

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

CAROLINE SORAIA PREDABON

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL PELO MÉTODO DE CÁLCULO RTQ-R**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2016

CAROLINE SORAIA PREDABON

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL PELO MÉTODO DE CÁLCULO RTQ-R**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós Graduação em Construções Sustentáveis, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande Jr.

CURITIBA
2016

CAROLINE SORAIA PREDABON

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL PELO MÉTODO DE CÁLCULO RTQ-R

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de *Especialista* no Curso de Construções Sustentáveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. Dr. Eloy Fassi Casagrande Júnior
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR - Câmpus Curitiba

Banca:

Prof. Dr. Fernando Guajará Greenberg
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR - Câmpus Curitiba

Profa. Dra. Tatiana Maria Cecy Gadda
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR - Câmpus Curitiba

CURITIBA
2016

“O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

Dedico a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida plena de luz e sabedoria.

Não é possível esquecer meus pais Batista e Ignês Teresinha que estão com Deus.

Agradeço aos meus familiares pelo incentivo na conclusão deste trabalho, por estarem comigo todos os dias, meus queridos Márcio, Tiago e Luísa, companheiros da caminhada.

As inseparáveis manas Cris, Luca, Gabi e Nanda.

Agradeço especialmente meu orientador de monografia, professor Eloy Casagrande Jr., mentor deste trabalho desde a primeira aula.

Agradeço a todos os professores do curso por dividirem conosco seus conhecimentos.

Também agradeço aos colegas de aulas, entre eles, Ana Paula, Renato, Everson, Caroline, Antonio e Rodrigo pelos dias de estudo e trabalhos realizados.

Agradeço aos colegas que representam a COHAB-CT e são responsáveis pelo bem estar de uma grande parcela da população Curitibana.

RESUMO

PREDABON, Caroline. Análise comparativa entre habitações de interesse social pelo método de cálculo RTQ-R. 76 f. Monografia (Especialização no Curso de Construções Sustentáveis), UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Nesta monografia foi realizado um estudo comparativo entre três habitações de interesse social através da análise da envoltória pelo método prescritivo do RTQ-R. O objetivo é avaliar o nível de eficiência energética de cada unidade habitacional, todas localizadas na cidade de Curitiba e Zona Bioclimática 1 tendo em vista a certificação de etiquetagem PROCEL. Estas habitações diferenciam-se entre si pelo método construtivo: a primeira construída pela técnica conhecida como wood frame, a segunda edificada na técnica de steel frame e, por fim, a terceira no sistema convencional de alvenaria cerâmica de elevação. A eficiência da envoltória atingiu o nível C na primeira e o nível D nas demais. Os resultados obtidos evidenciam as limitações dos projetos e técnicas empregadas às habitações de interesse social, demonstrando que há muito para se aprimorar neste segmento de modo que se atinjam certificações satisfatórias tanto nos aspectos ambientais como econômicos e de bem estar da camada da população atendida por este segmento habitacional.

Palavras-chave: Eficiência energética, Envoltória, Habitação de interesse social.

ABSTRACT

PREDABON, Caroline. Comparative analysis between housings of social interest by the calculation method of RTQ-R. 76 f. Monografia (Especialização no Curso de Construções Sustentáveis), UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

In this monograph research, a comparative study has been made among three housings of social interest through envelopment building analysis by the prescriptive method of RTQ-R. The objective is to evaluate the energetic efficiency's level of every housing unity, all of them located in the city of Curitiba and in the Bioclimatic Zone 1 in view of the labeling certification of PROCEL. These housing differentiate between themselves by the constructive method: the first one is built by a technique known as wood frame, the second is built by a steel frame technique and, by last, the third is built on the conventional system of elevation's masonry ceramic. The envelopment's efficiency has reached the C level on the first and D level on the other ones. The obtained results have shown the limitation of the projects and techniques applied to the social interest's housing, showing that there's still a lot to improve on this segment so that satisfactory certifications in environmental, economic and welfare of the population layer served by this housing segment can be reached.

Keywords: Energy efficiency, envelopment building, housing of social interest

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Etiqueta ENCE para edificações residenciais	27
Figura 2: Envoltória de edificação	28
Figura 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro	29
Figura 4: Diretrizes construtivas da Zona Bioclimática 1	30
Figura 5: Detalhe de parede externa de áreas secas em wood frame	32
Figura 6: Construção de casa em wood frame.....	32
Figura 7: Construção em steel frame	33
Figura 8: Instalações hidráulicas em edificação de steel frame	34
Figura 9: Montagem de edificação em steel frame.....	34
Figura 10: Ilustração de parede de alvenaria	35
Figura 11: Implantação do empreendimento Moradias Nilo	37
Figura 12: Planta Baixa de edificação em wood frame	38
Figura 13: Elevações da edificação em wood frame	38
Figura 14: Edificação em wood frame	39
Figura 15: Foto parcial do empreendimento Moradias Rio Bonito.....	40
Figura 16: Unidades CT2-33 construídas em steel frame	40
Figura 17: Planta baixa CT2-33 em steel frame	41
Figura 18: Elevações da edificação em steel frame	41
Figura 19: Unidades CT2-33 construídas em alvenaria	42
Figura 20: Planta baixa CT2-33 em alvenaria	43
Figura 21: Elevações da edificação em alvenaria	43
Figura 22: Implantação do empreendimento Moradias Maringá II	44
Figura 23: Características de parede em alvenaria de elevação em bloco cerâmico	64
Figura 24: Características de cobertura em telha cerâmica e forro de PVC de 1cm.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Percentual de crescimento do consumo residencial de energia no Brasil	25
Tabela 2: Esquadrias das janelas na edificação em wood frame	39
Tabela 3: Esquadrias das janelas na edificação em steel frame	42
Tabela 4: Esquadrias das janelas na edificação em alvenaria	44
Tabela 5: Pré-requisitos da envoltória	49
Tabela 6: Pré-requisito de ventilação	50
Tabela 7: Determinação da resistência térmica total das paredes externas	50
Tabela 8: Determinação da capacidade térmica total das paredes externas	51
Tabela 9: Determinação da resistência térmica total da cobertura	52
Tabela 10: Determinação da capacidade térmica total da cobertura	52
Tabela 11: Pré-requisitos para envoltória RTQR-ZB1 em wood frame	54
Tabela 12: Pré-requisitos para envoltória de iluminação RTQR-ZB1 em wood frame	55
Tabela 13: Pré-requisitos para envoltória de ventilação RTQR-ZB1 em wood frame	55
Tabela 14: Resultado de níveis de eficiência para App	57
Tabela 15: Resultado do nível de eficiência de Resfriamento e Aquecimento	58
Tabela 16: Resultado final do nível de eficiência energética da UH em wood frame	58
Tabela 17: Determinação da resistência térmica total das paredes externas em steel frame	59
Tabela 18: Determinação da capacidade térmica total das paredes externas em steel frame	59
Tabela 19: Determinação da resistência térmica total da cobertura em steel frame	60
Tabela 20: Determinação da capacidade térmica total da cobertura em steel frame	60
Tabela 21: Pré-requisitos para envoltória RTQR-ZB1 em steel frame	61
Tabela 22: Pré-requisitos para envoltória de iluminação RTQR-ZB1 em steel frame	61
Tabela 23: Pré-requisitos para envoltória de ventilação RTQR-ZB1 em steel frame	61
Tabela 24: Resultado de níveis de eficiência para App em steel frame	63
Tabela 25: Resultado do nível de eficiência de Resfriamento e Aquecimento	63
Tabela 26: Resultado final do nível de eficiência energética em UH de steel frame	64
Tabela 27: Pré-requisitos para envoltória RTQR-ZB1 em alvenaria	65

Tabela 28: Pré-requisitos para envoltória-iluminação RTQR-ZB1 em alvenaria	66
Tabela 29: Pré-requisitos para envoltória-ventilação RTQR-ZB1 em alvenaria	66
Tabela 30: Resultado de níveis de eficiência para App em alvenaria	67
Tabela 31: Resultado de níveis de eficiência para App em alvenaria	68
Tabela 32: Resultado final do nível de eficiência energética de UH em alvenaria	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Relação entre o Equivalente Numérico e o Nível de Eficiência Energética para a ENCE.....	27
Quadro 2: Planilha de cálculo de desempenho de envoltória	53
Quadro 3: Planilha de cálculo dos pré-requisitos da envoltória.....	54
Quadro 4: Resultado da análise de envoltória para ambientes de permanência prolongada da UH em wood frame	56
Quadro 5: Resultado da análise de envoltória para ambientes de permanência prolongada em UH de steel frame	62
Quadro 6: Resultado da análise de envoltória para ambientes de permanência prolongada em UH de alvenaria	67
Quadro 7: Classificação Geral e Comparativo de Análise da Envoltória entre diferentes unidades habitacionais pelo método RTQ-R.....	70
Quadro 8: Estratégias para eficiência energética nas habitações para ZB-1	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consumo de energia elétrica TWh por setor no Brasil.....	24
Gráfico 2: Percentual de consumo por setor no ano de 2006	24
Gráfico 3: Percentual de consumo por setor no ano de 2015	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
App	Área de permanência prolongada
BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Consumo Relativo para Aquecimento
CR	Consumo Relativo para Refrigeração
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EqNum	Equivalente Numérico
EqNumEnv	Equivalente Numérico da Envoltória
EqNumEnvAmb	Equivalente Numérico da Envoltória do Ambiente
EqNumEnvA	Equivalente Numérico da Envoltória para Aquecimento
EqNumEnvRes	Equivalente Numérico da Envoltória para Resfriamento
EqNumEnvRefrig	Equivalente Numérico da Envoltória para Refrigeração
FMH	Fundo Municipal para Habitação
FMHIS	Fundo Municipal para Habitação de Interesse Social
GHR	Graus Hora para Resfriamento
HIS	Habitação de Interesse Social
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
NBR	Norma Brasileira
OSB	Oriented Strand Board
PAR	Programa de Arrendamento Residencial
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PSH	Programa de Subsídio a Habitação de Interesse Social
PVC	Policloreto de Polivinila

PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia elétrica
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
UH	Unidade Habitacional
Upar	Transmitância térmica da parede
Ucob	Transmitância térmica da cobertura
ZB-1	Zona Bioclimática 1

LISTA DE ACRÔNIMOS

BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNH	Banco Nacional da Habitação
CAIXA	Caixa Econômica Federal
COHAB	Companhia de Habitação Popular
COHAB-CT	Companhia de Habitação Popular de Curitiba
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
FONPLATA	Fundo Financeiro para o Desenvolvimento dos Países da Bacia do Rio da Prata
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PROTECH	Programa de Difusão de Tecnologia para Habitações de Baixo Custo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	19
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.2 JUSTIFICATIVA	19
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 HISTÓRICO DA COHAB-CT	21
2.2 PANORAMA DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	23
2.3 A ETIQUETAGEM ENCE E O RTQ-R.....	26
2.4 ENVOLTÓRIA E ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO	28
2.5 MÉTODOS CONSTRUTIVOS.....	30
2.5.1 LIGHT WOOD FRAMING.....	30
2.5.2 LIGHT STEEL FRAMING	33
2.5.3 ALVENARIA COM TIJOLOS CERÂMICOS	35
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	36
3.1 METODOLOGIA APLICADA	36
3.2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	36
3.2.1 MORADIAS NILO E A EDIFICAÇÃO EM WOOD FRAME	36
3.2.2 MORADIAS RIO BONITO E A EDIFICAÇÃO EM STEEL FRAME	39
3.2.3 MORADIAS MARINGÁ II E A EDIFICAÇÃO EM ALVENARIA.....	42
3.3 ESCOLHA DAS CONDICIONANTES E METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	45
4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO: APLICAÇÃO DO RTQ-R	48
4.1 ENVOLTÓRIA	48
4.1.1 PRÉ-REQUISITOS PARA CÁLCULO DE ENVOLTÓRIA	49
4.2 CÁLCULO DE ENVOLTÓRIA PARA EDIFICAÇÃO EM WOOD FRAME.....	50
4.2.1 QUANTIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA, TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA	50
4.2.2 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA	52
4.2.3 RESULTADOS OBTIDOS	57
4.3 CÁLCULO DE ENVOLTÓRIA PARA EDIFICAÇÃO EM STEEL FRAME.....	58

4.3.1 QUANTIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA, TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA	58
4.3.2 DETERMINAÇÃO NÍVEL EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA	60
4.3.3 RESULTADOS OBTIDOS	62
4.4 CÁLCULO DE ENVOLTÓRIA PARA EDIFICAÇÃO EM ALVENARIA	64
4.4.1 QUANTIFICAÇÃO DA TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA	64
4.4.2 DETERMINAÇÃO NÍVEL EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA	65
4.4.3 RESULTADOS OBTIDOS	66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
PARTICIPAÇÃO EM CURSOS E EVENTOS	76

1 INTRODUÇÃO

A análise de indicadores do uso de energia elétrica aponta para aumento da demanda do setor residencial no Brasil. Este aumento está relacionado a diversos fatores, entre os quais: crescimento do setor da construção civil voltado a habitações, crescimento econômico e oferta de crédito, o acesso a bens de consumo como aparelhos eletrodomésticos e de refrigeração doméstica experimentados pela população brasileira na última década.

Aliado ao aumento de consumo existe a preocupação dos diversos segmentos da sociedade com a escassez de recursos naturais no sentido de prover a população do planeta em suas necessidades básicas como alimentação, água potável, atmosfera livre de poluição, e todas as demais necessidades humanas de subsistência relacionadas a recursos naturais renováveis e não renováveis.

Para Lamberts et al. (1997), a necessidade de maiores investimentos para o setor, além dos grandes impactos ambientais oriundos da matriz energética brasileira, podem ser diminuídos com medidas voltadas a eficiência no uso da energia elétrica.

Lamberts considera também que projetos arquitetônicos eficientes podem traduzir economia de energia se adaptados às necessidades climáticas do local da construção e às medidas apropriadas para ventilação, iluminação, aquecimento e refrigeração.

Com ênfase a estas necessidades, surgiram no Brasil vários modelos de Certificação de Construções Sustentáveis, com objetivo de avaliar e certificar construções que obedeçam a princípios e técnicas construtivas ambientalmente amigáveis, entre os quais o selo PROCEL Edifica, obtido através de avaliação do Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de edificações Residenciais-RTQ-R.

Este modelo tem objetivo de avaliar o nível de eficiência energética das edificações, por meio de diversas variáveis, inclusive o cálculo de envoltória da edificação a fim de obter a Etiqueta Nacional de Certificação Energética que identifica o nível de economia energética da edificação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um estudo comparativo entre os sistemas construtivos de habitações de interesse social e o nível de eficiência energética de sua envoltória por meio dos parâmetros do RTQ-R e etiquetagem ENCE.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar o nível de eficiência energética da envoltória para três unidades habitacionais de interesse social construídos com técnicas construtivas diferentes entre si;
- b. Avaliar o enquadramento de cada padrão construtivo no sistema de etiquetagem ENCE através do cálculo da envoltória do RTQ-R;
- c. Comparar qual método é mais eficiente do ponto de vista energético para um projeto de HIS com dois quartos para ZB-1 na cidade de Curitiba;

1.2 JUSTIFICATIVA

A expansão demográfica aliada à conjuntura econômica que propiciou o crescimento de habitações domiciliares, bem como a universalização dos serviços de fornecimento de energia e mudança em hábitos de consumo provocaram forte pressão no setor energético.

Uma vez que a matriz energética brasileira é predominantemente hidráulica, os investimentos para geração de energia são altos e, associado a condições climáticas desfavoráveis, fizeram com que o Operador Nacional do Sistema lançasse mão de outras fontes energéticas de custo de geração mais elevado, o que impacta em aumento tarifário.

Diante destas dificuldades e somadas às dificuldades inerentes à população de baixa renda - que é a clientela massiva das habitações de interesse social - faz-se necessário analisar e buscar alternativas passivas para aproveitamento

energético nas HIS de modo a minimizar os impactos negativos do alto custo da energia elétrica.

Desta maneira, foi elaborado o estudo comparativo de análise de envoltória pelo método prescritivo do RTQ-R para HIS, a fim de identificar os aspectos positivos e negativos dos projetos arquitetônicos e técnicas construtivas para este segmento imobiliário.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos descritos a seguir:

- Capítulo 1: É composto por introdução: onde são apresentadas as questões da pesquisa; os objetivos gerais e específicos e a justificativa;
- Capítulo 2: Fundamentação teórica abordando histórico e atuação da COHAB-CT junto a HIS, panorama do consumo energético nacional e eficiência energética no Brasil, o RTQ-R, as Zonas Bioclimáticas e conceito de envoltória e por fim os métodos construtivos que foram analisados neste trabalho;
- Capítulo 3: Apresenta a metodologia aplicada e objeto do estudo com a identificação das unidades analisadas;
- Capítulo 4: Desenvolvimento do estudo com aplicação do RTQ-R no cálculo da envoltória entre três padrões habitacionais, resultados e análise dos dados obtidos;
- Capítulo 5: Considerações finais sobre o estudo desenvolvido e sugestões para trabalhos futuros.

Após as considerações finais são apresentadas as referências que nortearam a pesquisa e ao final os apêndices que dão compreensão aos textos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HISTÓRICO DA COHAB-CT

A história da Companhia de Habitação Social de Curitiba se confunde com a história da habitação de interesse social na cidade de Curitiba.

As COHABs surgiram com a criação do Sistema Financeiro da Habitação e do Banco Nacional de Habitação em 1964, sendo que a COHAB Curitiba foi criada pela Lei Municipal nº 4545 de 1965.

Foi quando a COHAB-CT lançou o projeto de implantação de um dos maiores loteamentos de habitações populares já realizados na cidade, a Vila Nossa Senhora da Luz em uma região remota que viria ser parte da futura Cidade Industrial de Curitiba. Com 2150 casas dotadas de equipamento urbano social que incluía centro de saúde, mercado, saneamento e traslado de ligação ao centro da cidade, a vila foi inaugurada em outubro de 1966 com 1500 casas inicialmente, construídas em tempo recorde, com a presença do Presidente da República, Marechal Humberto de Alencar Castelo Branco (BOLETIM CASA ROMÁRIO DE BARROS, 2006, p.29).

No início dos anos 70, a Companhia passou a construir além de casas unifamiliares, edifícios multifamiliares com a intenção de atender o aumento de demanda por unidades habitacionais e as dificuldades em adquirir áreas para os empreendimentos.

Uma nova oportunidade surgiu em 1976 quando o BNH criou uma linha de financiamentos para compra de áreas, o que fez crescer o estoque de áreas disponíveis para novos empreendimentos.

Com a criação da Cidade Industrial de Curitiba por meio de decreto em 1976, uma área de intervenção para o desenvolvimento industrial da cidade, houve aumento de demanda por mão de obra, moradia e infraestrutura no seu entorno, aumentando a atuação da COHAB-CT.

Com incrementos na legislação, em 1985 a COHAB-CT passou atuar em regularização fundiária, uma forma de atender as necessidades da população sem retirá-la dos locais de moradia, levando a urbanização e equipamentos até estes locais.

Em 1986 o BNH é extinto e as políticas públicas de habitação sofrem grande retração, assim a atuação da COHAB-CT passa a ser focada em vendas de lotes para auto-construção - exemplo dos bairros Tatuquara e Regional Bairro Novo.

Nesse período também houve a implementação do PROTECH, Programa de Difusão de Tecnologia para Habitações de Baixo Custo, com objetivo de criar soluções inovadoras no âmbito da habitação social, fazendo surgir as Vilas Tecnológicas.

Em Curitiba foram construídas 120 unidades habitacionais com 20 técnicas construtivas diferentes, além da Rua da Tecnologia, que conta com um exemplar habitacional de cada técnica. Infelizmente, o programa não prosperou face à descontinuidade por parte do Governo Federal e às dificuldades de adaptação das famílias às novas tecnologias,(MANDAJI, 2014).

Ainda na década de 80, foi criado o FMH, Fundo Municipal para Habitação, com intenção de incrementar os investimentos perdidos com a extinção do BNH. A venda do potencial construtivo por parte da Prefeitura revertia recursos para o Fundo e para os projetos da COHAB-CT. Mais tarde passou a chamar-se FMHIS, Fundo Municipal para Habitação de Interesse Social.

Outro projeto inovador criado pela COHAB-CT foi a Vila de Ofícios no início dos anos 90, com objetivo de unir a habitação social ao empreendimento gerador de renda da família. Em parceria com a Fundação de Ação Social da prefeitura de Curitiba, as famílias eram selecionadas de forma mais criteriosa a fim de implementar suas moradias e seus negócios próprios.

No início dos anos 2000, novas parcerias foram firmadas com a CAIXA juntamente com o programa PAR (Programa de Arrendamento Residencial), em que as famílias têm seus financiamentos subsidiados por 15 anos, os financiamentos BID voltados às áreas de ocupação irregular e o Programa de Loteamentos entram em parceria com a iniciativa privada (MANDAJI, 2014).

É o caso do empreendimento Moradias Rio Bonito, com mais de 6000 lotes comercializados num sistema onde a COHAB-CT oferece as diretrizes do projeto, a aprovação e a fiscalização dos lotes e a iniciativa privada arca com os custos da implantação do loteamento e as obras. Partes dos lotes são revertidos à Companhia para atendimento da fila de mutuários em espera por moradia.

Após o ano de 2003 surgiram várias formas de financiamentos para habitações sociais com recursos provenientes de várias fontes. No âmbito Federal

foram contratados recursos do PAC Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), Programa de Subsídio a Habitação de Interesse Social (PSH), entre outros. No âmbito Municipal foram firmadas parcerias com o programa Pró-Moradias do Fundo Financeiro para o desenvolvimento dos países da bacia do Rio da Prata (Fonplata) e com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (MANDAJI, 2014).

Em 2009 foi criado pelo Governo Federal o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) com objetivo de gerar emprego e renda na no setor da construção civil e com a meta de diminuir o déficit habitacional no país. A COHAB-CT atua neste segmento apenas como facilitador do empreendedor na aprovação dos projetos junto à Prefeitura e à CAIXA, e na comercialização atendendo a demanda de mutuários inscritos na Companhia. O PMCMV entregou em sua primeira etapa mais de um milhão de unidades habitacionais subsidiadas para famílias das faixas de renda 1 (até R\$1600,00), faixa 2 (entre R\$1.601,00 e R\$3.275,00) e faixa 3 (entre R\$ 3.275,00 e R\$5.000,00).

Atualmente, o PMCMV está na terceira etapa e as faixas de renda são superiores, porém não há parceria firmada com a COHAB-CT momentaneamente.

A atuação da COHAB-CT é evidenciada por “uma cifra que dimensiona bem a importância da COHAB-CT, que atendeu mais de 100.000 famílias desde que foi fundada, somando um total superior a 450.000 pessoas” (BOLETIM CASA ROMÁRIO DE BARROS, 2006, p.81), aproximadamente um quarto da população de Curitiba.

2.2 PANORAMA DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E A IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) divulga anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN), que apresenta os dados de consumo no Brasil. Resumidamente, apresenta-se no gráfico abaixo o crescimento do consumo no Brasil, dividido pelos três setores principais.

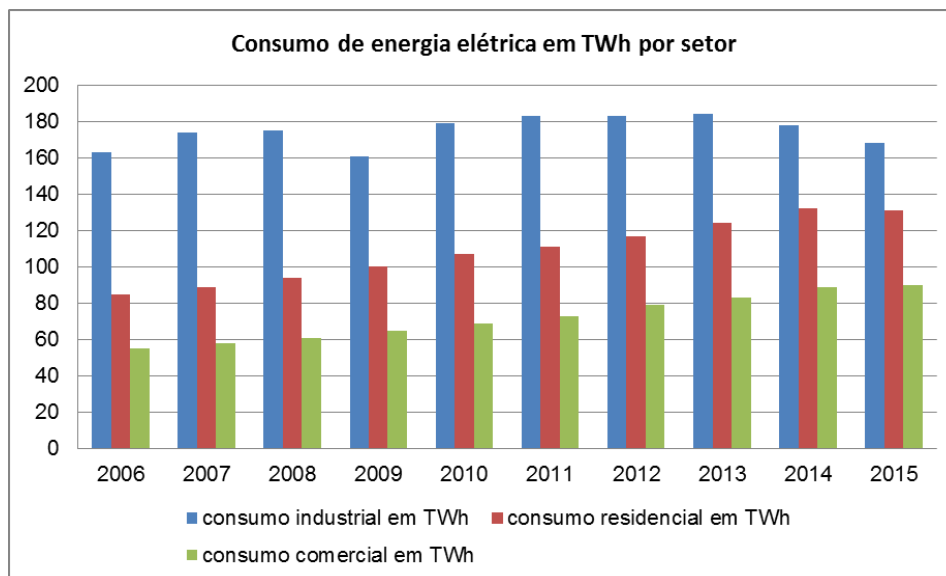


Gráfico 1: Consumo de energia elétrica TWh por setor no Brasil
Fonte: EPE, 2016.

As informações obtidas sobre o consumo de energia elétrica apontam para o aumento de consumo no Brasil.

O aumento da demanda pode ser esclarecido por várias hipóteses: o crescimento demográfico, universalização de serviços de atendimento elétrico, o aumento de renda e poder aquisitivo das famílias na última década, a diminuição da tributação gerando acesso a bens de consumo, equipamentos eletrônicos, condicionamento de ar e novas tecnologias. Todas as hipóteses somadas contribuem para o aumento do consumo no setor residencial, como demonstrado nos gráficos a seguir:

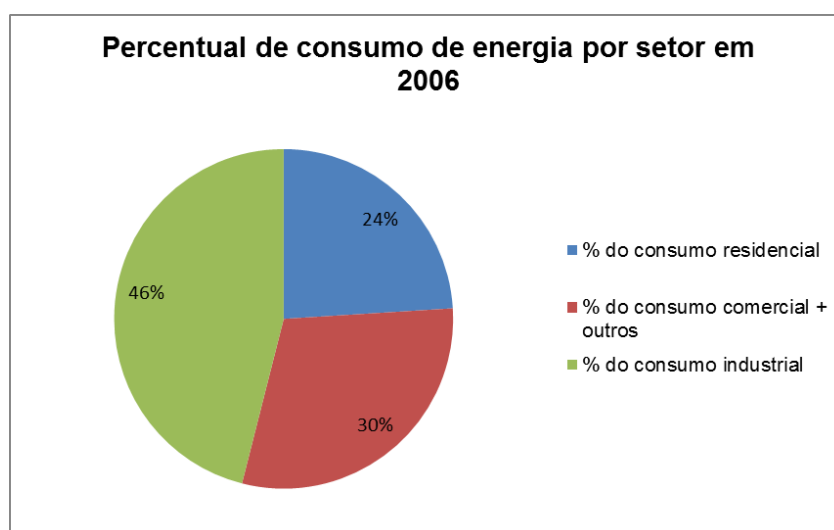


Gráfico 2: Percentual de consumo por setor no ano de 2006
Fonte: EPE, 2016.

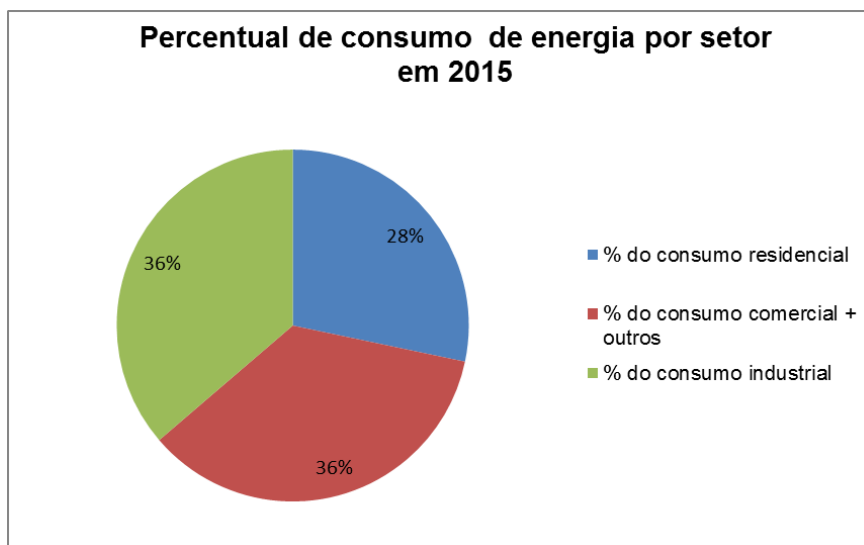


Gráfico 3: Percentual de consumo por setor no ano de 2015
Fonte: EPE, 2016.

A tabela abaixo demonstra o percentual de crescimento do consumo do setor doméstico a partir do ano de 2001, ano que o Brasil enfrentou grave crise de fornecimento de energia. Os valores dos anos de 2001 e 2002 se referem a valores negativos, ou seja, retração de consumo.

Tabela 1: Percentual de crescimento do consumo residencial de energia no Brasil

ANO	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
%	-11,9	-1,2	4,7	3,0	5,3	3,8	4,8	5,4	6,4	6,4	4,4	5,1	6,2	5,7

Fonte: EPE, 2016.

Com o agravamento da crise energética, o Governo federal publicou em outubro de 2001 a Lei nº 10.295 que dispõe sobre a política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001). A partir de então novas políticas voltadas à conservação e uso racional de energia elétrica são implementadas nas edificações.

Contudo, algumas medidas setoriais já buscavam reduzir o consumo e conduzir a um melhor aproveitamento da energia elétrica. É o caso do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) lançado em 1984 e coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) que estabelece metas de conformidade com aumento de desempenho e racionalização de uso de energia em diversos produtos industrializados e informa o consumidor

sobre os produtos com melhor eficiência. O PBE Edifica, que avalia o desempenho de eficiência energética de edifícios foi criado em 2009 com adesão voluntária.

Voltando ao conceito de eficiência energética para as edificações, podemos citar CARLO “A eficiência energética é adotada em projetos de edificações a fim de racionalizar o consumo evitando desperdício sem comprometer os serviços necessários à saúde, segurança, conforto e produtividade do usuário de uma edificação” (CARLO, 2008).

Para Lamberts et al. (1997), “a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia”.

Em dezembro de 2015, durante a Vigésima primeira reunião das Partes (COP 21) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, cerca de 190 países se reuniram em Paris, na França para buscar um acordo sobre mudança climática no mundo.

Nesta Convenção, o Brasil se comprometeu a diminuir suas emissões de gases do efeito estufa em 37% para 2025, em relação ao ano base de 2005, e reduzir em 43% essas emissões para 2030 em relação ao mesmo ano base.

Entre outras propostas, como a de diversificar a matriz energética com aumento das fontes renováveis, está uma meta bastante ousada de “alcançar até 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030” (EPE, junho, 2016).

Certamente todos os setores da sociedade serão chamados a contribuir com o atingimento destas metas.

2.3 A ETIQUETAGEM ENCE E O RTQ-R

Como citado anteriormente, o Programa Brasileiro de Etiquetagem foi lançado em 1984 e é coordenado pelo INMETRO.

O PBE Edifica voltado à etiquetagem das edificações faz parte do PBE e também da parceria INMETRO e Eletrobrás/PROCEL. O PBE Edifica foi lançado em 2009 com adesão voluntária. As edificações são avaliadas através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que avalia de “A”, mais eficiente, até “E”, menos eficiente.

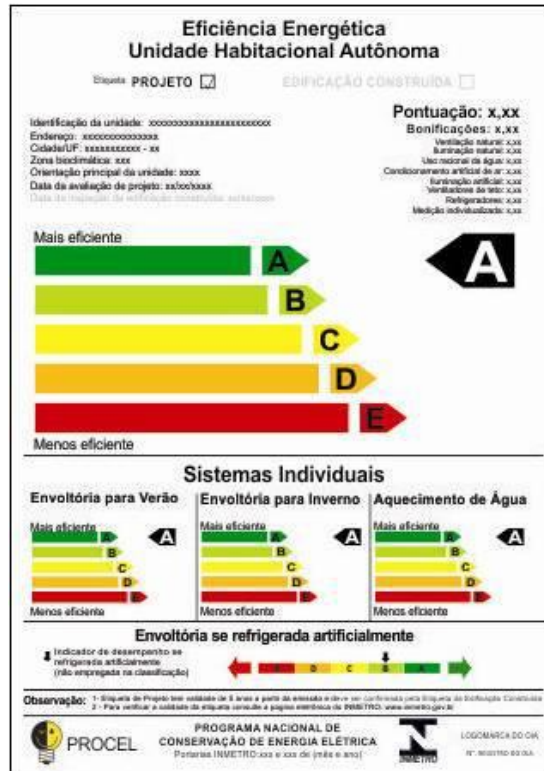


Figura 1: Etiqueta ENCE para edificações residenciais
 Fonte: LABEEE, 2015.

Equivalente numérico	Nível de Eficiência
5	A
4	B
3	C
2	D
1	E

Quadro 1: Relação entre o Equivalente Numérico e o Nível de Eficiência Energética para a ENCE
 Fonte: LABEEE, 2015.

Os procedimentos para obtenção da ENCE estão disponíveis no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.

As etiquetas podem ser obtidas para edificações comerciais, de serviço e públicas, e edificações residenciais, sendo estas de três tipos: Unidades

habitacionais autônomas (casas e apartamentos), edificações multifamiliares e áreas de uso comum.

A avaliação das unidades habitacionais autônomas compreende dois itens obrigatórios compreendidos por avaliação da envoltória e sistema de aquecimento de água. Além destes dois itens, existem outros sete itens de bonificação que são eles: ventilação e iluminação natural, uso racional de água, condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, ventilação, refrigeradores e medição individualizada.

A avaliação pode ser feita para o projeto e para a edificação construída, sendo que muitas variáveis podem contribuir no processo desde o planejamento, construção e uso da edificação.

2.4 ENVOLTÓRIA E ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO

O principal objeto de análise deste trabalho é a envoltória da edificação. O RTQ-R define envoltória como sendo o conjunto de planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, tais como fachadas, empenas, aberturas, cobertura, assim como quaisquer elementos que compõem uma edificação (excluindo pisos), estejam eles em contato com o solo ou não.

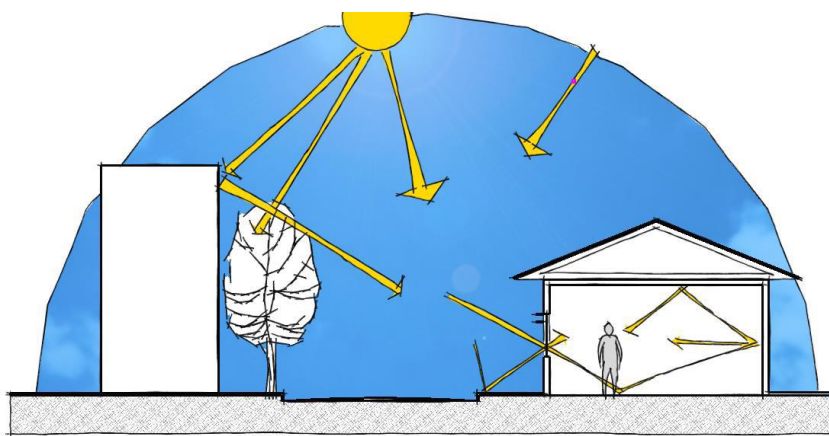


Figura 2: Envoltória de edificação
Fonte: Adaptado de Quali-A, Projeto BRA/09/G31, 2015.

A etiquetagem da envoltória é importante pois influencia outros sistemas, uma vez que controla as variáveis do meio como temperatura, ventos, umidade e precipitações, determina a quantidade e qualidade de luz natural e ventilação natural na edificação.

Para Lamberts et al. (2014), com mais conhecimento de eficiência energética ao nível de projeto e especificações de materiais e equipamentos, pode-se reduzir o consumo de energia no setor residencial, sem prejuízos para os usuários.

Para colaborar nos resultados de melhorias de eficiência energética do setor habitacional, foram criadas as Normas 15.220 (2005) de Desempenho Térmico nas Edificações e a NBR 15.575 (2010) de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho, revisada recentemente em 2013, mudando o nome para Edifícios Habitacionais - Desempenho.

A parte 3 da Norma 15.220 aborda o Zoneamento Bioclimático Brasileiro que estabelece diretrizes construtivas para oito zonas bioclimáticas nas quais o território nacional foi dividido. Em especial, estabelece diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

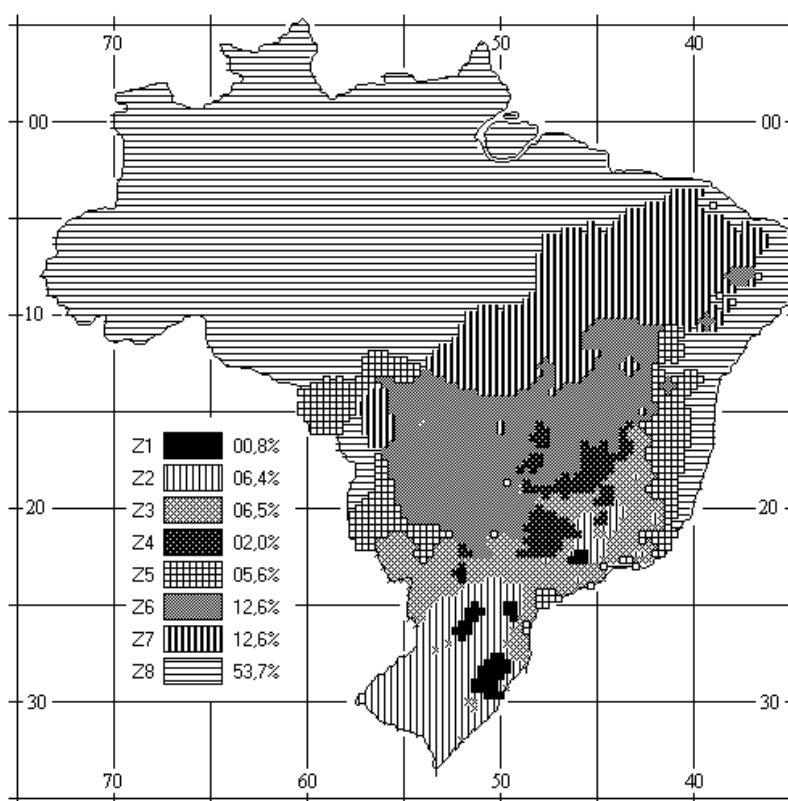


Figura 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro
Fonte ABNT, 2005.

Este trabalho tem seu estudo efetuado na cidade de Curitiba, que faz parte da Zona Bioclimática 1, com diretrizes indicadas abaixo:

- ✓ Aberturas médias para ventilação;
- ✓ Permitir insolação nos períodos frios;
- ✓ Vedações externas: Paredes Leves e Coberturas Leves isoladas;
- ✓ Estratégias de condicionamento passivo com aquecimento solar;
- ✓ Vedações internas pesadas com aumento de inércia térmica.

A partir destas condicionantes da NBR 15.220 e do RTQ-R foi desenvolvida a análise da envoltória das três unidades habitacionais de interesse social deste trabalho.

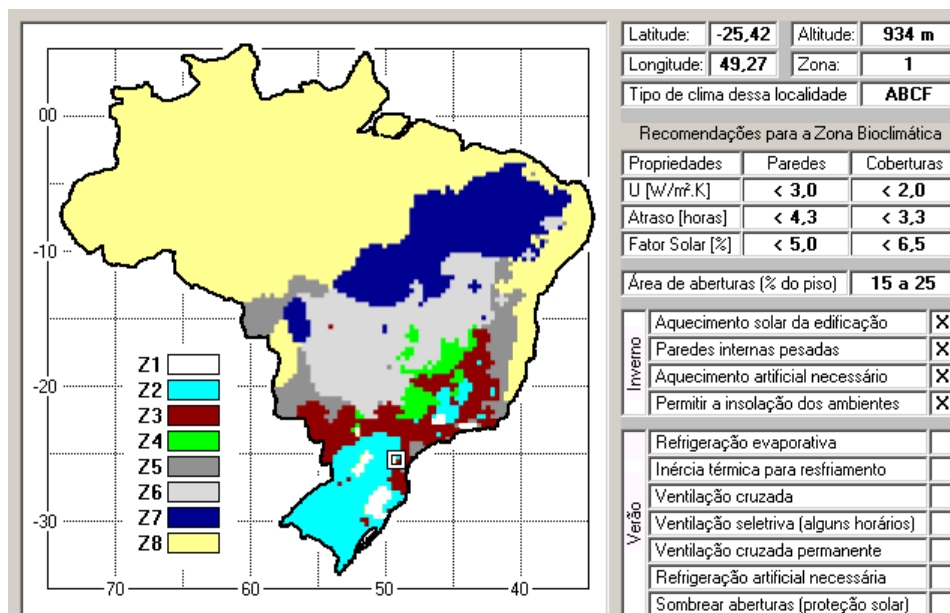


Figura 4: Diretrizes construtivas da Zona Bioclimática 1
 Fonte: Ferreira, 2012. (Adaptado de LABEEE, 2012).

2.5 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

2.5.1 LIGHT WOOD FRAMING

Mais conhecido como wood frame, consiste em um método construtivo ainda pouco divulgado no Brasil, mais comumente utilizado na América do Norte por ser uma técnica construtiva que utiliza recursos naturais locais e de fácil manuseio.

Para Molina e Junior (2010) o wood frame consiste em um sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira tratada

formando painéis de pisos, paredes e telhado, que combinados com outros materiais protegem a edificação contra intempéries e fogo, e podem aumentar o conforto térmico e acústico.

Disponível no mercado da região metropolitana de Curitiba, o conjunto de painéis fornecido e aplicado neste estudo, consiste num sistema em que as paredes externas e internas com função estrutural são formadas por quadros estruturais em peças de madeira serradas autoclavadas. O fechamento é realizado com placas OSB com função de contraventamento e revestidas externamente com placas cimentícias e internamente com gesso acartonado. Podem ainda conter uma manta hidrófuga de material importado com propriedades impermeabilizantes e preenchimento com lã de rocha ou lã de pet, que possuem a função de isolantes térmicos e acústicos.

Neste sistema, as tubulações para instalações hidráulicas e elétricas são embutidas na fábrica, uma vez que os painéis são industrializados.

A edificação analisada neste trabalho utiliza os painéis em wood frame, possui fundação em radier sob a qual os painéis são montados, e a cobertura é executada em estruturas de madeira com vedação em telhas cerâmicas, forro de PVC e uma camada isolante de lã de pet.

A análise da envoltória de uma unidade habitacional em wood frame é objeto de estudo no capítulo 4 deste trabalho.

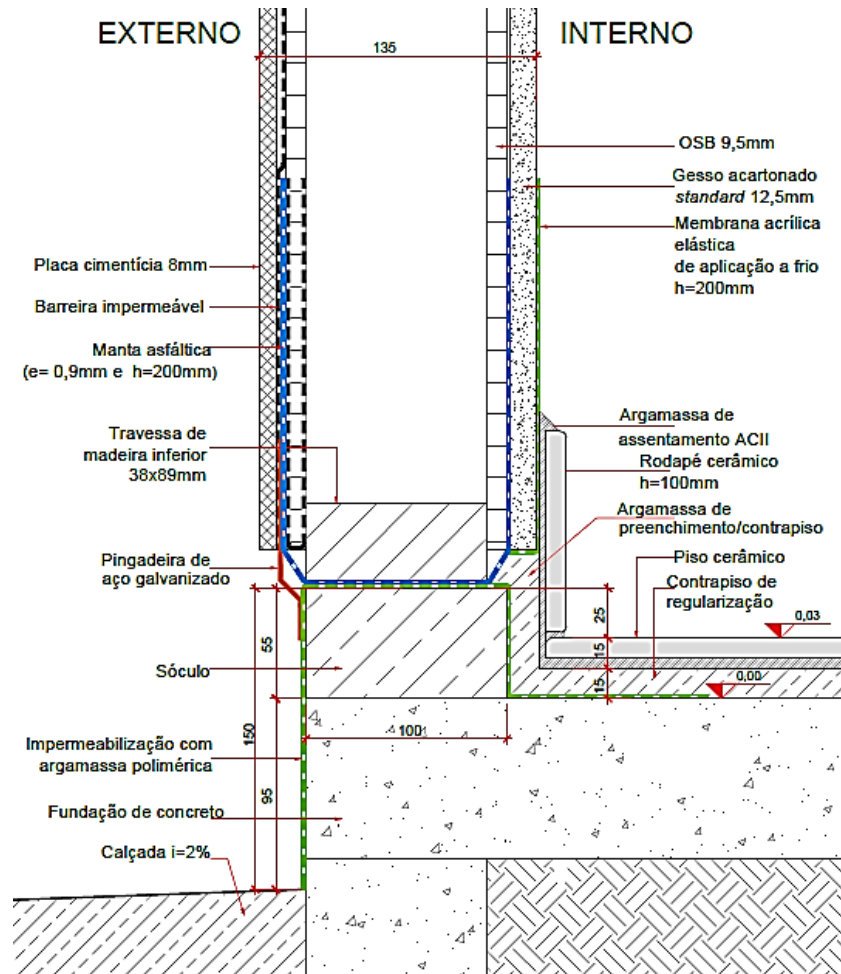


Figura 5: Detalhe de parede externa de áreas secas em wood frame
 Fonte: TECVERDE, 2016.



Figura 6: Construção de casa em wood frame
 Fonte: COHAB-CT, 2015.

2.5.2 LIGHT STEEL FRAMING

Apesar de ser uma tecnologia recente no Brasil, as construções de steel frame, como são chamadas, remontam de longa data também na América do Norte. Sua precursora foi a construção de wood frame, contudo, com o aumento da população e o grande desenvolvimento da indústria do aço, surgiram nos anos 30 as edificações em steel frame.

O steel frame é um sistema construtivo estruturado em perfis de aço galvanizado, projetados para suportar as cargas da edificação. Trata-se de um sistema bastante flexível pois permite muitas variações de projeto. Altamente durável e reciclável, permite a otimização dos recursos disponíveis (MANUAL DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA, 2015).

É indicado para construções térreas, unifamiliares ou multifamiliares, sobrados, pequenos edifícios, prédios comerciais, além de retrofit e ampliações de áreas existentes.

O sistema aceita uma diversidade de painéis de vedação desde placas OSB, placas cimentícias ou gesso acartonado, entre outros.

Na edificação em estudo no capítulo 4, o sistema foi construído com estrutura de aço galvanizado a frio, placas externas e internas de material cimentício, e uma camada interna composta de lã de pet isolante térmica e acústica e lona plástica com função impermeabilizante. As instalações hidráulicas e elétricas foram instaladas na obra, uma vez que a montagem dos painéis era feita no local.



Figura 7: Construção em steel frame
Fonte: COHAB-CT, 2012.



Figura 8: Instalações hidráulicas em edificação de steel frame
Fonte: COHAB-CT, 2012.



Figura 9: Montagem de edificação em steel frame
Fonte: COHAB-CT, 2012.

A fundação em radier é vista na figura 9. A cobertura tem estrutura metálica com forro em PVC e isolamento em lã de pet. As telhas são do tipo Onduline, compostas de fibras vegetais e resinas impermeabilizantes.

2.5.3 ALVENARIA COM TIJOLOS CERÂMICOS

A técnica da alvenaria de elevação é seguramente uma das mais usuais na construção de casas, principalmente no que diz respeito a habitações populares. Um rápido levantamento do histórico de construções da COHAB-CT chegaria a esta conclusão.

Trata-se de uma técnica antiga de construir paredes sobre as fundações, podendo ser radier, estaca sob baldrame ou baldrame diretamente.

As paredes são iniciadas pelos cantos, de onde é possível fazer a “amarração” com a sua sequência lateral. Após a aplicação de uma camada de argamassa faz-se o assentamento do tijolo cerâmico (este pode ser maciço ou com furos) e o preenchimento total das juntas (de 1,0cm a 1,5cm). Para finalizar, pode ser aplicado revestimento de argamassa de cimento e areia na espessura de 2,5cm externamente e internamente (PENTEADO; MARINHO; 2011).

Deve-se ter o cuidado de executar vergas e contra vergas em aberturas de portas e janelas, pois estas tem a função de evitar trincas nas paredes.

Como nos outros casos, a edificação em estudo foi construída sob laje de radier, com cobertura com estrutura em madeira, telhas cerâmicas e forro de PVC sem isolantes.

As alvenarias podem ser construídas para vedação de estruturas de concreto armado, mas não é o objeto de estudo deste trabalho.

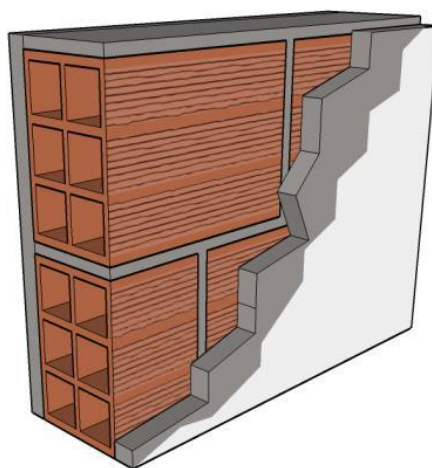


Figura 10: Ilustração de parede de alvenaria
Fonte: Anexo Geral V, INMETRO.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 METODOLOGIA APLICADA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi adotada a seguinte metodologia:

- ✓ **Fundamentação teórica:**
Para fundamentar teoricamente o trabalho, foram consultados trabalhos acadêmicos como monografias, dissertações, artigos, publicações técnicas e livros, sites, normas e, em especial, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível e Eficiência Energética de Edificações Residenciais.
- ✓ **Realização da análise comparativa:**
Foram efetuados cálculos matemáticos segundo a norma 15220 e o método prescritivo do RTQ-R para obtenção do nível de eficiência energética da envoltória de três unidades habitacionais com técnicas construtivas distintas. Após o cálculo da envoltória obtém-se o equivalente numérico que determina o nível de eficiência energético da etiquetagem ENCE.

3.2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A Companhia de Habitação de Curitiba tem um histórico de muitos empreendimentos e de busca de inovação e qualidade tecnológica. Devido a isso, as unidades habitacionais analisadas fazem parte de três empreendimentos distintos, cada uma edificada com uma técnica construtiva distinta e entregue à comunidade em épocas diferentes.

3.2.1 MORADIAS NILO E A EDIFICAÇÃO EM WOOD FRAME

O empreendimento que utiliza a técnica de construção de wood frame é identificado como Moradias Nilo, localizado no bairro Alto Boqueirão, região oeste da cidade de Curitiba. Trata-se de um empreendimento financiado pelo PMCMV e que na etapa 2 edificou 66 unidades habitacionais em wood frame entregues em março

de 2015. As edificações da etapa 1 construídas em alvenaria convencional foram entregues em 2009.

No empreendimento Moradias Nilo foram edificadas unidades habitacionais com dois quartos e em condições de acessibilidade para portador de necessidades especiais, uma vez que possui áreas de circulação e equipamentos que atendam a norma de acessibilidade.



Figura 11: Implantação do empreendimento Moradias Nilo
Fonte: COHAB – CT.

No Moradias Nilo, a edificação possui 42,80 m² de área total, sendo a área útil igual a 37,26m². Possui dois quartos, um banheiro, sala e cozinha conjugadas. Em todos os ambientes há pelo menos uma abertura para iluminação e ventilação do ambiente, sendo que as janelas são de correr sem venezianas na sala e quartos. Na cozinha e no banheiro as janelas são basculantes. A fundação da edificação é do tipo radier, que consiste em uma laje de concreto projetada para este fim. Além das paredes em wood frame, possui forro em PVC de 6mm e cobertura em telha cerâmica, conforme descrições em memorial. Inclui ainda uma camada de Lã de Pet na espessura de 5 cm aplicada acima do forro de PVC, entre a Câmara de ar do forro e cobertura.

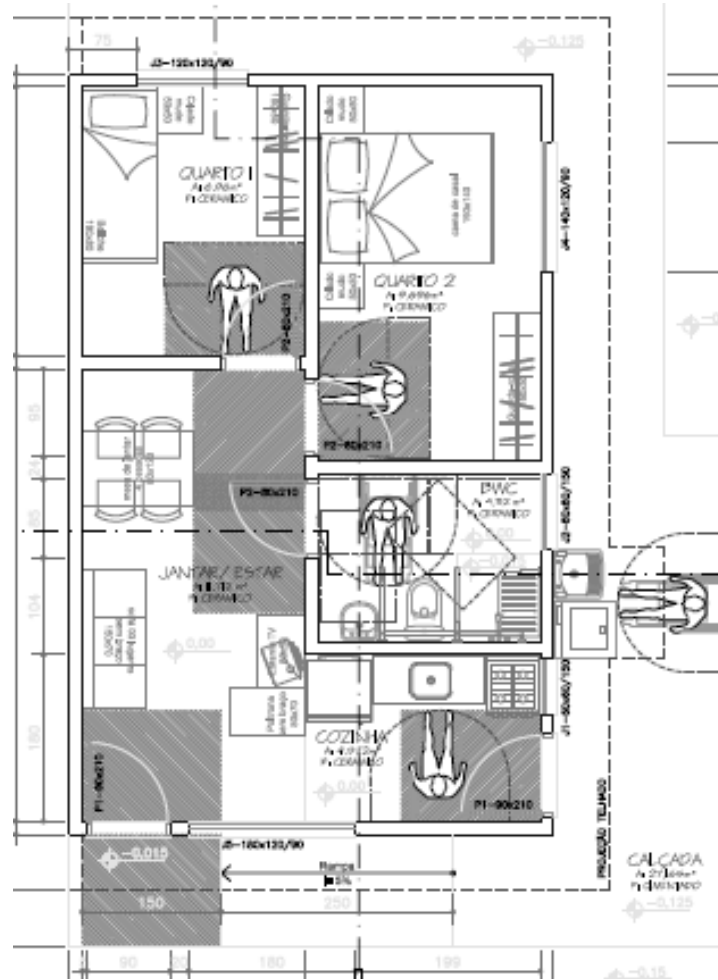


Figura 12: Planta Baixa de edificação em wood frame
Fonte: COHAB-CT.

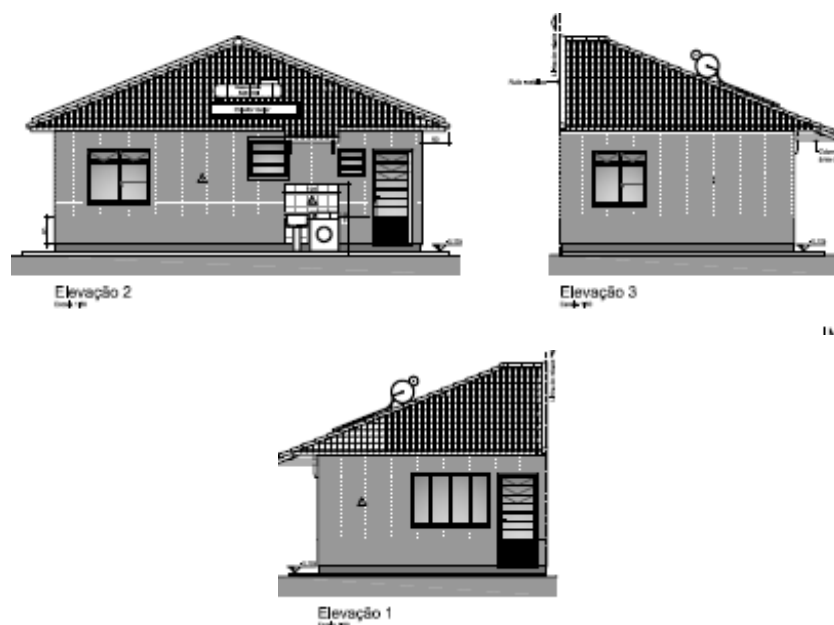


Figura 13: Elevações da edificação em wood frame
Fonte: COHAB-CT.

Tabela 2: Esquadrias das janelas na edificação em wood frame

	Dimensões (cm)	Tipo	Compartimento
J1	60x60	Basculante	Cozinha
J2	80x80	Basculante	Banheiro
J3	120x120	Fixa e correr	Quarto 1
J4	140x120	Fixa e correr	Quarto 2
J5	180x120	Fixa e correr	Sala

Fonte: Autoria Própria.



Figura 14: Edificação em wood frame
Fonte: COHAB-CT.

3.2.2 MORADIAS RIO BONITO E A EDIFICAÇÃO EM STEEL FRAME

O empreendimento Moradias Rio Bonito fica localizado na região sul de Curitiba, mais precisamente no bairro Campo de Santana e trata-se de um empreendimento com mais de 6000 lotes comercializados pela COHAB em parceria com a iniciativa privada no ano de 2004. Nesta mais recente etapas, foram entregues além dos lotes, 32 unidades habitacionais em tecnologia steel frame, com recursos provenientes do FMHIS para mutuários que viviam em situação de vulnerabilidade social.



Figura 15: Foto parcial do empreendimento Moradias Rio Bonito
Fonte: COHAB-CT.

Neste empreendimento foram construídas unidades habitacionais conhecidas como CT2-33, nomenclatura utilizada com o significado de Casa Térrea, com dois quartos e área total de 33,00 m².

Estas edificações possuem fundação do tipo radier, paredes em steel frame, forro em PVC com espessura de 6 mm e cobertura em telha Onduline. Essas telhas são fabricadas com fibras vegetais e impermeabilizadas com asfalto e resina. Para efeito de cálculo de envoltória, foi considerado o uso de telhas de fibrocimento, uma vez que não estão disponíveis informações sobre absorvância deste material de fabricação. Nesta edificação também é aplicada uma camada de 5 cm de Lã de Pet entre o forro de PVC e a cobertura. As aberturas para ventilação e iluminação são basculantes do banheiro e cozinha, e de correr sem venezianas nos quartos e sala.



Figura 16: Unidades CT2-33 construídas em steel frame
Fonte: COHAB-CT.

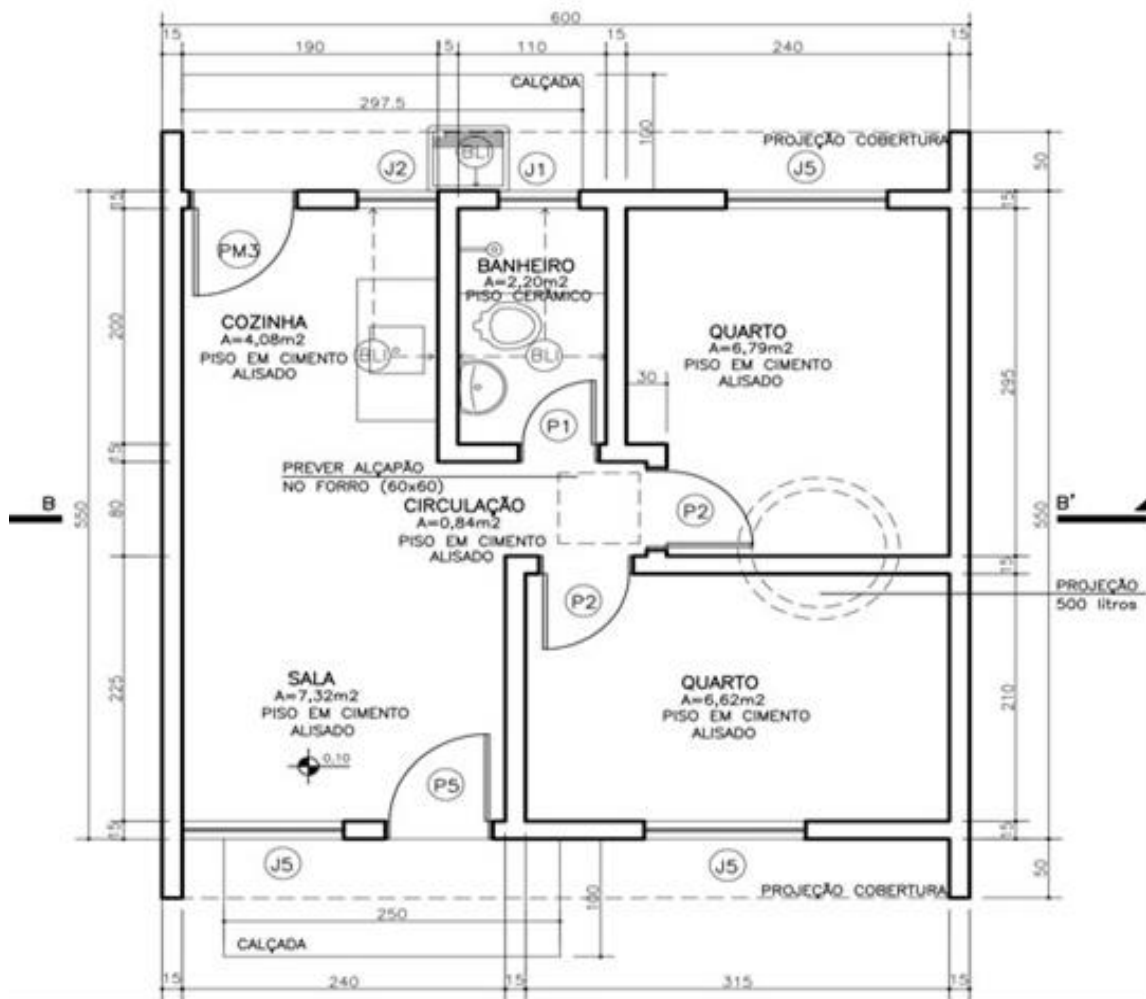


Figura 17: Planta baixa CT2-33 em steel frame
Fonte COHAB-CT.



Figura 18: Elevações da edificação em steel frame
Fonte: COHAB-CT.

Tabela 3: Esquadrias das janelas na edificação em steel frame

	Dimensões (cm)	Tipo	Compartimento
J1	60x60	Basculante	Banheiro
J2	60x90	Basculante	Cozinha
J5	120x100	Fixa e correr	Quarto 1
J5	120x100	Fixa e correr	Quarto 2
J5	120x100	Fixa e correr	Sala

Fonte: Autoria Própria.

3.2.3 MORADIAS MARINGÁ II E A EDIFICAÇÃO EM ALVENARIA

O Moradias Maringá II é um empreendimento localizado na região norte de Curitiba, mais precisamente do bairro Cachoeira e conta com 43 unidades habitacionais construídas em alvenaria convencional. Estas unidades foram entregues em 2015 e fazem parte dos financiamentos BID.

As unidades analisadas fazem parte do padrão CT2-33: casas térreas com dois quartos e 33 metros quadrados de área total. A fundação é em radier, com paredes em alvenaria revestidas com emboço de cimento e areia na espessura de 2,5 cm. Forro em PVC de 6 mm, com cobertura em telhas cerâmicas sem isolante térmico. As janelas são basculantes no banheiro e cozinha e de correr nos quartos e sala.



Figura 19: Unidades CT2-33 construídas em alvenaria
Fonte: COHAB-CT.

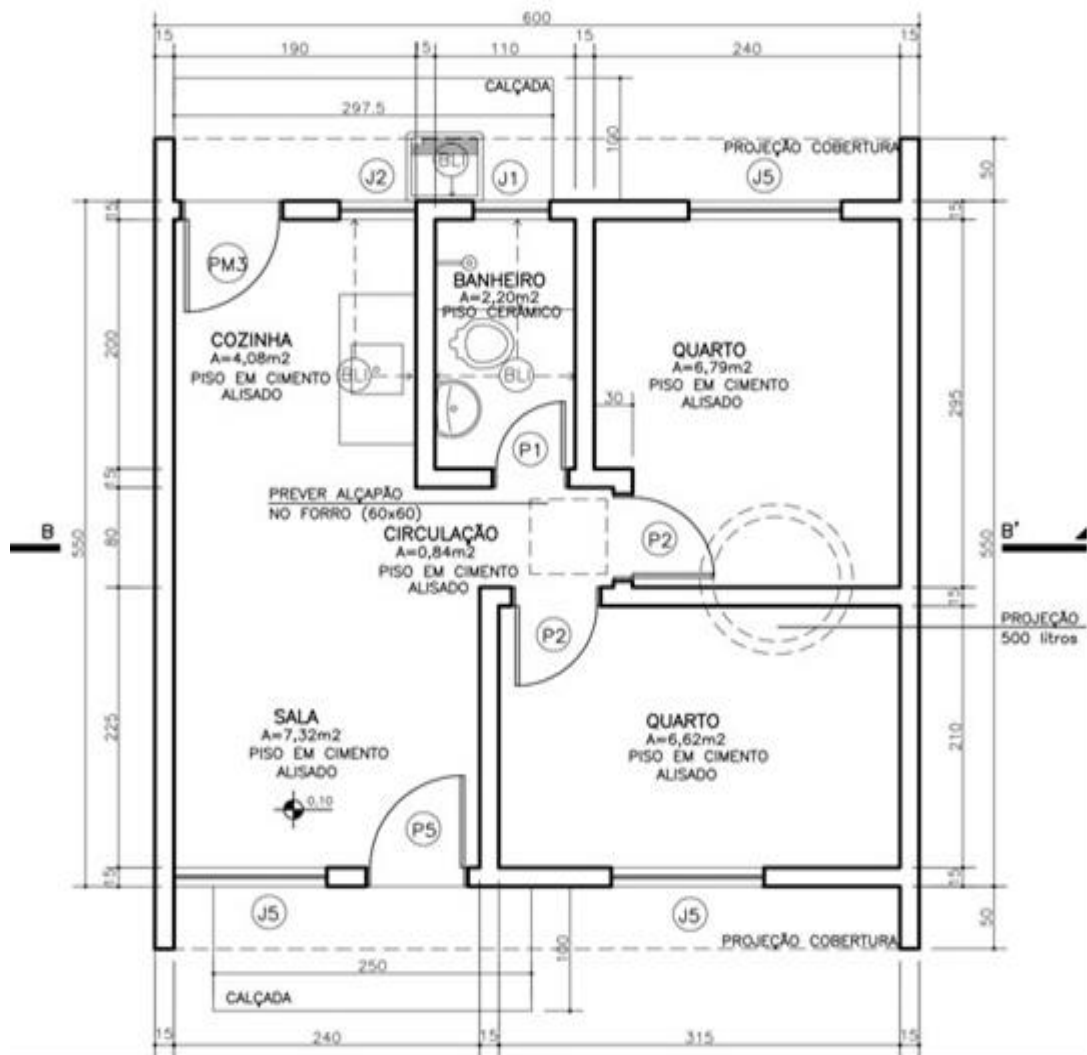


Figura 20: Planta baixa CT2-33 em alvenaria
Fonte COHAB-CT.



Figura 21: Elevações da edificação em alvenaria
Fonte: COHAB-CT.

Tabela 4: Esquadrias das janelas na edificação em alvenaria

	Dimensões (cm)	Tipo	Compartimento
J1	60x60	Basculante	Banheiro
J2	60x90	Basculante	Cozinha
J5	120x100	Fixa e correr	Quarto 1
J5	120x100	Fixa e correr	Quarto 2
J5	120x100	Fixa e correr	Sala

Fonte: Autoria Própria.



Figura 22: Implantação do empreendimento Moradias Maringá II
Fonte COHAB-CT.

3.3 ESCOLHA DAS CONDICIONANTES E METODOLOGIA DE CÁLCULO

A fim de delimitar o campo de pesquisa, primeiramente, definem-se as unidades a serem analisadas a partir das informações disponíveis. Todas as unidades habitacionais possuem área útil em dimensões próximas umas das outras, ou seja, entre 33m² e 37m². Cada uma contém dois quartos, e são analisados os compartimentos de permanência prolongada, dormitórios, sala e cozinha.

Para todas as edificações, foram considerados os ambientes de sala e/ou cozinha voltados para face oeste, que oferece maior insolação no período de inverno. No caso da unidade CT2-33, a Cozinha e o Quarto 1 ficaram voltados para a face oeste e a sala e o Quarto 2 ficaram voltados para face leste. Na edificação de wood frame, a Cozinha e sala ficaram voltadas para a face oeste principalmente, o Quarto 1 voltado para face leste e o Quarto 2 voltado para face norte.

Como muitas esquadrias de portas são em madeira maciça, não permitindo passagem de luz, todas as portas externas foram consideradas opacas e sem vidros. Contudo, todas as aberturas de janelas nos compartimentos de permanência prolongada foram analisadas, tanto para iluminação quanto ventilação.

A NBR 15220-Parte 3 definiu a cidade de Curitiba como integrante da Zona Bioclimática 1, uma das condicionantes do estudo.

A Parte 2 da NBR 15220 nos orienta no cálculo da Transmitância e da Capacidade Térmica das Paredes e Cobertura, variáveis importantes para obtenção dos resultados de equivalentes numéricos. O anexo B na Tabela B.3 informa os valores de densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de alguns materiais utilizados na construção de paredes e coberturas. A Tabela B-1 informa a Resistência Térmica (R_t) das câmaras de ar não ventiladas para paredes e coberturas. Ainda na Tabela B-2 são informados os valores de Absortância (α) das superfícies. No anexo A, na tabela A-1 obtêm-se as Resistências superficiais.

Primeiramente, efetua-se o cálculo da Resistência Térmica das paredes a partir da multiplicação da espessura da camada de material da parede por sua condutividade térmica (λ). Com a soma de todas as camadas obtém-se a Resistência Térmica Total da Parede. Efetua-se o mesmo procedimento para as

camadas de materiais da cobertura. Do inverso da Resistência Térmica obtém-se a Transmitância Térmica para a parede e a cobertura.

O próximo passo é calcular a Capacidade Térmica das Paredes e Coberturas a partir da multiplicação da espessura do material aplicado, da densidade de massa (ρ) e do calor específico (c).

Em alguns casos específicos, os dados de Transmitância e Capacidade Térmica estão disponíveis no Anexo Geral V do INMETRO-Portaria nº50 de 2013.

Em seguida, podemos iniciar o cálculo da Eficiência Energética da Envoltória pelo método do RTQ-R.

Para simplificar o cálculo prescritivo do RTQ-R e suas fórmulas de regressão múltipla, encontra-se disponível no site do LABEE, mais precisamente no domínio <www.cb3e.ufsc.br> deste site, a planilha de cálculo de desempenho de envoltória no qual, a partir da inserção dos dados acima relacionados, além de informações das dimensões da edificação obtidas nas plantas baixas e elevações, obtêm-se os Indicadores de Graus Hora de Resfriamento (Envoltória de Verão), Consumo Relativo de Aquecimento (Envoltória de Inverno) e Consumo Relativo para Refrigeração. Este cálculo se dá para os compartimentos de permanência prolongada isoladamente.

Esta planilha tem uma plataforma bastante amigável, autoexplicativa no seu preenchimento, com inserção dos dados já preparados, como citado acima.

A partir dos indicadores Graus, Hora de Resfriamento e Consumo Relativo de Aquecimento calcula-se o Equivalente Numérico que corresponde a um determinado nível de eficiência energético que varia de A a E, do mais eficiente ao menos eficiente, para os compartimentos de permanência prolongada.

Posteriormente, a planilha oferece a análise ao atendimento dos pré-requisitos do RTQ-R, que são:

- ✓ Transmitância e Capacidade Térmica das Paredes ;
- ✓ Transmitância e Capacidade Térmica da Cobertura;
- ✓ Aberturas mínimas para Ventilação;
- ✓ Aberturas mínimas para Iluminação;

Estes pré-requisitos estão descritos no Sub Capítulo 4.1.1 deste trabalho.

Para este estudo comparativo não serão analisados itens de bonificação como refrigeração e aquecimento de água.

Importante ressaltar que para a análise do pré-requisito de iluminação foi considerado 100% do vão da janela para passagem de luz.

Para análise do pré-requisito de ventilação foi considerado 50% do vão da janela permitindo passagem de ventilação.

Após a submissão da edificação aos pré-requisitos, caso atendidos, a planilha apresenta o resultado geral para edificação com as ponderações exigidas pelo RTQ-R e as bonificações selecionadas.

Neste trabalho, após a submissão aos pré-requisitos, os quais não foram atendidos em sua totalidade, o que limita a classificação de nível energético a no máximo o nível C, procedeu-se a sequência de cálculos, porém, sem bonificações para obtenção dos equivalentes numéricos de Envoltória de inverno e de verão.

Com a obtenção dos equivalentes numéricos, calcula-se a ponderação exigida pelo RTQ-R para Zona Bioclimática 1 que corresponde a 92% da envoltória de inverno somada a 8% da envoltória de verão. Assim obtemos o equivalente numérico geral e a classificação geral da edificação para o nível de eficiência energética da envoltória.

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO: APLICAÇÃO DO RTQ-R

4.1 ENVOLTÓRIA

A análise de envoltória foi realizada a partir de projetos arquitetônicos, compreendidos por planta baixa, cortes e elevações das unidades habitacionais, bem como informações construtivas de seus memoriais descritivos e visitas técnicas aos locais construídos.

O RTQ-R define envoltória como sendo o conjunto de planos que separam o ambiente interno do externo, tais como fachadas, empenas, cobertura, aberturas, assim como quaisquer elementos que as compõem. Não inclui pisos, estejam eles em contato com o solo ou não.

O resultado obtido no cálculo prescritivo da envoltória corresponde ao nível de eficiência energética ou desempenho térmico obtido, que é representado por um equivalente numérico de envoltória (EqNumEnv).

Para obtenção deste número, é calculado o equivalente numérico da envoltória para cada ambiente de permanência prolongada (EqNumEnvAmb). Em todos os casos é calculado também o desempenho térmico para resfriamento (EqNumEnvResf), para aquecimento (EqNumEnvA) e opcionalmente para ambientes condicionados artificialmente (EqNumEnvRefriger).

É importante ressaltar que o resultado da análise da envoltória oferece três parâmetros para avaliação da edificação:

- ✓ Indicador de Graus Hora para Resfriamento-GHR ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$)
Representa o somatório anual de graus-hora, calculado para a temperatura base de 26°C de resfriamento.
- ✓ Indicador de Consumo Relativo para Aquecimento-CA ($\text{KWh}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$)
Representa o consumo anual por metro quadrado necessário para aquecimento do ambiente para o período das 21h às 8h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 22°C .
- ✓ Consumo relativo para Refrigeração-CR (KWh/m^2)
Representa o consumo anual por metro quadrado necessário para refrigeração do ambiente para o período das 21h às 8h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 24°C .

Todo estudo foi conduzido para avaliação das habitações ventiladas naturalmente, um dos pré-requisitos do cálculo prescritivo, e não foram avaliadas para ambientes condicionados artificialmente, pois, além de opcional, não atende o objetivo deste trabalho avaliar as edificações em tais condições.

4.1.1 PRÉ-REQUISITOS PARA CÁLCULO DE ENVOLTÓRIA

O RTQ-R descreve alguns pré-requisitos para análise da envoltória na ZB1, que podem antecipadamente indicar o nível de eficiência energética da edificação:

- ✓ Os pré-requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das paredes externas e coberturas dos ambientes de permanência prolongada devem atender às condicionantes da Zona Bioclimática em que se encontram, conforme indicado na tabela 2. O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo Nível C (EqNum=3) nos EqNumEnvResfr, EqNumEnvA e EqNumEnvRefrig.

Tabela 5: Pré-requisitos da envoltória

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar (adimensional)	Transmitância Térmica [W/(m ² K)]	Capacidade térmica [Kj/(m ² K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência

Fonte: Autoria própria.

- ✓ Percentual de áreas mínimas para ventilação:
Ambientes de permanência prolongada devem possuir percentual de áreas mínimas de aberturas para ventilação conforme a tabela 3. O não atendimento implica em nível máximo C (EqNum = 3) no EqNumEnvResfr.

Tabela 6: Pré-requisito de ventilação

	% de abertura em relação área piso (A)
Ambiente	ZB1 a ZB6
Ambiente de permanência prolongada	A ≥ 8%

Fonte: Autoria própria.

✓ Iluminação natural:

As aberturas para iluminação deverão ser superiores a 12,5% em relação à área útil do ambiente. O não atendimento a este pré requisito implica em no máximo Nível C (EqNum=3) nos EqNumEnvResfr, EqNumEnvA e EqNumEnvRefrig.

4.2 CÁLCULO DE ENVOLTÓRIA PARA EDIFICAÇÃO EM WOOD FRAME

4.2.1 QUANTIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA, TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA

Na tabela abaixo são indicados os valores utilizados para determinação da Resistência Térmica total das paredes externas da edificação em wood frame. Este valor é obtido pela relação da espessura (e) dos materiais utilizados e a condutividade térmica deste material (λ).

Tabela 7: Determinação da resistência térmica total das paredes externas

Camada	Descrição	E (m)	λ (W/m.K)	Rt (m ² .K/W)
Rsex	Resistência superficial externa-fluxo horizontal	-	-	0,040
Rt01	Placa cimentícia	0,010	0,65	0,015
Rt02	Manta hidrófuga	0,003	0,23	0,013
Rt03	Placa de OSB	0,011	0,12	0,091
Rt04	Lã de Pet	0,05	0,035	1,429
Rt05	Placa OSB	0,011	0,12	0,091
Rt06	Câmara ar não ventilada-alta emissividade	-	-	0,16
Rt07	Placa gesso acartonado	0,012	0,350	0,034
Rt08	Resistência superficial interna-fluxo horizontal	-	-	0,13
RtParede	Resistência térmica total da parede externa	-	-	2,003

Fonte: Autoria própria.

Os valores de resistência interna e externa foram obtidos nas tabelas A.1 da NBR 15.220/2005-parte 2. Os valores de resistência para câmara de ar e os valores de condutividade térmica foram obtidos nas tabelas B.1 e B.3 da mesma norma, respectivamente.

Sabendo que a transmitância Térmica é o inverso da resistência térmica, obtém-se o valor da transmitância térmica das paredes externas $U_{par} = 0,499 \text{ W(m}^2\text{.K.)}$.

Transmitância térmica é a quantidade de transmissão de calor por uma unidade de tempo em uma unidade de área, que a resistência dos materiais internos e externos possam permitir, induzido pela diferença de temperatura entre dois ambientes.

A tabela 8 apresenta os valores utilizados para obtenção da capacidade térmica total da parede externa, utilizando a densidade de massa aparente (ρ) e a capacidade térmica do material (c).

Tabela 8: Determinação da capacidade térmica total das paredes externas

Camada	Descrição	E (m)	P (kg/m ³)	C (kj/(Kg.K))	Ct (Kj/m ² K)
Ct01	Placa cimentícia	0,010	1800	0,84	15,12
Ct02	Manta hidrófuga	0,003	-	-	-
Ct03	Placa OSB	0,011	550	2,30	13,92
Ct04	Lã de Pet	0,05	25	1,42	1,78
Ct05	Placa OSB	0,011	550	2,30	13,92
Ct06	Placa gesso acartonado	0,012	1000	0,84	10,08
Ct Parede	Capacidade térmica total da parede ext.				54,82

Fonte: Aatoria própria.

As tabelas 9 e 10 apresentam os valores obtidos para Resistência térmica total e capacidade térmica total para a cobertura. Os valores de referência foram obtidos pela norma NBR-15220/2005 parte 2 como nos cálculos da parede externa.

Tabela 9: Determinação da resistência térmica total da cobertura

Camada	Descrição	E (m)	λ (W/m.K)	Rt (m ² .K/W)
Rsex	Resistência superficial externa-fluxo descendente	-	-	0,040
Rt01	Telha cerâmica	0,014	1,00	0,014
Rt02	Câmara ar não ventilada-alta emissividade	-	-	0,16
Rt03	Lã de pet	0,05	0,035	1,429
Rt04	Forro PVC	0,06	0,20	0,0012
Rt05	Resistência superficial interna-fluxo ascendente	-	-	0,17
Rsin	Resistência térmica total da cobertura			1,80

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10: Determinação da capacidade térmica total da cobertura

Camada	Descrição	E (m)	ρ (kg/m ³)	C (kj/(Kg.K))	Ct (Kj/m ² K)
Ct01	Telha cerâmica	0,014	2000	0,92	25,76
Ct02	Câmara ar não ventilada-alta emissividade	-	-	-	-
Ct03	Lã de pet	0,05	25	1,42	1,78
Ct04	Forro PVC	0,06	-	-	-
Ct Parede	Capacidade térmica total da cobertura				27,54

Fonte: Autoria própria.

A transmitância térmica total da cobertura obtida é $U_{cob} = 0,55 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$.

4.2.2 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA

Os procedimentos de cálculo para determinar a eficiência energética da envoltória pelo método prescritivo são descritos no RTQ-R por meio de equações de regressão múltiplas, e de acordo com a Zona Bioclimática que a unidade habitacional autônoma estiver localizada.

Com o objetivo de simplificar estes procedimentos de cálculo, obtém-se a planilha para cálculo de envoltória de unidade habitacional autônoma em formato excel, disponível no endereço eletrônico <<http://cb3e.ufsc.br/>> (Acesso em: Outubro, 2016), que permite obter os níveis de eficiência da envoltória para verão (GHR) e

inverno (CA) para cada ambiente de permanência prolongada, conforme quadro 01 abaixo.

Também é possível avaliar os pré-requisitos da envoltória como área mínima de ventilação e iluminação natural no quadro 03.

Após obtenção dos resultados de resfriamento e aquecimento é possível apurar os resultados de EqNumEnv da edificação e seu nível de eficiência, por meio de equações e ponderações de pesos estabelecidas no RTQ-R para Zona Bioclimática 1, disponíveis na planilha de simulação.

Zona Bioclimática	ZB	ZB	ZB1
Ambiente	Identificação	adimensional	
	Área útil do APP	m ²	
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	
	Contato com solo	adimensional	
	Sobre Pilotis	adimensional	
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	
	CTcob	kJ/m ² .K	
	αcob	adimensional	
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	
	CTpar	kJ/m ² .K	
	αpar	adimensional	
Característica construtiva	CTbaixa	binário	
	CTalta	binário	
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	
	SUL	m ²	
	LESTE	m ²	
	OESTE	m ²	
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	
	SUL	m ²	
	LESTE	m ²	
	OESTE	m ²	
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	
	Somb	adimensional	
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	
	Pé Direito	m	
	C altura	adimensional	
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	
	vid	binário	
	Uvid	W/m ² .K	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	

Quadro 2: Planilha de cálculo de desempenho de envoltória

Fonte: cb3e, 2016.

Pré-requisitos por ambiente				
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e qpar atendem?	Não	
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim	
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?		
		Há corredor no Ambiente?		
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m ²]		
		Ai/Auamb (%)		
		Atende 12,5%?		
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação		
		Av/Auamb (%)		
		Atende % mínima?		
		Tipo de abertura		
		Abertura passível de fechamento?		
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?		
Atende?			Não	

Quadro 3: Planilha de cálculo dos pré-requisitos da envoltória

Fonte: cb3e, 2016.

Primeiramente são analisados os ambientes de permanência prolongada, classificados como dormitórios, salas de estar, sala de jantar, cozinha, ambientes que possuam finalidade de ocupação contínua.

Por se tratar de loteamento com terrenos em vários sentidos de orientação, foi adotado para este modelo construtivo a seguinte disposição para análise: sentido das fachadas oeste e norte para a cozinha e jantar, fachada leste para quarto 1 e fachada norte para quarto 2.

As áreas externas foram calculadas considerando a altura da parede externa com 2,53m e as paredes internas com pé direito de 2,40m, ambas conforme projetos.

Como pré-requisitos de transmitância e capacidade térmica das paredes e cobertura, temos:

Tabela 11: Pré-requisitos para envoltória RTQR-ZB1 em wood frame

Descrição	Requisito mínimo		Resultado	Atende RTQ-R
Transmitância térmica [W/(m ² K)]	Parede	$U \leq 2,50$	0,50	sim
	Cobertura	$U \leq 2,30$	0,55	sim
Capacidade térmica [Kj/m ² K]	Parede	CT ≥ 130	54,82	não

Fonte: Autoria própria.

Outro pré-requisito diz respeito à iluminação do ambiente, que deve atender um percentual superior a 12,50% em relação à área útil do ambiente. Neste cálculo serão considerados 100% da área de iluminação das aberturas de janela.

Tabela 12: Pré-requisitos para envoltória de iluminação RTQR-ZB1 em wood frame

Ambiente	Área de iluminação (m ²)	Área útil do ambiente (m ²)	%	Atende RTQ-R
Cozinha/jantar	2,52	16,28	15,48	sim
Dormitório 1	1,44	6,96	20,69	sim
Dormitório 2	1,68	9,69	17,34	sim

Fonte: A autoria própria.

O pré-requisito de aberturas mínimas de 8% para ventilação está demonstrado no quadro abaixo, sendo que para este parâmetro foi considerado 50% da área de abertura de janela.

Tabela 13: Pré-requisitos para envoltória de ventilação RTQR-ZB1 em wood frame

Ambiente	Área de ventilação (m ²)	Área útil do ambiente (m ²)	%	Atende RTQ-R
Cozinha/jantar	1,26	16,28	7,74	não
Dormitório 1	0,72	6,96	10,34	sim
Dormitório 2	0,84	9,69	8,67	sim

Fonte: A autoria própria.

Portanto, como a unidade não atende todos os requisitos mínimos, ela pode atingir no máximo o nível C na avaliação de envoltória.

O quadro 04 traz o resultado da análise da envoltória para a edificação de wood frame, com área útil de 37, 26m² e seus compartimentos de permanência prolongada. Também são apresentados para obtenção do indicador de graus hora para resfriamento (GHR), consumo para aquecimento (CA), seus equivalentes numéricos e nível de eficiência.

Nesta tabela são inseridos valores de transmitância (U), capacidade térmica (CT) e absorvância (α) das paredes e coberturas, sendo que os valores de absorvância (α) foram obtidos na tabela B.2 da NBR 15.220 - parte 2.

Vários parâmetros são avaliados em função da área útil do ambiente, das áreas das paredes internas, das áreas das paredes em contato com o exterior e sua orientação solar. São consideradas as condições da cobertura, se voltadas para área externa e dos pisos, se sobre solo ou pilotis.

Ambiente	Identificação	adimensional	Dormitório 1	Dormitório2	Cozinha /Jantar
	Área útil do APP	m ²	6,96	9,69	16,28
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1
	Contato com solo	adimensional	1	1	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	0,55	0,55	0,55
	CTcob	kJ/m ² .K	27,54	27,54	27,54
	αcob	adimensional	0,80	0,80	0,80
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	0,50	0,50	0,50
	CTpar	kJ/m ² .K	54,82	54,82	54,82
	αpar	adimensional	0,20	0,20	0,20
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	0,00	8,54	4,19
	SUL	m ²	7,34	0,00	12,35
	LESTE	m ²	4,63	6,07	0,00
	OESTE	m ²	0,00	0,00	11,05
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	0,00	1,68	0,36
	SUL	m ²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m ²	1,44	0,00	0,00
	OESTE	m ²	0,00	0,00	2,16
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50	0,50	0,50
	Somb	adimensional	0,00	0,00	0,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	10,80	12,72	8,26
	Pé Direito	m	2,40	2,40	2,40
	C altura	adimensional	0,345	0,248	0,147
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	1	1	1
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m ² .K	3,225	3,225	3,225
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	A	B
			154	139	163
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	C	B	B
			40,220	32,664	32,581

Quadro 4: Resultado da análise de envoltória para ambientes de permanência prolongada da UH em wood frame

Fonte: Adaptada de LABEEE, 2015.

Também são consideradas as áreas das aberturas para o exterior (no caso, as janelas), a área efetiva de abertura (no caso, considerado 100% da abertura) e área efetiva de ventilação (neste caso, considerado 50%). Não foram descontados os caixilhos.

Os campos indicadores de capacidade térmica devem ser deixados em branco, caso a capacidade térmica do ambiente esteja considerado no intervalo

entre 250 KJ/m²K (alta) e 50 KJ/m²K (baixa). A relação entre área de parede interna e pé direito é calculada diretamente na tabela como variável C, altura adimensional.

Acrescenta-se ainda informações sobre isolamento térmico de paredes e coberturas, existência de vidros duplos ou não e sua transmitância térmica.

Para os campos onde há indicação binária, o preenchimento é “1”, caso afirmativo, e “0”, caso negativo.

4.2.3 RESULTADOS OBTIDOS

Sobre a análise dos pré-requisitos para transmitância térmica, a unidade construída atende os parâmetros. Contudo, em relação à capacidade térmica da parede o indicador não é atendido, o que corresponde a EqNumEnv = 3 classificando no máximo em nível C.

Em relação ao pré-requisito de iluminação natural a edificação atende ao percentual mínimo de 12,5% de iluminação em todos ambientes analisados.

Sobre o percentual de ventilação natural, os ambientes dormitórios atendem ao mínimo de 8% de área de ventilação, contudo, o ambiente cozinha/jantar não atende ao pré-requisito, o que corresponde a EqNumEnv = 3, classificando, no máximo o nível C.

A partir dos níveis de eficiência obtidos no quadro 04 para todos ambientes de permanência prolongada, obtemos os seguintes resultados:

Tabela 14: Resultado de níveis de eficiência para App

Descrição	Dormitório 1	Dormitório 2	Jantar/Cozinha
GHR (°C.h)	154	139	163
	B	A	B
CA (KWh/m ² .ano)	40,220	32,664	32,581
	C	B	B

Fonte: Autoria própria.

Após a ponderação de valores pela área útil avaliada e aplicação dos pré-requisitos obtém-se o equivalente numérico e a classificação para o nível de eficiência da envoltória de Resfriamento (GHR) e Aquecimento (CA):

Tabela 15: Resultado do nível de eficiência de Resfriamento e Aquecimento

Descrição	EqNumEnv	Nível de Eficiência
EqNumEnvResfr-Env.para Verão	3,00	C
EqNumEnvA-Env.para Inverno	3,00	C

Fonte: Autoria própria.

Como o estudo é aplicado na Zona Bioclimática 1, o resultado final da análise da envoltória é obtido aplicando-se a ponderação do percentual de 92% de necessidade de aquecimento da edificação e 8% de resfriamento, conforme a fórmula a seguir:

Tabela 16: Resultado final do nível de eficiência energética da UH em wood frame

EqNumEnv	Nível de Eficiência
$0,08 \times \text{EqNumEnvResfr} + 0,92 \times \text{EqNumEnvA} = 3,00$	C

Fonte: Autoria própria.

Portanto, embora os resultados obtidos possam aparentemente oferecer uma classificação melhor, em virtude do não cumprimento dos pré-requisitos mínimos, classifica-se esta unidade construída em wood frame com nível C de eficiência energética.

4.3 CÁLCULO DE ENVOLTÓRIA PARA EDIFICAÇÃO EM STEEL FRAME

4.3.1 QUANTIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA, TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA

Para obtenção das variáveis necessárias à análise da envoltória da unidade habitacional em steel frame, foram seguidos os mesmos critérios da edificação em wood frame que estão descritos a seguir.

As tabelas 17 e 18 apresentam o cálculo da resistência, transmitância e capacidade térmica da parede externa em steel frame:

Tabela 17: Determinação da resistência térmica total das paredes externas em steel frame

Camada	Descrição	E (m)	λ (W/m.K)	Rt (m ² .K/W)
Rsex	Resistência superficial externa-fluxo horizontal	-	-	0,040
Rt01	Placa cimentícia	0,010	0,65	0,015
Rt02	Lona preta	0,001	0,40	0,0025
Rt03	Lã de Pet	0,05	0,035	1,429
Rt04	Câmara ar não ventilada-alta emis.	-	-	0,16
Rt05	Placa cimentícia	0,010	0,65	0,015
Rt06	Resistência superficial interna-fluxo horizontal	-	-	0,13
RtParede	Resistência térmica total da parede externa	-	-	1,7915

Fonte: Autoria própria.

A partir da resistência térmica das paredes obtém-se a transmitância térmica $U_{par} = 0,55 \text{ W(m}^2\text{.K)}$.

Tabela 18: Determinação da capacidade térmica total das paredes externas em steel frame

Camada	Descrição	E (m)	ρ (kg/m ³)	C (kj/(Kg.K))	Ct (Kj/m ² K)
Ct01	Placa cimentícia	0,010	1800	0,84	15,12
Ct02	Lona preta	-	-	-	-
Ct04	Câmara de ar	-	-	-	-
Ct05	Placa cimentícia	0,010	1800	0,84	15,12
Ct	Capacidade térmica total da				32,02
Parede	parede ext.				

Fonte: Autoria própria.

As tabelas 19 e 20 apresentam o cálculo da resistência, transmitância e capacidade térmica da cobertura:

Tabela 19: Determinação da resistência térmica total da cobertura em steel frame

Camada	Descrição	E (m)	λ (W/m.K)	Rt (m ² .K/W)
Rsex	Resistência superficial externa-fluxo descendente	-	-	0,040
Rt01	Telha fibrocimento	0,006	0,95	0,006
Rt02	Câmara ar não ventilada-alta emissividade	-	-	0,16
Rt03	Lã de pet	0,05	0,035	1,429
Rt04	Forro PVC	0,06	0,20	0,0012
Rt05	Resistência superficial interna-fluxo ascendente	-	-	0,17
Rsin	Resistência térmica total da cobertura			1,81

Fonte: Autoria própria.

A transmitância térmica total da cobertura obtida é $U_{cob} = 0,55 \text{ W/(m}^2\text{.K.)}$.

Tabela 20: Determinação da capacidade térmica total da cobertura em steel frame

Camada	Descrição	E (m)	ρ (kg/m ³)	C (kj/(Kg.K))	Ct (Kj/m ² K)
Ct01	Telha fibrocimento	0,006	1900	0,84	9,576
Ct02	Câmara ar não ventilada-alta emissividade	-	-	-	-
Ct03	Lã de pet	0,05	25	1,42	1,78
Ct04	Forro PVC	0,06	-	-	-
Ct	Capacidade térmica total da cobertura				11,36
Parede					

Fonte: Autoria própria.

4.3.2 DETERMINAÇÃO NÍVEL EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA

Aplicando os pré-requisitos de transmitância e capacidade térmica das paredes e cobertura conforme RTQ-R, tem-se:

Tabela 21: Pré-requisitos para envoltória RTQR-ZB1 em steel frame

Descrição	Requisito mínimo		Resultado	Atende RTQ-R
Transmitância térmica [W/(m²K)]	Parede	$U \leq 2,50$	0,55	sim
	Cobertura	$U \leq 2,30$	0,55	sim
Capacidade térmica [Kj/m²K]	Parede	$CT \geq 130$	32,02	não

Fonte: Autoria própria.

Outro pré-requisito diz respeito à iluminação do ambiente, que deve atender um percentual superior a 12,50% em relação à área útil do ambiente. Neste cálculo serão considerados 100% área de iluminação das aberturas de janela.

Tabela 22: Pré-requisitos para envoltória de iluminação RTQR-ZB1 em steel frame

Ambiente	Área de iluminação (m²)	Área útil do ambiente (m²)	%	Atende RTQ-R
Cozinha/jantar	1,74	11,38	15,29	sim
Dormitório 1	1,20	6,79	17,67	sim
Dormitório 2	1,20	6,62	18,13	sim

Fonte: Autoria própria.

O pré-requisito de aberturas mínimas de 8% para ventilação está demonstrado no quadro abaixo, sendo que para este parâmetro foi considerado 50% da área de abertura de janela.

Tabela 23: Pré-requisitos para envoltória de ventilação RTQR-ZB1 em steel frame

Ambiente	Área de ventilação (m²)	Área útil do ambiente (m²)	%	Atende RTQ-R
Cozinha/jantar	0,87	11,38	7,64	não
Dormitório 1	0,60	6,79	8,84	sim
Dormitório 2	0,60	6,62	9,06	sim

Fonte: Autoria própria.

A seguir, as variáveis obtidas são inseridas na planilha de cálculo conforme modelo para obtenção de Graus Hora de Resfriamento e Capacidade de Aquecimento da edificação de steel frame:

Ambiente	Identificação	adimensional	Dormitório 1	Dormitório 2	Cozinha/jantar
	Área útil do APP	m ²		6,79	6,62
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1
	Contato com solo	adimensional	1	1	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	0,55	0,55	0,55
	CTcob	kJ/m ² .K	11,36	11,36	11,36
	αcob	adimensional	0,80	0,80	0,80
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	0,55	0,55	0,55
	CTpar	kJ/m ² .K	32,02	32,02	32,02
	αpar	adimensional	0,20	0,20	0,20
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	7,46	5,31	0,00
	SUL	m ²	0,00	0,00	13,92
	LESTE	m ²	4,87	6,77	4,87
	OESTE	m ²	0,00	0,00	4,27
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m ²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m ²	0,00	1,20	1,20
	OESTE	m ²	1,20	0,00	0,54
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50	0,50	0,50
	Somb	adimensional	0,00	0,00	0,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	10,90	10,80	10,20
	Pé Direito	m	2,40	2,40	2,40
	C altura	adimensional	0,353	0,363	0,211
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m ² .K	3,225	3,225	3,225
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	B	B
			240	212	192
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	D	E	D
			66,610	71,954	58,845

Quadro 5: Resultado da análise de envoltória para ambientes de permanência prolongada em UH de steel frame
Fonte: Adaptada de LABEEE, 2015.

4.3.3 RESULTADOS OBTIDOS

Em análise aos pré-requisitos para transmitância térmica, a unidade construída atende os parâmetros, contudo, em relação à capacidade térmica da parede o indicador não é atendido, o que corresponde a EqNumEnv = 3, classificando no máximo em nível C.

O percentual de 12,50% de iluminação natural é atendido em todos ambientes de permanência prolongada.

Sobre o percentual de ventilação natural, os ambientes dormitórios atendem ao mínimo de 8% de área de ventilação, contudo, o ambiente cozinha/jantar não atende ao pré-requisito, o que corresponde a $EqNumEnv = 3$, classificando no máximo nível C.

A partir dos níveis de eficiência obtidos no quadro 05 para todos ambientes de permanência prolongada, obtém-se os seguintes resultados:

Tabela 24: Resultado de níveis de eficiência para App em steel frame

Descrição	Dormitório 1	Dormitório 2	Jantar/Cozinha
GHR (°C.h)	240	212	192
	B	B	B
CA (KWh/m ² .ano)	66,610	71,954	58,845
	D	E	D

Fonte: Aatoria própria.

Após a ponderação de valores pela área útil avaliada a aplicação de pré-requisitos obtém-se o equivalente numérico e a classificação para o nível de eficiência da envoltória de Resfriamento (GHR) e Aquecimento (CA):

Tabela 25: Resultado do nível de eficiência de Resfriamento e Aquecimento

Descrição	EqNumEnv	Nível de Eficiência
EqNumEnvResfr-Env.para Verão	3,00	C
EqNumEnvA-Env.para Inverno	1,73	D

Fonte: Aatoria própria.

Como o estudo é aplicado na Zona Bioclimática 1, o resultado final da análise da envoltória é obtido aplicando-se a ponderação do percentual de 92% de necessidade de aquecimento da edificação e 8% de resfriamento, conforme a fórmula abaixo:

Tabela 26: Resultado final do nível de eficiência energética em UH de steel frame

EqNumEnv	Nível de Eficiência
$0,08 \times \text{EqNumEnvResfr} + 0,92 \times \text{EqNumEnvA} = 1,83$	D

Fonte: Autoria própria.

4.4 CÁLCULO DE ENVOLTÓRIA PARA EDIFICAÇÃO EM ALVENARIA

4.4.1 QUANTIFICAÇÃO DA TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA

Para obtenção das variáveis necessárias à análise da envoltória da unidade habitacional em alvenaria foram obtidos valores de transmitância e capacidade térmica dos materiais na documentação do Anexo geral V da Portaria Inmetro nº50/2013, disponível em <<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/residencial/downloads>> (Acesso em: Outubro, 2016).

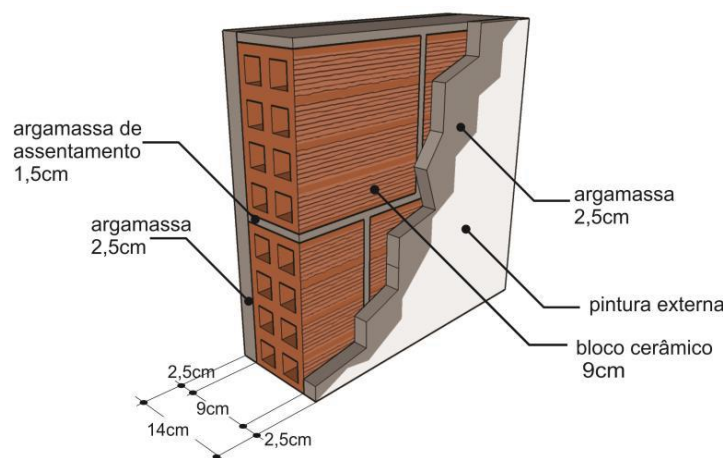


Figura 23: Características de parede em alvenaria de elevação em bloco cerâmico
Fonte: Anexo V - Portaria 50/2013 - LABEE, 2016.

Conforme indicado no anexo da portaria, correspondem os dados de transmitância térmica da parede $U = 2,39 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ e Capacidade Térmica $CT = 151 \text{ KJ/m}^2\text{K}$, para alvenaria de bloco cerâmico (9,0x19,0x19,0), rejunte em argamassa e revestimento de argamassa interna (2,5cm) e externa (2,5cm), além de pintura externa.

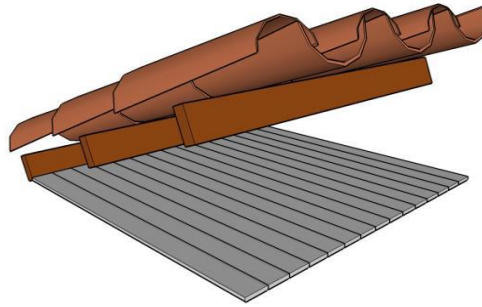


Figura 24: Características de cobertura em telha cerâmica e forro de PVC de 1cm
Fonte: Anexo V - Portaria 50/2013 - LABEE, 2016.

Conforme indicado no anexo da portaria, correspondem os dados de transmitância térmica da parede $U = 1,75 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ e Capacidade Térmica $CT = 21 \text{ KJ/m}^2\text{K}$, para cobertura em telha cerâmica e forro de PVC de 1,00cm de espessura. Ainda contempla câmara de ar maior que 5,00cm e não contempla isolamento térmico entre as partes.

Os valores de absorvância (α) atribuídos são os mesmos das análises anteriores, $\alpha = 0,80$ para cobertura e $\alpha = 0,20$ para paredes externas.

4.4.2 DETERMINAÇÃO NÍVEL EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA

Aplicando os pré-requisitos de transmitância e capacidade térmica das paredes e cobertura conforme RTQ-R, tem-se:

Tabela 27: Pré-requisitos para envoltória RTQR-ZB1 em alvenaria

Descrição	Requisito mínimo		Resultado	Atende RTQ-R
Transmitância térmica $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$	Parede	$U \leq 2,50$	2,39	sim
	Cobertura	$U \leq 2,30$	1,75	sim
Capacidade térmica $[\text{Kj}/\text{m}^2\text{K})]$	Parede	$CT \geq 130$	151	sim

Fonte: Autoria própria.

Outro pré-requisito diz respeito à iluminação do ambiente, que deve atender um percentual superior à 12,50% em relação à área útil do ambiente. Neste cálculo será considerado 100% de área de iluminação das aberturas de janela.

Tabela 28: Pré-requisitos para envoltória-iluminação RTQR-ZB1 em alvenaria

Ambiente	Área de iluminação (m²)	Área útil do ambiente (m²)	%	Atende RTQ-R
Cozinha/jantar	1,74	11,38	15,29	sim
Dormitório 1	1,20	6,79	17,67	sim
Dormitório 2	1,20	6,62	18,13	sim

Fonte: Autoria própria.

O pré-requisito de aberturas mínimas de 8% para ventilação está demonstrado no quadro abaixo, sendo que para este parâmetro foi considerado 50% da área de abertura de janela.

Tabela 29: Pré-requisitos para envoltória-ventilação RTQR-ZB1 em alvenaria

Ambiente	Área de ventilação (m²)	Área útil do ambiente (m²)	%	Atende RTQ-R
Cozinha/jantar	0,87	11,38	7,64	não
Dormitório 1	0,60	6,79	8,84	sim
Dormitório 2	0,60	6,62	9,06	sim

Fonte: Autoria própria.

A seguir, as variáveis obtidas são inseridas na planilha de cálculo conforme modelo para obtenção de Graus Hora de Resfriamento e Capacidade de Aquecimento da edificação em alvenaria cerâmica(Quadro 6).

4.4.3 RESULTADOS OBTIDOS

Em análise aos pré-requisitos para transmitância térmica, a unidade construída atende os parâmetros tanto para parede externa quanto cobertura.

O percentual de 12,50% de iluminação natural é atendido em todos ambientes.

Sobre o percentual de ventilação natural, os ambientes dormitórios atendem ao mínimo de 8% de área de ventilação, contudo, o ambiente cozinha/jantar não

atende ao pré-requisito, o que corresponde a $E_{qNumEnv} = 3$, classificando no máximo nível C.

Ambiente	Identificação	adimensional	Cozinha/jantar	Dormitório 2	Dormitório 1
	Área útil do APP		m ²	11,38	6,62
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1
	Contato com solo	adimensional	1	1	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	1,75	1,75	1,75
	CTcob	kJ/m ² .K	21,00	21,00	21,00
	αcob	adimensional	0,80	0,80	0,80
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	2,39	2,39	2,39
	CTpar	kJ/m ² .K	151,00	151,00	151,00
	αpar	adimensional	0,20	0,20	0,20
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	0	0	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	0,00	5,31	7,46
	SUL	m ²	13,92	0,00	0,00
	LESTE	m ²	4,87	6,77	4,87
	OESTE	m ²	4,27	0,00	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	0,00	0,00	0,00
	SUL	m ²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m ²	1,20	1,20	0,00
	OESTE	m ²	0,54	0,00	1,20
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,50	0,50	0,50
	Somb	adimensional	0,00	0,00	0,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	10,20	10,80	10,90
	Pé Direito	m	2,40	2,40	2,40
	C altura	adimensional	0,211	0,363	0,353
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m ² .K	3,225	3,225	3,225
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	B	B
			187	194	225
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	D	D	D
			55,396	60,967	57,492

Quadro 6: Resultado da análise de envoltória para ambientes de permanência prolongada em UH de alvenaria
Fonte: Adaptada de LABEEE, 2015.

A partir dos níveis de eficiência obtidos no quadro 06 para todos ambientes de permanência prolongada, obtém-se os seguintes resultados:

Tabela 30: Resultado de níveis de eficiência para App em alvenaria

Descrição	Dormitório 1	Dormitório 2	Jantar/Cozinha
GHR (°C.h)	225	194	187
	B	B	B
CA (KWh/m ² .ano)	55,492	60,967	55,396
	D	D	D

Fonte: Autoria própria.

Após a ponderação de valores pela área útil avaliada a aplicação de pré-requisitos obtém-se o equivalente numérico e a classificação para o nível de eficiência da envoltória de Resfriamento (GHR) e Aquecimento (CA):

Tabela 31: Resultado de níveis de eficiência para App em alvenaria

Descrição	EqNumEnv	Nível de Eficiência
EqNumEnvResfr - Env.para Verão	3,54	C
EqNumEnvA - Env.para Inverno	2,00	D

Fonte: Autoria própria.

Como o estudo é aplicado na Zona Bioclimática 1, o resultado final da análise da envoltória é obtido aplicando-se a ponderação do percentual de 92% de necessidade de aquecimento da edificação e 8% de resfriamento, conforme a fórmula abaixo:

Tabela 32: Resultado final do nível de eficiência energética de UH em alvenaria

EqNumEnv	Nível de Eficiência
$0,08 \times \text{EqNumEnvResfr} + 0,92 \times \text{EqNumEnvA} = 2,12$	D

Fonte: Autoria própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a avaliação da envoltória pelo método prescritivo RTQ-R para três habitações de interesse social sendo que, cada uma das unidades foi construída com técnicas e materiais distintos, todas localizadas na Zona Bioclimática 1. Os resultados obtidos são analisados a seguir:

A edificação construída em wood frame apresentou resultados satisfatórios quando os ambientes de permanência prolongada são analisados separadamente. O dormitório 2, cuja abertura possui orientação para face norte recebeu avaliação nível A para envoltória de verão e nível B para envoltória de inverno. O ambiente sala/cozinha conjugados com aberturas voltadas para faces norte e oeste recebeu avaliação nível B para ambas as análises. O dormitório 1 com abertura voltada para face leste recebeu avaliação nível C para envoltória de inverno e nível B para envoltória de verão.

Quando esta unidade é avaliada integralmente e submetida aos pré-requisitos, verificamos que as paredes não atendem ao pré-requisito de transmitância, capacidade térmica e absorvância, contudo, a cobertura atende estes itens. No item iluminação natural, as aberturas preenchem os quesitos, contudo, em percentual de área de ventilação, o ambiente sala/cozinha conjugados não atende o percentual mínimo.

Na ponderação final, a unidade de wood frame atingiu nível C de eficiência energética.

Quanto à edificação de steel frame, foi apresentado um resultado nível B para envoltória de verão para todos ambientes, porém, para envoltória de inverno recebeu nível D para sala/cozinha (aberturas voltadas para faces leste e oeste respectivamente) e também para o dormitório 1 (abertura voltada para face oeste). O dormitório 2 com abertura voltada para orientação leste recebeu avaliação inferior para envoltória de inverno, nível E.

A análise dos pré-requisitos para esta unidade recebe a mesma avaliação da edificação anterior, ou seja, atende os quesitos de transmitância, capacidade térmica e absorvância para a cobertura, mas não atende para as paredes. Atende o quesito de iluminação natural, mas não atende o quesito de área percentual de ventilação.

Na avaliação geral, a unidade de steel frame atingiu nível D de eficiência energética.

A unidade construída em alvenaria recebeu avaliação nível B para envoltória de verão em todos ambientes, e avaliação nível D para envoltória de inverno em todos ambientes de permanência prolongada.

Nos pré-requisitos contudo, a avaliação das paredes surpreende, atendendo aos quesitos de transmitância, capacidade térmica e absorvância nos dormitórios para paredes e cobertura. Porém, não atende aos mesmos quesitos para sala e cozinha conjugadas. No quesito iluminação natural, atende ao requisito para todos ambientes. Porém, em ventilação não atende às exigências no ambiente sala/cozinha conjugadas.

A avaliação final da edificação em alvenaria atingiu nível D em eficiência energética.

Em uma análise final comparativa entre as três unidades, a tipologia com melhor avaliação, portanto é a de wood frame, com nível C de eficiência energética, embora não estejamos tratando da avaliação ideal que é nível A.

	Pré Requisito Parede	Pré Requisito Cobertura	Pré Requisito Iluminação	Pré Requisito Ventilação	Classificação Geral
Wood Frame	Não atende	Atende	Atende	Não atende	C
Stell Frame	Não atende	Atende	Atende	Não atende	D
Alvenaria	Atende	Atende	Atende	Não atende	D

Quadro 7: Classificação Geral e Comparativo de Análise da Envoltória entre diferentes unidades habitacionais pelo método RTQ-R.

Fonte: A autoria própria.

Neste comparativo entre as três unidades habitacionais distintas, o não atendimento ao pré-requisito de ventilação foi o principal limitador, podendo ser alcançado com pequenas estratégias, como é o caso da alteração do sistema de abertura e fechamento das janelas, ou aumento de sua área.

O não atendimento ao pré-requisito de transmitância das paredes pode ocorrer pela insuficiência de dados mais precisos, como a absorvância no cálculo da Resistência da parede, como a espessura da parede, ou mesmo ao posicionamento da edificação em relação à orientação solar.

Segundo os anexos C.1 e C.2 da NBR-15.220-parte 3, aberturas com percentual de $10\% < A < 15\%$ da área do piso (A) são consideradas pequenas para área de ventilação, e dados de Transmitância térmica $U \leq 2,20 \text{ W(m}^2\text{.K)}$ para

paredes e $U \leq 2,00 \text{ W(m}^2\text{.K)}$ para coberturas atribuem uma classificação considerada pesada para paredes e coberturas.

Estes dados podem auxiliar na avaliação final das três unidades, pois a própria NBR15.220-parte 3 orienta nas tabelas 1, 2 e 3 para Zona Bioclimática 1, medidas de condicionamento passivo para melhor eficiência e conforto nas unidades habitacionais destas regiões, entre elas: aberturas médias para ventilação ($15\% < A < 25\%$), transmitância térmica $U \leq 3,0 \text{ W(m}^2\text{.K)}$ para paredes leves e $U \leq 2,00 \text{ W(m}^2\text{.K)}$ para coberturas leves isoladas.

Além disso, orientam-se estratégias de condicionamento passivo para a edificação, entre elas, aquecimento solar e vedações internas pesadas que possuem inércia térmica para conservação de calor nos ambientes.

Com o uso destes dados, é possível avaliar que as diretrizes construtivas para habitações de interesse social oferecidas pela norma podem efetivamente contribuir para melhoria no seu desempenho térmico e eficiência energética.

Na proporção em que as necessidades de condicionamento passivo diminuem, o nível de eficiência energética da edificação aumenta.

Elemento	Estratégias para eficiência energética
Paredes	Transmitância térmica $U \leq 3,0 \text{ W(m}^2\text{.K)}$ para paredes leves (externas) e vedações internas pesadas (aumento da inércia térmica para conservação do calor), condicionamento passivo com aquecimento solar
Cobertura	Transmitância $U \leq 2,00 \text{ W(m}^2\text{.K)}$ para coberturas leves isoladas.
Iluminação	Aberturas com $A \geq 8\%$ (aumento das áreas de iluminação, permitir insolação nos períodos frios)
Ventilação	Aberturas médias para ventilação ($15\% < A < 25\%$) com aumento das áreas de ventilação ou mudança do sistema de abertura e fechamento das janelas.

Quadro 8: Estratégias para eficiência energética nas habitações para ZB-1

Fonte: Autoria própria.

É importante ressaltar que profissionais envolvidos nas medidas como planejamento, projetos, especificações, construção e manutenção das edificações

habitacionais precisam estar engajados com a melhoria dos procedimentos para avanço nos níveis de eficiência. Também é muito importante que os usuários estejam orientados a fazer uso de equipamentos e sistemas de iluminação igualmente eficientes e correto uso da edificação para que a eficiência seja mantida em níveis desejáveis.

Neste trabalho não foram avaliadas as bonificações de pontuação do RTQ-R como sistemas de iluminação e condicionamento térmico da edificação, bem como o aquecimento de água. Outra limitação do trabalho foi referente à indisponibilidade de informações de absorvância, condutividade e calor específico de diversos materiais, uma vez que não existe banco de dados sobre alguns materiais aplicados ou informações de fabricantes.

O estudo realizado compreende uma análise simplificada da envoltória, contudo, estudos podem ser aprofundados no sentido de avaliar as unidades habitacionais segundo o método prescritivo do RTQ-R e suas bonificações para obtenção de novas avaliações. Também é possível realizar novas simulações para que indicadores que ficaram abaixo dos níveis desejados possam atingir melhores níveis de eficiência.

Outra linha de pesquisa pode ser desenvolvida avaliando-se as unidades habitacionais de interesse social com o auxílio da Norma Brasileira NBR-15575: Desempenho das Edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15220-1: **Desempenho Térmico das Edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro. ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15220-2: **Desempenho Térmico das Edificações – Parte 2: Método de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro. ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15220-3: **Desempenho Térmico das Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro. ABNT, 2005.

ALMEIDA, Laiane S. S.; SILVA, Arthur S.; SCHNEIDER, Kathlen; GHISI, Enedir. **Avaliação da Envolvória de Habitações de Interesse Social de Florianópolis de acordo com o método prescritivo do RTQ-R**. In XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2013. Anais. Brasília, 2013. Artigo n.10p.

BRASIL - **Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) 1995-2014**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

BRASIL - **Lei n.10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília, 18 out. 2001. Seção I-E.

BRASIL - **O compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e uso de energia**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, junho 2016.

BRASIL - **Manual da Construção industrializada: Conceitos e Etapas/Volume 1 - Estruturas e Vedação**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Brasília, 2015.

BRASIL - **Eficiência Energética em habitações de Interesse Social**. Ministério das Cidades. Brasília, 2005.

BRASIL - **Guia Prático de Eficiência Energética: Reunindo a experiência do projeto de etiquetagem**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2014.

BOLETIM CASA ROMÁRIO MARTINS. **COHAB-CT: 41 anos de planejamento e realizações**. Curitiba: Fundação Cultural de Curitiba, v.3. n.133, dez 2006.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

FERREIRA, Rodrigo. **Análise da envoltória de um edifício residencial construído em sistema não-convencional no contexto brasileiro**. 74f. Projeto de Pesquisa – Especialização em Construções Sustentáveis, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **PBE-Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp>>. Acesso em: Outubro, 2016.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Regulamento técnico para eficiência energética em edificações residenciais**. Disponível em <<http://labee.ufsc.br>>. Acesso em: Outubro, 2015.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Disponível em: <<http://labee.ufsc.br>>. Acesso em: Outubro, 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 1ª edição. São Paulo. PWLivros, 1997.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição. ELETROBRÁS PROCEL. Rio de Janeiro. 2014.

LAMBERTS, Roberto. GHISI, Enedir; ABREU, Ana Ligia Papst de; CARLO, Joyce C.; BATISTA Juliana Oliveira; MARINOSKI, Deivis Luis; NARANJO, Alejandro; DUARTE, Vanessa. C. P. **Desempenho Térmico de Edificações: ECV 5161** – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016, 239 p.

MANDAJI, Priscilla dos Santos. **Habitação de Interesse social e certificação AQUA - Bairros e Loteamentos: análise do Plano de ocupação Integrado Campo de Santana - Curitiba/PR através dos indicadores de Qualidade Ambiental do Bairro (QAB)**. 142f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) - Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2014.

MOLINA, Julio C.; JUNIOR, Carlito C. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. 2010.

ONDULINE. **Sistemas de Construção Leve/Dados Técnicos**. Disponível em: <<http://br.onduline.com/produtos/sistemas-de-coberturas/onduliner-classica>>. Acesso em: Outubro, 2016.

PENTEADO, P. T; MARINHO, R. C. **Análise comparativa de custo e produtividade dos sistemas construtivos: Solo-Cimento, Alvenaria Convencional e Alvenaria Estrutural**. 64 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares**. In: 5º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 1999. Artigo n. 288. 8 p.

SANTOS, Larissa Carrera Fernandes dos. **Avaliação de impactos ambientais da construção: comparação entre sistemas construtivos em alvenaria e em Wood Light Frame**. 77 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Departamento Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

TECVERDE. **Sistemas Construtivos**. Disponível em <<http://tecverde.com.br/sistemaconstrutivo>>. Acesso em: Outubro, 2016.

CB3E. **Centro brasileiro de eficiência energética em edificações**. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/residencial/downloads>>. Acesso em: Outubro, 2016.

PARTICIPAÇÃO EM CURSOS E EVENTOS

CURSO: Etiquetagem de Eficiência em Prédios Públicos. Início em 26 de maio de 2015 a 27 de maio de 2015 (20 horas). Escola de Administração Fazendária – Curitiba-PR.

PALESTRA: Pegada de Carbono, 14 de agosto de 2015 – IMAP - Curitiba-PR.

CURSO: Capacitação sobre sustentabilidade na administração pública - A3P. Início 08 de abril de 2014 a 10 de abril de 2014 (24 horas). Subsede Ministério Público PR – Curitiba-PR

CONFERÊNCIA: Conferência Internacional de Cidades Inovadoras. Início em 07 a 09 de maio de 2014 (26 horas). UP. Curitiba-PR.

PALESTRA: O mercado das Construções Sustentáveis e Oportunidades de Negócios. 26 de maio de 2014 (2horas). IEP - Curitiba-PR.

PALESTRA: O dia do meio ambiente. 05 de junho de 2014 (3horas). ISAE – FGV - Curitiba-PR.

SEMINÁRIO INTERNACIONAL: Grandes Projetos Urbanos: Proposições Técnico-Jurídicas. 29 de outubro de 2013. OAB-PR. Curitiba-PR.

CURSO: Construção Sustentável AQUA Alta Qualidade Ambiental: O Sistema de Gestão do Empreendimento. 05 de maio de 2012 (8 horas). Fundação Carlos Alberto Vanzolini. UTFPR. Curitiba-PR.

CURSO: Construção Sustentável AQUA Alta Qualidade Ambiental: Introdução. 30 de março de 2012 (4horas). Fundação Carlos Alberto Vanzolini. UTFPR. Curitiba-PR.