

Júlia Abreu Reis

**Arquitetura bioclimática: Estudo de caso em república localizada no Centro Histórico  
de Ouro Preto - MG**

Belo Horizonte

2021

Júlia Abreu Reis

**Arquitetura bioclimática: Estudo de caso em república localizada no Centro Histórico  
de Ouro Preto - MG**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Orientadora: Profa. Dra. Roberta Vieira  
Gonçalves de Souza

Belo Horizonte

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG  
Rua Paraíba, 697 – Funcionários  
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (31) 3409-8823  
FAX (31) 3409-8822

## **ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA JÚLIA ABREU REIS, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS**

Às 16:00 horas do dia 25 de outubro de 2021, reuniu-se *online*, a Comissão Examinadora composta pela Professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Orientadora-Presidente e pela Professora Mestre Grace Cristina Roel Gutierrez, designadas pela Comissão Coordenadora do Curso para avaliação da monografia intitulada “ Arquitetura bioclimática: Estudo de caso em república localizada no Centro Histórico de Ouro Preto - MG ” de autoria de Júlia Abreu Reis, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura.

Nota: 90 ; Conceito: A

Belo Horizonte, 25 de outubro de 2021.

  
Professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza  
Orientadora-Presidente

  
Professora Ms. Grace Cristina Roel Gutierrez  
Membro

## DEDICATÓRIA

Dedico essa monografia aos meus pais e à toda minha família pelo incentivo e amor de sempre.

Dedico também a todos os amigos e pessoas que me deram força e apoio durante esse período de realização do trabalho monográfico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza, pela orientação na elaboração desse trabalho e ao morador da república Pulgatório, Fabrício Mendes, pelo apoio e disponibilização de materiais referentes ao estudo de caso.

Também sou grata, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização, pesquisa e conclusão da monografia.

## RESUMO

A arquitetura bioclimática é de suma importância para a diminuição do impacto ambiental e para o aumento da eficiência energética e conforto de uma edificação, a partir de uma integração da arquitetura com o clima e a região. Com o objetivo de aumentar essa eficiência energética, existem normas construtivas e regulamentos que dispõem sobre o nível energético dos edifícios, como é o caso do Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais RTQ-R, que avalia a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar. Por isso, foi aplicado o método prescritivo do RTQ-R em uma moradia estudantil histórica de 5 pavimentos, localizado no Centro Histórico de Ouro Preto, MG, pertencente à Zona Bioclimática 3 e que obteve classificação "D", devido aos problemas relacionados à falta de ventilação, iluminação natural e aquecimento de água. Como a república possui uma tipologia arquitetônica colonial de Portugal e está inserida em uma Área de Preservação Especial (APE), possui limitação em relação às intervenções a serem impostas. Dessa forma, foram propostas intervenções que melhorassem a qualidade de vida de seus usuários, de forma que não descaracterizassem sua envoltória e estrutura originais, obtendo classificação final "C". Conclui-se então, que é possível melhorar a eficiência energética, conforto e qualidade de vida da edificação, dentro das limitações físicas e normas técnicas de intervenção da sua estrutura, respeitando sua importância histórica, patrimonial e arquitetônica.

Palavras-chave: Arquitetura bioclimática. Edificação histórica. Moradia estudantil. Eficiência energética. RTQ-R.

## ABSTRACT

Bioclimatic architecture is of paramount importance for reducing the environmental impact and for increasing the energy efficiency and comfort of buildings. In order to increase this energy efficiency, there are construction standards and regulations that provide for the energy level of buildings, such as the Technical Quality Regulation for Energy Efficiency Level of Residential Buildings RTQ-R, which assesses the wrap, lighting system and air conditioning system. Therefore, the RTQ-R prescriptive method was applied in a historic student house with 5 floors, located in the Historic Center of Ouro Preto, MG, belonging to Bioclimatic Zone 3 and which was classified as "D" due to related problems lack of ventilation, natural lighting and electric water heating. As the republic has a colonial architectural typology of Portugal and is inserted in a Special Preservation Area (APE), it has a limitation in relation to the interventions to be imposed. Thus, interventions were proposed to improve the quality of life of its users, so as not to mischaracterize its original envelope and structure, obtaining a final classification 'C'. It is therefore concluded that it is possible to improve the energy efficiency, comfort and quality of life of the building, within the physical limitations and technical standards of intervention of its structure, respecting its historical, heritage and architectural importance.

Keywords: Bioclimatic architecture. Historic building. Student housing. Energy efficiency. RTQ-R.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas de aproveitamento da iluminação natural .....	22
Figura 2 – Técnica de Ventilação Cruzada .....	24
Figura 3 – Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro.....	25
Figura 4 – Centro histórico de Ouro Preto - MG .....	38
Figura 5 – Parede de pau a pique sobre fundação de pedra .....	39
Figura 6 – Mapa esquemático da localização da república Pulgatório em relação ao Centro histórico de Ouro Preto e - MG .....	42
Figura 7 – Faixa de temperatura .....	43
Figura 8 – Velocidade do vento .....	44
Figura 9 – Variação da Temperatura do ar em relação aos meses e horários.....	44
Figura 10 – Carta bioclimática de Ouro Branco.....	45
Figura 11 – Imagem da fachada da república com a placa de propriedade da Escola de Minas .....	48
Figura 12 – Fachada frontal da República Pulgatório.....	49
Figura 13 – Planta baixa do primeiro pavimento da república .....	50
Figura 14 – Paredes externas laterais da fachada frontal da república fazendo divisa com outras edificações de propriedade alheia .....	51
Figura 15 – Planta baixa do segundo pavimento da república .....	52
Figura 16 – Parede em pedra presente na Boate.....	52
Figura 17 – Planta baixa do subsolo 01 da república .....	53
Figura 18 – Diferença de volumetria dos subsolos 02 e 03 da república.....	54
Figura 19 – Planta baixa do subsolo 02 da república .....	55
Figura 20 – Planta baixa do subsolo 03 da república .....	55
Figura 21 – Fachada posterior dos subsolos 02 e 03 da república.....	56
Figura 22 – Corte AA.....	57
Figura 23 - Teto e parede mofada em um dos quartos da república.....	58
Figura 24 - Definição de categoria da moradia estudantil pública segundo o fórum do PBE Edifica .....	59
Figura 25 - Propriedades térmicas utilizadas para a parede em alvenaria de 15 cm ....	61
Figura 26 – Propriedades térmicas utilizadas para a parede em alvenaria de 25 cm ...	61
Figura 27 – Propriedades térmicas utilizadas para a parede em alvenaria de 30 cm ...	61

Figura 28 – Imagens da cozinha e da sala da república Pulgatório.....	62
Figura 29 - Características térmicas e técnicas das coberturas existentes na edificação .....	63
Figura 30 – Janelas coloniais de abrir 90° com 4 folhas (1,00mx1,50m).....	82
Figura 31 – Propriedades térmicas da cobertura após instalação do isolante térmico.	83
Figura 32 – Propriedades térmicas da cobertura após instalação do isolante térmico.	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equivalente Numérico para cada nível de eficiência .....	27
Tabela 2 – Coeficientes para a Equação de Pontuação total do nível de eficiência da UH .....	28
Tabela 3 – Quadro resumo dos procedimentos para determinação da eficiência da envoltória para a Zona Bioclimática 3. ....	29
Tabela 4 - Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas .....	30
Tabela 5 - Resistência térmica superficial interna e externa. ....	31
Tabela 6 – Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas).....	33
Tabela 7 - Revestimentos de paredes e coberturas (tintas) .....	34
Tabela 8 - Quadro síntese do sistema de aquecimento de água (EqNumAA) .....	35
Tabela 9 – Quadro síntese do procedimento para determinação da eficiência de sistemas de aquecimento de água .....	36
Tabela 10 - Quadro resumo para edificações residências na ZB3.....	47
Tabela 11 – Propriedades térmicas da alvenaria de adobe .....	60
Tabela 12 - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais .....	60
Tabela 13 – Esquadrias da república Pulgatório utilizadas para o cálculo RTQ-R.....	64
Tabela 14 – Dispositivos de proteção solar em edificações residenciais de Belo Horizonte - MG .....	69
Tabela 15 – Resumo da classificação dos ambientes .....	71
Tabela 16 – Análise dos pré-requisitos da Envoltória e Equivalente Numérico da Envoltória.....	73
Tabela 17 – Análise do aquecimento de Água .....	74
Tabela 18 – Características das lâmpadas da república Pulgatório .....	75
Tabela 19 – Análise das Bonificações .....	77
Tabela 20 – Análise da classificação final da UH .....	78
Tabela 21 – Densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de materiais .....	80
Tabela 22 – Resumo da classificação dos ambientes .....	84
Tabela 23 – Análise dos pré-requisitos da Envoltória e Equivalente Numérico da	

Envoltória após melhorias .....	85
Tabela 24 – Análise das bonificações após melhorias.....	87
Tabela 25 – Análise do aquecimento de água após melhorias .....	89
Tabela 26 – Análise da classificação final da UH após melhorias.....	90
Tabela 27 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes I.....	97
Tabela 28 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes II.....	98
Tabela 29 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes III.....	99
Tabela 30 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes IV .....	100
Tabela 31 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes V .....	101
Tabela 32 – Memória de cálculo do RTQ-R .....	102
Tabela 33 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes I após melhorias .....	107
Tabela 34 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes II após melhorias .....	108
Tabela 35 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes III após melhorias .....	109
Tabela 36 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes IV após melhorias .....	110
Tabela 37 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes V após melhorias .....	111

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Pontuação total do nível de eficiência da UH.....	28
Equação 2 –Transmitância térmica .....	30
Equação 3 –Resistência térmica .....	31
Equação 4 – Capacidade térmica para camadas homogêneas .....	31
Equação 5 – Capacidade térmica para camadas heterogêneas.....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- APE – Área de Preservação Especial
- ASHRAE – American Society Of Heating, Refrigerating And A-C Engineers Fdn (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)
- CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
- CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono
- COP – Coeficiente de Performance
- CT – Capacidade térmica
- ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
- ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
- EqNumEnv – Equivalente Numérico da envoltória
- EqNumAA – Equivalente numérico do sistema de desempenho térmico do aquecimento de água
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
- MG – Minas Gerais
- NBR – Norma Brasileira
- PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
- PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
- PTUH - Pontuação total do nível de eficiência da UH
- RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
- RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
- UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto
- UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UH – Unidade habitacional
- UNESCO – Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
- ZB – Zona bioclimática

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	Justificativa.....	16
1.2	Objetivo.....	18
1.3	Objetivos específicos .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
2.1	Arquitetura bioclimática .....	20
2.2	Iluminação natural .....	22
2.3	Ventilação natural.....	23
2.4	Norma ABNT NBR 15220 e 15575.....	24
2.5	Regulamento brasileiro de eficiência energética de edificações .....	26
2.5.1	RTQ-R.....	27
2.6	Caracterizações gerais de Ouro Preto .....	36
2.7	Contexto histórico, cultural e arquitetônico de Ouro Preto e das repúblicas estudantis do Centro Histórico.....	37
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
3.1	Estudo de caso .....	41
3.1.1	Localização e o Zoneamento bioclimático brasileiro .....	41
3.1.2	Pré-Requisitos do RTQ-R para a Zona Bioclimática 3 .....	47
3.1.3	Características gerais da República Pulgatório.....	47
3.1.4	Características arquitetônicas da República Pulgatório .....	48
3.1.5	Análise da República Pulgatório pelo RTQ-R.....	58
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>71</b>
4.1	Classificação da envoltória.....	71
4.2	Atendimento a pré-requisitos da envoltória .....	72
4.3	Classificação do sistema de aquecimento de água .....	73

4.4	Bonificações obtidas .....	75
4.5	Classificação final da UH .....	78
<b>5</b>	<b>PROPOSTAS .....</b>	<b>79</b>
5.1	Envoltória .....	79
5.1.1	Paredes e aberturas externas.....	79
5.1.2	Esquadrias.....	81
5.1.3	Cobertura.....	82
5.1.4	Pré-requisitos.....	84
5.2	Bonificações .....	85
5.3	Aquecimento de água .....	88
5.4	Resultados do RTQ-R após melhorias .....	89
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>102</b>
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>107</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A arquitetura bioclimática tem como objetivo diminuir o impacto ambiental e aumentar o conforto e a eficiência energética de uma edificação a partir de uma integração da arquitetura com o clima e a região. Suas estratégias se baseiam na otimização de recursos, levando em consideração a implantação da edificação, sombreamento, iluminação natural, orientação do sol e dos ventos, a volumetria da edificação e seu entorno, materiais naturais e locais, uso do espaço, entre outros.

De acordo Souza (2007):

A arquitetura bioclimática é o estudo que busca a harmonização das construções ao clima e características locais. Manipula o desenho e elementos arquitetônicos a fim de otimizar as relações entre homem e natureza, tanto no que diz respeito à redução de impactos ambientais quanto à melhoria das condições de vida humana, conforto e racionalização do consumo energético.

Considerando o impacto significativo do atual cenário socioambiental e a importância da construção civil, é necessário que os profissionais da área da arquitetura e engenharia busquem por soluções inteligentes e sustentáveis, através de tecnologias para a aprimoração do uso de recursos naturais e utilização dos sistemas e estratégias construtivas.

Dessa forma, com o objetivo de buscar e melhorar a eficiência energética das edificações, existem normas construtivas, assim como, diversas articulações que abrangem o tema da construção sustentável, como é o caso do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que possui como subprograma, o Procel Edifica. Esse subprograma, juntamente com a Eletrobrás e o Inmetro, possuem regulamentos de etiquetagem, como é o caso do Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, RTQ-C, e o Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R (BRASIL, 2013), que dispõem sobre o nível de eficiência energética das edificações, na qual avaliam a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar, além de atribuir níveis de eficiência que variam desde o mais eficiente até o menos eficiente. Dessa forma, essa avaliação energética mostra-se importante tanto para o potencial construtivo e

econômico quanto para uma indução sustentável nos demais setores da sociedade.

Nesse contexto, a arquitetura bioclimática possui um importante papel na redução do impacto ambiental e desenvolvimento da eficiência energética de uma edificação, desde que suas estratégias ambientais, sejam aplicadas corretamente e adequadas as características de cada ambiente.

Entretanto, muitos projetos e edificações existentes, não utilizam de estratégias e condicionantes ambientais, o que na maioria das vezes é reforçado pela tendência de uniformização da arquitetura, aceleração do processo construtivo ou até mesmo pela falta de conhecimento técnico sobre o assunto, o que gera problemas relacionados desde à emissão de CO<sub>2</sub>, maior consumo de energia, até a influência na saúde de seus usuários.

O presente trabalho monográfico busca pesquisar e estudar sobre a importância da arquitetura bioclimática e sua relação com as estratégias arquitetônicas e construtivas adotadas no ambiente construído, por meio da aplicação do método de análise da eficiência energética em uma edificação residencial, como forma de melhorar a qualidade de vida dos indivíduos e favorecer o desenvolvimento sustentável dessas construções.

### 1.1 Justificativa

A sustentabilidade vem ganhando cada vez mais destaque nas áreas da arquitetura e da engenharia, como é o caso da Arquitetura Bioclimática.

Segundo o escritório ATOS Engenharia (2020), o setor da construção civil tem um dos principais papéis na geração de economia do país, mas em contrapartida é um dos que mais causam impacto negativo no meio ambiente, sendo responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria prima produzida no planeta. Em relação ao consumo de água, estima-se que o setor consuma 50% da água potável fornecida em regiões metropolitanas. Já o consumo de energia das edificações no Brasil, é da ordem de 52% do total de energia elétrica produzida no país (EPE, 2020).

Com isso, a utilização do conceito da arquitetura bioclimática é de suma importância para que haja uma redução no impacto da construção civil no meio ambiente, já que de acordo com o escritório ATOS Engenharia (2020), as construções sustentáveis não implicam no aumento de custos, o que pode ser explicado devido ao

fato de 80% a 90% da sustentabilidade de uma edificação, vir da etapa inicial do projeto. Ainda segundo o escritório de engenharia, com a aplicação dos conceitos de localização, ventilação, iluminação, incidência solar, vegetação e qualidade do ambiente, é possível reduzir o impacto da construção para o meio ambiente, podendo reduzir o consumo de energia e água em até 50%.

Além da questão energética, a arquitetura bioclimática promove um melhor custo benefício devido a maior racionalização do uso de materiais, menor produção de resíduos na obra e tempo de construção, diminuição da mão de obra, aumento na qualidade na construção, menor custo de manutenção e melhor aproveitamento térmico, diminuindo o gasto com eletricidade para iluminação e condicionamento artificial do ar. Segundo Camous, R., e Watson, D. (1979):

Antes da era dos combustíveis fósseis baratos, durante a qual se popularizaram as tecnologias modernas de calefação e condicionamento de ar, a arquitetura tradicional, era por assim dizer, mais sensível às condições climáticas específicas. Depois da recente crise energética, o interesse pelas estratégias passivas na arquitetura parece estar ressurgindo com força total.

Conforme citado pelo Fórum da Construção (2021), a arquitetura bioclimática também possui um papel importante no combate às tendências atuais da deterioração da qualidade do ar interno, e influencia diretamente na saúde de seus usuários, já que muitas das doenças e alergias que afetam o foro respiratório tem origem no tempo prolongado em espaços internos que utilizam e dependem de ar condicionado ou outro sistema de ventilação artificial. Esses sistemas mecânicos, quando não há manutenção adequada, acumulam toxinas, criando condições de desenvolvimento de bactérias, fungos e outros microrganismos nocivos à saúde.

Nesse panorama, a arquitetura bioclimática traz concepções de projeto com estratégias de condicionamento passivo e construções adaptadas ao clima. De acordo com Treichel, Silva e Oliveira (2019), a arquitetura bioclimática resgata as técnicas tradicionais por meio da busca por novas soluções, sempre utilizando das características particulares de cada ambiente, pois as modificações físicas e morfológicas de determinado local ao longo do tempo são importantes na compreensão das condições de conforto existentes nas edificações.

Atualmente, a requalificação e revitalização de edifícios tem se tornado uma

prática muito comum, visando um melhor desempenho energético, setorização do espaço, redução do consumo de água e melhoria no conforto ambiental. Em edificações históricas, a adaptação às necessidades dos usuários deve ocorrer dentro das limitações físicas e normas técnicas de intervenção da sua estrutura, preservando o patrimônio histórico e arquitetônico. Ao projetar uma reforma nessas áreas históricas, também é importante entender e valorizar seu contexto histórico e patrimonial.

Nas edificações do centro Histórico da cidade de Ouro Preto - MG, há uma forte presença da arquitetura barroca marcada pelo período colonial. Atualmente, grande parte dessas edificações foram apropriadas e tiveram suas plantas adaptadas por repúblicas estudantis, com o intuito de receber grande parte dos estudantes da Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP. Todavia, muitos cômodos destas edificações apresentam mofo, provenientes da falta de iluminação e ventilação natural.

Em função disso, a cidade de Ouro Preto, e, em especial, a República Pulgatório, localizada em seu centro histórico foram escolhidas como estudo de caso, já que atualmente a moradia estudantil apresenta problemas relacionados ao conforto ambiental.

Com base nos argumentos acima, será desenvolvido um estudo de caso, levando em consideração os problemas ambientais encontrados nessa moradia estudantil, através da análise de sua eficiência energética, utilizando o método prescritivo do RTQ-R, e por meio dos dados obtidos, apresentar possíveis melhorias sustentáveis para essa edificação, destacando a importância da arquitetura bioclimática no ambiente construído, desde a fase projetual do projeto arquitetônico até os projetos de reformas e restauro de edificações.

## 1.2 Objetivo

Analisar uma construção existente de características coloniais, destacando sua importância histórica, patrimonial e arquitetônica, caracterizando seu nível de eficiência energética e propor eventuais intervenções para melhoria de desempenho visando uma maior qualidade de vida para seus usuários.

### 1.3 Objetivos específicos

- Pesquisar a importância da arquitetura bioclimática no aumento da eficiência energética de uma edificação e como sua implantação influencia diretamente na diminuição do impacto ambiental e no aumento do conforto ambiental;
- Pesquisar as técnicas da arquitetura bioclimática na melhoria da eficiência energética de uma edificação já existente;
- Analisar o contexto histórico, cultural e arquitetônico da cidade de Ouro Preto e da república Pulgatório, bem como suas técnicas construtivas e estratégias arquitetônicas utilizadas;
- Elaborar um levantamento das características arquitetônicas da república analisada, identificando suas principais patologias e problemas de iluminação e ventilação naturais.
- Analisar o desempenho energético da república Pulgatório.
- Propor intervenções na república analisada, visando um maior conforto ambiental de seus usuários e conseqüentemente, de seu entorno.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Para a viabilização dos objetivos descritos acima, é necessário o desenvolvimento de uma análise e estudo teóricos, visando aprofundar os conhecimentos relacionados à temática estudada no presente trabalho. Por isso, a seguir, serão abordados conteúdos sobre arquitetura bioclimática, iluminação natural, ventilação natural, zoneamento bioclimático, análise de desempenho térmico com base no RTQ-R, normas de desempenho térmico e também o contexto histórico, cultural e arquitetônico de Ouro Preto e das Repúblicas Estudantis do seu Centro Histórico.

### 2.1 Arquitetura bioclimática

O uso eficiente da energia apresenta-se como um dos principais potencializados para a sustentabilidade no espaço habitado. De acordo com Lamberts et al. (2014, p.5), a eficiência energética:

Pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia [...] um edifício é mais energeticamente eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

As etapas desde a concepção, execução, até a adaptação do projeto possuem um papel fundamental para a obtenção de edifícios mais eficientes energeticamente, na melhoria da qualidade do ar interno e externo e do bem estar social. Para isso, deve-se levar em consideração as peculiaridades de cada habitação, como questões ambientais, recursos disponíveis, clima, estrutura, entre outros.

Dessa forma, para melhorar a eficiência energética e o conforto em uma edificação e diminuir o impacto ambiental, tem-se a arquitetura bioclimática, que estuda o clima e as possibilidades de adaptação de uma edificação às características de cada local por meios naturais. A aplicação de diretrizes bioclimáticas possibilita a manutenção das variáveis ambientais que favorecem o conforto e a proteção contra as intempéries, e estão relacionadas principalmente aos elementos da edificação que consomem a maior quantidade de energia, como é o caso da falta de conforto térmico no ambiente, que de acordo com Lamberts et al. (2010, p.17), pode levar à utilização

intensa de sistemas artificiais de iluminação e equipamentos mecânicos de refrigeração, e conseqüentemente, aumentar o consumo de energia.

Segundo Torres (2015), a arquitetura bioclimática é capaz de aumentar a eficiência energética de uma edificação e proporcionar boas condições de conforto térmico, acústico e luminoso, através da utilização de sistemas passivos ao invés dos sistemas artificiais. Por isso, as estratégias passivas inseridas no conceito da arquitetura bioclimática, contribuem significativamente na obtenção de um maior conforto e eficiência. Nesse contexto, segundo Olartechea et al. (2015), a envoltória possui um papel importante na melhoria do desempenho da edificação:

Sabe-se que o desempenho de um edifício tem relação intrínseca com a sua envoltória, pois esta interage diretamente com as variáveis ambientais do local onde edifício se insere. Desta forma, o conhecimento das características termofísicas da envoltória são de fundamental importância para o estabelecimento de estratégias de projeto que viabilizem respostas satisfatórias à influência do clima, garantindo conforto térmico e habitabilidade aos usuários das edificações.

O conceito de estratégias passivas na arquitetura bioclimática utiliza de meios naturais para garantir um maior resfriamento ou aquecimento dentro dos ambientes, seja por meio da adaptação ao clima através da escolha e estudo de materiais, revestimentos, fontes de calor, brisas e ventos, umidade do ar; de uma correta orientação solar na implantação do projeto; do posicionamento e proteção adequados das aberturas das janelas e portas; da utilização de isolamento térmico e da própria ventilação cruzada.

Além disso, quando for necessário, pode-se combinar as estratégias passivas com os elementos artificiais para a potencialização do conforto ambiental, seja por meio da ventilação natural, do ar condicionado, da inércia térmica para resfriamento ou aquecimento, da umidificação, do resfriamento evaporativo, do aquecimento solar passivo, do aquecimento artificial, entre outros.

Dessa forma, o projeto bioclimático possui um grande potencial para ampliar a eficiência energética nas edificações e o conforto térmico dos seus usuários, a partir de materiais e componentes construtivos que mais se adaptam ao contexto do clima local.

## 2.2 Iluminação natural

A iluminação natural é imprescindível em um projeto de arquitetura bioclimática, e quando bem aproveitada, diminui a necessidade de iluminação artificial e conseqüentemente, reduz os gastos gerados e a temperatura do ambiente, já que a luz artificial é convertida em calor.

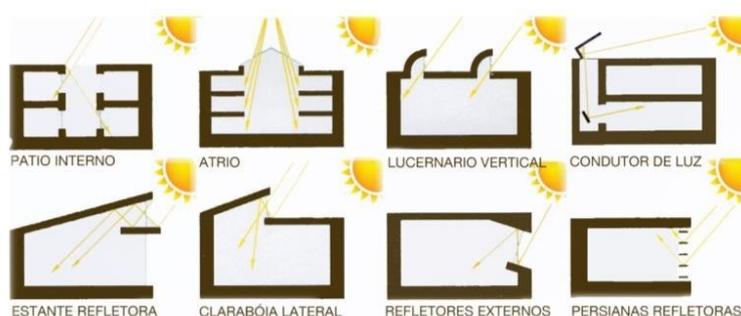
É necessária uma análise mais aprofundada no projeto para um melhor aproveitamento da luz solar durante todo o dia, mas sem o ganho de calor pelo excesso de radiação direta. A intensidade e distribuição da luz dentro de um determinado espaço dependem de vários fatores, como a disponibilidade da luz natural relacionada às condições atmosféricas locais, das obstruções externas, do tamanho, orientação e posição das aberturas verticais, horizontais ou zenitais presentes no projeto, do tamanho e volumetria do ambiente, e por fim, das características de composição, reflexão e refração dos materiais de fechamento utilizados.

Segundo Hopkinson et al (1975):

A essência de um bom projeto de iluminação natural consiste na colocação de aberturas de tal modo que a luz penetre onde ela é desejada, isto é, sobre o trabalho, e de tal maneira que proporcione uma boa distribuição de luminância em todos os planos do interior.

Para esse controle da iluminação, utiliza-se de vários elementos de fachada, como é o caso do uso de vidros especiais, brises, platibandas, claraboias, domos, entre outros, levando em consideração a qualidade da iluminação pretendida em cada ambiente, como descrito na figura esquemática a seguir:

Figura 1 – Formas de aproveitamento da iluminação natural



Fonte: 44ARQUITETURA, 2020.

O planejamento de um projeto de iluminação eficiente deve sempre otimizar a iluminação natural, mas quando o ambiente requer iluminação artificial, é preciso fazer um cálculo da iluminação necessária, e optando sempre pela criação de diferentes circuitos de iluminação no espaço e a utilização de equipamentos eficientes, como é o caso das lâmpadas de baixo consumo.

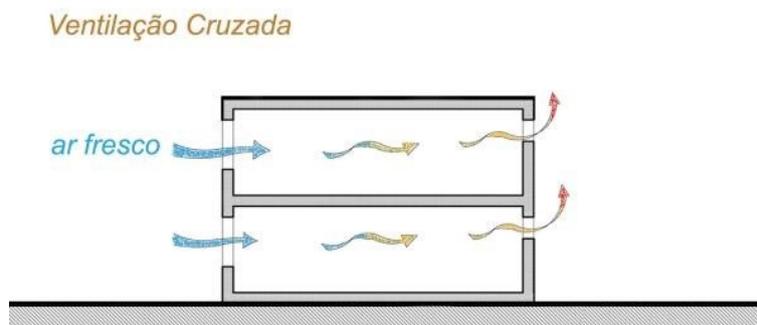
A NBR 8995 (ABNT,2013), Iluminâncias de ambientes de trabalho, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) são normas brasileiras que determinam níveis de iluminância, a serem atendidos em ambientes internos.

### 2.3 Ventilação natural

A utilização da ventilação natural é um dos princípios básicos do projeto sustentável, que integra o conceito da Arquitetura Bioclimática. Segundo Cristiane Nunes (2014) do site SustentArq, como trata-se de um recurso infinito, sustentável e gratuito, contribui para a eficiência energética, economia de custos e conforto térmico da edificação, e também auxilia na qualidade do ar, evitando o desenvolvimento de fungos e mofo devido a retirada de umidade provocada pela renovação do ar.

Sua aplicação deve ser feita de forma inteligente e antecipação de seu desempenho é fundamental para a concepção de um projeto eficiente. Como cada local possui características climáticas diferentes, é necessário um estudo sobre o bioclima da região onde pretende implantar o projeto, antes de definir a estratégia de ventilação. De acordo com a matéria do site ArchDaily, escrito por Matheus Pereira (2020), a ventilação natural tem como objetivo propiciar o ar fresco entre os edifícios, através de pressões diferentes que ocorrem devido ao vento ou por diferença de temperatura. De acordo com Matheus, uma das principais técnicas utilizadas é a ventilação natural cruzada, usada em diferentes vãos de abertura que sejam opostos ou adjacentes, de forma que se permita a entrada de ar fresco e a retirada do ar quente. Para isso é necessário identificar a frequência, direção e velocidade dos ventos predominantes da região, pois, se analisado de forma inadequada, pode causar desconforto e resfriamento indesejado.

Figura 2 – Técnica de Ventilação Cruzada



Fonte: SUSTENTARQ, 2014.

Além das técnicas de ventilação, há mecanismos construtivos que também influenciam na ventilação, como é o caso dos brises, barreiras construtivas e de vegetação, tipo de aberturas e também a própria altura e disposição desses elementos o projeto.

Em relação as normas técnicas que estabelecem critérios importantes de ventilação natural, temos a norma ABNT NBR 15.220 que dispõe sobre as taxas de renovação do ar nas edificações e a norma ABNT NBR 15.575, que determina parâmetros de qualidade e durabilidade dessas construções em relação ao conforto e impacto ambiental.

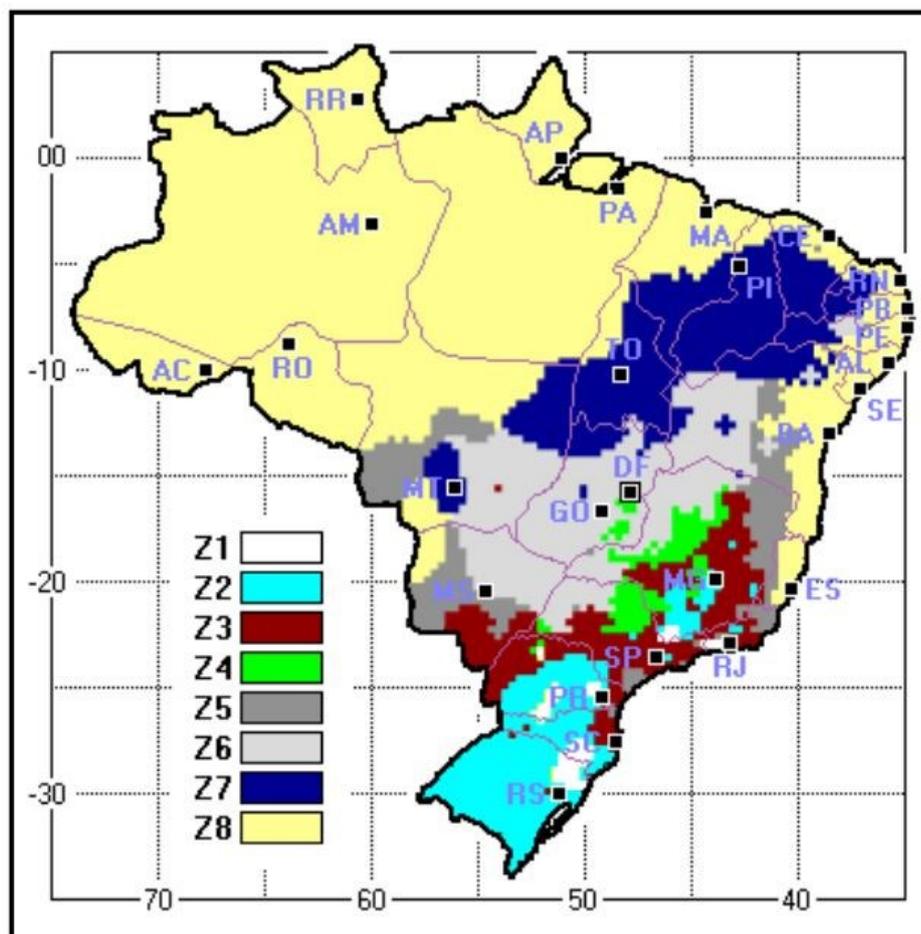
#### 2.4 Norma ABNT NBR 15220 e 15575

A ABNT NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações, é a norma responsável pela definição dos métodos utilizados para calcular o desempenho térmico de uma edificação e obter os parâmetros de comparação entre os níveis mínimos aceitáveis pela norma e os níveis de projeto. A norma é dividida em cinco partes, sendo 2 delas de interesse para o presente trabalho: NBR 15220-2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações; NBR 15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

De acordo com a norma, a segunda parte apresenta os métodos para o cálculo das propriedades térmicas de elementos das edificações (resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator solar) e os seus componentes. A terceira

parte da norma introduz as diretrizes do zoneamento bioclimático brasileiro, dividido em oito zonas, como mostrado na figura abaixo:

Figura 3 – Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ZBBR, 2021.

Já a NBR 15 575: Edificações Habitacionais – Desempenho, estabelece requisitos do desempenho de edificações, com o objetivo de trazer um maior conforto, acessibilidade, higiene, estabilidade, segurança e vida útil para a construção. A norma deve estar inserida desde a fase projetual até a sua execução, uso e manutenção e envolve também assuntos abordados em outras normas, por isso é imprescindível uma análise conjunta em outros regulamentos. Para a sua análise, foram definidos requisitos qualitativos, critérios quantitativos e métodos de avaliação para que a edificação atenda as exigências dos usuários.

A norma é dividida em seis partes: NBR 15575-1: Requisitos gerais; NBR 15575-2: Requisitos para os sistemas estruturais; NBR 15575-3: Requisitos para os sistemas de pisos internos; NBR 15575-4: Sistemas de vedação verticais externas e internas; NBR 15575-5: Requisitos para sistemas de coberturas e a NBR 15575-6: Sistemas hidrossanitários.

De acordo com a ABNT (2013), as partes da NBR 15575 que se referem ao desempenho térmico das edificações são as partes 1, 4 e 5, na qual citam os requisitos para desempenho mínimo, intermediário e superior de acordo com a zona bioclimática definida a partir da NBR 15220-3; além de abordar os sistemas de vedações verticais internas e externas e os sistemas de cobertura, que se relacionam a vários outros elementos da construção.

## 2.5 Regulamento brasileiro de eficiência energética de edificações

De acordo com o PBE Edifica (2013), em 2001 houve uma crise energética brasileira que resultou na publicação da Lei nº 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, que serviu como um meio de fortalecimento do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica da Eletrobrás, juntamente com o Inmetro, que já atuavam em conjunto por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), criaram em 2003 o PROCEL Edifica, voltado para a análise energética de edificações.

Para a análise da eficiência energética e conforto térmico de uma edificação, foram publicados métodos para avaliação do nível de eficiência de uma construção, de modo a orientar a conduta técnica e arquitetônica do projeto. Esses métodos são requisitos definidos em normas ou especificações técnicas, como é o caso do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços ou Públicas (RTQ-C), os quais apresentam requisitos para classificação do desempenho da envoltória separadamente desde o mais eficiente (nível A) até o menos eficiente (nível E), e permite estipular referências quanto ao desempenho energético e as estratégias termofísicas do projeto, no que se refere à ventilação e iluminação naturais, sistemas de sombreamento,

aquecimento da água, entre outros. Sendo assim, se mostra um método importante para a avaliação de edificações existentes, sendo que essas análises abrangem todo o zoneamento bioclimático brasileiro e as características climáticas de cada local, indispensáveis para a análise e aumento da eficiência energética.

### 2.5.1 RTQ-R

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) apresenta os requisitos para a etiquetagem de edificações habitacionais autônomas - UH, multifamiliares e áreas de uso comum, a partir de uma classificação quanto ao nível de eficiência energética, com base no Zoneamento Bioclimático onde a edificação está localizada. Essas classificações permitem a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), expedida pelo INMETRO, no qual seu processo de avaliação pode ser realizado por método prescritivo ou simulação computacional.

Tabela 1 – Equivalente Numérico para cada nível de eficiência

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

Fonte: Brasil, 2012.

Segundo Brasil (2012), a avaliação das unidades habitacionais autônomas é feita através da análise do desempenho térmico da envoltória, da eficiência dos sistemas de aquecimento de água e das bonificações. Já as unidades multifamiliares e as áreas de uso comum, tem como método de avaliação, a eficiência dos sistemas de iluminação artificial, elevadores, aquecimento de água, bombas, equipamentos e também as bonificações.

O presente trabalho monográfico abrange a determinação de eficiência pelo método prescritivo e considerando a República Pulgatório como uma UH, localizada na região Sudeste e ZB3.

Segundo Brasil (2012), para a obtenção da classificação no método prescritivo do RTQ-R de uma unidade habitacional autônoma, o PBE Edifica disponibiliza uma planilha que analisa a envoltória, os pré-requisitos do ambiente, as bonificações relacionadas ao ambiente de permanência prolongada. A partir do preenchimento da planilha, obtêm-se a pontuação Total da Unidade Habitacional, representados pela fórmula da equação 1 abaixo:

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações$$

Equação 1 –  
Pontuação total do  
nível de eficiência da  
UH

Onde:

**PTUH** é a pontuação total do nível de eficiência da UH;

**a** é o coeficiente adotado com base na região geográfica do Brasil mostrado na tabela 3. Para a Região Sudeste o valor a ser adotado é de 0,65.

Tabela 2 – Coeficientes para a Equação de Pontuação total do nível de eficiência da UH

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
a	0,95	0,90	0,65	0,65	0,65

Fonte: Brasil, 2012.

**EqNumEnv** é o Equivalente Numérico da envoltória quando naturalmente ventilada, resultado da análise de desempenho térmico, após confirmação de cumprimentos dos pré-requisitos.;

**EqNumAA** é o equivalente numérico do sistema de desempenho térmico do aquecimento de água;

**Bonificações** é a pontuação referente aos métodos de aumento da eficiência energética da edificação.

- A Envoltória é classificada com base nas principais trocas térmicas entre o ambiente interno e externo de uma edificação, através de equações descritas no próprio RTQ, na qual é analisado o seu consumo relativo, tanto para refrigeração quanto para aquecimento, e seu indicador de graus hora para resfriamento, seja por meio das fachadas, coberturas, pisos ou das próprias aberturas com vidros ou vãos. Além disso, em sua avaliação, cada ambiente é avaliado separadamente, sendo considerados somente os ambientes de permanência prolongada.

Tabela 3 – Quadro resumo dos procedimentos para determinação da eficiência da envoltória para a Zona Bioclimática 3.

***Procedimento para determinação da eficiência da envoltória: Método prescritivo***

- Cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento ( $GH_R \leq 822$ )
- Cálculo do consumo relativo para aquecimento ( $C_A \leq 6,429 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$ )
- Determinação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para resfriamento ( $EqNumEnv_{Resfr}$ ) e aquecimento ( $EqNumEnv_A$ )
- Determinação do **equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para resfriamento**, obtido através da ponderação dos  $EqNumEnv_{Resfr}$  pelas áreas úteis dos ambientes avaliados ( $AU_{amb}$ ).
- Determinação do **equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para aquecimento**, obtido através da ponderação dos  $EqNumEnv_A$  pelas áreas úteis dos ambientes avaliados ( $AU_{amb}$ ).
- Determinação do **equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma**, obtido por meio da Equação abaixo:

$$EqNumEnv = 0,64 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,36 \times EqNumEnv_A$$

<b>Envoltória condicionada artificialmente</b>  <b>(EqNumEnv<sub>Refrig</sub>)</b>	<b>Consumo relativo anual para refrigeração</b> <b><math>C_R \leq 6,890 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}</math></b> (cada dormitório).
	O equivalente numérico da envoltória da UH para refrigeração ( <b>EqNumEnv<sub>Refrig</sub></b> ) é obtido através da ponderação dos <b>EqNumEnv<sub>AmbRefrig</sub></b> pelas áreas úteis dos ambientes.
<b>Nota:</b> O nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente é de caráter informativo.	

Fonte: Brasil, 2012.

- O atendimento aos Pré-requisitos do ambiente é necessário para que a edificação possa obter o nível de eficiência energética classificada em A e B, sendo eles:

transmitância térmica, capacidade térmica, absorvância solar das paredes externas e das coberturas, áreas de ventilação natural e de iluminação natural dos ambientes de permanência prolongada.

Conforme citado por Brasil (2012), esses pré-requisitos devem ser atendidos com base na tabela 5 abaixo, analisada conforme a zona bioclimática na qual a edificação está inserida:

Tabela 4 - Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m <sup>2</sup> K)]	Capacidade térmica [kJ/(m <sup>2</sup> K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: Brasil, 2012.

O valor da transmitância Térmica é dado pela seguinte equação:

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

Equação 2 –  
Transmitância térmica

Onde:

**U** é a transmitância térmica dos componentes ( $W/m^2.K$ );

**Rt** é a resistência térmica total dos componentes ( $m^2.K/W$ )

Nota-se que a transmitância é o inverso da resistência térmica, sendo que o valor dessa resistência é obtido a partir do cálculo da seguinte equação:

$$RT = Rse + Rt + Rsi$$

Equação 3 – Resistência térmica

Sendo que o valor da resistência total ( $Rt$ ) é obtida dividindo a espessura da camada pela condutividade térmica dessa camada, enquanto o valor da Resistência térmica superficial externa ( $Rse$ ) e interna ( $Rsi$ ) são obtidas através da tabela abaixo:

Tabela 5 - Resistência térmica superficial interna e externa.

$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.k)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
$\Rightarrow \text{I}$	$\overleftarrow{\uparrow}$	$\overleftarrow{\downarrow}$	$\Rightarrow \text{I}$	$\overleftarrow{\uparrow}$	$\overleftarrow{\downarrow}$
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220:2, 2005

O valor da capacidade térmica para camadas homogêneas e heterogêneas são obtidas através das equações 4 e 5 a seguir:

$$CT = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

Equação 4 –  
Capacidade térmica para camadas homogêneas

Onde:

**CT** é a capacidade térmica de componentes ( $kJ/m^2.K$ );

$\lambda_i$  é a condutividade térmica da matéria da camada 'i' [ $W/(m.K)$ ];

**R<sub>i</sub>** é a resistência térmica da camada 'i' [(m<sup>2</sup> .K)/W];

**e<sub>i</sub>** é a espessura da camada 'i' (m);

**c<sub>i</sub>** é o calor específico do material da camada 'i' [kJ/(kg.K)];

**ρ<sub>i</sub>** é a densidade de massa aparente do material da camada 'i' (kg/m<sup>3</sup>).

$$CT = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{A_b}{CT_b} + \dots + \frac{A_n}{CT_n}}$$

Equação 5 –  
Capacidade térmica  
para camadas  
heterogêneas

Onde:

**CT<sub>a</sub>, CT<sub>b</sub>, ..., CT<sub>n</sub>**, são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n) [kJ/(m<sup>2</sup>.K)];

**A<sub>a</sub>, A<sub>b</sub>, ..., A<sub>n</sub>** são as áreas de cada seção (m<sup>2</sup>).

Já os coeficientes utilizados para a absorvância solar, são apresentados através de tabelas que possuem variações de acordo com o tipo de superfície, como é o caso da tabela 6 disponibilizada pela norma ABNT NBR 15220:2 (2003); e os coeficientes conforme os acabamentos e cores de algumas tintas, por meio da tabela 7.

Tabela 6 – Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas)

<b>Tipo de Superfície</b>	<b><math>\alpha</math></b>
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15
Concreto aparente	0,65 / 0,80
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25
Vidro colorido	0,40 / 0,80
Vidro metalizado	0,35 / 0,80
Pintura:	
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
"Alumínio"	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: NBR 15200 – Parte 2 (2003)

Tabela 7 - Revestimentos de paredes e coberturas (tintas)

Tipo	Número	Cor	Nome	$\alpha$	Tipo	Número	Cor	Nome	$\alpha$
Acrilica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	46,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	15,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4	47		Pêssego	39,5	
	09		Concreto	74,5	Acrilica Fosca	48		Alecrim	64,0
	10		Flamingo	49,5		49		Azul bali	48,9
	11		Jade	52,3		50		Branco Neve	10,2
	12		Marfim	33,6		51		Branco Gelo	29,7
	13		Palha	36,7		52		Camurça	55,8
	14		Pérola	33,0		53		Concreto	71,5
	15		Pêssego	42,8		54		Marfim	26,7
	16		Tabaco	78,1		55		Marrocos	54,7
	17		Terracota	64,6		56		Mel	41,8
Acrilica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7		57		Palha	27,2
	19		Amarelo Terra	68,6		58		Pérola	22,1
	20		Azul	79,9		59		Pêssego	35,0
	21		Branco Gelo	36,2		60		Telha	70,8
	22		Cinza	86,4		61		Vanila	23,9
	23		Cinza BR	61,1	Látex PVA Fosca	62		Amarelo Canário	25,2
	24		Crepúsculo	66,0		63		Areia	35,7
	25		Flamingo	47,3		64		Azul Profundo	76,0
	26		Marfim	33,9		65		Branco Neve	16,2
	27		Palha	39,6		66		Branco Gelo	28,1
	28		Pérola	33,9		67		Camurça	53,2
	29		Preto	97,1		68		Cerâmica	65,3
	30		Telha	69,6		69		Concreto	71,6
	31		Terracota	68,4		70		Flamingo	44,4
	32		Verde Quadra	75,5		71		Marfim	24,5
	33		Vermelho	64,2		72		Palha	26,4
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3		73		Pérola	22,9
	35		Amarelo Terra	61,4		74		Pêssego	29,8
	36		Areia	39,0		75		Preto	97,4
	37		Azul angra	32,3		76		Vanila	27,7
	38		Bianco Sereno	26,6		77		Verde Musgo	79,8
	39		Branco	11,1		78		Vermelho Cardinal	63,3

Fonte: Anexo da portaria INMETRO N 50º/2013.

- De acordo com Brasil (2012), as Bonificações são pontuações relativas a iniciativas que a edificação recebe ao adotar medidas que aumentem a eficiência energética da UH. Cada iniciativa recebe no máximo 1 ponto na classificação geral, sendo obtida através do somatório das bonificações parciais:  $Bonificações = b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8$ , sendo necessário comprovar e justificar tal medida. As iniciativas que podem aumentar a eficiência energética da edificação são:
  - Ventilação natural - Até 0,40 pontos;
  - Iluminação natural - Até 0,30 pontos;

- Uso racional de água – Até 0,20 pontos;
  - Condicionamento artificial de ar - Até 0,20 pontos;
  - Iluminação artificial – Até 0,10 pontos;
  - Ventiladores de teto instalados na UH – Até 0,10 pontos;
  - Refrigeradores instalados na UH - Até 0,10 pontos;
  - Medição individualizada – Até 0,10 pontos.
- Aquecimento de água: segundo Brasil (2012), é avaliado apenas sistemas de aquecimento da água entregues e instalados na edificação, ou seja, os sistemas de espera não são analisados. Esse sistema deve atender aos requisitos das normas técnicas e o dimensionamento deve ser compatível ao descrito no RTQ. Quando não houver sistema de aquecimento na edificação, o valor para o Equivalente numérico (EqNumAA) deve ser 1, obtendo a classificação E.

Tabela 8 - Quadro síntese do sistema de aquecimento de água (EqNumAA)

<b>Pré-requisitos</b>				
01	<b>Resistência térmica</b> da estrutura do reservatório (aquecimento não solar) deve ser no mínimo de 2,20 (m K)/W.			
02	<b>Isolamento térmico</b>			
	<b>Tubulações</b>	<b>Temperatura da água (°C)</b>	<b>Condutividade térmica (W/mK)</b>	<b>Diâmetro nominal da tubulação (mm)</b>
				<b>&lt; 40</b> <b>≥ 40</b>
	<b>metálicas</b>	T ≥ 38	0,032 a 0,040	1,0 cm      2,5 cm
	<b>não metálicas</b>			1,0 cm

Fonte: Brasil, 2012.

No caso do aquecimento solar, sua classificação pode ser realizada através de simulação computacional ou de forma prescrita pelo RTQ-R. O sistema a gás é avaliado de acordo com a classificação do PBE. Já as bombas de calor, são analisadas conforme o coeficiente de performance (COP), enquanto as caldeiras dependem do combustível utilizado. A análise do aquecimento elétrico de passagem e de hidromassagem é feita através da potência do aparelho, já nos sistemas de aquecimento elétrico por acumulação, a análise se dá através da potência para os equipamentos que fazem parte do PBE.

Tabela 9 – Quadro síntese do procedimento para determinação da eficiência de sistemas de aquecimento de água

### ***Procedimento para determinação da eficiência***

O nível de eficiência de sistemas mistos de aquecimento de água em uma mesma UH é:

- o maior dos equivalentes numéricos obtidos quando houver a combinação de sistemas de aquecimento solar com aquecimento a gás ou bomba de calor; e
- o equivalente numérico do sistema de aquecimento solar, quando este for combinado com aquecimento elétrico, desde que o aquecimento solar corresponda a uma fração solar mínima de 70%.

Para os demais casos de sistemas mistos de aquecimento de água, o nível de eficiência é a combinação das porcentagens de demanda de aquecimento de água de cada sistema multiplicado pelo seu respectivo equivalente numérico.

$$EqNumAA = \% \cdot EqNumAA1 + \% \cdot EqNumAA2 + \dots \% \cdot EqNumAA_n$$

$$EqNumAA \geq 4,5$$

<b>Sistema de aquecimento solar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coletores devem ser instalados conforme especificações, manual de instalação e projeto</li> <li>• Coletores devem ter ENCE A ou B ou Selo Procel</li> <li>• Reservatórios devem possuir Selo Procel</li> <li>• Fração Solar mínima de 70%</li> <li>• Volume de armazenamento entre 50 e 150 l/m<sup>2</sup> de coletor</li> </ul>
<b>Sistema de aquecimento a gás</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquecedores do tipo instantâneo e de acumulação devem possuir ENCE A ou B</li> <li>• Aquecedores devem estar instalados em lugares protegidos permanentemente contra intempéries, com ventilação adequada para não interferir em sua eficiência e instalados conforme a NBR 13103</li> <li>• A potência do sistema de aquecimento e o volume de armazenamento informado pelo projetista devem estar dentro de uma variação de 20% para mais ou para menos do cálculo realizado conforme metodologia do RTQ-R</li> </ul>
<b>Bombas de calor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Devem possuir COP <math>\geq 3</math></li> <li>• Não utilizar gases refrigerantes comprovadamente nocivos ao ambiente</li> </ul>

Fonte: Brasil, 2012.

## 2.6 Caracterizações gerais de Ouro Preto

Segundo O IBGE (2021), o município de Ouro Preto – MG, possui uma população estimada em 74.558 pessoas, com uma área territorial de 1.245,865 km<sup>2</sup> e uma densidade demográfica de 56,41 hab/km<sup>2</sup>. De acordo com o Site Ouro Preto (2021), a cidade está localizada na Serra do Espinhaço, na Zona Metalúrgica de Minas Gerais (Quadrilátero Ferrífero) e inserida na Região Central da Macroregião Metalúrgica e Campo das Vertentes de Minas Gerais, (Latitude 20°23'08" sul, longitude 43°30'29" Oeste). Ouro Preto é constituído pela sede municipal e mais 12 distritos: Amarantina, Antônio Pereira, Cachoeira do Campo, Engenheiro Correia, Glaura, Lavras Novas, Miguel Burnier, Rodrigo Silva, Santa Rita de Ouro Preto, Santo Antônio do Leite, São

Bartolomeu, Santo Antônio do Salto.

De acordo com o IBGE (2021), seu clima é caracterizado como tropical de altitude, com pluviosidade média de 2.018 mm/ano, com distribuições irregulares e chuvas concentradas no verão, e sua temperatura pode variar entre 6 e 28 graus centígrados. Nos meses de junho e julho pode chegar a 2 graus centígrados. Sua altitude média é de 1.116m e possui predominância do relevo montanhoso e ondulado.

Segundo o Wikipédia (2021), as principais atividades econômicas de Ouro Preto são o turismo, as reservas minerais do seu subsolo, a indústria de transformação e o ensino superior e técnico oriundos da Universidade Federal de Ouro Preto e do Instituto Federal de Minas Gerais.

A cidade histórica, conhecida como um "museu a céu aberto", preserva uma grande quantidade de casarios coloniais e igrejas de grande importância artística e histórica, sendo considerada Patrimônio Mundial pela UNESCO. De acordo com o Wikipédia (2021), além da importância histórica, a cidade também se destaca pelas atividades culturais presentes, como teatro, música, artesanato, literatura, e palestras sobre meio ambiente.

## 2.7 Contexto histórico, cultural e arquitetônico de Ouro Preto e das repúblicas estudantis do Centro Histórico

Segundo Costa e Netto (2015), a história da povoação de Ouro Preto, pode ser definida pelos períodos da colonização e ocupação pelos portugueses e da exploração das minas de ouro e conseqüentemente, da povoação das terras situadas na área central da Colônia.

De acordo com Filho (1978), Ouro Preto possui uma estrutura urbana residencial caracterizada por edificações coloniais, de influência portuguesa. Essa influência foi adaptada, apresentando características de padronização em relação à implantação, setorização e técnicas construtivas utilizadas. De acordo com a figura 5, a cidade histórica apresenta uma estrutura de ocupação de Portugal, com características bem homogêneas, como as casas térreas e sobrados construídos sobre os alinhamentos das vias públicas, suas fachadas laterais sobre os limites dos terrenos, comprimento do lote maior que a testada e aberturas presentes apenas em alguns cômodos das casas.

Figura 4 – Centro histórico de Ouro Preto - MG



Fonte: Site Volta Logo, 2020.

Segundo Filho (1978), a setorização interna das casas também possuía uma padronização arquitetônica:

As salas da rua da frente e as lojas aproveitavam as aberturas sobre a rua, ficando as aberturas dos fundos para a iluminação dos cômodos de permanência das mulheres e dos locais de trabalho. Entre estas partes com iluminação natural, situavam-se as alcovas, destinadas à permanência noturna e onde dificilmente penetrava a luz do dia. A circulação realizava-se, sobretudo em um corredor longitudinal que, em geral, conduzia da porta da rua aos fundos. Esse corredor apoiava-se a uma das paredes laterais, ou fixava-se no centro da planta.

De acordo com Vasconcellos (1979), a arquitetura colonial em Ouro Preto, utilizou técnicas de rápida construção como o pau a pique e a taipa de pilão, a partir de materiais abundantes na colônia: o barro e a madeira. Com o progresso da colonização, passaram a ser utilizadas também as pedras e as alvenarias em adobe, com reforços de madeira no piso e no forro e cobertura de telhas de barro. No período colonial as argamassas mais utilizadas eram a cal, areia e o barro. Vasconcellos (1979) define esses sistemas construtivos da seguinte maneira:

- As construções em pedra foram muito aplicadas na construção e ornamentação de igrejas, residências e edifícios públicos, sendo que a pedra-sabão e a canga, eram muito utilizadas em Ouro Preto. As argamassas eram em cal e areia ou barro. Já na

alvenaria de pedra seca, o uso da argamassa era dispensado, sendo que sua técnica pode ser vista de diversas formas, conforme a ausência ou o assentamento das argamassas.

- O adobe é composto de tijolos feitos de barro, em formatos preenchidos com barro compactado manualmente e secado naturalmente. Esses blocos podem ser assentados com barro e revestidas com reboco de argamassa em cal e areia.
- A taipa de pilão, muito característica do período colonial, consiste em amassar a terra úmida dentro de moldes ou caixa compridas, podendo ter uma espessura de 50 a 60 centímetros.
- Já o pau a pique é um dos sistemas estruturais mais utilizados no período da colônia e ainda hoje, nas construções rurais, devido a sua rápida execução, resistência, durabilidade e baixo custo. Essa técnica consiste na utilização de troncos e galhos de madeira retos, como uma grade de madeira cujas frestas são preenchidas por barro.

Figura 5 – Parede de pau a pique sobre fundação de pedra



Fonte: Elio Moroni Filho, 2014.

- Por fim, os tijolos cerâmicos utilizam da mesma matéria prima, a argila, diferindo do adobe pela dimensão e pelo fato de ser cozido em altas temperaturas no forno, sendo um dos primeiros materiais de construção duráveis feitos pelo homem. Em 1711 já existia registro da utilização de tijolos cerâmicos em Ouro Preto, mas sua alvenaria só começou a ser usadas com frequência no século XIX.

Segundo Machado (2013), com a transferência da capital de Ouro Preto para Belo Horizonte e a fundação da Escola de Farmácia e a Escola de Minas, em 1839 e 1876, tem-

se o surgimento das repúblicas estudantis, que foram se formando no entorno dessas escolas. Com a desvalorização, devido a transferência de capital, houve uma grande disponibilidade de imóveis, que acabaram doados, cedidos ou ocupados por estudantes para abrigar essas moradias estudantis. Em 1969, foi fundada a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), que passou a absorver esses imóveis e adquirir ainda mais residências.

Conforme Costa e Netto (2015), essas moradias possuem características arquitetônicas de construções barrocas, de origem Portuguesa, e por isso, atualmente fazem parte do perímetro tombado de Ouro Preto, o que determina a manutenção dessas características arquitetônicas coloniais e uma grande limitação em realizar adaptações nas plantas dessas edificações.

A regulamentação dessas moradias é realizada pelo Portaria nº 312 de 20 de outubro de 2010 (IPHAN, 2010) e pela a resolução Cuni nº 1.540 - Estatuto das Residências Estudantis de Ouro Preto, de 21 de outubro de 2013 (UFOP, 2013), que estabelecem critérios em relação à manutenção e conservação dessas residências, citando a exigência na permanência dos sistemas construtivos e estruturais originais e na utilização de paletas de cores disponibilizadas pelo IPHAN, sendo a realização de reboco em alvenarias externas na cor branca, a pintura das molduras e esquadrias em cores fortes usuais, com limitação do acabamento da tinta, a utilização de cores monocromáticas com diferenciação de cor nos frisos, elementos ornamentais e esquadrias, entre outros critérios de manutenção e limitação, que devem sempre ser aprovados primeiramente pela Prefeitura, IPHAN e demais órgãos competentes, antes de qualquer intervenção no imóvel.

As eventuais propostas de intervenção no imóvel para melhoria de classificação junto ao RTQ-R deverão, portanto, respeitar as características originais do mesmo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

- Levantamento bibliográfico e documental em *sites*, livros e artigos acadêmicos sobre a arquitetura bioclimática e as construções e reformas em edificações utilizando esse tipo de arquitetura;
- Levantamento bibliográfico e documental em *sites*, livros e artigos acadêmicos sobre o patrimônio histórico, cultural e arquitetônico de Ouro Preto, para a contextualização histórica, morfológica e arquitetônica da República Pulgatório, selecionada para o estudo de caso;
- Levantamento e caracterização do clima, localização e zoneamento da área do estudo de caso, por meio do software Climate Consultant;
- Levantamento fotográfico e pesquisa documental das estratégias construtivas e arquitetônicas utilizadas na República Pulgatório, localizada no centro histórico de Ouro Preto, onde será realizado o estudo de caso;
- Observação direta da região onde se situa a república analisada;
- Levantamento do projeto arquitetônico da república e sua adequação de acordo com as plantas, instalações e requisitos técnicos já existentes in loco.
- Aplicação dos métodos para a análise da eficiência energética na república analisada, por meio do método prescritivo da planilha para RTQ-R.
- Síntese dos aspectos arquitetônicos e análise da eficiência energética obtida na república Pulgatório, com o objetivo de propor intervenções sustentáveis para melhorar o conforto ambiental em relação à iluminação e ventilação da área de estudo.

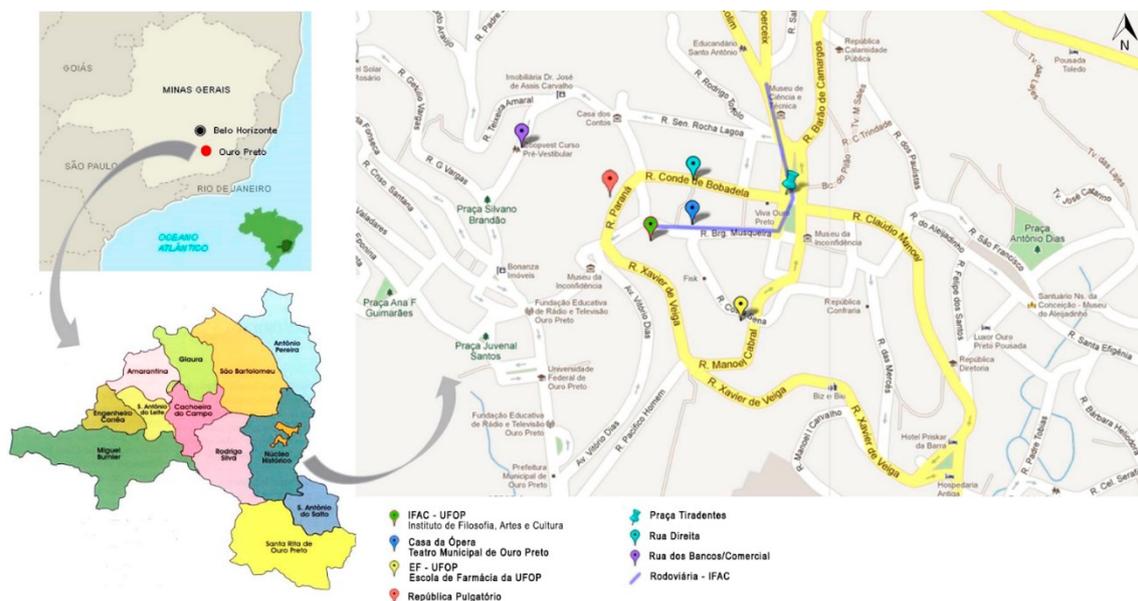
#### 3.1 Estudo de caso

##### 3.1.1 Localização e o Zoneamento bioclimático brasileiro

Tem como estudo de caso, a República Pulgatório localizada no município de Ouro Preto - MG. De acordo com a figura 6, a república está inserida na Rua Paraná, N° 54 e faz parte do patrimônio histórico e cultural da cidade, sendo uma das repúblicas mais conhecidas e tradicionais da cidade. A edificação está inserida em uma área de preservação especial (APE), que segundo a portaria do IPHAN N 312, de 20 de outubro

de 2010, corresponde à área de maior concentração de bens de interesse cultural, áreas verdes de interesse paisagístico, e edificações de construção tombadas de diferentes períodos.

Figura 6 – Mapa esquemático da localização da república Pulgatório em relação ao Centro histórico de Ouro Preto e - MG



Fonte: GOOGLE MAPS, 2020. Alterado pela autora, 2021.

O Zoneamento bioclimático brasileiro proposto na NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), a cidade se inserir na Zona Bioclimática 3 (ZB3) como será visto no capítulo de metodologia.

Para a análise do clima de Ouro Preto e posterior desenvolvimento do trabalho monográfico, foi utilizado o software *Climate Consultant*, que analisa o clima pelos critérios da Norma ASHRAE 55 (2010), que segue os seguintes preceitos:

“Nos espaços naturalmente ventilados, onde os ocupantes podem abrir e fechar janelas, a sua sensação térmica dependerá em parte do clima externo, e pode ter maior nível de conforto do que edificações com sistemas HVAC centralizados. O modelo entende que os usuários adaptam suas vestimentas às condições térmicas do ambiente, e são sedentários. Não deve haver sistema de refrigeração mecânico, e este método não se aplica se há sistemas de aquecimento mecânicos em operação” (CLIMATE CONSULTANT, 2021. Traduzido pelo Google tradutor, 2021).

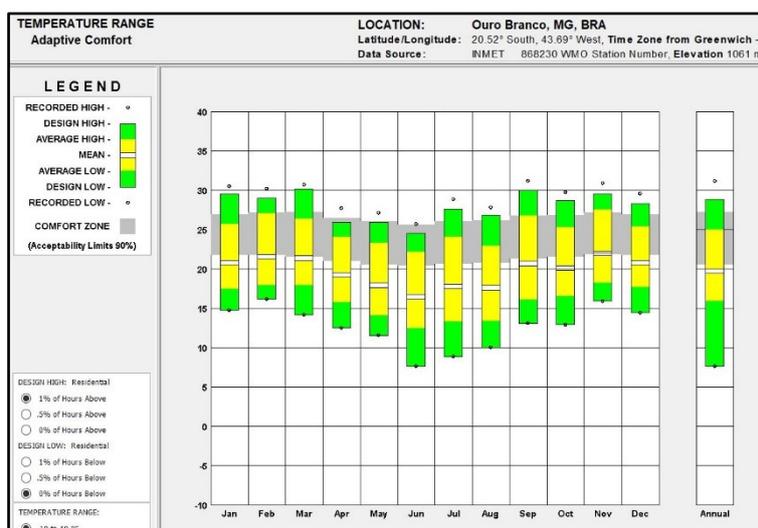
Como não há arquivos climáticos para a cidade de Ouro Preto – MG, a análise do clima pelo programa *Climate Consultant*® foi realizada com base nos dados

do seu município mais próximo, que foi a cidade de Ouro Branco – MG.

O programa *Climate Consultant*<sup>®</sup> foi utilizado para análise do clima e obtenção das melhores estratégias bioclimáticas para o local. Através do uso desse *software*, foram gerados gráficos para a análise de temperatura, velocidade média dos ventos, umidade, além da obtenção da carta bioclimática.

O Clima tropical de altitude, característico da região analisada pelo *software*, apresenta temperaturas médias anuais mais baixas e poucos períodos na Zona de Conforto. Como mostrado na Figura 7, durante o verão, essas temperaturas raramente ultrapassam os 30°C, já o inverno é relativamente frio, devido as características térmicas da altitude elevada, sendo os meses de junho e julho, considerados os mais frios do ano.

Figura 7 – Faixa de temperatura



Fonte: Climate Consultante, 2021.

Outro fator que influencia no clima é o vento, que possui pouca variação de velocidade ao longo do ano, com a velocidade média do vento menor nos meses de março, abril e maio e maiores nos meses de junho a dezembro, como mostra a figura 8 abaixo:

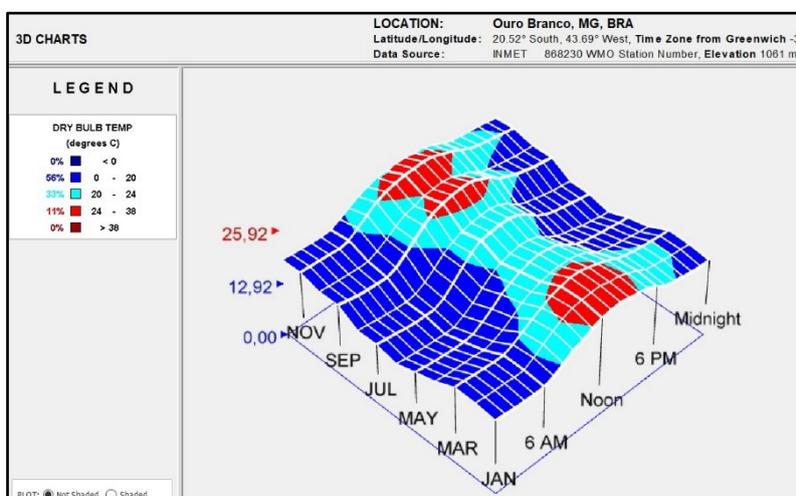
Figura 8 – Velocidade do vento



Fonte: Climate Consultante, 2021.

A temperatura de bulbo seco, é a temperatura do ar medida através de um termômetro exposto externamente, mas com proteção contra a radiação e a umidade. Essa temperatura geralmente é analisada como temperatura do ar, e é a verdadeira temperatura termodinâmica. Como citado anteriormente, a cidade analisada possui predominância de temperaturas mais baixas, entre 0 a 20°C, começando a esquentar a partir das 08 horas da manhã, ficando mais quente durante a tarde e voltando a ter uma queda de temperatura a partir das 20 horas da noite como mostrado na Figura 9.

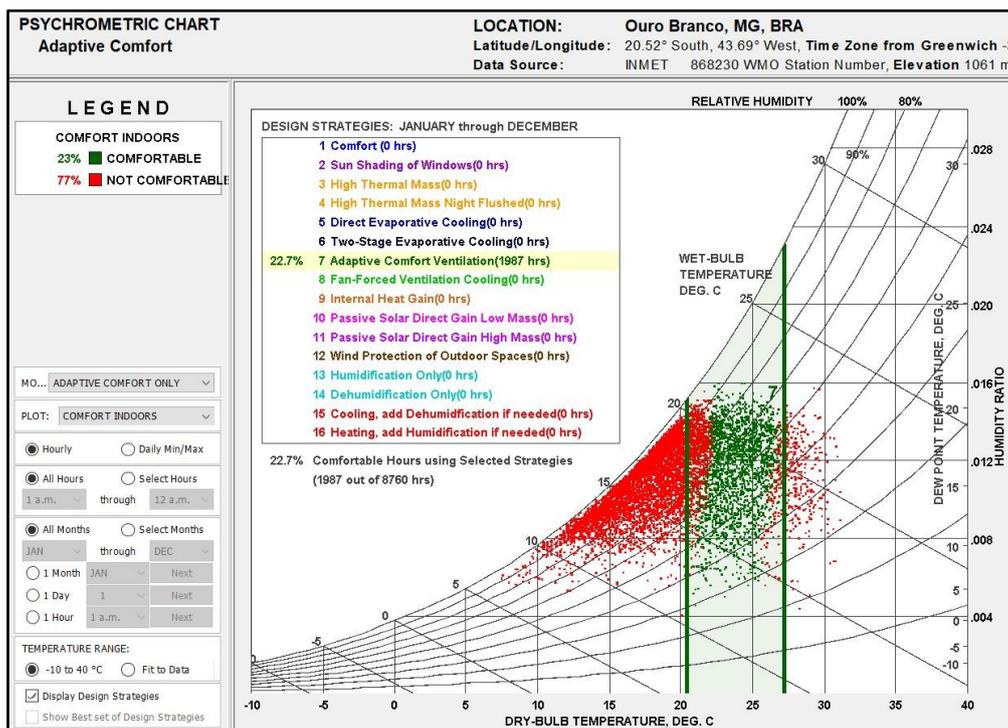
Figura 9 – Variação da Temperatura do ar em relação aos meses e horários



Fonte: Climate Consultante, 2021.

A Figura 10, representa a Carta Psicrométrica (Carta bioclimática) com a estratégia mais indicada pela Norma ASHRAE 55 (2010), na qual apresenta em 22,7% dos casos, a ventilação adaptativa de conforto como a melhor alternativa, com 1987 horas de conforto em relação a 8760 horas.

Figura 10 – Carta bioclimática de Ouro Branco



Fonte: Climate Consultante, 2021.

Com base na melhor alternativa apresentada pela carta bioclimática, a norma ASHRAE 55 (2010) listou as seguintes diretrizes para um projeto residencial, que se aplicam especificamente para o clima da cidade analisada, começando do mais relevante para o menos relevante:

35 – Uma boa ventilação natural pode reduzir ou eliminar o ar condicionado em climas quentes, se as janelas forem bem sombreadas e orientadas para as brisas predominantes;

34 – Para capturar a ventilação natural, a direção do vento pode ser alterada em até 45 graus em direção ao prédio por paredes externas e plantio;

33 – Planta baixa longa e estreita pode ajudar a maximizar a ventilação cruzada em

climas quentes e úmidos;

36 – Para facilitar a ventilação cruzada, localize aberturas de portas e janelas em lados opostos do edifício com aberturas maiores voltadas para o vento, se possível;

56 – Varandas e pátios com tela podem fornecer resfriamento de conforto passivo por ventilação em clima quente e podem prevenir problemas de insetos;

42 – Em dias quentes, os ventiladores de teto ou o movimento do ar interno podem fazer com que pareça mais frio em 5 graus F (2,8 C) ou mais, portanto, menos ar condicionado é necessário;

47 – Use interiores de plano aberto para promover a ventilação cruzada natural ou use portas com venezianas ou, em vez disso, use dutos de salto se a privacidade for necessária;

58 – Este é um dos climas mais confortáveis, portanto, proteja-se para evitar o superaquecimento, abra a brisa no verão e use o ganho solar passivo no inverno;

62 – As casas passivas tradicionais em climas temperados usavam construções leves contato com o solo, painéis deslizantes e espaços externos sombreados;

65 – Casas passivas tradicionais em climas quentes e úmidos usavam teto alto e janelas altas operáveis protegidas por beirais profundos e varandas;

53 – Zonas intermediárias externas sombreadas (varanda, pátio) orientadas para as brisas predominantes podem estender as áreas de estar e de trabalho em climas quentes ou úmidos;

54 – Fornecer envidraçamento sul suficientes para equilibrar a iluminação natural e permitir ventilação cruzada (Cerca de 5% da área do piso);

17 – Use plantas (arbustos, árvores, paredes cobertas de hera), especialmente no oeste para minimizar o ganho de calor (se as chuvas de verão apoiarem o crescimento de plantas nativas);

25 – em climas úmidos, sótãos bem ventilados com telhados inclinados funcionam bem para evitar chuva e podem ser estendidos para proteger entradas, varandas, áreas de trabalho ao ar livre;

27 – Se o solo for úmido, eleve a edificação bem acima do solo para minimizar a umidade e maximizar a ventilação natural sob a mesma;

32 – Minimizar ou eliminar o envidraçamento voltado para oeste para reduzir o ganho de calor da tarde de verão e outono;

37 – Beirais de janela (Projetados para esta latitude) ou dispositivos de sombreamento operáveis (Toldos que se estendem no verão) podem reduzir ou eliminar o ar condicionado.

### 3.1.2 Pré-Requisitos do RTQ-R para a Zona Bioclimática 3

Para a obtenção da classificação A nas edificações residenciais na ZB3, com base na portaria nº 18 /2012, foi elaborado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E, 2021), um Quadro Resumo contendo as informações características da zona bioclimática 3 de forma sintetizada:

Tabela 10 - Quadro resumo para edificações residências na ZB3

<b>Envoltória (EqNumEnv)</b>					
<i>Pré-requisitos da envoltória</i> (analisar para cada ambiente)					
01	<b>Absortância solar</b>	Parede		Cobertura	
			$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,6$
	<b>Transmitância térmica</b>	$U \leq 3,70$	$U \leq 2,50$	$U \leq 2,30$	$U \leq 1,50$
	<b>Capacidade térmica</b>	$CT \geq 130$	$CT \geq 130$	Sem exigência	Sem exigência
02	<b>Ventilação natural</b> Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)	Ambientes de permanência prolongada $A \geq 8\%$			
	Aberturas passíveis de fechamento	As aberturas para ventilação devem ser passíveis de fechamento			
	Ventilação dos banheiros	Pelo menos 50% dos banheiros, com exceção dos lavabos, devem possuir ventilação natural			
03	<b>Iluminação natural</b> Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)	Ambientes de permanência prolongada $A \geq 12,5\%$			

Fonte: Brasil, 2012.

### 3.1.3 Características gerais da República Pulgatório

A Escola de Minas, integrante da UFOP e dona de uma das maiores verbas do Ministério da Educação na época após 1967, comprou diversas casas, sendo algumas delas na rua do Paraná, onde está localizada a República Pulgatório, com o objetivo de transformá-la em uma moradia estudantil.

Figura 11 – Imagem da fachada da república com a placa de propriedade da Escola de Minas



Fonte: Imagem enviada pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

Classificada como uma moradia estudantil federal com fins habitacionais, a Pulgatório foi fundada no dia 25 de março de 1969, na qual se reuniu em Assembleia geral para a elaboração dos seus estatutos. De acordo com o poema disponibilizado pelo morador atual morador Fabrício Mendes e escrito pelo ex-morador Sérgio Batista, conhecido como Perna Longa (1990):

Na etimologia poderia até ser um ninho ou mesmo um habitat de hematófagos sifonápteros, seres pequenos também chamados ápteros suctórios saltitantes. Poderia ser também uma palavra alusiva derivada do temido purgatório, lugar onde os justos desencarnados sofrem a purificação de suas almas. Mas alegoricamente, é tudo isto, visto que o exercício da convivência na tolerância e na paciência, costumamos dar o nosso sangue. Purificamos nosso espírito de fraternidade, lapidando sempre nossas relações e aparando as arestas do egoísmo, buscamos a verdadeira essência de conviver.

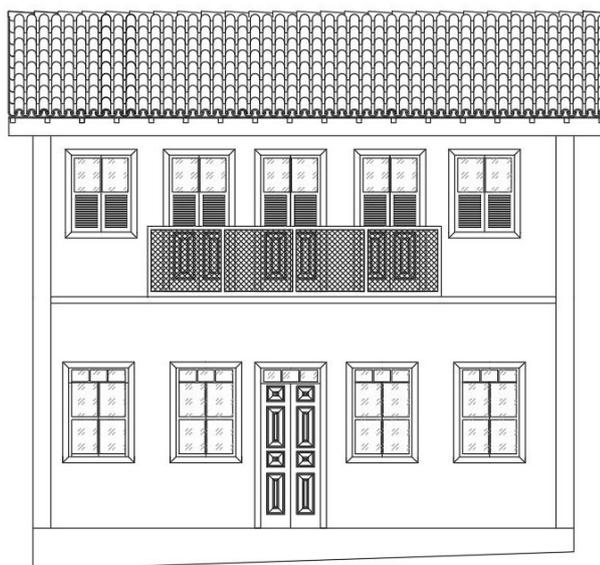
#### 3.1.4 Características arquitetônicas da República Pulgatório

O sobrado, assim como a maioria das edificações históricas da cidade, possui a testada mais estreita e a profundidade mais longa, obedecendo às medidas do lote e as

ordenações descritas nas cartas régias. De acordo com Bittar e Veríssimo (1999, p.47), as fachadas e elevação do sobrado provocam uma sensação de ambiente urbano mais receptivo, através de prescrições de edificações semelhantes, e paredes caiadas (pintadas com cal) a branco com molduras e esquadrias em cores vivas, como o azul e o branco, que as tornam parecidas com as cidades de Portugal.

De acordo com a Figura 12, podemos observar que a fachada da república, possui características tipológicas de Portugal que se caracterizam como um sobrado, construída sobre os limites laterais e frontais do terreno, possuindo traços, fachadas e ambientes simples, com no máximo elementos mais decorativos, como os caixilhos, as molduras e as esquadrias de venezianas.

Figura 12 – Fachada frontal da República Pulgatório



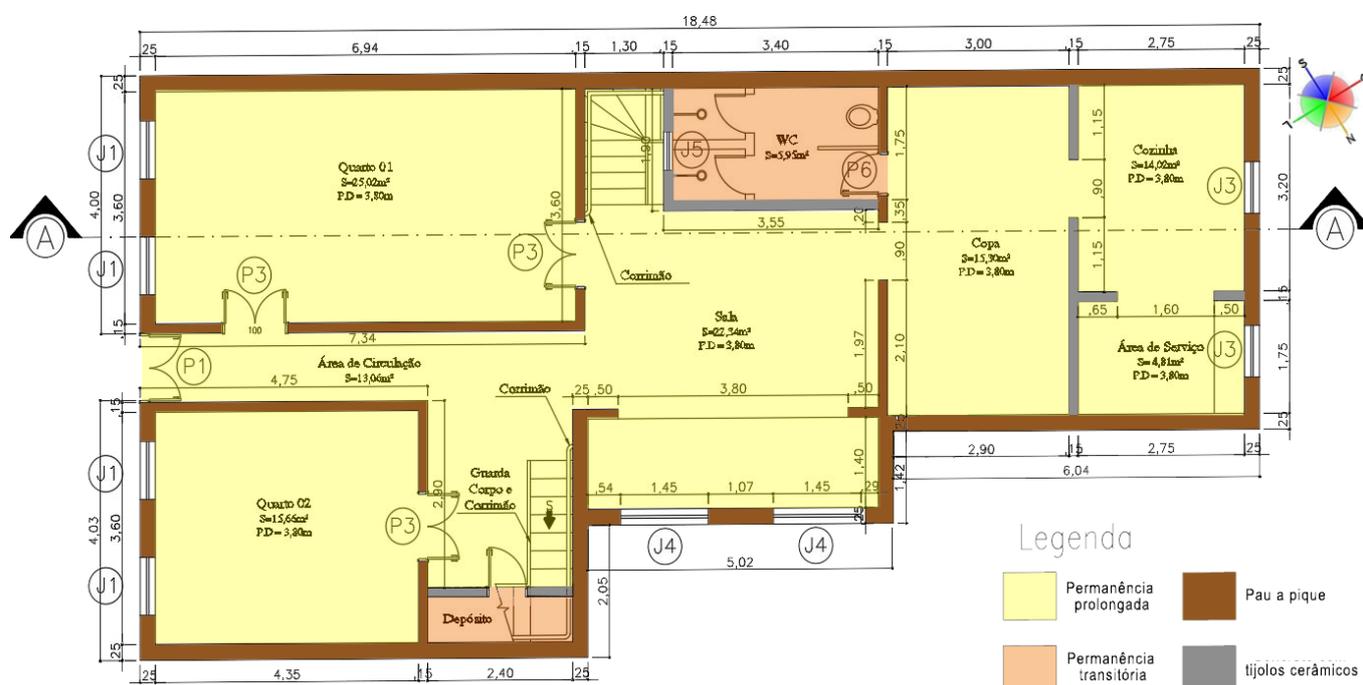
Fonte: Levantamento realizado pela Malleo Engenharia Ltda. Arquivo enviado pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

A arquitetura colonial da edificação utilizou-se de técnicas de rápida construção, com materiais mais primitivos e abundantes na colônia: o barro, a pedra e a madeira, dessa forma, o pavimento superior e o primeiro pavimento foram construídos em pau a pique, enquanto o porão (atual Boate) foi construído em pedra. Com o tempo, foram necessárias alterações na edificação e implantação de mais andares para abrigar a quantidade de estudantes que residiam na república, sendo realizadas em alvenaria com

tijolos cerâmicos, que permitiam uma estrutura maior à edificação.

De acordo com a planta do primeiro pavimento, com 135,58 m<sup>2</sup>, a entrada se dá através de um corredor alinhado com a via pública. A disposição da sala, assim como a maioria dos sobrados coloniais da região, está localizada na parte central, com alguns quartos localizados na frente. Já a estrutura é composta por paredes de pau a pique, sendo que apenas as paredes internas onde há área molhada são em alvenaria de bloco cerâmico.

Figura 13 – Planta baixa do primeiro pavimento da república



Fonte: Levantamento realizado pela Malleo Engenharia Ltda. Arquivo enviado pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

As paredes externas localizadas no Sul e as paredes Norte do Quarto 02 foram construídas na divisa do terreno, encostadas em outra edificação de propriedade alheia, dessa forma, essas paredes serão consideradas como paredes internas para o cálculo do RTQ-R (ver Figura 14).

Figura 14 – Paredes externas laterais da fachada frontal da república fazendo divisa com outras edificações de propriedade alheia

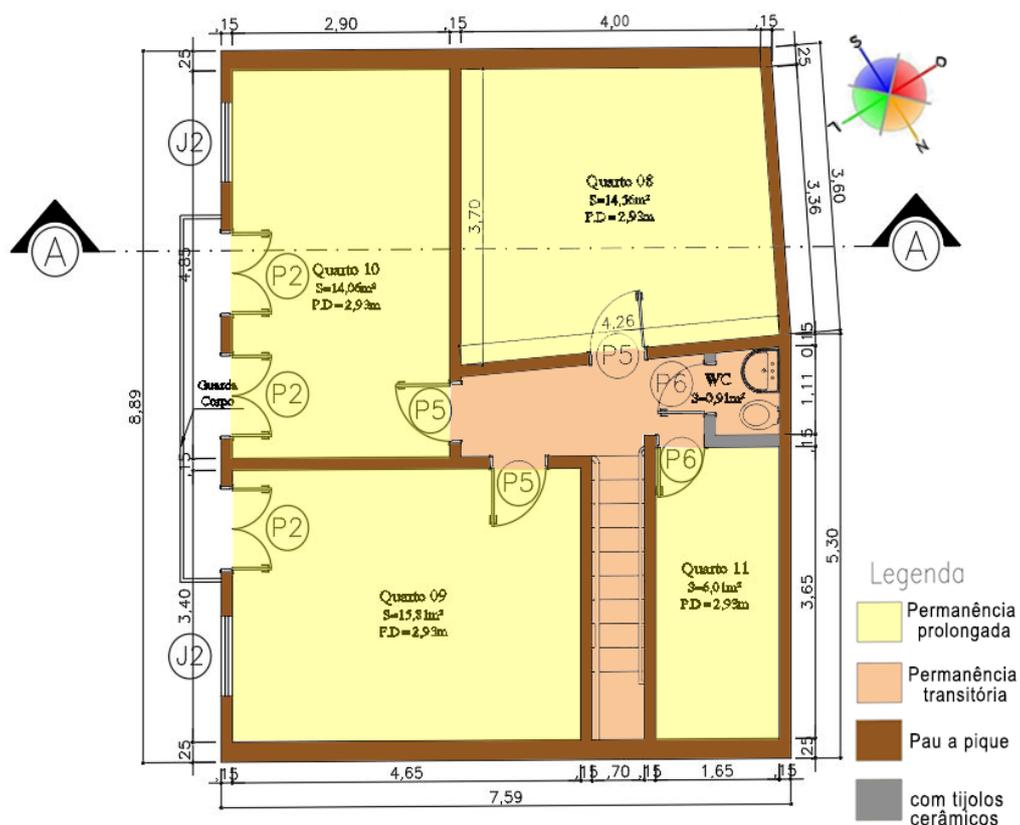


Fonte: Imagem enviada pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

No segundo pavimento do sobrado, no qual possui 67,16 m<sup>2</sup>, todas as paredes são em pau a pique, exceto a parede interna do lavabo. As paredes externas localizadas no Sul e Norte fazem divisa com o terreno do vizinho, que são encostadas em outra edificação de propriedade alheia, dessa forma, essas paredes serão consideradas no cálculo de área de paredes internas.

Nota-se que os quartos da frente são grandes, com a presença de sacadas, que integram a fachada principal. O acesso à essas sacadas se dão por meio das portas em madeira e vidro, permitindo ventilação e iluminação naturais, mas mantendo a privacidade e o sombreamento através da presença de venezianas nessas esquadrias do pavimento superior (ver Figura 15).

Figura 15 – Planta baixa do segundo pavimento da república



Fonte: Levantamento realizado pela Malleo Engenharia Ltda. Arquivo enviado pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

Outro ponto importante é o cômodo da boate (localizado no subsolo 01), que atualmente é utilizado e gerenciado pelos próprios moradores da república. O cômodo possui paredes de 30 cm de espessura em alvenaria de pedra, elemento bastante conhecido da arquitetura vernacular, datando do primeiro século da colonização (ver Figuras 16 e 17).

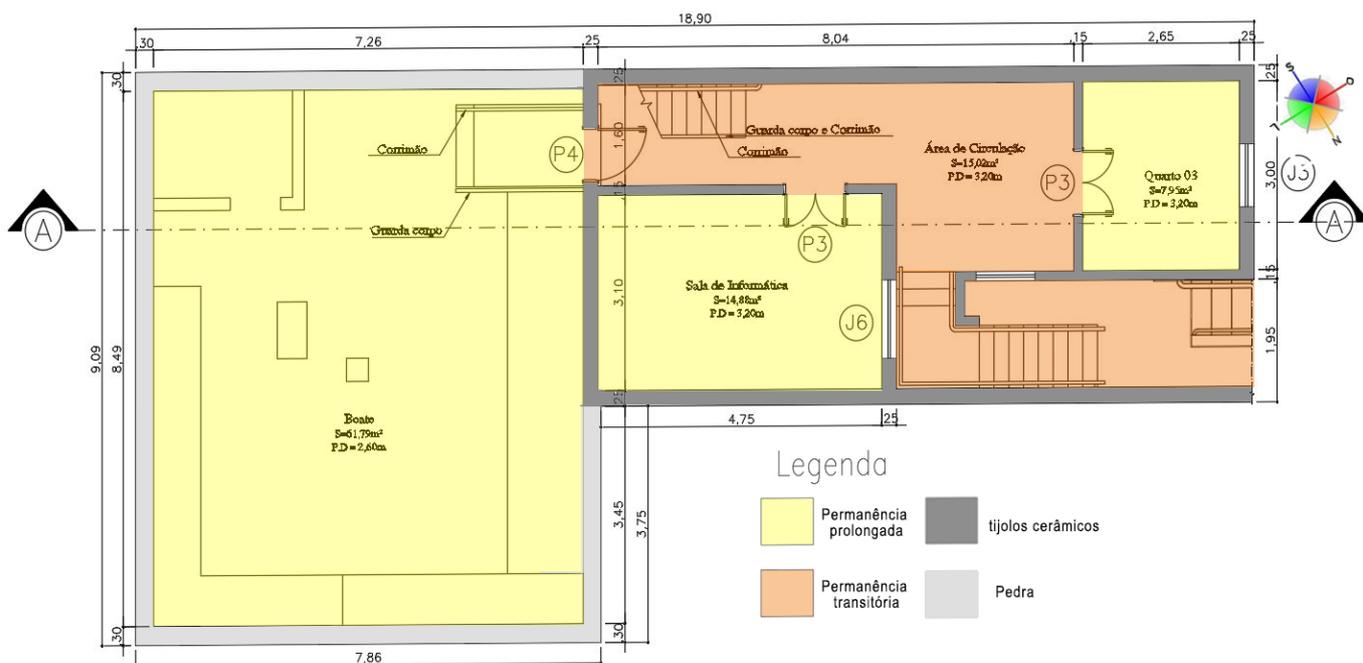
Figura 16 – Parede em pedra presente na Boate



Fonte: Imagem enviada pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

Já o restante do pavimento (sala de informática, área de circulação e o quarto 03) foi construído posteriormente em alvenaria de bloco cerâmico, para atender a grande demanda de estudantes da UFOP, totalizando o subsolo 01 em 120,79 m<sup>2</sup>.

Figura 17 – Planta baixa do subsolo 01 da república



Fonte: Levantamento realizado pela Malleo Engenharia Ltda. Arquivo enviado pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

É importante destacar também que a envoltória da boate está em contato com o solo, exceto sua parede Oeste, que está em contato com o ar e por isso, somente essa parede será considerada no cálculo de envoltória. Já as paredes externas voltadas para sul foram construídas na divisa do terreno, encostadas em outra edificação de propriedade alheia, sendo consideradas no cálculo das paredes internas, enquanto as paredes Norte (exceto a parede Norte da Boate) estão recuadas e possuem contato com o ar externo (ver Figura 18).

Figura 18 – Diferença de volumetria dos subsolos 02 e 03 da república

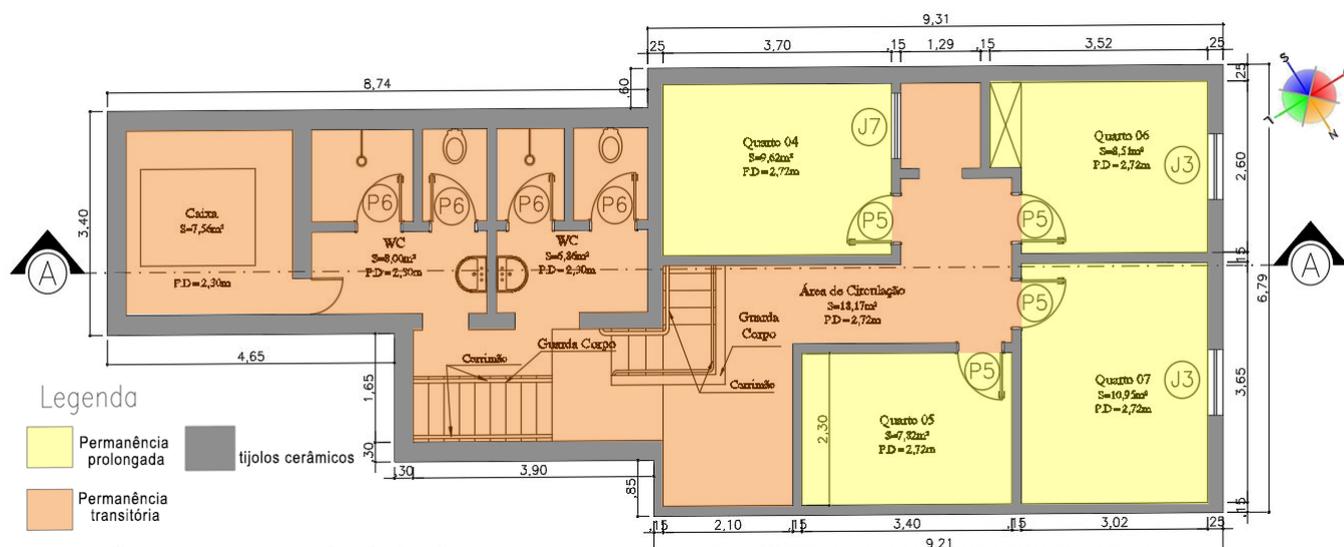


Fonte: Imagem enviada pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

O subsolo 02, que possui 101,04 m<sup>2</sup>, foi acrescentado posteriormente a casa, por isso possui toda sua estrutura em alvenaria de bloco cerâmico. Apesar de estar em subsolo, todas as paredes dos cômodos de permanência prolongada estão em contato com o ar e não fazem divisa com a edificação vizinha, sendo consideradas no cálculo da envoltória.

Nota-se também que as áreas de circulação, lavabos, banheiros, a sala de informática, a boate, a copa, assim como vários quartos presentes na edificação, não possuem aberturas voltadas para o exterior, o que dificulta a circulação e renovação do ar dentro da residência.

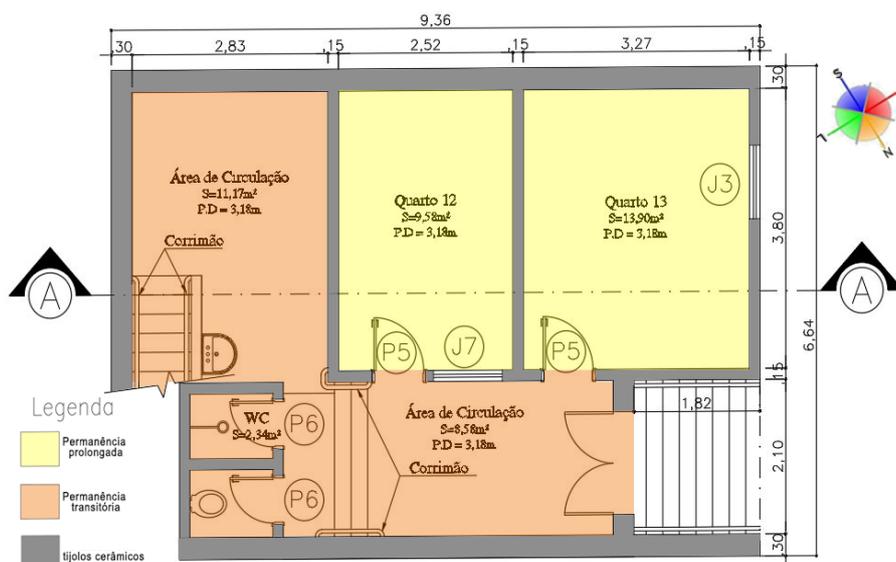
Figura 19 – Planta baixa do subsolo 02 da república



Fonte: Levantamento realizado pela Malleo Engenharia Ltda. Arquivo enviado pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

Por fim, o subsolo 03 possui 56,03 m<sup>2</sup>, composto por estrutura em alvenaria de bloco cerâmico, e possui abertura externa apenas no quarto 13, dificultando a ventilação e iluminação natural no pavimento. Há uma abertura interna em basculante no quarto 12, como uma forma de propiciar ventilação e iluminação no quarto através da área de circulação, todavia como é interna, não será analisada no cálculo de envoltória da edificação.

Figura 20 – Planta baixa do subsolo 03 da república



Fonte: Levantamento realizado pela Malleo Engenharia Ltda. Arquivo enviado pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

Além disso, apesar dos dormitórios estarem no subsolo 03, suas paredes externas estão em contato com o ar e não fazem divisa com a edificação vizinha, sendo consideradas no cálculo da envoltória, como é mostrado na figura 21.

Figura 21 – Fachada posterior dos subsolos 02 e 03 da república



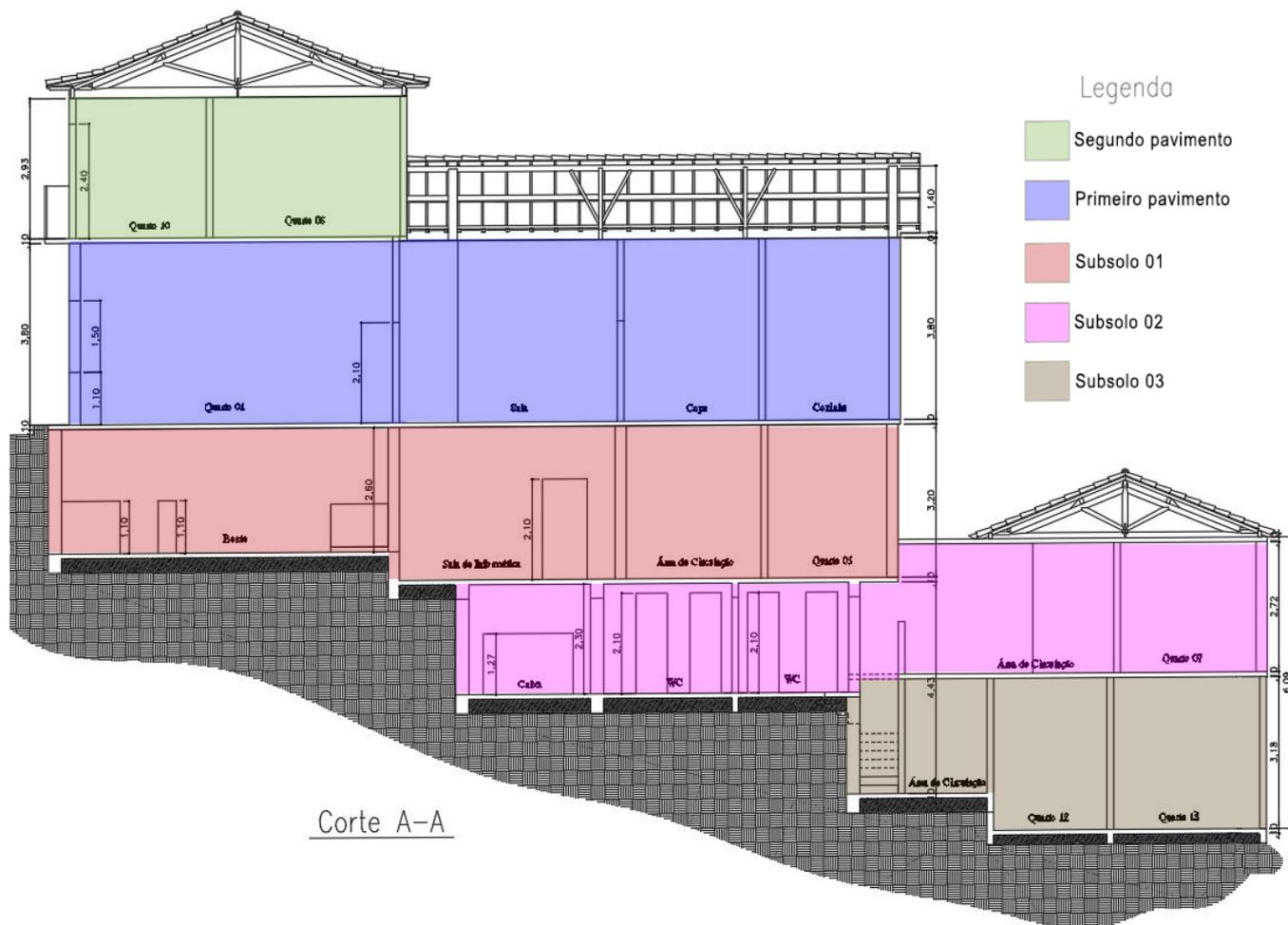
Fonte: Imagem enviada pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

Conforme as análises das plantas baixas, é importante destacar que a iluminação e ventilação natural da república, em todos os pavimentos, ocorre pela fachada frontal e posterior, já que as fachadas laterais fazem divisa com os lotes vizinhos. Ou seja, a entrada e circulação do ar, acontecem em apenas um sentido, influenciando diretamente nos problemas relacionados ao conforto ambiental. Isso se dá pela própria tipologia das residências coloniais, nas quais suas plantas tem possibilidades limitadas de aberturas para a entrada de luz e vento, já que as casas não possuem afastamentos laterais.

De acordo com os levantamentos de dados realizados e o corte AA (ver Figura 22), nota-se que a república está implantada em um terreno em declive, e é composta por 5

pavimentos. Já a cobertura da edificação, assim como a maioria das construções coloniais em Ouro Preto, é em telhado cerâmico, com caimento de duas águas, uma para trás e uma para frente do terreno, para que a água da chuva seja escoada para a rua e para os fundos do terreno, com o intuito de evitar problemas de infiltração.

Figura 22 – Corte AA



Fonte: Levantamento realizado pela Malleo Engenharia Ltda. Arquivo enviado pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

Além das plantas baixas e cortes, outro aspecto importante a ser analisado na república são as patologias referentes à umidade e ao mofo presentes no teto e nas paredes de alguns quartos.

Figura 23 - Teto e parede mofada em um dos quartos da república



Fonte: Imagem enviada pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

A partir dessas análises, serão coletados dados de iluminação natural, ventilação natural, aquecimento da água, entre outros índices necessários para o cálculo da eficiência energética, com base nos Regulamentos Técnicos de Qualidade, na legislação vigente de Ouro Preto com o objetivo de classificar energeticamente a moradia e propor soluções e intervenções sustentáveis que possam ser aplicadas na edificação.

### 3.1.5 Análise da República Pulgatório pelo RTQ-R

De acordo com a definição presente no manual para aplicação do RTQ-R (2012), a edificação residencial pode ser caracterizada como:

Edificação utilizada para fins habitacionais, que contenha espaços destinados ao repouso, alimentação, serviços domésticos e higiene, não podendo haver predominância de atividades como comércio, escolas, associações ou instituições de diversos tipos, prestação de serviços, diversão, preparação e venda de alimentos, escritórios e serviços de hospedagem, sejam eles hotéis, motéis, pousadas, apart-hotéis ou similares. No caso de edificações de uso misto, que possuem ocupação diversificada englobando mais de um uso, estes devem ser avaliados separadamente

Edificações como Casa do Estudante, Moradias Estudantis e similares possuem fins habitacionais e por isso, se enquadram na categoria de edificações residências.

Apesar da república Pulgatório ser de propriedade da Escola de Minas, que pertence a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), ou seja, ser uma república pública federal, ela possui fins habitacionais e deve ser analisada com base no regulamento técnico da Qualidade para Edificações Residenciais (RTQ-R) a partir do método prescritivo. Tal argumento pode ser comprovado por meio da dúvida referente a definição de categoria a seguir, disponível no fórum do PBE Edifica:

Figura 24 - Definição de categoria da moradia estudantil pública segundo o fórum do PBE Edifica

**Re: DEFINIÇÃO DE CATEGORIA - RESIDENCIAL OU COMERCIAL**  
 por comercial > Qui Fev 26, 2015 7:48 pm

**Mônica Pinto escreveu:**  
 Bom dia,

Temos uma dúvida semelhante.  
 Gostaríamos de saber em qual categoria (residencial ou comercial) se enquadraria uma Casa do Estudante de uma universidade pública federal. Visto que se trata de um edifício público e o RTQ-C classifica meios de hospedagem na categoria comercial, acreditamos que esta Casa do Estudante enquadraria-se no RTQ-C. Entretanto gostaríamos de uma confirmação.

Obrigada,  
 Arq. Mônica Martins Pinto

Da mesma forma que na resposta anterior foi citada a definição 1.31 do RTQ-R, Casa do Estudante, Moradias Estudantis, etc, possuem fins habitacionais, portanto Casa do estudante deve ser avaliada pelo RTQ-R

Fonte: PBE Edifica, 2015.

- Para a análise e obtenção dos componentes construtivos das paredes de pau a pique de 15 cm e 25 cm de espessura presentes nos cômodos de permanência prolongada, foi utilizado como referência o trabalho monográfico “Investigação sobre o comportamento térmico do adobe para as necessidades climáticas e normativas brasileiras” de Luísa Sant Ana Marques (2018). Para a parede de 15 cm da edificação, foi utilizado como base nos valores do material a7 (alvenaria de adobe) de 15 cm, descritos a seguir:

Tabela 11 – Propriedades térmicas da alvenaria de adobe

Ref	Fonte	Método e modelo	Material	Condutividade (W/mK)	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (kJ/Kgk)	Espessura (m)	U W/m <sup>2</sup> K	CT KJ/m <sup>2</sup> K
8	ORUI, 2015	Cálculo e à partir da NBR 15.220-2005 considerando uma parede de adobe de uma tipologia existente (construída em 2014)	a7	0,56	1700	1,001	0,15	2,28	255

Fonte: Luísa Sant Ana Marques, 2018. Alterado pela autora, 2021.

Para a obtenção das propriedades térmicas da parede de adobe de 25 cm, foram utilizados os valores contidos na tabela acima, a partir da aplicação das equações e da tabela de fluxo de calor horizontal contidas na revisão de literatura do RTQ-R. Dessa forma, se obteve para a parede de adobe de 25 cm, uma transmitância térmica de 1,62 W/m<sup>2</sup>. K e uma capacidade térmica de 425,43 kJ/m<sup>2</sup>.K.

De acordo com a NBR15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, a parede em pedra possui as propriedades térmicas apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Pedras (incluindo junta de assentamento)</b>			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84

Fonte: NBR 15220:2, 2013.

Dessa forma, com base nas equações e nos dados tabelados do fluxo de calor horizontal descritos na revisão de literatura do RTQ-R, foi aplicado para esses cálculos os valores destacados em vermelho na tabela 19 acima, sendo que o valor utilizado para a densidade foi de 2300 Kg/m<sup>3</sup>. Dessa forma, a parede de pedra analisada possui uma transmitância térmica de 2,60 W/m<sup>2</sup>. K e uma capacidade térmica de 579,60 kJ/m<sup>2</sup>.K.

Por fim, para o cálculo dos cômodos de permanência prolongada onde as

paredes são em alvenaria com blocos cerâmicos, foram utilizados dois tipos de propriedades de paredes, já que elas possuem espessuras diferentes. Para as paredes de alvenaria de 15 cm foram utilizados os dados da figura 25:

Figura 25 - Propriedades térmicas utilizadas para a parede em alvenaria de 15 cm

	<b>Descrição:</b>	<b>9</b>						
	Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa ( $\alpha$ )							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th> <th><math>C_T</math></th> </tr> <tr> <th>[W/(m<sup>2</sup>K)]</th> <th>[kJ/m<sup>2</sup>K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,46</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>	U	$C_T$	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]	2,46	150	
U	$C_T$							
[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/m <sup>2</sup> K]							
2,46	150							

Fonte: Anexo da portaria INMETRO N 50º/2013.

Enquanto que para as paredes de 25 e 30 cm, seus componentes construtivos foram calculados respectivamente, por meio do site Projeteer:

Figura 26 – Propriedades térmicas utilizadas para a parede em alvenaria de 25 cm

CAMADA	MATERIAL	RESISTÊNCIA TÉRMICA	<b>SEU MATERIAL</b>  Resistência Térmica Total: <b>0,67</b>  Atraso Térmico $\phi$ (horas): <b>5,1</b>  Capacidade Térmica (kJ/m <sup>2</sup> K): <b>161,1</b>  Transmitância Térmica (W/m <sup>2</sup> K): <b>1,5</b>
1	Argamassa   2.0	0,0200	
2	Bloco cerâmico 12x19x19 cm   12	0.256	
3	Bloco cerâmico 9x19x19 cm   9	0.208	
4	Argamassa   2	0,0200	

Fonte: Projeteer, 2021.

Figura 27 – Propriedades térmicas utilizadas para a parede em alvenaria de 30 cm

CAMADA	MATERIAL	RESISTÊNCIA TÉRMICA	<b>SEU MATERIAL</b>  Resistência Térmica Total: <b>0,77</b>  Atraso Térmico $\phi$ (horas): <b>5,7</b>  Capacidade Térmica (kJ/m <sup>2</sup> K): <b>167,1</b>  Transmitância Térmica (W/m <sup>2</sup> K): <b>1,3</b>
1	Argamassa   2.0	0,0200	
2	Bloco cerâmico 12x19x19 cm   12	0.256	
3	Bloco cerâmico 14x19x29 cm   14	0.304	
4	Argamassa   2	0,0200	

Fonte: Projeteer, 2021.

Todas as paredes externas da residência são caiadas (pintadas com cal) na cor branca, dessa forma, serão utilizados como referência para o cálculo da absorvância térmica dessas paredes, a tinta acrílica fosca branca ( $\alpha = 0,16$ ) descrita na Tabela 8 do presente trabalho.

- A cobertura em telha cerâmica com forro de madeira está presente em praticamente todos os pavimentos, sendo que os espaços de permanência prolongada que possuem o forro em madeira são os cômodos do segundo pavimento, os quartos do pavimento superior, os quartos do primeiro pavimento e a sala, ilustrado no tópico 7. Já os WC, BWC, a copa e cozinha (que são conjugados com a sala), possuem forro em PVC, como mostrados na figura abaixo:

Figura 28 – Imagens da cozinha e da sala da república Pulgatório

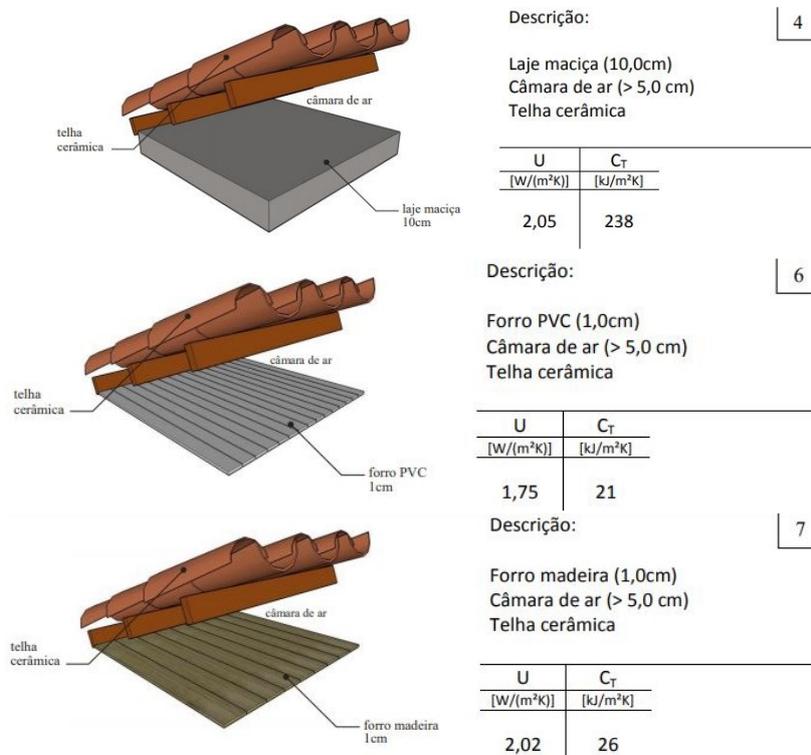


Fonte: Imagem enviada pelo morador Fabrício Mendes, 2021.

Para o cálculo para cobertura desse espaço de permanência prolongada que é conjugada, por ter dois tipos de cobertura diferentes (madeira e PVC) foi feita uma ponderação dos valores de absorvância, transmitância e capacidade térmica. Há também telha cerâmica com laje maciça de 10 cm de espessura nos quartos do

pavimento térreo e terceiro andar. As características térmicas das coberturas presentes na edificação estão ilustradas na figura 29 abaixo:

Figura 29 - Características térmicas e técnicas das coberturas existentes na edificação



Fonte: Anexo da portaria INMETRO N 50º/2013.

Com base no Anexo V do RTQ-R e nos levantamentos feitos pela autora, como a cobertura externa da república se refere à telha cerâmica, o valor da Absortância Térmica para essa cobertura foi considerado como  $\alpha = 0,8$ , de acordo com a Tabela 5 do presente trabalho.

- Com características semelhantes da arquitetura colonial de Portugal, a edificação possui paredes caiadas a branco, molduras de madeira nas portas e janelas em um tom vivo de azul e as esquadrias pintadas em branco. As esquadrias das áreas de permanência prolongada da fachada frontal são em vidro transparente incolor e madeira, com abertura em 90º, sendo que as janelas frontais do andar superior possuem venezianas. Já as janelas posteriores são do tipo guilhotina, em madeira e vidro transparente incolor, enquanto as janelas dispostas nos cômodos de forma interna e outras dispostas lateralmente na sala, são em basculante, com perfil em

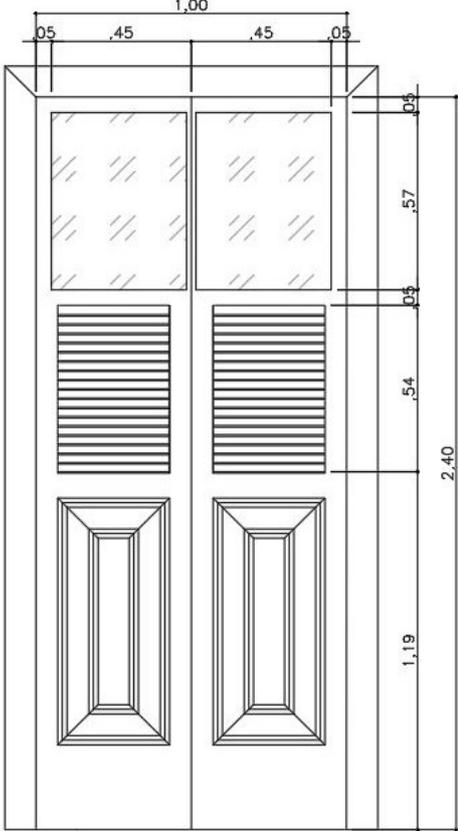
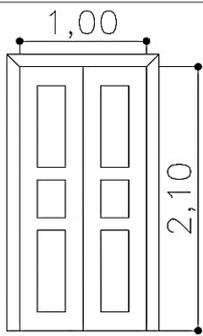
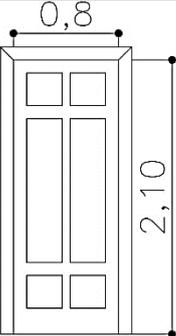
ferro e vidro transparente incolor. Na tabela 20 abaixo, há uma descrição e ilustração de todas as esquadrias analisadas:

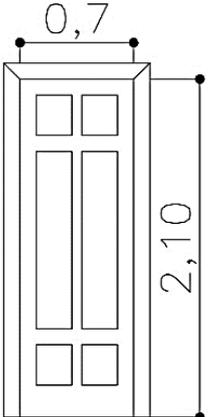
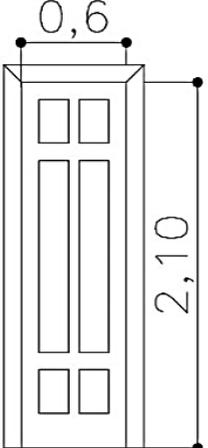
Tabela 13 – Esquadrias da república Pulgatório utilizadas para o cálculo RTQ-R

Tabela de esquadrias da República Pulgatório utilizada para o cálculo RTQ-R		
Ilustração	Descrição	Tipo
	<p>Janela de abrir 90º, em madeira e vidro. Obs: Espessura da janela (3 cm).</p>	J1
	<p>Janela Abrir 90º com veneziana, em madeira e vidro. Obs: Espessura da janela (3 cm).</p>	J2

	<p>Janela Guilhotina dupla, em madeira e vidro. Obs: Espessura da janela (3 cm).</p>	J3
	<p>Basculante - Inclinação máx. das folhas de 30 °. (Apenas 6 folhas são passíveis de abertura), em ferro e vidro.</p>	J4
	<p>Basculante - Inclinação máx. das folhas de 30 °. (Apenas 2 folhas são passíveis de abertura), em ferro e vidro.</p>	J5
	<p>Basculante - Inclinação máx. das folhas de 30 °. (Apenas 3 folhas são passíveis de abertura), em ferro e vidro.</p>	J6

	<p>Basculante - Inclinação máx. das folhas de 30°. (Apenas 3 folhas são passíveis de abertura), em ferro e vidro.</p>	<p>J7</p>
	<p>Porta de abrir 90° - Duas folhas, em ferro e vidro, em madeira e vidro. Obs: Espessura da janela (3 cm).</p>	<p>P1</p>

	<p>Porta de abrir 90º - Duas folhas, em madeira e vidro. Obs: Espessura da janela (3 cm).</p>	<p>P2</p>
	<p>Porta de abrir 90º - Duas folhas, em madeira. Obs: Espessura da janela (3 cm).</p>	<p>P3</p>
	<p>Porta de abrir 90º - Uma folha, em madeira. Obs: Espessura da janela (3 cm).</p>	<p>P4</p>

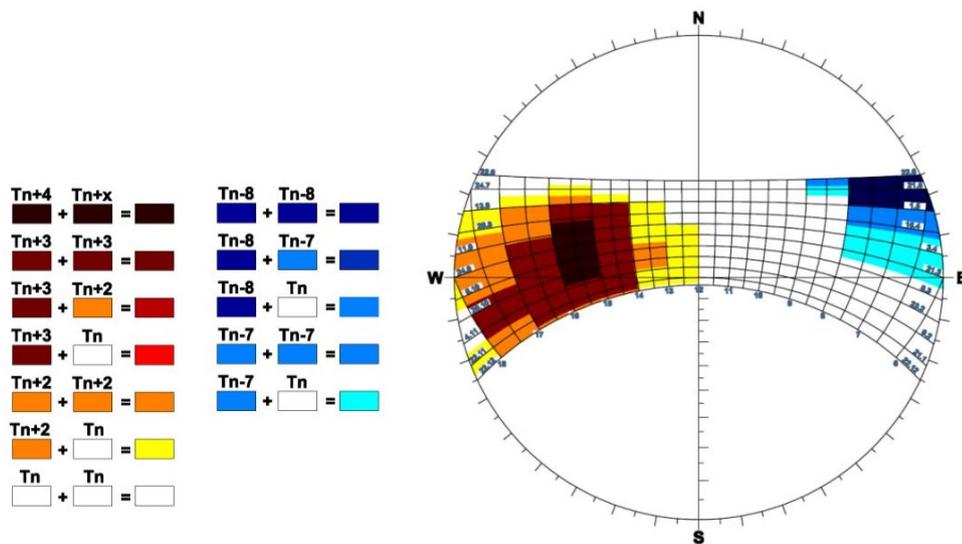
	<p>Porta de abrir 90º - Uma folha, em madeira. Obs: Espessura da janela (3 cm).</p>	<p>P5</p>
	<p>Porta de abrir 90º - Uma folha, em madeira. Obs: Espessura da janela (3 cm).</p>	<p>P6</p>

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

- Para a análise dos dispositivos de sombreamento da edificação, foi utilizado o método da carta solar, na qual foi usada como referência a carta solar e os ângulos recomendados da cidade de Belo Horizonte – MG, disponibilizados pelo site do PROCEL e descritos na figura abaixo, sendo que todas as áreas de janelas dos cômodos analisados são menores que 25% da área do piso. Os dispositivos são venezianas das janelas e portas frontais citadas acima, beirais do telhado colonial e a própria varanda externa, que geram um sombreamento nas aberturas existentes.

Tabela 14 – Dispositivos de proteção solar em edificações residenciais de Belo Horizonte - MG

Latitude: 19,56° Sul - Zona Bioclimática: 3



FACHADA NORTE Belo Horizonte					FACHADA OESTE Belo Horizonte					FACHADA SUDESTE Belo Horizonte				
Edificações Residenciais					Edificações Residenciais					Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso				
$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$
--	--	--	--	--	65°	--	--	35°	20°	--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso				
$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$
35°	--	20°	--	--	75°	--	--	50°	40°	--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$
40°	--	--	--	70°	75°	--	--	50°	40°	--	--	--	--	--
FACHADA SUL Belo Horizonte					FACHADA NORDESTE Belo Horizonte					FACHADA NOROESTE Belo Horizonte				
Edificações Residenciais					Edificações Residenciais					Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso				
$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	60°	--	--	--	50°
Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso				
$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$
--	15°	--	30°	--	--	--	--	--	--	65°	--	40°	10°	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$
--	15°	--	30°	--	--	--	--	--	--	--	--	70°	--	20°
FACHADA LESTE Belo Horizonte					FACHADA SUDESTE Belo Horizonte									
Edificações Residenciais					Edificações Residenciais									
Área da janela < 25% área do piso					Área da janela < 25% área do piso									
$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$					
--	--	--	--	--	60°	--	--	55°	--					
Área da janela > 25% área do piso					Área da janela > 25% área do piso									
$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$					
60°	--	--	25°	20°	--	60°	--	20°	--					
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)					Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)									
$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$	$\alpha$	$\beta_d$	$\beta_e$	$\gamma_d$	$\gamma_e$					
60°	--	--	25°	20°	--	60°	--	20°	--					

Fonte: PROCEL INFO, 2021.

Nos ambientes que há mais de uma abertura e em tipos diferentes entre si, o valor do "Fvent" foi calculado a partir razão entre a soma das áreas efetivas de ventilação pela soma total da área de vão das mesmas. Enquanto o "Somb", foi obtido por meio do cálculo de sua variável em cada janela e uma ponderação da área de vãos

dessas aberturas.

- Segundo o morador da república, Fabrício Mendes, a cidade de Ouro Preto não possui medição do consumo de água. As edificações residenciais, comerciais e industriais não têm hidrômetros, então os cidadãos pagam uma mesma taxa de água, independentemente do tipo e uso da construção.
- Em relação às bonificações, a república possui apenas uma torneira da cozinha que possui regulador de vazão.
- No quesito da iluminação artificial, as lâmpadas da boate possuem 80 lm/W, enquanto todos os outros cômodos possuem o mesmo tipo de lâmpada LED (Luz branca fria) com 101 lm/W.
- Aquecimento de água: Todas as tubulações da república são em PVC branco e não possuem isolamento. O aquecimento de água se dá por meio do chuveiro elétrico de 110 V e 5500 W, que são os mais comuns no mercado. Esses chuveiros possuem apenas três opções de temperaturas: máxima, intermediária e zero.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Classificação da envoltória

A classificação da envoltória é apresentada em detalhe no apêndice A. A seguir são apresentados a classificação para verão, inverno e o atendimento aos pré-requisitos dos ambientes (ver Tabela 15).

Tabela 15 – Resumo da classificação dos ambientes

Ambiente	Sala – Copa - Cozinha	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Quarto 4	Quarto 5	Quarto 6	Quarto 7	Quarto 8	Quarto 9	Quarto 10	Quarto 11	Quarto 12	Quarto 13	Sala de informática	Boate
Indicador para resfriamento	C	B	B	C	E	E	D	E	E	C	C	E	B	C	C	A
Consumo relat. aquecimento	C	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A
Consumo relat.refrigeração		C	C	D	D	D	D	D	C	C	C	E	C	B		
Up <sub>par</sub> < 3,7 OU 2,5	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N
CT <sub>par</sub> >=130	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
U <sub>cob</sub> <=1,5	N				N	N	N	N	N	N	N	N				
A <sub>vent</sub> >=8%	S	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N
A <sub>ilu</sub> >= 12,5%	S	S	S	S	N	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N
Env. Verão após Pré-Requisitos	C	B	B	C	E	E	D	E	E	C	C	E	C	C	C	C
Env. Inverno após PR	C	A	A	A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Env. Refrigerada artificialmente		C	C	D	D	D	D	D	C	C	C	E	C	C		

Como pode-se ver na tabela acima, a dimensão das aberturas dos ambientes de permanência prolongada e a ausência de janelas em vários cômodos, faz com que eles não atendam aos pré-requisitos de ventilação e de iluminação.

O percentual de abertura para ventilação em relação à área do piso nos ambientes de permanência prolongada pedido no RTQ é de no mínimo 8% da área útil, o que é atendido apenas nos quartos 01, 02, 09 e 10. Apesar desses quartos possuírem áreas

maiores que os demais, também possuem aberturas destinadas a iluminação e ventilação naturais, o que pode ser observado nas tabelas X e X, localizadas no Apêndice A. Além disso, todas as aberturas para ventilação são passíveis de fechamento.

Já em relação à iluminação natural, os ambientes de permanência prolongada devem possuir no mínimo 12,5% da área útil do ambiente, o que é atingido apenas nos quartos 01, 02, 03, 09 e 10. Os ambientes sob a cobertura não atendem o pré-requisito de transmitância, pois como a absorvância da telha cerâmica é de 0,8, necessitaria ter uma transmitância térmica inferior a  $1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Podemos analisar que a capacidade térmica das paredes atende ao valor mínimo estabelecido para a Zona Bioclimática 3 de  $130\text{kJ/m}^2$  e o valor máximo de transmitância térmica de  $3,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , com exceção da transmitância térmica da parede da Boate, que ultrapassa o valor máximo estabelecido do RTQ-R de menor ou igual a  $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

#### 4.2 Atendimento a pré-requisitos da envoltória

No caso dos pré-requisitos da envoltória, a medição individualizada de água e energia não se aplicam à república, enquanto a ventilação cruzada já é atendida pela UH. De acordo com a ZB3, pelo menos 50% dos banheiros, com exceção dos lavabos, devem possuir ventilação natural, porém nenhum dos banheiros da moradia estudantil possuem aberturas externas para iluminação e ventilação, o que acaba não atendendo ao pré-requisito.

Verifica-se pela Tabela 16 que por não possuir a maioria dos banheiros com ventilação natural, a envoltória, mesmo que tivesse classificação A ou B teria sua classificação máxima limitada a C.

Tabela 16 – Análise dos pré-requisitos da Envoltória e Equivalente Numérico da Envoltória

Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Não se aplica	
	Medição individual de energia?		Não se aplica	
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte		0,6912
		Área Aberturas orientação Sul		0
		Área Aberturas orientação Leste		16,2056
		Área Aberturas orientação Oeste		5,22
		A2/A1		0,364762798
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?		Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC		4
		Nº Banheiros com ventilação natural		0
Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?			Não	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH		Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
	Envoltória para Verão	C	C
		2,51	2,51
	Envoltória para Inverno	C	C
	3,32	3,32	
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	C	
	2,64	2,64	

Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos	Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
		C	C
		2,80	2,80

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

#### 4.3 Classificação do sistema de aquecimento de água

O aquecimento de água foi o item que obteve a classificação mais baixa da classificação final, devido ao aquecimento ser feito apenas por chuveiro elétrico de 5500W e suas tubulações serem em PVC e não possuírem isolamento adequado, como mostrado na tabela 17 abaixo:

Tabela 17 – Análise do aquecimento de Água

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m <sup>2</sup> K)/W ?	Sim
	Atende?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Sim
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	1
	Espessura do isolamento (cm)	0
	Conductividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	
	Atende?	Não
	<b>A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:</b>	<b>C</b>

<b>Sistema de Aquecimento Elétrico</b>		
Aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas	Insira a Potencia Máxima do Equipamento (W)	5500
	Demanda	100%
	<b>Classificação</b>	<b>E</b> 1
Aquecedor elétrico de Hidromassagem	Insira a Potencia Máxima do Equipamento (W)	
	Demanda	
	<b>Classificação</b>	
Aquecedores elétricos por acumulação (Boiler)	Escolha uma opção ao lado:	
	Demanda	
	<b>Classificação</b>	
Caldeiras a óleo	Apresenta Caldeira a óleo?	
	Demanda	
	<b>Classificação</b>	
<b>Nota final para o aquecimento de água</b>		<b>E</b> 1,00

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

#### 4.4 Bonificações obtidas

A UH consegue pontuar apenas em 3 bonificações. Como a maioria dos ambientes analisados não possuem ventilação natural adequada, a área de fachada total das orientações Norte, Sul, Leste e Oeste não pontuam em relação à porosidade. Além disso, apenas os Quartos 09 e 10, possuem venezianas em suas janelas e portas, não conseguindo pontuar nos dispositivos especiais das bonificações.

Já em relação a bonificação da iluminação natural, a edificação pontua apenas na profundidade, enquanto que não consegue pontuar no quesito de refletância do teto maior que 0,6, já que uma boa parte dos cômodos analisados apresentam o forro em madeira escura.

No uso racional da água, a edificação consegue pontuar apenas por meio do regulador de vazão presente na pia da cozinha. Sua pontuação baixa se deve em relação à quantidade de cubas, pias, chuveiros e vasos sanitários presentes na república e a presença de apenas um equipamento economizador de água.

- Por fim, a última pontuação por bonificação é a de iluminação artificial, devido aos moradores utilizarem 100% de lâmpadas com eficiência superior a 75lm/W, sendo que apenas a lâmpada LED da boate possui 80lm /W, enquanto todos os outros cômodos possuem lâmpadas com 101 lm /W. Ou seja, todos os ambientes possuem iluminação superior a 75 lm/W, como especificado na tabela abaixo:

Tabela 18 – Características das lâmpadas da república Pulgatório

Ambiente	Tipo de lâmpada	Marca	Modelo	N °	Tensão (V)	W
Sala, copa, cozinha, área de serviço e corredor (conjugados).	LED	Osram	Classic A E27 806_8W	8	110V/220V (Bivolt)	8
Banheiros e Lavabos	LED	Osram	Classic A E27 806_8W	1	110V/220V (Bivolt)	8

Sala de informática	LED	Osram	Classic A E27 806_8W	1	110V/220V (Bivolt)	8
Boate	LED	Osram	Bulbo RGBW E27 600_7,5W	3	100V/240V (Bivolt)	7,5
Quarto 01	LED	Osram	Classic A E27 806_8W	2	110V/220V (Bivolt)	8
Quartos	LED	Osram	Classic A E27 806_8W	1	110V/220V (Bivolt)	8
Área de Circulação (Pavto Superior e Térreo)	LED	Osram	Classic A E27 806_8W	1	110V/220V (Bivolt)	8
Área de Circulação (Segundo e Terceiro Pavimentos)	LED	Osram	Classic A E27 806_8W	2	110V/220V (Bivolt)	8

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A classificação das bonificações é apresentada em detalhes na tabela 19 abaixo:

Tabela 19 – Análise das Bonificações

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0,6912
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	16,2056
		AATVO (m²)	5,22
		ATFN (m²)	136,084
		ATFS (m²)	38,8942
		ATFL (m²)	60,4757
		ATFNO (m²)	129,212
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	0,5%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	26,8%
		Porosidade Oeste	4,0%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não	
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Não
		Quais dispositivos?	Venezinas fixas, sombreamento por beiral e varanda
		Bonificação	0
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não	
	Bonificação	0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Não
Bonificação		0	
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0,003
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	1
		Bonificação	0,1
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
		Bonificação	0
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Não
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Não
		Bonificação	0
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Não
Bonificação		0	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,303</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

#### 4.5 Classificação final da UH

A tabela abaixo representa o resultado final para a classificação da UH, que obteve na envoltória a classificação C, mas que devido à pontuação do aquecimento de água cair para E, a classificação final da república Pulgatório foi limitada para D (2,49).

Tabela 20 – Análise da classificação final da UH

Pontuação Total	Identificação	República Pulgatório
	Envoltória para Verão	C 2,51
	Envoltória para Inverno	C 3,32
	Aquecimento de Água	E 1,00
	Equivalente numérico da envoltória	C 2,80
	Envoltória se refrigerada artificialmente	C 2,64
	Bonificações	0,30
	Região	Sudeste
	Coefficiente a	0,65

<b>Classificação final da UH</b>	<b>D</b>
<b>Pontuação Total</b>	<b>2,49</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

As planilhas com os resultados mais detalhados se encontram no APÊNDICE A da monografia.

## 5 PROPOSTAS

Para a melhoria da eficiência energética e do conforto térmico da edificação analisada, serão propostas nesse tópico, intervenções visando uma melhor classificação pelo RTQ-R, que deverão ser atendidas com base em pré-requisitos relacionados a transmitância térmica, capacidade térmica da envoltória, absorvância, área de abertura para ventilação e iluminação naturais e os materiais e estrutura utilizados, respeitando as exigências determinadas para os imóveis tombados em Ouro Preto.

Com o objetivo de conservar seu contexto histórico, cultural e arquitetônico, a república é regulamentada pelo IPHAN 4 312/210 e pela resolução Cuni nº 1.540 - Estatuto das Residências Estudantis de Ouro Preto.

### 5.1 Envoltória

#### 5.1.1 Paredes e aberturas externas

Como a moradia estudantil é uma edificação histórica inserida na área de preservação especial (APE), é exigida a permanência dos sistemas construtivos e estruturais originais, ou seja, os elementos de valor construtivo, estrutural e arquitetônico, inclusive os internos, como compartimentação dos cômodos, forros, pisos, pinturas, escadas, dentre outros, devem ser mantidos ao máximo.

De acordo com o artigo 22 do IPHAN 4 312/210, quaisquer intervenções na República Pulgatório devem permanecer em harmonia de volumetria e orientação espacial em relação às outras edificações, assim como a manutenção das tipologias arquitetônicas predominantes, em relação aos planos, materiais de cobertura, ritmo e proporção de aberturas nas fachadas, cores, gabarito e implantação no lote. A estrutura e os sistemas construtivos da república, caracterizados pela arquitetura colonial devem ser mantidos o máximo possível.

Todavia, apesar de parte da moradia estudantil ter sua estrutura em pau a pique, a ausência de janelas nos quartos 08 e 11, localizados no segundo pavimento, prejudica a circulação adequada do ar e a iluminação no ambiente, deixando os cômodos insalubres. Dessa forma, será proposto a abertura de uma janela de 1,00x1,50m na fachada Oeste desses quartos, de forma que a volumetria, a tipologia arquitetônica e o

entorno não sejam descaracterizados e estejam de acordo com as exigências impostas pelo IPHAN.

Já para os cômodos de permanência prolongada que foram incorporados posteriormente à edificação, que possuem paredes em alvenaria e não possuem aberturas de vãos (Sala de informática, quarto 04, 05 e 12), foram propostas aberturas de janelas de 1,00mx1,50m para propiciar ventilação e iluminação naturais e consequentemente, melhorar a classificação da envoltória desses cômodos pelo RTQ-R.

Além disso, as paredes em alvenaria que separam a copa, a cozinha e a área de serviço (localizadas no primeiro pavimento) serão demolidas, com o objetivo de aumentar a circulação de ar entre os cômodos e melhorar a iluminação, principalmente na área da copa, que não possui abertura externa.

O aproveitamento do porão (atualmente utilizado como boate) é permitido, desde que não haja alteração na configuração externa da edificação. Por isso, será colocado um isolante térmico em poliestireno expandido de 2 cm com gesso acartonado de 1,25 cm apenas na parede Oeste interna (única parede da Boate que está em contato com o ar), para que a transmitância térmica do cômodo passe de 2,60 W/m<sup>2</sup>K para 1,09 W/m<sup>2</sup>K e atenda ao limite mínimo estabelecido pela absorvância térmica da parede em pedra escura (ver Tabela 21). O material proposto para a parede da Boate, além de ser um ótimo isolante térmico também possui função de isolante acústico, e não apresenta patologias referentes à umidade, pois o poliestireno expandido é um material que não absorve água.

Tabela 21 – Densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de materiais

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Isolantes térmicos</b>			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
<b>Gesso</b>			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso: gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84

Fonte: NBR 15220:2, 2013.

Muitos dos cômodos da residência não possuem aberturas externas para ventilação e iluminação naturais, apresentando patologias referentes a mofo gerando insalubridade. O excesso de umidade em ambientes pouco ventilados e iluminados facilita a proliferação de mofo e bactérias, e pode trazer problemas respiratórios e alergias. Por isso, é necessário um ambiente com ventilação natural, arejado, sem mofos e infiltrações. De acordo com a reportagem da folha UOL, de Giovanna Reis (2020), em tempos de Covid-19, a saúde e a renovação do ar na residência são fundamentais para que seus moradores não sofram alguma crise respiratória e possam se manter em isolamento social, sem correr riscos.

A diminuição da umidade e prevenção do mofo presente nos quartos será através da ventilação natural que permitirá maior renovação do ar. As plantas como a samambaia, o lírio da paz e o clorofito também podem são aliados na absorção da umidade. Além disso, a própria técnica de pintura em cal, presente nas edificações antigas da cidade e na própria república, pode ser utilizada com o intuito de evitar o aparecimento e alastramento de bactérias e outros micróbios, pois absorve a umidade e minimiza a formação de manchas e bolhas causadas por infiltrações e, conseqüentemente, permite que a parede respire mais. A tinta em cal além de ser mais econômica, é também ecológica e saudável, já que seus ingredientes são naturais, livres de compostos orgânicos voláteis, metais pesados e substâncias tóxicas.

### 5.1.2 Esquadrias

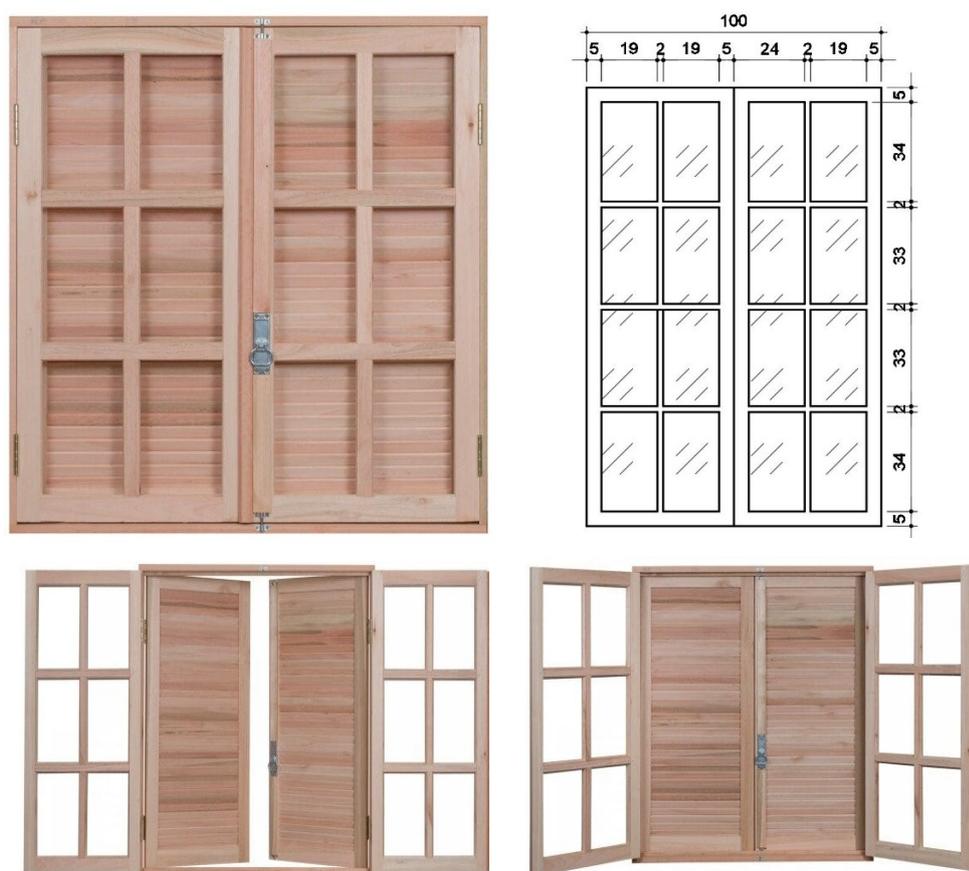
De acordo com a portaria 4 312/210 do IPHAN, as esquadrias devem ser de madeira e manter o ritmo, o alinhamento e a proporção das aberturas observadas na face de quadra.

Por isso, para propiciar um sombreamento e controle da iluminação e ventilação naturais, as esquadrias novas (citadas no tópico anterior) e todas as esquadrias existentes nas fachadas laterais e posteriores constituídas em janela guilhotina colonial de 1,00x1,20m serão substituídas pela janela de abrir colonial de 1,00x1,50m e terão uma nova folha de janela instaladas em sua estrutura, caracterizada pela janela veneziana colonial em madeira de 1,00x1,50m.

Para não descaracterizar a tipologia arquitetônica colonial presente na república, a folha de janela de abrir 90° terá características da arquitetura barroca de Portugal,

com caixilhos e vidros retangulares, enquanto a outra folha de janela a ser instalada em todas as aberturas laterais e posteriores, terá sua abertura em 90° para fora e deverá ser pintada na cor branca, assim como as esquadrias presentes em sua fachada frontal. Já as molduras externas das janelas deverão ser em madeira e pintadas na cor azul, tonalidade presente na paleta de cores da república (ver Figura 30).

Figura 30 – Janelas coloniais de abrir 90° com 4 folhas (1,00mx1,50m)



Fonte: Site Madeiramadeira, 2021. Modificado pela autora, 2021.

A inserção de novas esquadrias e a substituição das esquadrias existentes deverão ser analisadas pelo IPHAN, na qual vai considerar a análise de faces de quadra onde o edifício está inserido, a tipologia arquitetônica da edificação e os impactos negativos da intervenção na composição das fachadas.

### 5.1.3 Cobertura

De acordo com o artigo 27 do IPHAN, fica estabelecido que a cobertura deve ser

em telha cerâmica, do tipo colonial, com os planos paralelos à via, seguindo o padrão observado na face de quadra e a inclinação média entre 25% e 50%. As características e inclinação da cobertura da república Pulgatório devem ser preservadas, não sendo admitida a construção de terraços superiores com ou sem cobertura e alterações relacionadas às inclinações, cores, diagrama das águas dos telhados e das características originais de suas empenas. Por isso, será proposto a limpeza das telhas cerâmicas, visando uma maior conservação do telhado, que com o acúmulo da sujeira, fica mais propenso à quebra e acúmulo de resíduos em suas telhas.

Dessa forma, como a cobertura onde há forro em madeira não atende aos pré-requisitos dos ambientes analisados no RTQ-R, será instalado entre o forro e a telha existentes, um isolamento térmico em poliestireno expandido de 2 cm, fazendo com que a transmitância térmica da cobertura atenda ao limite máximo de  $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , como calculado por meio do site Projeteee e mostrado na figura abaixo:

Figura 31 – Propriedades térmicas da cobertura após instalação do isolante térmico

CAMADA	MATERIAL	RESISTÊNCIA TÉRMICA	
1	Telha cerâmica   1	0.01	Resistência Térmica Total: <b>1,00</b>
2	Câmara de ar > 5cm Fluxo Descendente   0	0.21	Atraso Térmico $\phi$ (horas): <b>1,7</b>
3	Poliestireno expandido (EPS)   2	0,5000	Capacidade Térmica ( $\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$ ): <b>27,4</b>
4	Forro madeira   1	0.067	Transmitância Térmica ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ): <b>1,0</b>

Fonte: Projeteee, 2021.

Além disso, a cobertura onde há laje em concreto maciço também não atende aos pré-requisitos dos ambientes, dessa forma também será instalado entre a laje e a telha existentes, um isolamento térmico em poliestireno expandido de 2cm, fazendo com que a transmitância térmica diminua e atenda ao limite máximo de  $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , como calculado pelo site Projeteee:

Figura 32 – Propriedades térmicas da cobertura após instalação do isolante térmico

CAMADA	MATERIAL	RESISTÊNCIA TÉRMICA	SEU MATERIAL
1	Telha cerâmica   1	0,01	Resistência Térmica Total: <b>0,99</b> Atraso Térmico $\phi$ (horas): <b>9,0</b> Capacidade Térmica (kJ/m <sup>2</sup> K): <b>259,4</b> Transmitância Térmica (W/m <sup>2</sup> K): <b>1,0</b>
2	Câmara de ar > 5cm Fluxo Descendente   0	0,21	
3	Poliestireno expandido (EPS)   2	0,5000	
4	Concreto maciço   10	0,057	

Fonte: Projeteer, 2021.

### 5.1.4 Pré-requisitos

A classificação da envoltória é apresentada em detalhe no apêndice C. A seguir são apresentados a classificação para verão, inverno e o atendimento aos pré-requisitos dos ambientes após as melhorias propostas:

Tabela 22 – Resumo da classificação dos ambientes

Ambiente	Sala – Copa - Cozinha	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Quarto 4	Quarto 5	Quarto 6	Quarto 7	Quarto 8	Quarto 9	Quarto 10	Quarto 11	Quarto 12	Quarto 13	Sala de informática	Boate
Indicador para resfriamento	C	B	B	A	C	B	C	C	B	C	C	C	A	A	A	A
Consumo relat. aquecimento	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	A	B	B	A	A
Consumo relat.refrigeração		C	C	D	C	D	C	C	C	C	C	E	C	B		
Upar < 3,7 OU 2,5	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
CT par >= 130	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Ucob <= 1,5	S				S	S	S	S	S		S	S				
A vent >= 8%	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N
A ilu >= 12,5%	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	N	N	N
Env. Verão após Pré-Requisitos	C	B	B	A	C	B	C	C	C	C	C	C	A	C	C	C

Env. Inverno após PR	A	A	A	A	B	B	B	B	C	B	B	A	B	C	C	C
Env. Refrigerada artificialmente		C	C	D	C	D	C	C	C	C	C	E	C	C		

Com a colocação das aberturas consegue-se atender ao pré-requisito de ventilação cruzada. Infelizmente não foi considerado possível fazer aberturas para ventilação natural nos banheiros o que limitou a classificação máxima obtida pela envoltória, obtendo uma nota final de 3,56 (ver Tabela 23). No entanto, consideram-se as demais alterações propostas válidas, já que aumentam o desempenho da UH e resolvem os problemas existentes na edificação.

Tabela 23 – Análise dos pré-requisitos da Envoltória e Equivalente Numérico da Envoltória após melhorias

Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Não se aplica
	Medição individual de energia?		Não se aplica
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	3,5112
		Área Aberturas orientação Sul	2,82
		Área Aberturas orientação Leste	16,2056
		Área Aberturas orientação Oeste	11,28
		A2/A1	1,086735449
	Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?		Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	4
		Nº Banheiros com ventilação natural	0
Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?		Não	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH		Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
	Envoltória para Verão	C	C
		3,27	3,27
	Envoltória para Inverno	B	B
		4,06	4,06
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	C	
		2,83	2,83
Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos	Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
		B	B
		3,56	3,56

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

## 5.2 Bonificações

Para diminuir o desperdício de água e aumentar a classificação do RTQ-R em

relação ao uso racional da água, serão implantados resistores de vazão em todos os chuveiros e reguladores de vazão em todas as torneiras presentes na edificação.

Para melhorar a ventilação natural dos cômodos de permanência prolongada, uma alternativa será a implantação de ventiladores de teto com Selo Procel, pois além de propiciar uma maior circulação do ar, também irá melhorar a classificação da moradia estudantil através da bonificação.

Já os refrigeradores antigos presentes na república, serão substituídos por refrigeradores que contenham o Selo Procel, garantindo uma maior economia de energia elétrica para a moradia e pontuando na bonificação referente aos refrigeradores, como pode-se ver na tabela 24 abaixo:

Tabela 24 – Análise das bonificações após melhorias

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m <sup>2</sup> )	3,0912
		AATVS (m <sup>2</sup> )	2,4
		AATVL (m <sup>2</sup> )	16,2056
		AATVO (m <sup>2</sup> )	5,22
		ATFN (m <sup>2</sup> )	136,084
		ATFS (m <sup>2</sup> )	38,8942
		ATFL (m <sup>2</sup> )	60,4757
		ATFNO (m <sup>2</sup> )	129,212
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	2,3%
		Porosidade Sul	6,2%
		Porosidade Leste	26,8%
		Porosidade Oeste	4,0%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não	
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Não
		Quais dispositivos?	Janelas com venezinas, sombreamento por beiral e varanda
		Bonificação	0
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não	
	Bonificação	0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Não
		Bonificação	0
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0,06
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	1
		Bonificação	0,1
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Sim
		Bonificação	0,1
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Não
Bonificação		0	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,56</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

### 5.3 Aquecimento de água

De acordo com o RTQ-R, as tubulações não metálicas para água quente devem possuir uma espessura mínima do isolamento deve de 1,0 cm, para qualquer diâmetro nominal de tubulação, com condutividade térmica entre 0,032 e 0,040 [W/(m.K)]. Dessa forma, todas as tubulações de CPVC serão revestidas com poliestireno, um isolante térmico que possui a função de conservar a energia térmica presente na tubulação (ver Tabela 25).

Para o aquecimento solar em edificações inseridas em áreas de preservação especial, o IPHAN estabelece os seguintes critérios:

A instalação de antenas parabólicas e placas solares de aquecimento será admitida sempre que o impacto dos visuais das coberturas do edifício seja o menor possível se observado a partir de pontos notáveis descritos no inciso anterior. Os equipamentos auxiliares, assim como as caixas d'água, deverão ser instalados somente no entreferro (desvão) das edificações, abaixo dos panos de cobertura, e sem criar volumes próprios.

Como a república está inserida em um entorno onde não há placas solares instaladas, e suas coberturas podem ser vistas de pontos mais altos da cidade, considera-se que a implantação de placas solares causará um grande impacto visual para a APE. Dessa forma, não será proposta a instalação de placas solares na república.

Todavia, para melhorar energeticamente a edificação, o aquecimento elétrico será substituído pelo aquecimento a gás, obtendo a classificação A (mais eficiente) para aquecimento de água. O aquecimento a gás além de ser mais econômico, consegue fornecer um grande volume de água e atingir temperaturas mais altas do que em um chuveiro elétrico e não trazer riscos ao meio ambiente. Segundo o RTQ-R, o sistema de aquecimento a gás possui avaliação de aquecedores classificados pelo PBE e de aquecedores não classificados pelo PBE.

Tabela 25 – Análise do aquecimento de água após melhorias

<b>Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água</b>	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m <sup>2</sup> K)/W?	Sim
	Atende?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Sim
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	1
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	
	Atende?	Sim
	<b>A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:</b>	<b>A</b>
	<b>Nota final para o aquecimento de água</b>	<b>5,00</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

#### 5.4 Resultados do RTQ-R após melhorias

As melhorias na edificação foram implantadas para não impactar tanto no custo da obra e manter ao máximo os sistemas construtivos e estruturais originais. Dessa forma, foi obtida uma nova classificação final da UH (ver Tabela 26), na qual apesar das envoltórias terem tido alguns valores alterados, sua classificação para Verão permaneceu em C, enquanto a Envoltória para Inverno passou para B e o aquecimento de água passou da avaliação E (menos eficiente) para A (mais eficiente), obtendo uma pontuação total de 4,62.

Tabela 26 – Análise da classificação final da UH após melhorias

Pontuação Total	Identificação	República Pulgatório
	Envoltória para Verão	C 3,27
	Envoltória para Inverno	B 4,06
	Aquecimento de Água	A 5,00
	Equivalente numérico da envoltória	B 3,56
	Envoltória se refrigerada artificialmente	C 2,83
	Bonificações	0,56
	Região	Sudeste
	Coefficiente a	0,65

<b>Classificação final da UH</b>	<b>A</b>
<b>Pontuação Total</b>	<b>4,62</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

De acordo com a portaria 4 312/210 do IPHAN, todas as intervenções propostas deverão ser analisadas pelo Iphan, que irão fazer uma avaliação sobre a percepção da face de quadra onde está localizado o edifício, suas características arquitetônicas, os impactos negativos dessas intervenções na composição das fachadas, entre outros critérios que serão determinados a partir das faces de quadra e por iconografia histórica.

Como as intervenções propõem melhorias na funcionalidade e nas condições de habitabilidade da moradia estudantil, serão avaliados de forma discricionária, devido à necessidade e a importância dessas intervenções para a edificação e seus moradores

## 6 CONCLUSÃO

A partir da avaliação da edificação através do método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), conclui-se que a República Pulgatório não possui conforto térmico e nem uma eficiência energética adequada para os seus moradores. Sua envoltória não atendeu os pré-requisitos presentes no RTQ-R relacionados à ZB3, como a transmitância térmica da cobertura em telha cerâmica, ao percentual de abertura para ventilação e iluminação naturais na maioria dos cômodos de permanência prolongada e à transmitância térmica da parede em pedra da Boate, recebendo classificação “C”. Como a tubulação de água não possui isolamento e todos os chuveiros são elétricos, sua classificação para aquecimento de água foi “E”, obtendo uma pontuação final limitada em “D”.

A partir da classificação “D” foi identificada a necessidade de melhorias relacionadas tanto ao aquecimento de água quanto à envoltória. Para isso, foram utilizadas as normas NBR 15575 e NBR 15220, que estabelecem parâmetros, recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações com o objetivo de melhorar o conforto térmico da edificação e de seu usuário.

Como a edificação analisada se trata de uma moradia estudantil tradicional, localizada no centro histórico da Cidade de Ouro Preto, a república possui uma tipologia arquitetônica colonial de Portugal e está inserida em uma APE. Dessa forma, as possibilidades de intervenção na envoltória são limitadas pelas legislações de preservação do patrimônio histórico, englobando propostas de intervenção mais simples e que estejam dentro das leis impostas pelo IPHAN e do orçamento dos seus moradores.

Apesar de a moradia estudantil ter aumentado sua classificação para “B”, há muito o que ser melhorado, mas que devido às restrições impostas pela área de preservação especial (APE) e pela questão econômica dos seus moradores, algumas alternativas de intervenções não seriam passíveis de aprovação e execução.

Como há uma falta de critérios quantitativos e de uma normativa detalhada na avaliação energética em edificações históricas, há uma dificuldade em apresentar melhorias e soluções utilizando parâmetros do RTQ-R e alcançar o nível mais alto da

certificação energética. Por isso, é necessário avaliar individualmente cada edificação histórica, pois cada construção possui características, revestimentos e técnicas construtivas de acordo com o período em que foi construído e um nível de tombamento diferentes, para que assim, sejam propostas melhorias em seu conforto e eficiência energética sem descaracterizar os elementos arquitetônicos e a envoltória que tornam esse edifício importante historicamente.

Com isso, constata-se a importância de uma correta decisão de projeto por parte dos profissionais, desde a utilização de técnicas e estratégias construtivas adequadas, de acordo com a Zona bioclimática em que o projeto será inserido, até a escolha dos materiais e equipamentos presentes na residência, levando em consideração as propriedades térmicas e características específicas de cada material e como elas influenciam no conforto e consumo do ambiente, para que assim, consiga impactar na redução do gasto de energia e água e melhorar significativamente a eficiência energética da edificação e gerar um maior conforto e qualidade de vida para os seus usuários.

## 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edifícios habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

ATOS ENGENHARIA. **Construção Bioclimática**, 2020. Disponível em <<https://atosarquitectura.com.br/construcao-bioclimatica/>>. Acesso em 20 jun. 2021.

BRASIL. A. Eletrobras/ Procel Edifica, Inmetro e CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro, setembro de 2013.

BRASIL, INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMATIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R. Brasil, Eletrobrás/Inmetro, 2012.

BISTAFA, Sylvio. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2010.

CAMOUS, R.; WATSON, D. **L'habitat bioclimatique: De la conception à la construction. L'Étincelle**, 1979.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, CB3E. **Diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações residenciais – Zona bioclimática 3**. 2021

CLIMATE CONSULTANT. **Climate consultant**. Disponível em <[http://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_3\\_South\\_America/BRA\\_Brazil/index.html#IDMG\\_Minas\\_Gerais->](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html#IDMG_Minas_Gerais->). Acesso em 17 jun. 2021.

COSTA, Staël de Alvarenga Pereira; NETTO, Maria Manoela Gimmler. **Fundamentos de Morfologia Urbana**. Belo Horizonte: C/arte, 2015

DE MARCO, Conrado S. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982.

DUTRA, Luciano. **Apostila de Sistemas de Controle Ambiental V Acústica**. Disciplina do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

EPE. **Balanco Energético Nacional**, 2020. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020->>. Acesso em 02 abr. 2021.

FERRARI, Suellen. **Arquitetura residencial mineira nos séculos XVIII e XIX: Adequação aos novos usos**. Monografia (Tecnólogo em Conservação e Restauração de Imóveis) - Instituto Federal Minas Gerais – Campus Ouro Preto. Ouro Preto, p. 102. 2010.

FERREIRA, Dilson B. **Por uma Arquitetura Bioclimática Brasileira**. Disponível em <[https://www.aecweb.com.br/cont/a/por-uma-arquitetura-bioclimatica-brasileira\\_10869](https://www.aecweb.com.br/cont/a/por-uma-arquitetura-bioclimatica-brasileira_10869)>. Acesso em 08 mar. 2021.

FÓRUM DA CONSTRUÇÃO. **Conforto ambiental e saúde**, 2021. Disponível em <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=4&Cod=1916>>. Acesso em 15 abr. 2021.

FILHO, Nestor Goulart Reis. **Quadro da Arquitetura no Brasil**. Perspectiva, 1978.

FONSECA, Juliano de C. **Juventudes: uma leitura sobre a interação entre estudantes universitários em Ouro Preto/MG**, 2016. Disponível em <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-BBXHAX/1/dirce\\_ju.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-BBXHAX/1/dirce_ju.pdf)>. Acesso em 10 mar. 2021.

GARROCHO, Juliana. **Luz Natural e projeto de arquitetura: Estratégias para iluminação zenital em Centros de compra**. Brasília, 2005. 129 p. Dissertação, Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Disponível em <[http://www.unb.br/fau/posgraduacao/cadernos\\_eletronicos/edição2002.html](http://www.unb.br/fau/posgraduacao/cadernos_eletronicos/edição2002.html)>. Acesso em 18 mar. 2021.

HOPKINSON, R. G; PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1975.

IBGE. **Panorama da cidade de Ouro Preto**, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ouro-preto/panorama>>. Acesso em 15 jun. 2021.

IPHAN. Portaria 312 de 20 de outubro de 2010. **Dispõe sobre os critérios para a preservação do Conjunto Arquitetônico e Urbanístico de Ouro Preto em Minas Gerais e regulamenta as intervenções nessa área protegida em nível federal**, 2010.

LAMBERTS, Roberto, et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. 1ª Ed. Vol. 1. Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente\\_vol\\_I\\_WEB.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_I_WEB.pdf)>. Acesso em: 01 nov. 2021.

MACHADO, Otávio Luis. **As Repúblicas Estudantis da Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil**, 2013. Disponível em <<https://journals.openedition.org/rccs/1174#bibliography>>. Acesso em 07 mar. 2021.

MAIZTEGUI, Belén. **Arquitetura bioclimática na América Latina: estratégias passivas para economizar energia**, 2021. Disponível em <

<https://www.archdaily.com.br/br/957671/arquitetura-bioclimatica-na-america->

latinaestrategias-passivas-para-economizar-energia>. Acesso em 16 mar. 2021.

MARQUES, Luísa. **Investigação sobre o comportamento térmico do adobe para as necessidades climáticas e normativas brasileiras**. Monografia (Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído) - Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.71. 2018

MENICONI, Rodrigo Otávio. **A construção de uma cidade monumento: o caso de Ouro Preto**. Belo Horizonte, 1999. 156 p. Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Minas Gerais.

NESTOR FILHO, GOULART REIS. **Quadro da Arquitetura no Brasil**. Perspectiva, 1978.

NUNES, Cristiane. **A importância da ventilação natural para a arquitetura sustentável**, 2014. Disponível em <<https://sustentarqui.com.br/importancia-da-ventilacaonatural-para-arquitetura-sustentavel/>>. Acesso em 17 mar. 2021.

OLARTECHEA, M; CALLEJAS, I. J. A; DURANTE, L. C; ROSSETI, K. A. C; LIMA, M. J. S. de. **Impactos da incorporação de diretrizes construtivas bioclimáticas no desempenho termoenergético de habitação de interesse social (ZB 07)**. ENCAC, ELACAC. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. FAU USP, São Paulo, 2015. Disponível em:< <http://www.infohab.org.br/encac/files/2015/topico4artigo37.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2021.

OURO PRETO. **Cidade patrimônio cultural da humanidade**, 2021. Disponível em < <https://www.ouropreto.com.br/dados-gerais>>. Acesso em 15 de jun. 2021.

PBE EDIFICA. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

PEREIRA, Matheus. **Ventilação cruzada? Efeito chaminé? Entenda alguns conceitos de ventilação natural**, 2020. Disponível em < <https://www.archdaily.com.br/br/886541/ventilacao-cruzada-efeito-chamine-entenda-algunsconceitos-de-ventilacao-natural>>. Acesso em 17 mar. 2021.

PRADO, Eduardo. **O que é Arquitetura Bioclimática e Quais Suas Características**, 2018. Disponível em < [https://www.homify.com.br/livros\\_de\\_ideias/5725210/o-que-e-arquitetura-bioclimatica-e-quais-suas-caracteristicas](https://www.homify.com.br/livros_de_ideias/5725210/o-que-e-arquitetura-bioclimatica-e-quais-suas-caracteristicas) >. Acesso em 15 mar. 2021.

PROCEL INFO. **Etiquetagem de edificações**, 2006. Disponível em < <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>. Acesso em 22 jun. 2021.

REIS, Giovanna. **Falta de ventilação e mofo aumentam risco de contágio em 11 milhões de habitações**, 2020. Disponível em <<https://www1.folha.uol.com.br/empreendedorsocial/2020/04/falta-de-ventilacao-e-mofo-aumentam-risco-de-contagio-em-11-milhoes-de-habitacoes.shtml>>. Acesso em 19 jun. 2021.

SANTA, Fabiana. **Arquitetura Bioclimática: Projetos que trabalham com a Natureza**, 2017. Disponível em <<https://www.revistahabitare.com.br/ecologia/arquitetura-bioclimaticaprojetos-que-trabalham-com-a-natureza/>>. Acesso em 15 mar. 2021.

SOUZA, Adonis Arantes de. **Arquitetura Biocimática**. Laboratório de Fontes Alternativas de Energia - LAFAE/UFRJ, 2007 Disponível em <<http://www.dee.ufrj.br/lafae>>. Acesso em 08 mar. 2021.

SOUZA, Léa; ALMEIDA, Manuela; BRAGANÇA, Luís. **Bê-a-bá da Acústica Arquitetônica**. Bauru: L. C. L. Souza, 2003.

TORRES, Daniela de Araujo. **Desempenho Térmico de Habitações Populares em Alagoas: Alternativas para adequação climática**. Dissertação de Mestrado apresentada à faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2015, 142 p. Disponível em:<<http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1292/1/Desempenho%20termico%20de%20habitacoes%20populares%20em%20Alagoas....pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

TREICHEL, Suzana Zehetmeyer; SILVA, Antônio Cesar Silveira Baptista da; OLIVEIRA, Ana Lúcia Costa de. **Conforto térmico da arquitetura vernacular produzida pelos descendentes da Pomerânia no sul do Brasil**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção: Campinas, SP, v. 10, p. e019003, jan. 2019. ISSN 1980-6809.

UFOP. **Resolução CUNI n. 1.540. 2017a.** Disponível em <[http://www.soc.ufop.br/public/files/RESOLUCAO\\_CUNI\\_1540.pdf](http://www.soc.ufop.br/public/files/RESOLUCAO_CUNI_1540.pdf). > Acesso em: 31 jul. 2018.

VASCONCELLOS, Sylvio de. **Arquitetura no Brasil: sistemas construtivos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1979.

VIANNA, N. e GONÇALVES, J. **Iluminação e Arquitetura**. UniABC Virtus. São Paulo, 2004.

WIKIPÉDIA. **Ouro Preto**, 2021. Disponível em <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Ouro\\_Preto](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ouro_Preto)>. Acesso em 20 mai. 2021.

## APÊNDICE A

Tabela 27 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes I

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB3
Ambiente	Identificação	adimensional	Sala - Área de Circulação - Copa - Cozinha - Área de Serviço
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	68,80
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0,5
	Contato com solo	adimensional	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	1,90
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	23,83
	acob	adimensional	0,80
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	1,62
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	425,43
	qpar	adimensional	0,16
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0
	CTalta	binário	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	37,77
	SUL	m <sup>2</sup>	
	LESTE	m <sup>2</sup>	1,37
Áreas de Aberturas Externas	OESTE	m <sup>2</sup>	25,04
	NORTE	m <sup>2</sup>	2,32
	SUL	m <sup>2</sup>	
Características das Aberturas	LESTE	m <sup>2</sup>	
	OESTE	m <sup>2</sup>	
	Fvent	adimensional	0,39
Características Gerais	Somb	adimensional	0,18
	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	152,13
	Pé Direito	m	3,80
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	C altura	adimensional	0,055
	isol	binário	
	vid	binário	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	
	GHR	°C.h	D 3060
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	A 6,344
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica 0,000
Pré-requisitos por ambiente			
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	425,43
		Upar, CTpar e qpar atendem?	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Não
		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 <sup>2</sup> ]	6,3968
		Ai/Auamb (%)	12,93
		Atende 12,5%?	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	4,1248
		Av/Auamb (%)	8,34
		Atende % mínima?	Sim
		Tipo de abertura	Guilhotina dupla e basculante
		Abertura passível de fechamento?	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C? Atende?	Não Sim
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente		
	Envoltória para Verão	C	D
		2,56	2,00
	Envoltória para Inverno	C	C
3,32		3,00	
Envoltória se Refrigeração Artificialmente	C	Não se aplica 0,00	
	2,64		

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

Tabela 28 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes II

ZB3	ZB3	ZB3	ZB3
Sala de Informática	Boate (Semi-enterrada)	Quarto 01	Quarto 02
14,88	61,79	25,02	15,66
0	0	0	0
0	1	0	0
0	0	0	0
1,50	2,60	1,62	1,62
161,10	579,60	425,43	425,43
0,16	0,78	0,16	0,16
0	0	0	0
0	1	1	1
15,36			
		10,68	10,68
	8,97		
		3,00	3,00
0,00	0,00	0,75	0,75
0,00	0,00	0,00	0,00
32,10	11,45	62,22	44,64
3,20	2,60	3,80	3,80
0,215	0,042	0,152	0,243
<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>2212</b>	<b>53</b>	<b>1017</b>	<b>1360</b>
<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
<b>7,828</b>	<b>4,570</b>	<b>5,944</b>	<b>5,702</b>
<b>Não se aplica</b>	<b>Não se aplica</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>13,507</b>	<b>17,332</b>
<b>161,10</b>	<b>579,60</b>	<b>425,43</b>	<b>425,43</b>
<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>
		2,698	2,698
0,00	0,00	17,99	17,99
não	não	sim	sim
		2,35	2,35
0,00	0,00	15,67	15,67
Não	Não	Sim	Sim
		Abrir 90°	Abrir 90°
		Sim	Sim
Não	Não	Não	Não
Não	Não	Sim	Não
<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>
<b>C</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>
<b>Não se aplica</b>	<b>Não se aplica</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

Tabela 29 – Análise da Envolvória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes III

ZB3	ZB3	ZB3	ZB3
Quarto 03	Quarto 04	Quarto 05	Quarto 06
7,95	9,62	7,82	8,51
0	1	1	1
0	0	0	0
0	0	0	0
	2,05	2,05	2,05
	238,00	238,00	238,00
	0,80	0,80	0,80
1,50	1,50	2,46	1,50
161,10	161,10	150,00	161,10
0,16	0,16	0,16	0,16
0	0	0	0
0	0	0	0
	10,06	9,25	9,57
	0,95		
8,40			5,87
1,20			1,20
0,48	0,00	0,00	0,48
0,24	0,00	0,00	0,00
24,46	20,99	20,29	15,20
3,20	2,72	2,72	2,72
0,403	0,283	0,348	0,320
<b>C</b>	<b>E</b>	<b>E</b>	<b>D</b>
1872	3630	3666	3220
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
5,037	10,364	8,889	9,689
<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>
21,957	17,790	20,553	19,443
<b>161,10</b>	<b>161,10</b>	<b>150,00</b>	<b>161,10</b>
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>
1,005			1,005
12,64	0,00	0,00	11,81
sim	não	não	não
0,57			0,57
7,17	0,00	0,00	6,70
Não	Não	Não	Não
Guilhotina dupla			Guilhotina dupla
Sim			Sim
Não	Não	Não	Não
Sim	Não	Não	Sim
<b>C</b>	<b>E</b>	<b>E</b>	<b>D</b>
3,00	1,00	1,00	2,00
<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
5,00	3,00	3,00	3,00
<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>
2,00	2,00	2,00	2,00

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

Tabela 30 – Análise da Envolvória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes IV

ZB3	ZB3	ZB3	ZB3
Quarto 07	Quarto 08	Quarto 09	Quarto 10
10,95	14,56	15,81	14,06
1	1	1	1
0	0	0	0
0	0	0	0
2,05	2,02	2,02	2,02
238,00	26,00	26,00	26,00
0,80	0,80	0,80	0,80
1,86	2,28	2,28	2,28
158,81	255,00	255,00	255,00
0,16	0,16	0,16	0,16
0	0	0	0
0	0	0	0
8,21			
		6,26	8,11
8,73	9,84		
		3,70	6,10
1,20			
0,48	0,00	0,90	0,90
0,00	0,00	0,50	0,50
16,67	33,57	35,74	29,73
2,72	2,93	2,93	2,93
0,248	0,201	0,185	0,208
<b>E</b>	<b>E</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>3477</b>	<b>3325</b>	<b>2346</b>	<b>2451</b>
<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>9,396</b>	<b>10,810</b>	<b>9,692</b>	<b>9,663</b>
<b>D</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>17,803</b>	<b>15,375</b>	<b>15,449</b>	<b>17,326</b>
<b>158,81</b>	<b>255,00</b>	<b>255,00</b>	<b>255,00</b>
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>	<b>Não</b>
Sim	Sim	Sim	Sim
Não	Não	Não	Não
1,005		3,478	5,734
9,18	0,00	23,19	40,78
não	não	sim	sim
0,57		3,478	5,734
5,21	0,00	23,19	40,78
Não	Não	Sim	Sim
Guilhotina dupla		Abrir 90°	Abrir 90°
Sim		Sim	Sim
Não	Não	Não	Não
Sim	Não	Sim	Sim
<b>E</b>	<b>E</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>
<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>
<b>D</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>2,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

Tabela 31 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes V

ZB3	ZB3	ZB3
Quarto 11	Quarto 12	Quarto 13
6,01	9,58	13,90
1	0	0
0	1	1
0	0	0
2,02		
26,00		
0,80		
2,28	1,30	2,01
255,00	167,10	156,69
0,16	0,16	0,16
0	0	0
0	0	0
		5,31
	8,01	10,40
10,69		10,88
		1,20
0,00	0,00	0,48
0,00	0,00	0,00
19,10	29,91	15,70
2,93	3,18	3,18
0,488	0,332	0,229
<b>E</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>3682</b>	<b>1578</b>	<b>1799</b>
<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>7,531</b>	<b>10,456</b>	<b>12,730</b>
<b>F</b>	<b>C</b>	<b>B</b>
<b>24,913</b>	<b>14,455</b>	<b>11,605</b>
<b>255,00</b>	<b>167,10</b>	<b>156,69</b>
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Não</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
Sim	Sim	Sim
Não	Não	Não
		1,005
0,00	0,00	7,23
não	não	não
		0,57
0,00	0,00	4,10
Não	Não	Não
		Guilhotina dupla
		Sim
Não	Não	Não
Não	Não	Sim
<b>E</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
1,00	3,00	3,00
<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
3,00	3,00	3,00
<b>E</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
1,00	3,00	3,00

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 202

## APÊNDICE B

Tabela 32 – Memória de cálculo do RTQ-R

Ucob	
Quartos 04, 05, 06, 07	Tabelado – 2,05
Quartos 08, 09, 10, 11	Tabelado – 2,02
Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço	Ponderação – $1,75 \times 29,35 + 2,02 \times 39,45 / 29,35 + 39,45 =$ $= 130,9 / 68,8 = 1,90$

CTcob	
Quartos 04, 05, 06, 07	Tabelado – 238,00
Quartos 08, 09, 10, 11	Tabelado – 26,00
Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço	Ponderação – $= 1639,74 / 68,8 = 23,83$

αcob	
Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço, Quartos 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11	Tabelado – 0,8

Upar	
Quarto 01, 02, Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço	$0,25 / 0,56 = 0,44$ $0,44 + 0,13 + 0,04 = Rt = 0,61$ $1 / 0,61 = 1,62 -$
Quarto 03, 04, 06, Sala de informática	Tabelado – 1,50
Quarto 05	Tabelado – 2,45
Quarto 07	Ponderação – $8,21 \times 2,46 + 8,73 \times 1,3 / 8,21 + 2,46 = 1,86$
Quarto 08, 09, 10, 11	Tabelado – 2,28
Quarto 12	Tabelado – 1,30
Quarto 13	Ponderação – $8,68 \times 1,3 + 14,47 \times 2,46 / 167,1 + 150 = 2,01$
Boate (Semi-enterrada)	$0,3 / 1,40 = 0,214$ $0,214 + 0,13 + 0,04 = Rt = 0,384$ $1 / 0,384 = 2,60$

CTpar	
-------	--

Quarto 01, 02, Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço	$1700 \times 1,001 \times 0,25 = 425,43$
Quarto 03, 04, 06, Sala de informática	Tabelado – 161,10
Quarto 05	Tabelado – 150,00
Quarto 07	Ponderação – $8,21 \times 150 + 8,73 \times 167,1 / 8,21 + 8,73 = 158,81$
Quarto 08, 09, 10, 11	Tabelado – 255,00
Quarto 12	Tabelado – 167,10
Quarto 13	Ponderação – $8,68 \times 167,1 + 14,47 \times 150 / 167,1 + 150 = 156,69$
Boate (Semi-enterrada)	$2300 \times 0,84 \times 0,3 = 579,60$

αpar	
Quarto 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço e Sala de informática	Tabelado – 0,16
Boate (Semi-enterrada)	Tabelado – 0,78

Área de paredes externas	
Quarto 01	Leste – $(3,6 \times 3,8) - (1 \times 1,5 + 1 \times 1,5) = 10,68$
Quarto 02	Leste – $(3,6 \times 3,8) - (1 \times 1,5 + 1 \times 1,5) = 10,68$
Quarto 03	Oeste – $(3 \times 3,2) - (1 \times 1,2) = 8,40$
Quarto 04	Sul – $(3,7 \times 2,72) = 10,06$ Leste – $(0,35 \times 2,72) = 0,95$
Quarto 05	Norte – $(3,4 \times 2,72) = 9,25$
Quarto 06	Sul – $(3,52 \times 2,72) = 9,57$ Oeste – $(2,6 \times 2,72) - (1 \times 1,2) = 5,87$
Quarto 07	Norte – $(3,02 \times 2,72) = 8,21$ Oeste – $(3,65 \times 2,72) - (1 \times 1,2) = 8,73$
Quarto 08	Oeste – $(3,36 \times 2,93) = 9,84$
Quarto 09	Leste – $(3,4 \times 2,93) - (1 \times 2,4 + 1 \times 1,3) = 6,26$
Quarto 10	Leste – $(4,85 \times 2,93) - (1 \times 1,3 + 1 \times 2,4 + 1 \times 2,4) = 8,11$
Quarto 11	Oeste – $(3,65 \times 2,93) = 10,69$
Quarto 12	Sul – $(2,52 \times 3,18) = 8,01$
Quarto 13	Norte – $(1,67 \times 3,18) = 5,31$ Sul – $(3,27 \times 3,18) = 10,40$ Oeste – $(3,8 \times 3,18) - (1 \times 1,2) = 10,88$

Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço	Norte – $(4,8+3+2,75) \times 3,8 - (1,45 \times 0,8 + 1,45 \times 0,8) = 37,77$ Leste – $(1,07 \times 3,8) - (1 \times 2,7) = 1,37$ Oeste – $(1,17 + 0,95 + 5,1) \times 3,8 - (1 \times 1,2 + 1 \times 1,2) = 25,04$
Boate (Semi-enterrada)	Oeste – $(3,45 \times 2,6) = 8,97$
Sala de informática	Norte – $(4,8 \times 3,2) = 15,36$

Área de aberturas externas	
Quarto 01	Leste – $(1 \times 1,5 + 1 \times 1,5) = 3,00$
Quarto 02	Leste – $(1 \times 1,5 + 1 \times 1,5) = 3,00$
Quarto 03	Oeste – $(1 \times 1,2) = 1,2$
Quarto 06	Oeste – $(1 \times 1,2) = 1,2$
Quarto 07	Oeste – $(1 \times 1,2) = 1,2$
Quarto 09	Leste – $(1 \times 1,3) + (1 \times 2,4) = 3,70$
Quarto 10	Leste – $(1 \times 1,3) + 4,8 = 6,10$
Quarto 13	Oeste – $(1 \times 1,2) = 1,2$
Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço	Norte – $(1,45 \times 0,8 + 1,45 \times 0,8) = 2,32$ Oeste – $(1 \times 1,2 + 1 \times 1,2) = 2,40$

Características das aberturas	
Fvent	Quartos 01, 02 – $(0,9 \times 1,25) / (1 \times 1,5) = 0,75$ Quartos 03, 07, 13 – $(1 \times 0,57) / (1 \times 1,2) = 0,48$ Quarto 09, 10 – $(0,9 \times 1,3) / (1 \times 1,3) = 0,9$ Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço – $1,8312 / 4,72 = 0,39$
Somb	Quartos 09 e 10 – (Venezianas cobrindo apenas 50%) - 0,50 Quarto 03 – $\alpha = 4,575^\circ / \gamma_d = 27,26^\circ / \gamma_e = 11,64^\circ =$ $4,575^\circ + 27,26^\circ + 11,64^\circ / 65^\circ + 35^\circ + 20^\circ = 0,362 =$ $0,75 \text{ ----- } 0,5$ $0,362 \text{ ----- } x$ $X = 0,24$ Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço – $\alpha = 8,89^\circ / \gamma_d = 37,88^\circ / \gamma_e = 20,80^\circ =$ $8,89^\circ + 35^\circ + 20^\circ / 65^\circ + 35^\circ + 20^\circ = 0,532 =$ $0,75 \text{ ----- } 0,5$ $0,532 \text{ ----- } x$ $X = 0,354$

	Ponderação $0,354 \times 1,2 + 0,354 \times 1,2 + 0 \times 1,16 + 0 \times 1,16 / 1,2 + 1,2 + 1,16 + 1,16 =$ $= 0,84 / 4,72 = 0,18$	-
--	---	---

Área de paredes internas	
Quarto 01	$(3,6 + 6,94 + 6,94) \times 3,80 - (1 \times 2,1 + 1 \times 2,1) = 62,22$
Quarto 02	$(4,35 + 4,35 + 3,6) \times 3,8 - (1 \times 2,1) = 44,64$
Quarto 03	$(3 + 2,65 + 2,65) \times 3,2 - (1 \times 2,1) = 24,46$
Quarto 04	$(3,7 + 2,6 + 2,25) \times 2,72 - (0,7 \times 2,1 + 1 \times 0,8) =$ 20,99
Quarto 05	$(2,3 + 2,3 + 3,4) \times 2,72 - (0,7 \times 2,1) = 20,29$
Quarto 06	$(3,02 + 1,3 + 0,51 + 1,3) \times 2,72 - (0,7 \times 2,1) = 15,20$
Quarto 07	$(3,02 + 3,65) \times 2,72 - (0,7 \times 2,1) = 16,67$
Quarto 08	$(4 + 4,26 + 3,7) \times 2,93 - (0,7 \times 2,1) = 33,57$
Quarto 09	$(3,4 + 4,65 + 4,65) \times 2,93 - (0,7 \times 2,1) = 35,74$
Quarto 10	$(2,9 + 4,85 + 2,9) \times 2,93 - (0,7 \times 2,1) = 29,73$
Quarto 11	$(3,65 + 1,65 + 1,65) \times 2,93 - (0,6 \times 2,1) = 19,10$
Quarto 12	$(3,8 + 3,8 + 2,52) \times 3,18 - (0,7 \times 2,1 + 1 \times 0,8) =$ 29,91
Quarto 13	$(3,8 + 1,6) \times 3,18 - (0,7 \times 2,1) = 15,70$
Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço	$(1,8 + 1,3 + 2,75 + 3 + 0,75 + 0,15 + 0,5 + 1,4 + 0,23 +$ $0,5 + 0,15 + 0,5 + 3,75 + 1,9 + 3,55 + 0,2 + 0,15 + 1,9$ $7 + 0,15 + 2,1 + 2,1 + 3,05 + 0,15 + 1,15 + 0,65 + 0,1$ $5 + 0,65 + 1,75 + 1,15 + 0,15 + 1,15 + 0,5 + 0,15 + 0,$ $5 + 2,4) \times 3,8$ $(1 \times 2,1 + 1 \times 2,1 + 1 \times 2,1 + 0,6 \times 2,1 + 0,6 \times 0,6 + 0,6 \times$ $2,1) = 152,13$
Boate (Semi-enterrada)	$(5,05 \times 2,6) - (0,8 \times 2,1) = 11,45$
Sala de informática	$(3,1 + 3,1 + 4,8) \times 3,2 - (1,25 \times 0,8 + 1 \times 2,1) = 32,10$

Área de abertura para iluminação natural	
Quartos 01, 02	$(0,058 \times 3 + 1,175) \times 2 = 2,698$
Quarto 03, 06, 07, 13	$(0,57 \times 1) + (0,29 \times 0,25) \times 6 = 1,005$
Quarto 09	$(0,94 \times 1,3) + (2,4 \times 0,94) = 3,478$
Quarto 10	$(0,94 \times 1,3) + (2,4 \times 0,94) \times 2 = 5,734$

Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço	$(0,1064+0,1672+0,686)\times 2+1,005\times 2+(0,29\times 0,2)\times 3+0,94\times 2,44=6,3968$
--	---

Área de abertura para ventilação natural	
Quartos 01, 02	$(0,94\times 1,25)\times 2= 2,35$
Quarto 03, 06, 07, 13	$(1\times 0,57)= 0,57$
Quarto 09	$(0,94\times 1,3)+(0,94\times 2,4)= 3,478$
Quarto 10	$(0,94\times 1,3)+(2,4\times 0,94)\times 2= 5,734$
Sala, área de circulação, copa, cozinha, área de serviço	$(1\times 0,57)\times 2+(0,3456)\times 2+2,44\times 0,94= 4,1248$

Pré – Requisitos da Envoltória – Ventilação cruzada	
Área aberturas orientação Norte	$0,3456\times 2= 0,6912$
Área aberturas orientação Sul	0
Área aberturas orientação Leste	$(7,144)+(2,44\times 0,94)+(0,94\times 2,4)\times 3= 16,2056$
Área aberturas orientação Oeste	$0,87\times 6= 5,22$

Bonificações - Porosidade	
Área total de fachada na direção Norte (ATFN)	$11,09\times 3,8+9,21\times 2,82+11,01\times 3,3+9,36\times 3,38= 136,084$
Área total de fachada na direção Sul (ATFS)	$9,31\times 2,82+9,36+3,28= 38,8942$
Área total de fachada na direção Leste (ATFL)	$9,06\times 3,8+8,89\times 2,93= 60,4757$
Área total de fachada na direção Oeste (ATFNO)	$3,28\times 6,64+2,82\times 6,79+3,3\times 5,35+3,8\times 9,06+8,9\times 2,93+3,75\times 2,7= 129,212$

Bonificação de uso racional da água	
$0,02\times (1/6)= 0,00285 = 0,003$	

Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W	
$806/8= 100,75= 101 \text{ lm/W}$	
$600/7,5= 80 \text{ lm/W}$	
Resultados maiores que 75 lm/W = 100%	

## APÊNDICE C

Tabela 33 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes I após melhorias

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB3
Ambiente	Identificação	adimensional	Sala - Área de Circulação - Copa - Cozinha - Área de Serviço
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	68,80
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0,5
	Contato com solo	adimensional	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	1,32
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	24,67
	αcob	adimensional	0,80
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	1,62
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	425,43
	αpar	adimensional	0,16
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0
	CTalta	binário	0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	37,77
	SUL	m <sup>2</sup>	
	LESTE	m <sup>2</sup>	1,37
Áreas de Aberturas Externas	OESTE	m <sup>2</sup>	24,44
	NORTE	m <sup>2</sup>	2,32
	SUL	m <sup>2</sup>	
	LESTE	m <sup>2</sup>	
Características das Aberturas	OESTE	m <sup>2</sup>	3,00
	Fvent	adimensional	0,69
	Somb	adimensional	0,50
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	116,41
	Pé Direito	m	3,80
	C altura	adimensional	0,055
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	
	vid	binário	
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	<b>C</b> 1703
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>A</b> 5,726
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica 0,000
<b>Pré-requisitos por ambiente</b>			
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	425,43
		Upar, CTpar e αpar atendem?	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e αcob 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 <sup>2</sup> ]	7,2068
		Ai/Auamb (%)	14,57
		Atende 12,5%?	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	5,8048
		Av/Auamb (%)	11,73
		Atende % mínima?	Sim
		Tipo de abertura	Basculante e Janela de abrir 90° com veneziana (4 folhas)
		Abertura passível de fechamento?	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não
		Atende?	Sim
	<b>Ponderação da nota pela área útil do ambiente</b>		
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Envoltória para Verão	C	C
		3,27	3,00
	Envoltória para Inverno	B	A
		4,06	5,00
Envoltória se Refrigorada Artificialmente	C	Não se aplica	
	2,83	0,00	

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

Tabela 34 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes II após melhorias

ZB3	ZB3	ZB3	ZB3
Sala de Informática	Boate (Semi-enterrada)	Quarto 01	Quarto 02
14,88	61,79	25,02	15,66
0	0	0	0
0	1	0	0
0	0	0	0
1,50	1,09	1,62	1,62
161,10	587,90	425,43	425,43
0,16	0,78	0,16	0,16
0	0	0	0
0	1	1	1
13,86			
		10,68	10,68
	8,97		
1,50			
		3,00	3,00
0,94	0,00	0,75	0,75
1,00	0,00	0,00	0,00
32,10	11,45	62,22	44,64
3,20	2,60	3,80	3,80
0,215	0,042	0,152	0,243
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>131</b>	<b>-111</b>	<b>1017</b>	<b>1360</b>
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
<b>6,165</b>	<b>3,072</b>	<b>5,944</b>	<b>5,702</b>
<b>Não se aplica</b>	<b>Não se aplica</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>13,507</b>	<b>17,332</b>
<b>Pré-requisitos por ambiente</b>			
<b>161,10</b>	<b>587,90</b>	<b>425,43</b>	<b>425,43</b>
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
Não	Não	Sim	Sim
Não	Não	Não	Não
1,41		2,698	2,698
9,48	0,00	17,99	17,99
não	não	sim	sim
1,41		2,35	2,35
9,48	0,00	15,67	15,67
Sim	Não	Sim	Sim
Janela de abrir 90° com veneziana (4 folhas)		Janela de abrir 90° com veneziana (2 folhas)	Janela de abrir 90° com veneziana (2 folhas)
Sim	Não	Sim	Sim
Não	Não	Não	Não
Sim	Não	Sim	Sim
<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>
<b>C</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>
<b>Não se aplica</b>	<b>Não se aplica</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.



Tabela 36 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes IV após melhorias

ZB3	ZB3	ZB3	ZB3
Quarto 07	Quarto 08	Quarto 09	Quarto 10
10,95	14,56	15,81	14,06
1	1	1	1
0	0	0	0
0	0	0	0
1,00	1,00	1,00	1,00
259,40	27,40	27,40	27,40
0,80	0,80	0,80	0,80
1,86	2,28	2,28	2,28
158,81	255,00	255,00	255,00
0,16	0,16	0,16	0,16
0	0	0	0
0	0	0	0
8,21			
		6,26	8,11
8,43	8,34		
		3,70	6,10
1,50	1,50		
0,94	0,94	0,90	0,90
1,00	1,00	0,50	0,50
16,67	33,57	35,74	29,73
2,72	2,93	2,93	2,93
0,248	0,201	0,185	0,208
<b>C</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>1943</b>	<b>1379</b>	<b>2123</b>	<b>2265</b>
<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>8,420</b>	<b>9,266</b>	<b>9,281</b>	<b>9,253</b>
<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>15,562</b>	<b>13,089</b>	<b>14,267</b>	<b>16,275</b>
<b>Pré-requisitos por ambiente</b>			
<b>158,81</b>	<b>255,00</b>	<b>255,00</b>	<b>255,00</b>
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>	<b>Sim</b>
Sim	Sim	Sim	Sim
Não	Não	Não	Não
1,41	1,41	3,478	5,734
12,88	9,68	23,19	40,78
sim	não	sim	sim
1,41	1,41	3,478	5,734
12,88	9,68	23,19	40,78
Sim	Sim	Sim	Sim
Janela de abrir 90° com veneziana (4 folhas)	Janela de abrir 90° com veneziana (4 folhas)	Janela de abrir 90° com veneziana (2 folhas)	Janela de abrir 90° com veneziana (2 folhas)
Sim	Sim	Sim	Sim
Não	Não	Não	Não
Sim	Sim	Sim	Sim
<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>
<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>4,00</b>	<b>3,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>
<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.

Tabela 37 – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes V após melhorias

ZB3	ZB3	ZB3
Quarto 11	Quarto 12	Quarto 13
6,01	9,58	13,90
1	0	0
0	1	1
0	0	0
1,00		
27,40		
0,80		
2,28	1,30	2,01
255,00	167,10	156,69
0,16	0,16	0,16
0	0	0
0	0	0
		5,31
	6,51	10,40
9,19		10,58
	1,50	
1,50		1,50
0,94	0,94	0,94
1,00	1,00	1,00
19,10	29,91	15,70
2,93	3,18	3,18
0,488	0,332	0,229
<b>C</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
<b>1913</b>	<b>-287</b>	<b>396</b>
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
<b>5,990</b>	<b>9,535</b>	<b>12,195</b>
<b>E</b>	<b>C</b>	<b>B</b>
<b>23,267</b>	<b>12,307</b>	<b>10,175</b>
<b>Pré-requisitos por ambiente</b>		
<b>255,00</b>	<b>167,10</b>	<b>156,69</b>
Sim	Sim	Sim
Sim	Sim	Sim
Sim	Sim	Sim
Não	Não	Não
1,41	1,41	1,41
23,46	14,72	10,14
sim	sim	não
1,41	1,41	1,41
23,46	14,72	10,14
Sim	Sim	Sim
Janela de abrir 90° com veneziana (4 folhas)	Janela de abrir 90° com veneziana (4 folhas)	Janela de abrir 90° com veneziana (4 folhas)
Sim	Sim	Sim
Não	Não	Não
Sim	Sim	Sim
<b>C</b>	<b>A</b>	<b>C</b>
<b>3,00</b>	<b>5,00</b>	<b>3,00</b>
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>5,00</b>	<b>4,00</b>	<b>3,00</b>
<b>E</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>1,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>

Fonte: PBE Edifica. Modificada pela autora, 2021.