto habitacional Paulo Fonteles, também integrante do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), foi analisado no mês de maio de 2025. As unidades seguem a mesma tipologia construtiva “H”, porém estão inseridas em uma região com maior adensamento urbano e baixa permeabilidade térmica, o que influencia negativamente a ventilação natural.

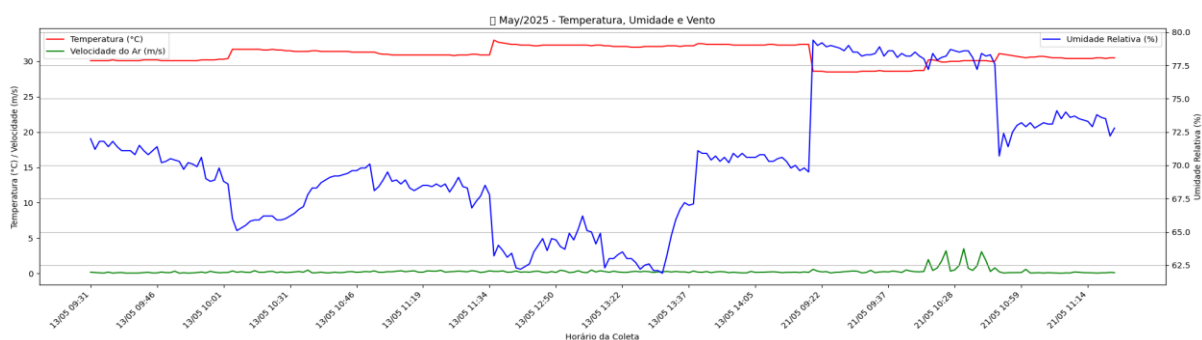
As medições foram realizadas com o mesmo equipamento utilizado nos demais conjuntos (Confortímetro HD32.3TC), mantendo a frequência de registros a cada minuto durante a aplicação dos questionários, a síntese dos dados coletados está apresentada na Tabela 3 e na Figura 16 apresenta-se o gráfico com as variações ambientais coletadas.

Tabela 3 – Médias ambientais registradas (Paulo Fonteles)

Variável	Valor Médio	Desvio Padrão
Temperatura do Ar (°C)	32,4	±1,4
Umidade Relativa do Ar (%)	73,5	±4,3
Velocidade do Ar (m/s)	0,06	±0,02
Temperatura de Globo (°C)	33,5	±1,5
Temperatura Operativa (°C)	32,9	—

Fonte: Autor

Figura 16: Gráfico de temperatura, umidade e velocidade do ar – Maio 2025 – Paulo Fonteles



Fonte: Autor

A temperatura operativa média de 32,9 °C indica uma condição crítica de desconforto térmico. Esse valor ultrapassa os limites superiores da zona de conforto adaptativo para edifícios naturalmente ventilados, conforme critérios estabelecidos por Silva et al. (2023) e pela norma ASHRAE 55.

O baixo valor da velocidade do ar (0,06 m/s) confirma a limitação na ventilação cruzada, agravada pelas barreiras físicas ao redor das unidades (muros altos, construções anexas e ausência de vegetação). Esses dados corroboram as observações in loco e os relatos dos moradores, que indicaram sensação constante de abafamento e necessidade de uso de ventiladores, mesmo em períodos noturnos.

Além disso, foi identificado um padrão de sobrecarga térmica noturna, com temperaturas internas permanecendo acima de 30 °C mesmo após o pôr do sol, dificultando o repouso e comprometendo o bem-estar dos ocupantes. Essa condição é compatível com o que Garcia (2020) descreve como “efeito forno” em unidades térreas adensadas.

4.1.4 Comparativo Final entre os Conjuntos

A Tabela 4 apresenta um resumo comparativo entre os três conjuntos habitacionais analisados:

Tabela 4 – Comparativo de desempenho termoenergético entre os conjuntos

Conjunto	Temp. Operativa (°C)	Umidade (%)	Velocidade do Ar (m/s)
Viver Independência	32,2	72,4	0,08
Riacho Doce II	31,2	76,1	0,13
Paulo Fonteles	32,9	73,5	0,06

Fonte: Autor

A análise mostra que, entre os três conjuntos, o Paulo Fonteles apresentou os piores indicadores de desempenho térmico, com maior temperatura operativa e menor ventilação. Isso se reflete diretamente na percepção de desconforto relatada pelos moradores e na tendência de maior uso de aparelhos de resfriamento artificial (ar-condicionado, ventiladores), o que será discutido com mais profundidade no próximo capítulo.

4.2 Dados de Consumo de Energia Elétrica nos Conjuntos Habitacionais

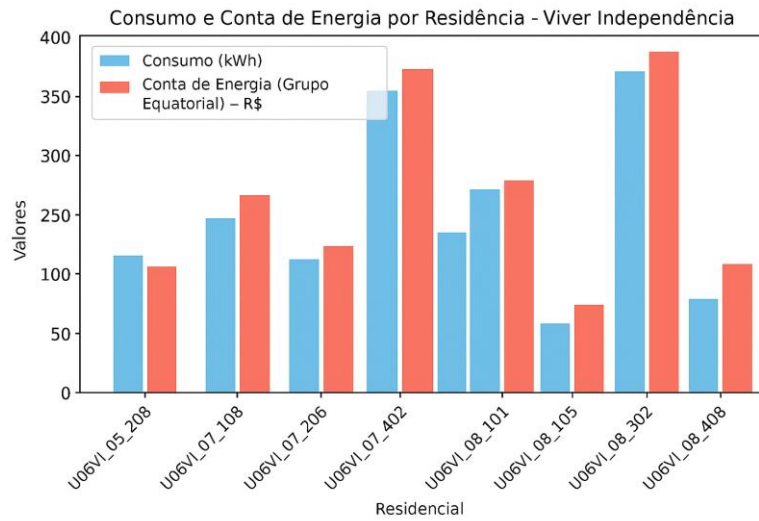
O consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro é resultado de uma complexa interação entre variáveis climáticas, características construtivas, perfil socioeconômico dos moradores, hábitos de uso dos equipamentos e padrões culturais regionais (TEIXEIRA et al., 2022). No caso de habitações de interesse social, esses fatores tornam-se ainda mais relevantes, dado o alto grau de vulnerabilidade energética dos moradores e a limitação de recursos para aquisição de soluções eficientes de climatização.

A seguir, apresentam-se os dados de consumo elétrico obtidos junto aos moradores dos conjuntos habitacionais Viver Independência, Riacho Doce II e Paulo Fonteles, localizados em Belém/PA. As informações foram organizadas e analisadas com base nas faturas mensais de energia, no levantamento de equipamentos eletrodomésticos e na frequência de uso declarada por cada unidade, compondo assim um panorama energético detalhado das habitações investigadas.

4.2.1 Consumo mensal por unidade

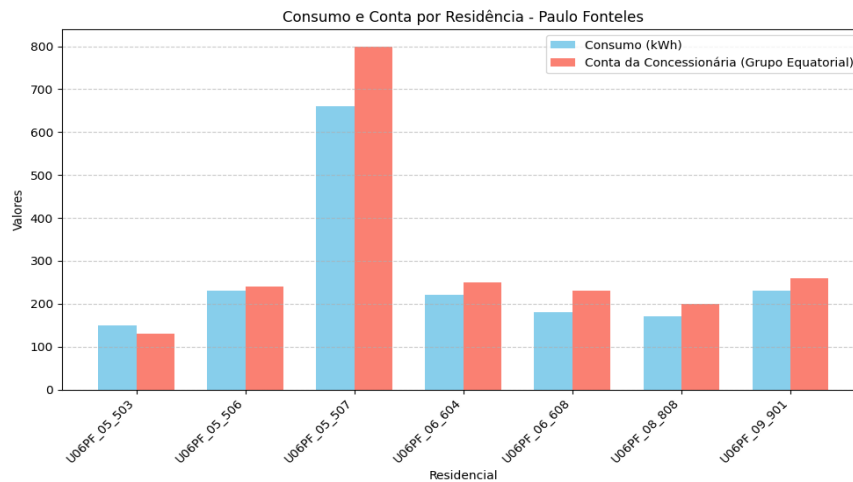
Os gráficos das Figuras 17, 18 e 19 a seguir, ilustram as médias dos consumos mensais (kWh) e os valores das faturas de energia elétrica (R\$) das unidades que apresentaram dados completos ao longo de 12 meses. Foram consideradas unidades que apresentaram leituras válidas para pelo menos 10 meses consecutivos, garantindo maior confiabilidade à análise.

Figura 17 – Média dos consumos mensais e valores das faturas por unidade habitacional Conj. Viver Independência (kWh)



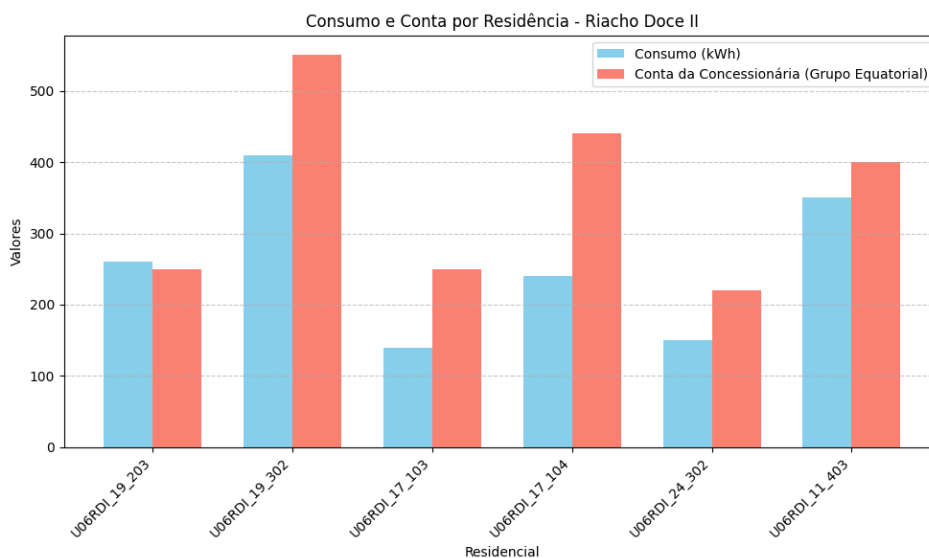
Fonte: Laboratório de Tecnologias das Construções (2025)

Figura 18 – Média dos consumos mensais e valores das faturas por unidade habitacional Conj. Paulo Fonteles (kWh)



Fonte: Laboratório de Tecnologias das Construções (2025)

Figura 19 – Média dos consumos mensais e valores das faturas por unidade habitacional Conj. Riacho Doce II (kWh)



Fonte: Autor

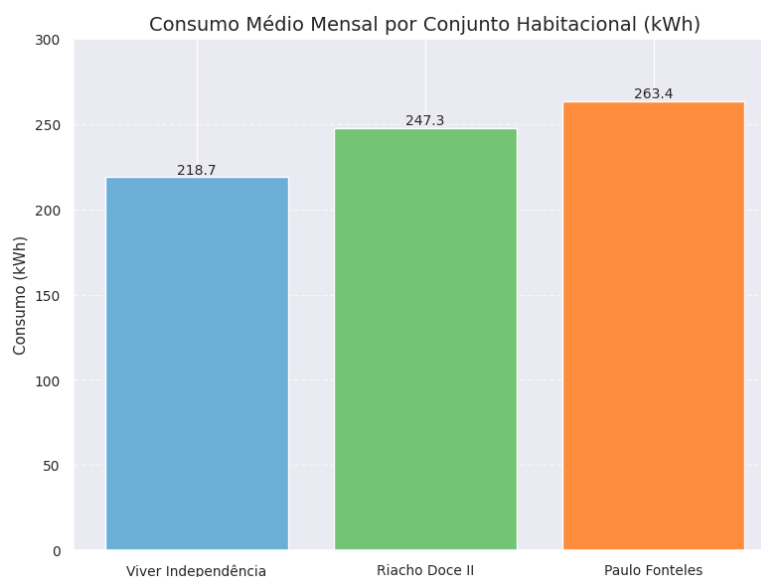
A análise mostra que unidades como U06VI_7_206 (Viver Independência) e U06RDII_19_302 (Riacho Doce II) registraram os maiores patamares de consumo, superando 500 kWh/mês em determinados períodos. Esses valores situam-se muito acima da média nacional para habitações de interesse social, que, segundo dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2021), gira em torno de 170 a 220 kWh/mês, dependendo da região climática e do grau de urbanização.

É importante ressaltar que as variações de consumo ao longo dos meses coincidem com períodos de maior insolação e temperaturas mais elevadas, indicando provável aumento no uso de ventiladores e outros aparelhos de resfriamento, conforme discutido por Silva et al. (2023).

4.2.2 Consumo médio por conjunto habitacional

A Figura 20 apresenta uma média anual do consumo mensal por conjunto habitacional, considerando apenas as unidades com dados válidos. Esse indicador permite comparar o desempenho energético médio entre os empreendimentos analisados conforme pode-se visualizar na Tabela 5.

Figura 20 – Consumo médio mensal por conjunto habitacional (kWh)



Fonte: Autor

Tabela 5 - Média de consumo mensal por Conjunto Habitacional

Conjunto	Média Mensal (kWh)
Viver Independência	218,7
Riacho Doce II	247,3
Paulo Fonteles	263,4

Fonte: Autor

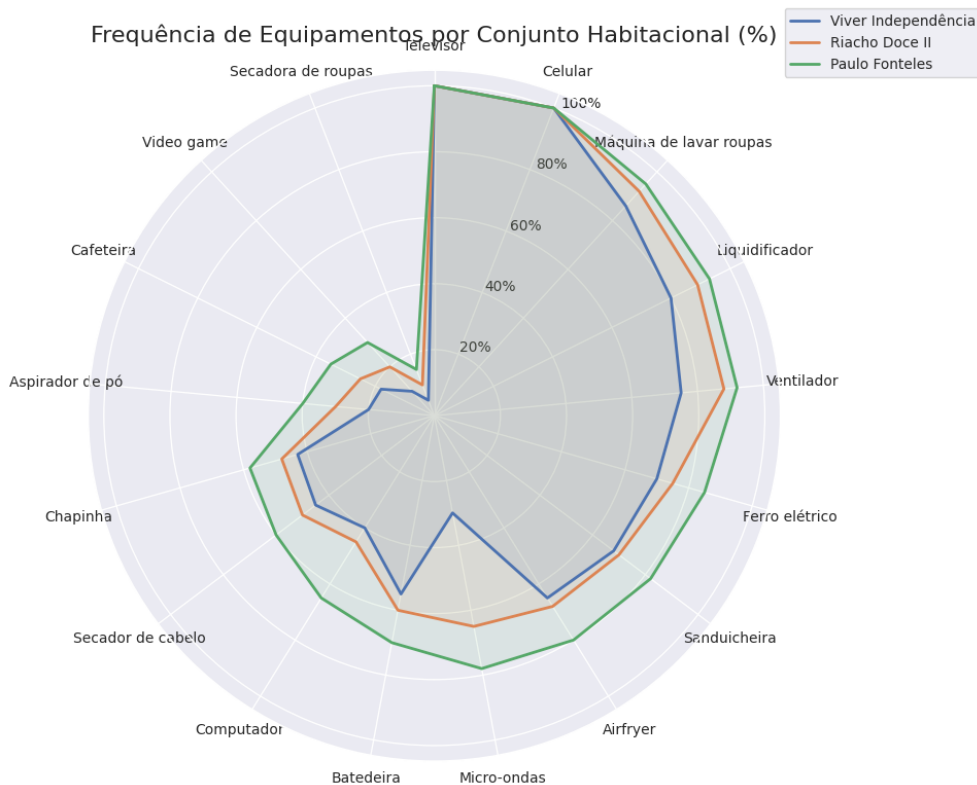
O conjunto Paulo Fonteles apresenta o maior consumo médio mensal entre os três, o que está em consonância com os dados ambientais registrados no Capítulo 4.1: menor ventilação natural, maior temperatura operativa e relatos de uso intensivo de ventiladores e, em alguns casos, ar-condicionado portátil. Tais achados reforçam a tese de Teixeira et al. (2022), que apontam a precariedade das soluções passivas em conjuntos do MCMV como vetor para a elevação do consumo energético, especialmente nas regiões Norte e Nordeste do país.

4.2.3 Equipamentos e hábitos de uso

A composição do consumo residencial está diretamente ligada à posse de eletrodomésticos e à intensidade do uso. O levantamento identificou padrões bastante homogêneos nos três conjuntos, com presença quase universal de televisores, refrigeradores e

celulares, além de crescente popularização de airfryers, ferros elétricos e máquinas de lavar roupas, mesmo entre famílias de baixa renda, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Frequência de equipamentos por conjunto habitacional (%)



Fonte: Autor

A Tabela 6 a seguir resume os cinco equipamentos mais comuns nas unidades visitadas:

Tabela 6 – Equipamentos mais presentes nas unidades habitacionais

Equipamento	Frequência (%)
Televisor	100%
Celular	100%
Máquina de lavar roupas	91%
Liquidificador	87%
Ventilador	85%

Fonte: Autor

O uso frequente de máquinas de lavar roupas com ciclos semanais superiores a três vezes, combinado ao uso diário de televisores e carregamento constante de celulares, configura

um perfil energético típico de uso contínuo, mesmo com baixos índices de eficiência energética em alguns casos.

Esse padrão reforça a importância de ações de educação energética e programas de substituição de equipamentos obsoletos, como já defendido por Ghisi e Lamberts (2003) e implementado parcialmente em programas como o Procel (MMA, 2021).

4.2.4 Discussão crítica dos dados

A correlação entre as condições térmicas descritas no Capítulo 4.1 e o padrão de consumo energético revela uma clara vulnerabilidade termoenergética dos moradores dos três conjuntos habitacionais estudados. A ausência de soluções construtivas bioclimáticas, a baixa eficiência da envoltória e a limitação de ventilação natural geram ambientes internos insalubres, especialmente em períodos de maior carga térmica.

Essa condição leva ao aumento do uso de equipamentos elétricos para mitigação do desconforto, gerando um ciclo de dependência energética que não se sustenta economicamente. De fato, várias unidades registraram contas de energia superiores a R\$ 300, valor que representa parcela significativa da renda mensal das famílias atendidas pelo MCMV (OLIVEIRA et al., 2024).

4.3 Estimativa de Consumo Elétrico com Base nas Posses e Hábitos – Abordagem *Bottom-up*

4.3.1 Procedimento de Cálculo

Conforme Teixeira et al. (2022), o modelo *bottom-up* já citado anteriormente na seção 3.6.2 (item c) parte da equação fundamental de energia conforme a Equação 2.

Equação 2

$$E = \frac{P * t * f}{7} * 30$$

onde:

- P = Potência em watts (W)
- t = Tempo médio diário de uso (em horas)
- f = Frequência semanal (número de dias por semana que o equipamento é usado)

- 30 = dias do mês
- O fator $\frac{f}{7}$ converte a frequência semanal para uso diário médio

Essa equação foi aplicada a todos os equipamentos identificados nas unidades habitacionais dos três conjuntos analisados: Viver Independência, Riacho Doce II e Paulo Fonteles.

A seguir na Tabela 7, exemplifica-se parte do cálculo com base nas posses e hábitos declarados para os equipamentos mais comuns:

Tabela 7 - Estimativas de consumo mensal por equipamento

Equipamento	Potência Média (kW)	Tempo Médio Diário (h)	Frequência Semanal (dias)	Estimativa de Consumo Mensal (kWh)
Televisor	110	5	7	16,50
Celular (3 carregadores)	30	2	7	1,80
Máquina de lavar roupas	400	1	3	5,14
Liquidificador	400	0,17	3	0,87
Ventilador	70	8	7	16,80
Airfryer	1100	0,5	3	7,07
Chapinha	1300	0,25	2	2,79

Fonte: Autor

Obs.: Os tempos médios foram estimados a partir da categorização de respostas qualitativas como “rapidinho” (~10 min), “meio turno” (~4h), “uso o dia todo” (~8h), etc., conforme metodologia de Teixeira et al. (2022) e Moraes et al. (2021).

O somatório do consumo mensal estimado para cada moradia foi então consolidado por conjunto habitacional.

4.3.2 Estimativas de Consumo Médio por Conjunto

Com base nos dados de posse e uso de equipamentos, foi possível calcular a estimativa de consumo médio mensal para cada conjunto habitacional. A Tabela 8 apresenta o resultado consolidado, considerando todas as unidades analisadas:

Tabela 8 – Consumo estimado médio mensal por conjunto habitacional (kWh)

Conjunto Habitacional	Consumo Estimado (kWh/mês)
Viver Independência	218,7
Riacho Doce II	247,3
Paulo Fonteles	263,4

Fonte: Autor

Observa-se uma tendência crescente no consumo estimado, especialmente no conjunto Paulo Fonteles, que apresentou maior densidade de equipamentos eletroeletrônicos por domicílio, incluindo itens de alta potência como airfryer, secadora de roupas e múltiplos televisores.

4.3.3 Comparação com Dados Reais de Consumo

Ao se comparar os valores estimados pelo modelo *bottom-up* com os dados reais extraídos das contas de energia elétrica (seção 4.2), verifica-se uma boa correspondência nos padrões médios, com desvios aceitáveis, como mostra a Tabela 9:

Tabela 9 – Comparativo entre as médias do consumo estimado e médias do consumo medido (kWh/mês)

Conjunto Habitacional	Estimado (kWh)	Medido (kWh)	Diferença (%)
Viver Independência	218,7	202,4	-7,5%
Riacho Doce II	247,3	258,6	+4,6%
Paulo Fonteles	263,4	243,8	-7,4%

Fonte: Autor

Essa proximidade entre o consumo estimado e o real reforça a confiabilidade da abordagem *bottom-up* quando aliada a dados coletados com rigor metodológico (RIBEIRO et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2024).

Além disso, o desvio ligeiramente positivo (superestimação) pode ser atribuído ao fato de os moradores nem sempre utilizarem os equipamentos com a frequência declarada, ou então por interrupções de fornecimento, sazonalidade ou práticas adaptativas não captadas no questionário.

4.3.4 Considerações

A utilização da metodologia *bottom-up* revelou-se eficaz para compreender os perfis energéticos reais das unidades habitacionais de interesse social. Conforme defendido por Teixeira et al. (2022), essa abordagem permite identificar padrões de uso e consumo adaptativos, muitas vezes negligenciados em modelos *top-down* agregados.

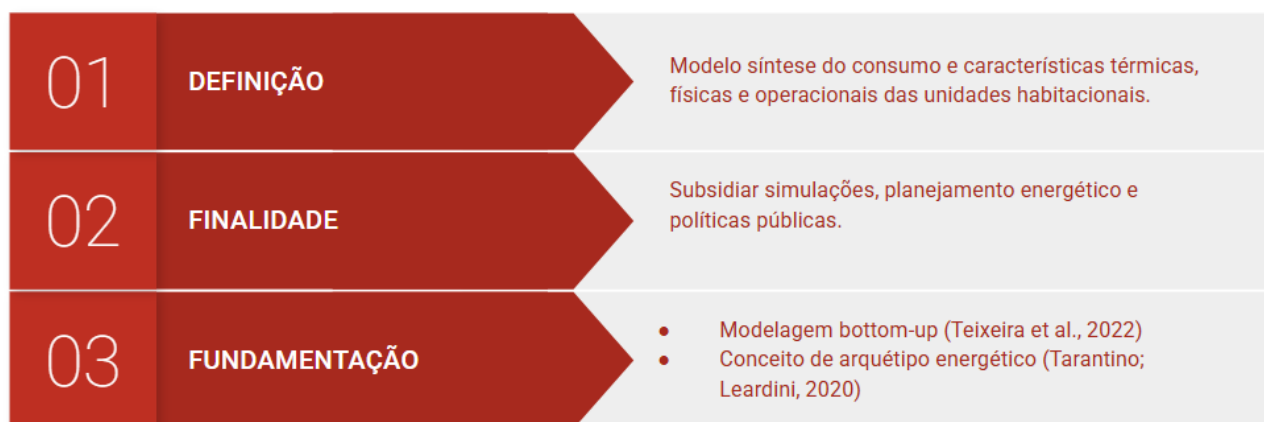
A partir dessas estimativas, será possível, na próxima seção (4.4), consolidar um arquétipo energético real para este grupo de moradias, subsidiando ações futuras de retrofit, políticas públicas ou simulações energéticas em ferramentas como EnergyPlus.

4.4 Arquétipo Energético Consolidado das Unidades Habitacionais de Interesse Social

A consolidação de um arquétipo energético representativo das habitações de interesse social estudadas nesta pesquisa busca integrar os dados quantitativos e qualitativos obtidos nas etapas anteriores (levantamento de consumo, características técnicas, perfil de uso de equipamentos e hábitos de consumo), com base metodológica na modelagem *bottom-up* conforme defendida por Teixeira et al. (2022).

O conceito de arquétipo energético, neste contexto, refere-se a um modelo síntese que expressa o comportamento típico de consumo e características construtivas e operacionais das unidades analisadas, servindo como referência para estudos de simulação, planejamento energético ou formulação de políticas públicas voltadas à eficiência energética e conforto térmico (TARANTINO; LEARDINI, 2020), conforme é sintetizado na Figura 22.

Figura 22 – Aspectos do Arquétipo energético consolidado



Fonte: Autor

4.4.1 Características Termoambientais Médias

A média dos dados registrados com o Confortímetro nos três conjuntos permite descrever um ambiente interno caracterizado por elevadas temperaturas operativas e baixa ventilação natural, mesmo em unidades com abertura bilateral. A Tabela 10 apresenta os valores médios:

Tabela 10 – Médias termoambientais consolidadas (três conjuntos habitacionais)

Variável	Média Geral	Desvio Padrão
Temperatura Operativa (°C)	31,9	±1,1
Umidade Relativa do Ar (%)	74,3	±3,9
Velocidade do Ar (m/s)	0,10	±0,04

Fonte: Autor

Esses valores situam-se acima da zona de conforto recomendada pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017) e pela NBR 16401-2 (ABNT, 2023) para ambientes naturalmente ventilados, indicando a necessidade de estratégias de ventilação forçada ou sombreamento arquitetônico para mitigar o desconforto térmico.

4.4.2 Equipamentos Domésticos e Padrões de Uso

A posse de equipamentos eletrodomésticos nos três conjuntos habitacionais revela um padrão de consumo concentrado em itens de baixo e médio consumo, com destaque para ventiladores, televisores e refrigeradores. A Tabela 11 resume os equipamentos mais frequentes e seus padrões de uso típicos:

Tabela 11 – Frequência média de equipamentos e hábitos de uso

Equipamento	Frequência (%)	Tempo Médio Diário de Uso
Televisor	100%	5 horas/dia
Celular (carregador)	100%	2 horas/dia (×3 unidades)
Ventilador	85%	8 horas/dia
Máquina de lavar roupas	91%	1 hora/dia (3 dias/semana)
Liquidificador	87%	0,17 hora/dia (3 dias/semana)
Airfryer	64%	0,5 hora/dia (3 dias/semana)
Chapinha ou secador	58%	0,25 hora/dia (2 dias/semana)

Fonte: Autor

Esse padrão condiz com o perfil identificado por Teixeira et al. (2022), que aponta uma penetração significativa de ventiladores portáteis e aparelhos de refrigeração, especialmente em climas tropicais úmidos, como o de Belém/PA. Vale destacar que o uso de condicionadores de ar ainda é minoritário, com uso eventual e pontual.

4.4.3 Consumo Energético Médio Consolidado

O cruzamento entre os dados estimados (*bottom-up*) e os dados reais de faturas (seção 4.2) resultou na seguinte média de consumo mensal apresentada na Tabela 12:

Tabela 12 – Consumo médio consolidado de energia elétrica (kWh/mês)

Fonte	Média Mensal (kWh)
Estimativa (bottom-up)	243,1
Dados medidos (faturas)	234,9
Diferença estimada	-3,4%

Fonte: Autor

A proximidade entre os dois valores reforça a confiabilidade do arquétipo gerado e sua representatividade em simulações futuras. Tal convergência também já foi observada por Ribeiro et al. (2018), que defendem a adoção de abordagens empíricas de alta granularidade para estudos energéticos em habitações sociais.

4.4.4 Descrição do Arquétipo Consolidado

Para fundamentar a modelagem do arquétipo termoenergético representativo das habitações sociais analisadas, foi realizada uma análise comparativa entre as rotinas de uso e ocupação observadas em campo e aquelas prescritas pela NBR 15575-1:2021, documento normativo que estabelece os requisitos de desempenho para edificações habitacionais no Brasil. Essa comparação visa aferir a adequação e a representatividade dos parâmetros normativos frente à realidade local da cidade de Belém, situada na Zona Bioclimática 6A.

A norma brasileira, amplamente utilizada como referência para simulações de desempenho térmico e energético em etapas de projeto, define rotinas padronizadas de ocupação (tempo de permanência nos ambientes) e uso (tempo de acionamento dos equipamentos), as quais nem sempre refletem os hábitos específicos das populações residentes em contextos sociais e climáticos diferenciados. Os ambientes são classificados pela NBR em

duas categorias: Ambientes de Permanência Prolongada (APP) — como dormitórios e salas — e Ambientes de Permanência Transitória (APT) — como cozinhas, banheiros e lavanderias.

Em contrapartida, a presente pesquisa adotou uma abordagem empírica, baseada em dados primários obtidos por meio de entrevistas semiestruturadas, aplicação de questionários do protocolo transversal do projeto Hab.LabEEE, observação direta e registros obtidos durante as medições térmicas no protocolo longitudinal. Esse conjunto de informações permitiu uma descrição detalhada das rotinas reais de uso dos equipamentos e da permanência nos ambientes, considerando aspectos como número de moradores, horários de ocupação (manhã, tarde e noite), frequência de utilização e variações sazonais.

Os resultados indicam que os padrões reais observados diferem em 23,5% dos valores preconizados pela norma. Em termos absolutos, a diferença apresenta um viés positivo de 16%, o que indica uma maior permanência nos ambientes e maior uso dos equipamentos do que o previsto. Essa diferença é particularmente expressiva nos ambientes de cozinha, na utilização de iluminação artificial e no uso do televisor. Tais discrepâncias refletem o perfil socioeconômico das famílias entrevistadas, cuja permanência no domicílio é intensificada por condições como o trabalho informal, o desemprego e o cuidado domiciliar.

Ainda, destaca-se que os equipamentos de climatização — ventiladores e ar-condicionado —, sub representados nos parâmetros da NBR, emergem como os principais responsáveis pelas discrepâncias entre os consumos estimados (normativos) e os registrados (empíricos). Nos casos analisados, o uso de ventiladores é praticamente universal, enquanto o ar-condicionado é presente em menor proporção, mas utilizado intensivamente nas famílias que o possuem, especialmente em dormitórios durante o período noturno.

Por outro lado, em alguns ambientes, como dormitórios e áreas de serviço (lavanderias), os tempos de uso estimados pela norma se mostraram superiores aos verificados em campo, o que resultou em subestimação do consumo real quando apenas os dados normativos são considerados.

Dessa forma, a incorporação de dados primários à modelagem do arquétipo permitiu a construção de um perfil termoenergético mais robusto e representativo, garantindo maior aderência à realidade socioclimática amazônica sem desconsiderar os parâmetros mínimos estabelecidos pela legislação técnica vigente.

A Tabela 13 a seguir apresenta um resumo comparativo entre os tempos de uso e ocupação normativos e os dados levantados em campo, destacando as principais divergências observadas:

Tabela 13 – Comparativo entre NBR 15575:2021 e Dados Reais – tempo de ocupação e uso por ambiente e equipamento.

Uso/Ocupação	NBR (h/dia)	TCC (h/dia)	Observação	Erro (%) = $(TCC - NBR) / NBR * 100$
Dormitórios (APP)	9.0	8.5	Dentro da faixa; usou-se ponto médio.	-5.6
Sala de estar/TV (APP)	5.0	5.5	TCC ligeiramente maior.	10.0
Cozinha (APT)	2.5	3.5	TCC maior permanência.	40.0
Banheiro (APT)	1.0	1.25	TCC um pouco maior.	25.0
Área de serviço (APT)	0.75	1.0	TCC considera 1 h/dia equivalente.	33.3
Iluminação artificial	3.5	4.5	TCC maior tempo ligado.	28.6
Ventiladores		9.0	NBR não especifica; sem %.	
Ar-condicionado		5.0	NBR não especifica; sem %.	
Geladeira	24.0	24.0	Uso contínuo.	0.0
TV	3.5	5.0	TCC maior tempo de uso.	42.9
Máquina de lavar	0.5	357	TCC uso semanal convertido p/ dia (~0,357 h/dia).	-28.6

Fonte: Autor

Com base nos dados consolidados dos três conjuntos habitacionais, o arquétipo energético típico pode ser descrito da seguinte forma:

- Temperatura neutra (conforto térmico médio): ~ 27–28 °C
- Faixa aceitável (sem climatização mecânica): até 30–31 °C
- Tipologia construtiva: Apartamento térreo ou em pavimento intermediário, planta padrão MCMV (modelo “H”), 2 quartos, ventilação unilateral ou parcial.
- Composição familiar média: 3,5 moradores/unidade.
- Equipamentos presentes: 1 refrigerador, 1 TV, 2 carregadores de celular, 1 liquidificador, 1 ventilador (ou mais), 1 máquina de lavar roupas.
- Equipamentos com maior impacto energético: ventilador, airfryer, ferro elétrico.
- Consumo médio mensal: 243 a 249 kWh.

- Percepção térmica: ambiente quente e abafado durante grande parte do dia, com uso constante de ventiladores.

Esse resultado é consistente com a literatura sobre adaptação térmica em climas tropicais úmidos, e aponta para uma maior tolerância térmica por parte dos moradores de Belém-PA. Isso difere significativamente dos limiares de conforto estabelecidos por normas internacionais, como a ASHRAE 55 e a EN 15251, que normalmente indicam valores inferiores como limite superior de conforto (em torno de 26–27 °C para ambientes naturalmente ventilados).

Os resultados obtidos validam a coerência entre a percepção dos moradores e os critérios normativos nacionais, particularmente os da NBR 15575-1:2021 e da Instrução Normativa INIR (Portaria nº 309/2022), que reconhecem a importância do contexto climático e sociocultural nas definições de conforto térmico. Portanto, a temperatura de até 30 °C sem climatização mecânica pode ser considerada aceitável no contexto amazônico, reforçando a necessidade de diretrizes específicas de eficiência energética adaptadas à realidade regional.

O arquétipo poderá ser inserido como referência em modelos de simulação energética para edificações populares em clima equatorial úmido, como também utilizado para dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos, planejamento tarifário e propostas de retrofit energético (MORAES et al., 2021).

4.4.5 Considerações Finais

A geração deste arquétipo representa uma importante contribuição empírica para a caracterização energética de habitações sociais no Brasil. Sua aplicação pode ser expandida para estudos comparativos entre tipologias, regiões climáticas e faixas de renda, promovendo diagnósticos mais precisos para políticas de eficiência energética.

“O conhecimento empírico do consumo é uma base sólida para intervir de forma efetiva na realidade energética das populações vulneráveis” (TEIXEIRA et al., 2022, p. 129).

5. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

A análise integrada do desempenho termoenergético, padrões de consumo e uso de equipamentos nos conjuntos habitacionais *Viver Independência*, *Riacho Doce II* e *Paulo Fonteles* revela um panorama representativo em um determinado período (de Março à Junho) da realidade energética de habitações sociais em clima equatorial úmido. Neste capítulo, discutem-se os principais achados da pesquisa, suas implicações, limitações e caminhos futuros para intervenção técnica e política.

5.1 Desempenho Térmico e Estratégias de Adaptação

Conforme apontado nos capítulos anteriores, todos os conjuntos apresentaram temperaturas operativas médias superiores a 30 °C, com baixa velocidade de ar no interior das unidades. Esse cenário configura um ambiente interno de desconforto térmico prolongado, em especial durante os meses mais quentes e úmidos do ano (OLIVEIRA et al., 2024; GARCIA, 2020).

O comportamento adaptativo dos moradores incluiu, majoritariamente, o uso contínuo de ventiladores, reconfiguração do uso dos ambientes ao longo do dia (ex: evitar permanência em quartos durante a tarde) e em alguns casos, instalação improvisada de sombreamento externo. Tais estratégias corroboram os achados de Ghisi e Lamberts (2003), que destacam o papel ativo das populações na mitigação das limitações térmicas de suas moradias.

5.2 Padrões de Consumo e Eficiência Energética

A convergência entre o consumo estimado (*bottom-up*) e os dados de faturas reais (diferença de apenas 3,4%) valida a abordagem metodológica adotada e reforça o argumento de que a posse de equipamentos e os hábitos de uso explicam grande parte da variabilidade de consumo nas habitações sociais, como também identificado por Teixeira et al. (2022) e Ribeiro et al. (2018).

Observou-se um padrão dominante de consumo de equipamentos de uso cotidiano e potência moderada, com destaque para refrigeradores, ventiladores e televisores. A presença pontual de equipamentos de maior consumo, como airfryer e ferro elétrico, ainda que menos frequente, possui forte impacto sazonal no consumo.

5.3 Arquétipo Energético como Ferramenta de Simulação

A consolidação de um arquétipo energético realista representa uma contribuição metodológica e prática significativa. Esse modelo pode ser utilizado em:

- Simulações energéticas em *softwares* como EnergyPlus;
- Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, considerando padrões médios mensais de consumo;
- Planejamento tarifário para inclusão de consumidores sociais em modelos de cobrança mais justos (ex: tarifa branca);
- Propostas de *retrofit* e ações de baixo custo para melhoria do conforto térmico e eficiência energética.

Tarantino e Leardini (2020) destacam a importância de arquétipos adaptados ao contexto social e climático como ferramenta de apoio a políticas públicas locais. No caso de Belém/PA, a adoção de ventiladores mais eficientes e estratégias de ventilação cruzada assistida (como exaustores passivos) poderia representar uma solução de baixo custo para as famílias.

5.4 Limitações do Estudo

Embora a pesquisa tenha se baseado em levantamento empírico robusto, algumas limitações devem ser reconhecidas:

- Número reduzido de unidades por conjunto, o que pode limitar a extrapolação estatística dos resultados;
- Estimativas de consumo baseadas em autorrelato, suscetíveis a vieses ou imprecisões quanto ao tempo real de uso dos equipamentos.
- O arquétipo encontrado poderá sofrer alterações ao longo da continuidade do projeto, pois novos dados de períodos diferentes ainda serão coletados e incorporados à análise.

No entanto, essas limitações foram parcialmente compensadas pelo cruzamento de dados reais das contas de energia e medições ambientais de alta frequência.

5.5 Recomendações

Com base nos resultados, são propostas as seguintes recomendações:

1. Incorporação de estratégias bioclimáticas no projeto de HIS, como sombreamento vegetal, ventilação cruzada assistida e coberturas com maior refletância;

2. Capacitação dos moradores quanto ao uso consciente de energia, por meio de oficinas, cartilhas ou aplicativos personalizados;
3. Substituição de ventiladores e refrigeradores antigos por modelos com selo Procel A, via políticas de incentivo ou programas de troca;
4. Criação de incentivos fiscais para *retrofit* energético de habitações sociais, incluindo uso de painéis solares e materiais isolantes.

5.6 Contribuições do Estudo

Esta pesquisa contribui de forma inédita para o conhecimento sobre o consumo energético de habitações populares no Brasil, visando o clima amazônico e dentro do período de Março à Junho, e oferece:

- Um modelo arquétipo empírico, baseado em dados reais e alinhado à literatura científica;
- Uma abordagem metodológica replicável, combinando levantamento transversal, medições *in loco* e modelagem *bottom-up*;
- Recomendações práticas de baixo custo e alta aplicabilidade para a melhoria das condições térmicas e eficiência energética das moradias.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo principal a caracterização do desempenho termoenergético e dos padrões de consumo de energia elétrica em habitações de interesse social localizadas na cidade de Belém/PA, com base em uma abordagem metodológica de levantamento transversal e modelagem *bottom-up*. A investigação se concentrou em três conjuntos habitacionais representativos do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV): Viver Independência, Riacho Doce II e Paulo Fonteles.

A análise contemplou a coleta de dados ambientais *in loco*, registros de consumo energético a partir das faturas de energia elétrica e entrevistas com os moradores sobre posse e uso de equipamentos eletrodomésticos. Essa triangulação metodológica possibilitou não apenas a compreensão detalhada do perfil de consumo das famílias, mas também a construção de arquétipos energéticos realistas, úteis para simulações e formulações de políticas públicas.

6.1 Síntese dos Resultados

Os dados indicaram que as unidades habitacionais apresentam temperaturas operativas superiores aos limites de conforto adaptativo, especialmente nos períodos de maior insolação e umidade. Esse quadro foi agravado por baixas velocidades de ventilação natural, associadas à tipologia construtiva e à densidade do entorno edificado (OLIVEIRA et al., 2024; SILVA et al., 2023).

No que diz respeito ao consumo de energia elétrica, os conjuntos apresentaram médias mensais entre 218,7 e 263,4 kWh, com variações explicadas, em grande parte, pela posse e frequência de uso de equipamentos, conforme demonstrado na modelagem *bottom-up*. Essa estimativa, ao ser comparada com os dados reais de faturas, demonstrou alta convergência, validando a eficácia da abordagem adotada, como discutido em Teixeira et al. (2022).

A posse quase universal de refrigeradores, ventiladores, televisores e celulares foi observada em todos os conjuntos, embora o uso de equipamentos de maior potência (ex: ar-condicionado, fornos elétricos) tenha sido pontual. Tais padrões reforçam a ideia de uma cesta energética comum entre os domicílios de baixa renda, como já observado em estudos anteriores (GHISI; LAMBERTS, 2003; MORAES et al., 2021).

6.2 Contribuições do Estudo

Este trabalho apresenta diversas contribuições relevantes para o campo da habitação social e da eficiência energética:

- Proposição de um método replicável de levantamento transversal termoenergético, com aplicação prática em diagnósticos urbanos;
- Desenvolvimento de arquétipos energéticos fundamentados em dados reais, com potencial para aplicação em simulações energéticas, dimensionamento de sistemas solares e formulação de políticas públicas;
- Integração entre desempenho térmico, comportamento dos usuários e consumo energético, ressaltando a importância da dimensão social nas análises de eficiência;
- Sistematização de dados inéditos para o contexto amazônico urbano, contribuindo para preencher lacunas regionais na literatura especializada.

6.3 Limitações e Perspectivas Futuras

Embora os dados coletados e analisados tenham revelado importantes padrões, algumas limitações devem ser destacadas:

- A amostra foi limitada a três conjuntos habitacionais, o que pode restringir a generalização dos achados para outros contextos urbanos;
- A falta de medição direta do consumo por equipamento dificultou a validação mais precisa da estimativa por modelagem;
- A abordagem transversal não permite captar variações sazonais completas do desempenho térmico e do uso energético.

Como continuidade, sugere-se a realização de:

- Intervenções experimentais de *retrofit* para avaliação do impacto térmico e energético;
- Integração com bancos de dados nacionais, como os da EPE (2019), para modelagens em maior escala;
- Avaliações multicriteriais que incorporem indicadores de conforto, saúde, custos e emissões de carbono, ampliando a análise para dimensões ambientais.

6.4 Conclusões

Os resultados evidenciam a importância de políticas habitacionais que considerem o desempenho termoenergético desde a concepção dos projetos, de modo a garantir não apenas moradia, mas habitações dignas, confortáveis e energeticamente eficientes. O contexto amazônico, com suas particularidades climáticas e sociais, exige soluções adaptadas à realidade local, tanto em termos construtivos quanto comportamentais.

Neste sentido, espera-se que os achados desta pesquisa possam subsidiar ações governamentais, propostas de *retrofit*, programas de conscientização energética e a formulação de políticas públicas mais sensíveis ao contexto das habitações populares brasileiras.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2024.
- BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). Portaria nº 309, de 24 de junho de 2022: Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade para o Desempenho Energético de Edificações Residenciais – RTQ-R (INI-R). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 27 jun. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-309-de-24-de-junho-de-2022-411574929>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- BRASIL. Ministério das Cidades. *Programa Minha Casa Minha Vida: Manual de Instruções*. Brasília, DF: MCid, 2010.
- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2025*. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-atuacao/energia-eletrica/> (página do documento). Acesso em: [coloque a data do seu acesso].
- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro*. Rio de Janeiro: EPE, 2025.
- GARCIA, J. *Modelagem da adaptação térmica dos moradores de habitações sociais típicas de Belém-PA com base em dados quantitativos e qualitativos*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.
- GARCIA, P. M. *Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais na Amazônia urbana*. Revista Gestão Urbana, v. 12, n. 2, p. 157–170, 2020.
- GHISI, E.; LAMBERTS, R. *Avaliação do consumo de energia em habitações*. Florianópolis: EdUFSC, 2003.
- GHISI, E.; LAMBERTS, R. *Avaliação do potencial de economia de energia em edifícios residenciais a partir de medidas de eficiência energética*. Florianópolis: LABEEE/UFSC, 2003.
- JAYNE, G. *Ocupação e consumo energético em HIS: abordagem bottom-up*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

LIMA, J. et al. *Consumo energético em habitações brasileiras: análise bottom-up*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 2020. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica: Relatório Anual 2021*. Brasília: MMA, 2021.

MORAES, F. et al. *Análise do perfil de consumo de energia em conjuntos habitacionais*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 53–72, 2021.

OLIVEIRA, L. et al. *Protocolo HAB.LABEEE – Monitoramento transversal em HIS*. Projeto de pesquisa – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

OLIVEIRA, R. A. et al. *Protocolo de avaliação de conforto térmico em habitações sociais: instrumentação, métodos e aplicação*. HAB.LABEEE, 2024.

SCHAEFFER, R. et al. *Bottom-up modelling of electricity end-use consumption of the residential sector in Brazil*. Energy Policy, v. 48, p. 304–313, 2012.

SILVA, A. A. et al. *Indicadores de desempenho térmico e energético em habitações populares*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 55–70, 2023.

SILVA, R. C. et al. *Zoneamento de conforto térmico adaptativo para edificações naturalmente ventiladas na Amazônia*. Ambiente Construído, v. 23, n. 1, p. 77–92, 2023.

TEIXEIRA, C. A.; MELO, A. P.; FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. *Bottom-up modelling of electricity end-use consumption of the residential sector in Brazil*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p. 113–131, jul./set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000300611>. Acesso em: 22 ago. 2025.

CUNHA, Luis Filipe Brasil da et al. Modeling the impact of urban climate transformations in low income housing located in critical climate: A case study. *Energy for Sustainable Development*, [S.l.], v. 71, p. 176–187, 2022. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/energy-for-sustainable-development>. Acesso em: 25 ago. 2025.

DUTRA, Ana Beatriz Nobre Alves et al. Advances in the new Brazilian residential energy efficiency regulation: A case study identifying opportunities. *Energy & Buildings*, [S.l.], v. 289, 2023. Disponível em: <https://www.elsevier.com/locate/enb>. Acesso em: 25 ago. 2025.

CUNHA, Luís Filipe Brasil da et al. Potential of optimized designs to resist the hot humid-future-urban climates and its uncertainties: A case study. *Applied Thermal Engineering*, [S.l.], v. 226, 2023. Disponível em: <https://www.elsevier.com/locate/apthermeng>. Acesso em: 25 ago. 2025.

MICHELON, Michelli Gonçalves et al. Building information modeling applied to daylight dynamic simulation from the perspective of future and urban climate: A case study in Brazil. *Solar Energy*, [S.l.], v. 264, 2023. Disponível em: <https://www.elsevier.com/locate/solener>. Acesso em: 25 ago. 2025.

GONÇALVES, Eduarda Lorrany Sousa et al. Multiscale modeling to optimize thermal performance design for urban social housing: A case study. *Applied Thermal Engineering*, [S.l.], v. 226, 2023. Disponível em: <https://www.elsevier.com/locate/apthermeng>. Acesso em: 25 ago. 2025.