

**PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

**ANALISE ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ENVOLTÓRIA DE UM PROJETO DE
USO MISTO**

São Paulo

2018

LUÍSA FABRI

**ANALISE ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ENVOLTÓRIA DE UM PROJETO DE
USO MISTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Educação Continuada – PECE da Escola Politécnica de São Paulo, Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética, para a obtenção do título de Especialista.

Área de Concentração:

Eficiência Energética

Orientador: Prof. Mestre em Ciências

Eduardo Yamada.

São Paulo

2018

Fabri, Luísa

ANALISE ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ENVOLTÓRIA DE UM
PROJETO DE USO MISTO / L. Fabri -- São Paulo, 2018.
74 p.

Monografia (Especialização em ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS
RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA) - Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação
Continuada em Engenharia.

1.Eficiência energética dos materiais de uma edificação de uso misto
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de
Educação Continuada em Engenharia II.t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente aos meus pais que sempre insistiram na minha capacidade mesmo quando eu duvidava dela, à minha irmã Paula por sempre estar por perto e ao meu espirituoso marido Jean e minhas cachorras pela eterna companhia.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por me acompanhar e iluminar meus caminhos.

Agradeço a minha família por sempre estarem presentes na minha vida, mesmo que às vezes a distância, e aos amigos pelas horas de lazer.

Agradeço as pessoas que colaboraram para que este trabalho se tornasse realidade, me auxiliando com a utilização de softwares e demais conhecimentos, em especial a equipe da **Análise Hygge**.

E finalmente agradeço ao Prof. Me. Eduardo Yamada, por ter aceitado ser meu orientador neste trabalho e ter me auxiliado antes mesmo de começar o ciclo de desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso.

Muito obrigada a todos.

“A casa é uma máquina de morar.”

(Le Corbusier)

“Acredito que as coisas podem ser feitas de
outra maneira e que vale a pena tentar.”

(Zaha Hadid)

RESUMO

Verifica-se que em um país com dimensões continentais a construção civil é usada de maneira generalista por toda a extensão nacional, sem qualquer preocupação com o clima e as necessidades locais. As edificações em toda sua vida útil consomem quantidades desnecessárias de energia, tanto térmica, quanto elétrica, chegando a sobrecarregar a rede elétrica devido ao uso de equipamentos para climatização ambiental. Pensando nisso, o presente trabalho tem como objetivo analisar possibilidades construtivas que possibilitem conforto ambiental e eficiência energética com o mínimo de intervenção de equipamentos de climatização utilizando como base as normas brasileiras. Para isso utilizamos um projeto existente na cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná, conhecida pelo clima frio e úmido.

Palavras chave: Eficiência Energética, Conforto Ambiental.

ABSTRACT

Observing that in a country with continental dimensions civil construction is used in a general manner throughout the national extension, without any concern for the climate and local needs. This behavior from the civil construction market entails unnecessary waste during the building lifecycle and even electric grid overloading due to the use of environmental conditioning equipment. That being said, the present work goal is to analyze constructive possibilities that allow environmental comfort and energy efficiency with the minimum intervention of air conditioning equipment based on Brazilian standards. For this, we use an existing project in the city of Curitiba, capital of the state of Paraná, known for the cold and humid climate.

Keywords: Energy Efficiency, Environmental Comfort

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Zoneamento bioclimático brasileiro de acordo com a NRB15220	16
Figura 2– Carta bioclimática de Givoni.....	16
Figura 3 – tabela NBR 8995-1/2013.....	21
Figura 4 – Temperaturas máximas e mínimas médias da cidade de Curitiba – Fonte WeatherSpark	22
Figura 5 - Coletor Solar Aberto	23
Figura 6 – Coletor Solar Fechado.....	23
Figura 7- Coletor Solar Tubo Aberto a Vácuo	23
Figura 8 - Média diária de energia solar de ondas curtas incidentes da cidade de Curitiba – Fonte WeatherSpark.....	24
Figura 9 - Localização do terreno do estudo de caso – Fonte Google Maps	25
Figura 10 - Planta do pavimento térreo – Estudo de caso.....	26
Figura 11 - Planta do pavimento superior – Estudo de caso.....	27
Figura 12 - Planta da cobertura – Estudo de caso	27
Figura 13 - Elevação face sul.....	28
Figura 14 - Elevação face norte.....	28
Figura 15 - Elevação face oeste externa.....	29
Figura 16 - Elevação face oeste interna.....	29
Figura 17 - Mapa mundi com demarcação do clima Cfb, segundo classificação climática de Köppen-Geiger.....	31
Figura 18 - Implantação e orientação solar do projeto utilizado para estudo de caso	32
Figura 19 - Zona Bioclimática 1, de acordo com a NBR 15220.....	34
Figura 20 - Carta Bioclimática de Givoni, segundo o Software Analysis BIO para a localização de Curitiba – PR.....	34
Figura 21 - Legenda da Carta Bioclimática de Givoni, segundo o Software Analysis BIO para a localização de Curitiba – PR.....	35
Figura 22 - Tabela 1 da NBR 15.220 para a Zona Bioclimática 1	35
Figura 23 - Tabela 3 da NBR 15.220 para a Zona Bioclimática 1	35
Figura 24 - Tabela de consumo de metais.....	39
Figura 25 - Desenho de parede de 9cm.....	40
Figura 26 - Desenho de laje simples	40
Figura 27 - Vidro Float de 4mm a 6mm.....	41
Figura 28 - Desenho de parede de 14cm	42
Figura 29 - Desenho de laje isolada.....	42
Figura 31 - Vidro Float de 4mm a 6mm.....	43
Figura 32 - Desenho de parede de 14cm	43
Figura 33 - Desenho de laje isolada.....	44
Figura 34 - Vidro Guardian Refletivo de 6mm.....	44
Figura 35 - Desenho de parede dupla	45
Figura 36 - Desenho de laje isolada.....	45
Figura 37 - Vidro Float de 4mm a 6mm.....	46
Figura 38 - Desenho de parede dupla	46
Figura 39 - Desenho de laje isolada.....	47
Figura 40 - Vidro Duplo com câmara de ar	47
Figura 41 - Vidro Guardian Refletivo de 6mma	47
Figura 42 - Desenho de parede dupla	48
Figura 43 - Desenho de laje isolada.....	48

Figura 44 - Vidro Duplo com câmara de ar.....	49
Figura 45 - Tabela com resumo das estratégias estabelecidas	50
Figura 46 - Gráfico de custo de obra e consumo energético.....	50
Figura 47 - Tabela de custo de obra vs. consumo energético.....	51
Figura 48 - Gráfico de consumo energético	53
Figura 49 - Tabela de consumo energético	53
Figura 50 - Gráfico comportamento estratégias 3.....	54
Figura 51 - Tabela comportamento estratégias 3	55
Figura 52 - Gráfico comportamento estratégias 5.....	55
Figura 53 - Tabela comportamento estratégias 5	56
Figura 54 - Comparativos temperaturas externas e internas em janeiro das Estratégias 3 e 5.....	56
Figura 55 - Comparativos temperaturas externas e internas em junho das Estratégias 3 e 5.....	57
Figura 56 - Gráfico de consumo energético na área comercial	57
Figura 57 - Tabela de consumo energético na área comercial.....	58
Figura 58 - Comparativo de gráficos das estratégias	59
Figura 59 - Croqui da face sul da edificação.....	60

LISTA DE SIMBOLOS

α	Absortância
Cfb	Clima Temperado Subtropical Úmido, que de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger
cd/m²	Candelas por metro quadrado
C_T	Capacidade térmica
λ	Condutividade térmica
C_A	Consumo relativo de aquecimento
C_R	consumo relativo de resfriamento
Φ	Fluxo Luminoso
E	Iluminamento
I	Intensidade Luminosa
U	Transmitância térmica

LISTAS DE ABREVEATURAS E SIGLAS

LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
USGBC	United States Green Building Council
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
ENCE	Escola Nacional de Ciência Estatísticas
RTQ-R	Regulamento Técnico de Qualidade - Residencial
RTQ-C	Regulamento Técnico de Qualidade - Comercial
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LED	Lighting Emitted Diode
PAF	Percentual de Abertura de Fachada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	17
1.1.1. Objetivos Gerais	17
1.1.2. Objetivos Específicos	18
1.2. JUSTIFICATIVA	18
2. ESTADO DA ARTE	19
2.1. ENVOLTÓRIA	19
2.2. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	21
2.3. AQUECIMENTO SOLAR	22
3. ESTUDO DE CASO	24
3.1. CONCEITO E DESCRIÇÃO DO PROJETO	24
3.1.1. Localização e Clima	30
3.1.2. Implantação e Orientação solar	32
4. SIMULAÇÕES	33
4.1. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	33
4.1.1. Sistema de envoltória	36
4.1.2. Sistema de iluminação artificial	37
4.1.3. Sistema de aquecimento solar	38
4.2. ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	39
4.2.1. Estratégia 1 – Sistema de envoltória de alvenaria convencional simples... 39	
4.2.2. Estratégia 2 – Sistema de envoltória de alvenaria convencional intermediária	41
4.2.3. Estratégia 3 – Sistema de envoltória de alvenaria convencional e fechamentos de vidro intermediários	43
4.2.4. Estratégia 4 – Sistema de envoltória de alvenaria de parede dupla e fechamento de vidro simples	44
4.2.5. Estratégia 5 – Sistema de envoltória de alvenaria de parede dupla e fechamento em vidro duplo nos ambientes de longa permanência	46
4.2.6. Estratégia 6 – Sistema de envoltória de alvenaria de parede dupla e fechamento em vidro duplo	48
5. CUSTOS COMPARATIVOS	49
5.1. CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	49
5.2. COMPARATIVOS DE EFICIÊNCIA	52
5.2.1. Comparativo de eficiência na área residencial	52
5.2.2. Comparativo de eficiência na área comercial	57

6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	58
6.1.	CONCLUSÕES.....	58
6.2.	RECOMENDAÇÕES.....	60
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	61
	APÊNDICE A – CALCULOS DE AQUECIMENTO SOLAR.....	63
	APÊNDICE B – CALCULOS DE TRANSTÂNCIA TÉRMICA	64

1. INTRODUÇÃO

Em um país de proporções continentais como o Brasil, é incabível desconsiderar os diversos bioclimas existentes ao longo de todo o território nacional. Apesar disso, o sistema construtivo é praticamente o mesmo em todas as regiões (alvenaria convencional). A desconsideração das características específicas de cada bioclima acarreta em compensações posteriores para possibilitar o uso confortável dos ambientes construídos, aumentando significativamente o gasto energético das edificações devido ao uso de artifícios como ar-condicionado ou aquecedores por exemplo. A preocupação com o uso racional da energia surge a partir da década de 1970 com a crise do petróleo, e ganhou atenção com o passar dos anos, devido algumas constatações referentes ao clima, tais como o aquecimento global. Em paralelo aos estudos que foram desenvolvidos verificando alterações climáticas em várias localizações pelo mundo, surgiram organizações voltadas a avaliar e certificar edifícios, quantificando os impactos da construção e posteriormente a eficiência da operação e manutenção da mesma. Uma dessas certificações amplamente discutidas aqui no Brasil é a certificação LEED do *United States Green Building Council – USGBC*. De acordo com USGBC, 40% das matérias primas do mundo são usadas na construção civil. Essa informação é determinante para analisarmos como estamos construindo e o impacto das edificações no meio ambiente, desde a obra e ao longo de sua vida útil. No Brasil o Programa Brasileiro de Etiquetagem PBE Edifica, desenvolvido com parceria do Inmetro e a Eletrobras/PROCEL Edifica, avalia os desempenhos de produtos e edificações. Para certificação de eficiência energética, a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é obtido através do Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ), que pode ser residencial, comercial ou edifícios públicos.

A envoltória das edificações é preponderante para a eficiência energética das edificações independentemente do seu uso. O detalhamento e a especificações selecionadas desde as etapas de projeto permitem o melhor desempenho das edificações, utilizando apenas o necessário de intervenção artificial para complementar as necessidades de conforto ambiental das pessoas. Para que de fato isso aconteça é necessário o projetista saber a localização, em que clima o edifício estará inserido e a que tipo de atividade estará exposto. Munido dessas informações o projetista tem condições de especificar matérias com a condutividade térmica (λ)

mais adequada e aproveitando a inércia térmica em favor da edificação. Essas características físicas dos materiais dependem diretamente de sua composição e densidade.

A condutividade térmica quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica, enquanto que a inércia térmica reflete a quantidade de calor que o material pode reter, transmitindo esse calor do ambiente externo para o ambiente interno de forma imediata ou retardada. Materiais com menor densidade acabam tendo comportamento isolante, já que são materiais porosos onde o ar existente em seus poros tem condutividade térmica (λ) menor, resultando em menor transferência de calor. No caso dos fechamentos transparentes, a troca de calor entre os ambientes por meio de condução e convecção é muito parecido com o que ocorre com os fechamentos opacos, com a vantagem de que a maioria das opções de fechamentos transparentes permitem aberturas possibilitando a renovação do ar. A grande diferença entre os fechamentos opacos e os fechamentos transparentes está na radiação, como nos vidros, por exemplo. Os vidros têm em sua maioria alta transmitância térmica (U) sendo considerado um bom condutor de calor, proporcionando para os ambientes trocas térmicas que podem ser fundamentais. Essas trocas térmicas por radiação são muito bem vindas na estação do inverno, mas nos meses com temperaturas mais altas as radiações que atravessam os fechamentos transparentes podem causar desconforto se o ambiente não for naturalmente ventilado devido a impossibilidade da dissipação da radiação, formando as conhecidas ilhas de calor. Neste caso só a especificação de um fechamento mais reflexivo não é o suficiente e o projetista precisa considerar aberturas com dimensões compatíveis com a quantidade de sol que esse fechamento irá receber, assim como artifícios que barrem grandes incidências de radiação solar no verão, mas permitam a formação de ilhas de calor no inverno auxiliando o conforto térmico minimizando a necessidade de climatização.

Para a correta especificação de acordo com todas as necessidades que o edifício irá demandar de acordo com sua função, é indispensável o conhecimento de todas as condicionantes referentes à localização e clima na etapa de implantação e projeto. Em 2003 a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT desenvolveu a norma brasileira NBR 15220, que trata do desempenho térmico de edificações. A Parte 3 da norma é responsável pelo zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Com o objetivo de estabelecer

recomendações e diretrizes construtivas para adequação climática, foi estabelecido um zoneamento bioclimático com oito diferentes zonas. Essas zonas são referências

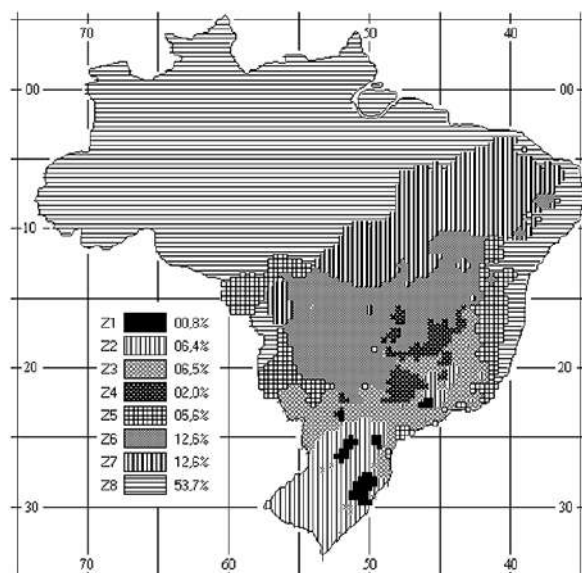


Figura 1 –Zoneamento bioclimático brasileiro de acordo com a NRB15220

para a análise do desempenho térmico de edificações de acordo com suas características climáticas e orientam a tomada de decisões, possibilitando escolhas mais conscientes, como o sistema construtivo, tipo de edificação e materiais por exemplo. A NRB15220 utiliza como base a Carta Climática sugerida por Givoni (“Comfort Climate Analysis and Building Desing Guidelines”. Energy and Building, 1992), adaptada ao clima brasileiro.

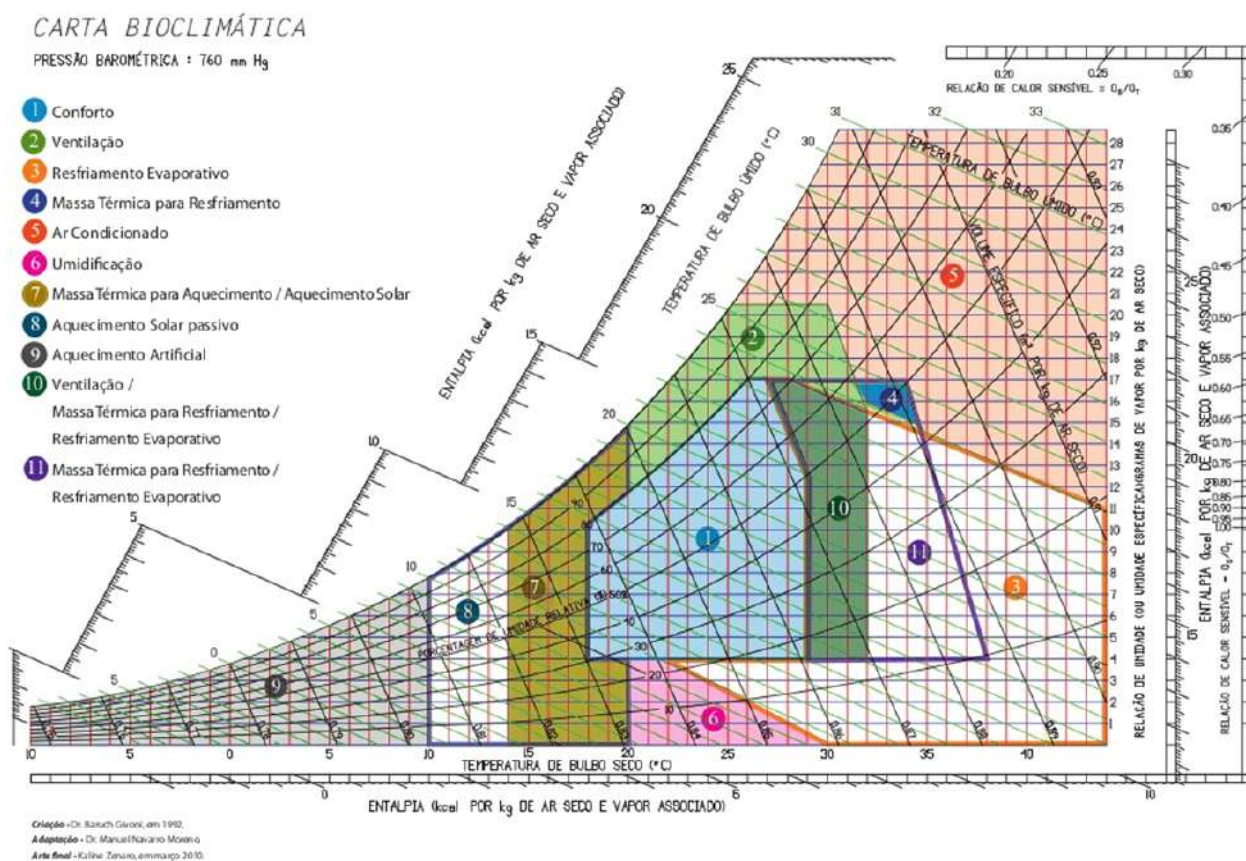


Figura 2– Carta bioclimática de Givoni

A carta bioclimática elaborada por Givoni foi desenvolvida em cima do diagrama psicrométrico. A psicrometria é o ramo da física que mede as condições do ar

atmosférico estudando suas propriedades, como temperatura e umidade. No caso da carta bioclimática de Givoni, são definidas zonas que determinam conforto ou a necessidade de algum tipo de climatização.

A iluminação é outro item que está diretamente ligado à eficiência térmica de uma edificação, desde a quantidade necessária, o tempo de uso e o tipo de iluminação utilizada. Uma edificação desenhada desde sua concepção para o melhor aproveitamento energético e consequentemente resultando em maior eficiência energética, aproveita a orientação solar para utilizar iluminação natural pelo maior período de tempo, reduzindo a utilização de iluminação artificial. A separação dos circuitos também é uma opção para a economia de energia. Áreas próximas de janelas e grandes aberturas devem ter circuitos elétricos isolados de áreas que demandam maior necessidade de iluminação. Dessa forma, evitando-se desperdício energia com iluminação geral em áreas amplamente iluminadas naturalmente customizando os circuitos das áreas que demanda mais iluminação devido a inexistência de aberturas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar, com o auxílio de softwares especializados, o comportamento térmico de uma edificação específica de uso misto, localizada na cidade paranaense de Curitiba, determinada pela NBR 15220 como Zona Bioclimática 01.

A abordagem de questões como a localização, iluminação, aquecimento solar e envoltória permite analisar como cruzar todas estas condicionantes resultando em um projeto com eficiência energética com o mínimo de intervenção artificial para a climatização dos ambientes. Seguindo o desafio, o último elemento citado, a envoltória, será de grande importância para o trabalho já que a composição dos mesmos elementos em diferentes espessuras altera o resultado de uma análise para outra. Por conta disso buscou-se desenvolver uma pesquisa de eficiência mantendo os materiais existentes no mercado, considerando a cultura construtiva brasileira, compondo estes mesmos materiais em diferentes espessuras, acabamento e soluções construtivas, possibilitando uma avaliação dos ganhos energéticos e de quão viável é este ganho do ponto de vista econômico.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Explanar acerca da Eficiência Energética da construção Brasileira, através do conhecimento técnico dos projetistas com relação à localização, clima e principalmente envoltória;
- Comentar sobre a utilização de tecnologia de softwares de análise térmica existentes, que podem auxiliar na escolha de materiais e sistemas construtivos de acordo com o meio no qual inserido;
- Comparar os possíveis usos dos materiais e o impacto financeiro que pode gerar no valor da obra e o retorno deste investimento;
- Dissertar sobre a vida útil das edificações e a economia que pode ser gerada a partir da correta escolha de materiais.

1.2. JUSTIFICATIVA

A especificação dos materiais que serão utilizados na execução de um projeto, por si só, não é o suficiente para garantir sua melhor performance. A quantidade de cada material tem tamanha importância que pode adequar questões de conforto ambiental, assim como comprometer um projeto depois de sua execução. A correta composição de materiais de acordo com o uso do projeto e das necessidades climáticas é uma realidade em muitos países, mas infelizmente não é uma realidade na construção civil brasileira.

Simples cuidados na etapa de elaboração de projeto, como orientação solar, ventilação cruzada, orientação e tamanho das aberturas, assim como a proteção destas dos raios solares no verão, já permitem uma otimização energética da edificação. Além das questões da etapa de projeto, a especificação correta da envoltória de acordo com as necessidades de clima e uso da edificação contribui ainda mais para a eficiência dessas edificações. É um detalhe simples que pode agregar conforto ao usuário e é pouco utilizado na construção civil.

Diante disso, a justificativa para este estudo de caso é constatar que é possível garantir a eficiência energética de uma edificação desde sua etapa de projeto, compondo orientação solar com um sistema de envoltória adequado ao local, dispensando ao máximo a necessidade de equipamentos para o condicionamento térmico dos ambientes para atingir conforto térmico.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. ENVOLTÓRIA

Como o próprio manual RTQ-R do Procel EDIFICA trata a envoltória das edificações como a pele das edificações, já indica a importância deste elemento, independentemente deste ser opaco ou transparente. Essa “pele” da edificação tem o papel não apenas de proteger quem se encontra no interior da edificação, mas de proporcionar o devido conforto térmico. Cada tipo de envoltória apresenta diferentes desempenhos térmicos e inércia térmica. Localidades com grandes variações de temperaturas diárias necessitam de materiais de envoltórias mais pesados que sejam capazes de reter as temperaturas por mais tempo em seu interior, refletindo essas temperaturas para o interior ou exterior da edificação com certo retardo.

De acordo com Sue Roaf:

Existem três maneiras de isolar uma parede:

- **Isolamento resistivo:** É o que a maioria de nós imagina como sendo um isolamento. São os produtos de isolamento “de atacado”: lãs minerais, palha prensada, placas de lã vegetal, produtos de fibra de vidro, capoque, lã e fibra de celulose. Eles também incluem poliestireno expandido e extrudado, formaldeído de uréia, vermiculita e perlita. Esse tipo de isolamento é baseado em evitar a convecção, a qual depende da condutividade e viscosidade do líquido ou gás nos vazios contidos no material, da diferença de temperatura e das dimensões dos vazios; todos esses são fatores a serem considerados nos projetos das novas janelas de alto desempenho.
- **Isolamento refletivo:** Requer um material altamente refletivo, como finas lâminas de alumínio, para revestir paredes duplas. As lâminas de alumínio têm uma emissividade muito baixa (cerca de um trigésimo daquela dos materiais comuns de construção) e, então, a transferência de calor entre as paredes da parede dupla fica muito reduzida. O desempenho fica comprometido se a lâmina de alumínio tocar a parede interna, permitindo a condução de calor. A quantidade de calor que um material pode irradiar depende de sua emissividade superficial, isto é, de com que facilidade o calor pode se mover através da superfície e da diferença de temperatura entre sua superfície e aquela para a qual ele está irradiando. Sua espessura é irrelevante. Então uma janela de “Baixa Emissividade” irradiará muito menos calor que uma janela normal, ajudando a conservar a energia na casa.
- **Isolamento capacitivo:** Geralmente descrito como “massa térmica”, é encontrado nas construções como paredes pesadas. O calor é conduzido através do material sólido da parede e a taxa de fluxo de calor depende da condutividade do material de que é feita a parede, da sua espessura e da diferença de temperatura entre os dois lados da parede. Materiais de

isolamento auto-estruturados são importantes quando no projeto para evitar pontes de frio. (2006, p.78).

Pontes de frio, apontado pela autora do livro *Ecohouses – A casa ambientalmente sustentável*, é uma ligação da área interna de uma edificação com a área externa, que normalmente ocorre através de um material metálico ou pela própria alvenaria. Esta ponte de frio conduz o calor para fora da edificação, fazendo com que esta perca calor para o ambiente externo. Nos tipos de isolamento citados, os isolamentos resistivo e reflexivo funcionam como as envoltórias mais leves, como já dito, enquanto o isolamento capacitivo funciona como o que chamamos de envoltórias de materiais mais pesados.

Outra informação importante, ainda no momento de desenvolvimento do projeto, é o conhecimento da localização e da implantação do mesmo. A orientação das fachadas vai determinar a transmitância (U), capacidade térmica (C_T) e a absorptância (α) ideais para aquela superfície de acordo com o uso reservado para o ambiente interno com o qual a fachada faz contato. Lembrando que para o RTQ-R, paredes e fachadas são elementos distintos, sendo que paredes são elementos opacos e sem aberturas, enquanto as fachadas são a composição de todos os elementos que unidos formam o fechamento de uma determinada edificação, independentemente destes elementos serem opacos ou translúcidos. Esse fechamento, seja ele parede ou fachada, será um dos determinantes para a eficiência na climatização dos ambientes internos, contando com materiais isolantes ou não. Afinal, quando a envoltória não está condizente com as necessidades locais, a edificação gastará mais energia para resfriar ou aquecer um ambiente interno.

A busca pelo condicionamento de ar passivo nada mais é que o desenvolvimento de projetos que proporcionem conforto ambiental, como térmico e de iluminação, através de escolhas projetuais que explorem com competência as características e condicionantes do local, como ventilação e iluminação natural. O condicionamento passivo de conforto térmico está mais relacionado à proteção térmica determinada para a edificação, seja através de uma edificação leve, quando clima local apresenta pouca amplitude térmica, ou com edificações mais pesadas, quando há a necessidade de maior proteção, seja para o frio como para o calor, especificando aberturas sombreadas, por exemplo.

2.2. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Atualmente existe no mercado uma diversidade imensa de itens para uma iluminação eficiente. Desde os tipos de lâmpadas, sensores fotossensíveis e sistemas inteligentes, que são capazes de identificar se um espaço está sendo utilizado ou se foi esquecido a luz acesa. Mas, apesar de todos esses artifícios é possível aperfeiçoar situações simples no próprio projeto.

Para sistemas de iluminação artificial existem algumas grandezas que auxiliam na elaboração de projeto e na escolha correta das lâmpadas de acordo com as necessidades laborais do local e a eficiência dos sistemas de iluminação. Grandezas como Intensidade Luminosa (I) e Fluxo Luminoso (Φ) são especificadas pelos fabricantes de lâmpadas no rótulo dos seus produtos. Para avaliarmos se um determinado ambiente está de acordo com as necessidades laborais dos usuários, é necessário calcular o Iluminamento (E) medido em Lux e o Nível de Luminância. Este segundo mede a intensidade luminosa refletida por uma superfície utilizando a unidade de Candelas por metro quadrado (cd/m^2).

<i>Tipo de interior, tarefa ou atividade.</i>	<i>$\bar{E}_m$ lux</i>	<i>UGR_L</i>	<i>R_a</i>	<i>Observações</i>
1. Áreas gerais da edificação				
Saguão de entrada	100	22	60	
Sala de espera	200	22	80	
Áreas de circulação e corredores	100	28	40	Nas entradas e saídas estabelecer uma zona de transição a fim de evitar mudanças bruscas
Escadas, escadas rolantes e esteiras rolantes	150	25	40	
Rampas de carregamento	150	25	40	
Refeitório / Cantinas	200	22	80	
Salas de descanso	100	22	80	
Salas para exercícios físicos	300	22	80	
Vestiários, banheiros, toaletes	200	25	80	
Enfermaria	500	19	80	
Salas para atendimento médico	500	16	90	T_{ce} no mínimo 4000 K
Estufas, sala dos disjuntores	200	25	60	
Correios, quadros de distribuição	500	19	80	
Depósito, estoques, câmara fria	100	25	60	200 lux se forem continuamente ocupadas
Expedição	300	25	60	

Figura 3 – tabela NBR 8995-1/2013

O cálculo da necessidade luminosa é possível a partir das especificações e tabelas da NBR 8995-1/2013, que substitui e cancela a NBR 5413/1992, conforme apresentado na figura 3 acima.

2.3. AQUECIMENTO SOLAR

A eficiência do ponto de vista do aquecimento solar tem maior preocupação com a economia de consumo de recursos naturais para o projeto utilizado como estudo de caso. Considerando as temperaturas médias da cidade de Curitiba, conforme apresentado no gráfico da Figura 5, a porcentagem da população que utiliza chuveiro elétrico é muito pequena. A fonte de aquecimento de água na maioria das residências é o gás GLP ou o gás Natural, nas localizações onde a alimentação dos dutos de gás Natural já foi instalada devido a solicitação ou demanda.

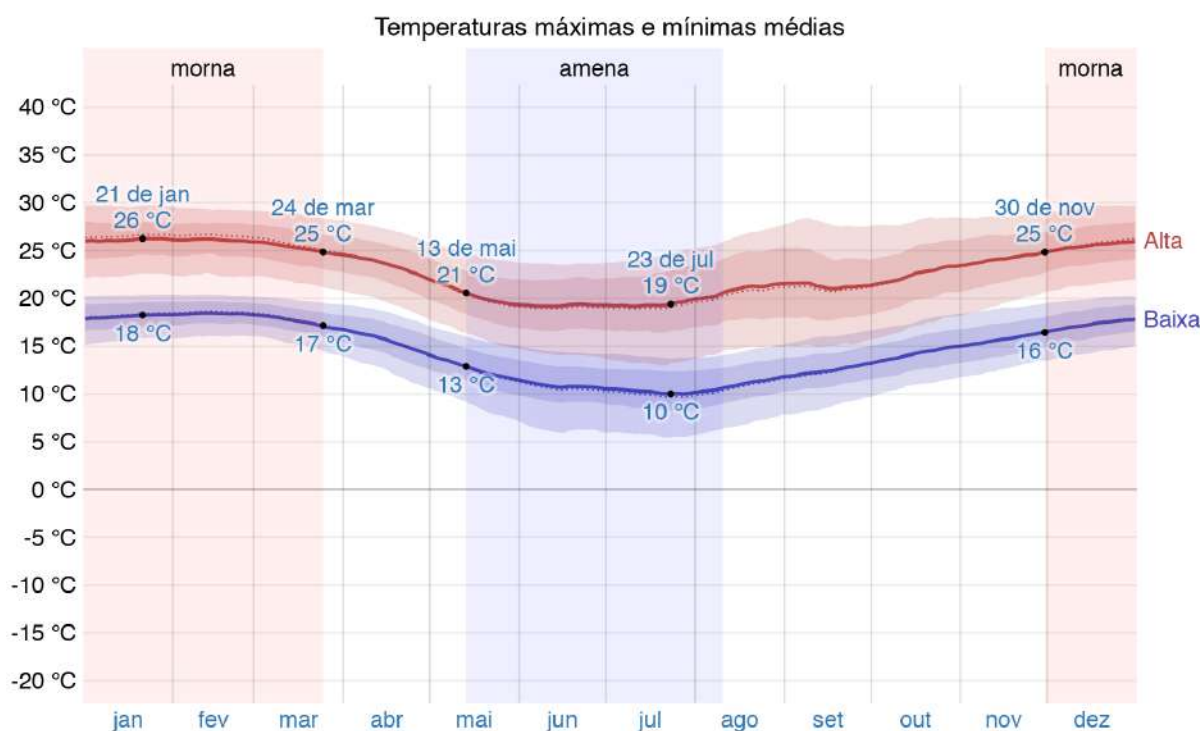


Figura 4 – Temperaturas máximas e mínimas médias da cidade de Curitiba – Fonte WeatherSpark

Para o aproveitamento adequado da energia solar é necessário considerar dois fatores fundamentais além da área livre compatível com a demanda do projeto. O primeiro deles é que a área onde serão instaladas as placas coletoras, não tenha qualquer tipo de sombreamento que possa de alguma forma impedir a captação dos raios solares. O segundo fator é a orientação da implantação do projeto e já que estamos no hemisfério sul, a orientação correta é o norte, mas a placa também precisa estar inclinada corretamente de acordo com a latitude do local adicionando 10°, que pode ser calculada manualmente ou por softwares especializados.

Atualmente no mercado existem três tipos de coletor solar: o coletor solar plano aberto, o coletor solar plano fechado e o coletor solar tubo a vácuo. O primeiro, é normalmente utilizado para aquecimento de piscinas com temperatura de 26°C a 30°C, é feito de material polimérico e sua estrutura fica expostas ao ambiente e não contam com nenhum tipo de isolamento térmico. O segundo, é composto por uma caixa isolada nas laterais e fechado com vidro na parte superior protegendo as câmulas por onde a água passa, do ambiente externo. Este coletor pode chegar a atingir a temperatura de 80°C. E o terceiro, sendo considerado o modelo mais eficiente, tem na composição de cada tubo, dois tubos concêntricos de vidro, sendo um dentro do outro. No tubo interior passa a água e entre os dois tubos existe uma camada de vácuo para minimizar perdas de calor.



Figura 5 - Coletor Solar Aberto



Figura 6 – Coletor Solar Fechado



Figura 7- Coletor Solar Tubo Aberto a Vácuo

A incidência de ondas de energia solar e a nebulosidade também são fatores que implicam para captação de mais ou menos energia solar para aquecimento de água. Curitiba tem em média 5kWh de potência de energia solar por ano, sendo que o período mais radiante do ano começa no final de outubro e acaba no início de fevereiro e neste período de pouco mais de 3 meses a energia radiante chega a quase 7kWh no dia 5 de dezembro, segundo o site climático WeatherSpark. Em contrapartida também é o período mais chuvoso do ano, chegando a acumular quase 200mm de água no mês de janeiro. Mesmo com todos esses fatores, a opção do aquecimento solar ainda é vantajosa tendo um *payback* de curto prazo.

O método utilizado para o cálculo do sistema de aquecimento solar necessário para o estudo de caso será o modelo de dimensionamento simplificado determinado pela ABNT NBR 15.569/2008, com memorial de cálculo apresentado no capítulo 4.1.3. Sistema de Aquecimento Solar.

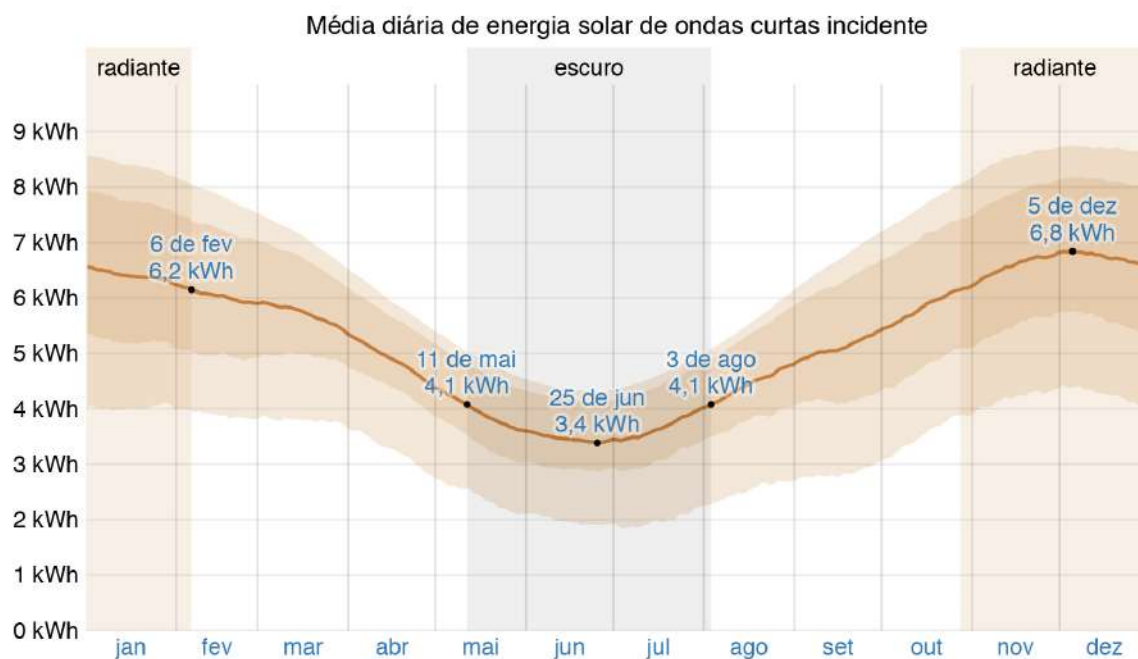


Figura 8 - Média diária de energia solar de ondas curtas incidentes da cidade de Curitiba – Fonte WeatherSpark

3. ESTUDO DE CASO

3.1. CONCEITO E DESCRIÇÃO DO PROJETO

Para o terreno de esquina, foi solicitado um projeto que atendesse a residência e comércio para acomodação de escritório. Cruzando o programa solicitado para o projeto, as diretrizes legais locais e as condicionantes do terreno, obteve-se a seguinte divisão: 1/3 de área para escritório e 2/3 de área para residência com área total de 447m² para todo o projeto. Aproveitando a possibilidade de ambientes amplos e integrados implantado em um terreno com praticamente nenhum sombreamento solar por parte de outras edificações, o único eventual ponto de sombreamento do terreno fica no sentido oeste devido à diferença de nível de 20m entre a rua do projeto e a rua seguinte. A partir destas observações buscou-se trabalhar com esquadrias altas e amplas a fim de aproveitar o máximo de iluminação natural.

O projeto segue o conceito modernista, com dois pisos e ambientes amplos e integrados, tanto no setor residencial quanto no setor comercial, guardando a privacidade nos ambientes que assim necessitam como a sala de reuniões do escritório e os quartos da residência.



Figura 9 - Localização do terreno do estudo de caso – Fonte Google Maps

O pavimento térreo é composto pelos ambientes sociais tanto do setor comercial como do residencial. Com entradas distintas, os ambientes comercial e residencial são separados pela área de lazer da residência. O espaço comercial, equivalente a 82m^2 , é composto no térreo pela área de desenvolvimento de trabalho, integrado com a copa e a sala de reuniões, além dos dois sanitários. Na área comercial as aberturas estão mais relacionadas com a manutenção da privacidade da área residencial e com relação da edificação com a via pública. As aberturas que poderão causar algum desconforto devido a radiação solar no verão, receberão proteção de vegetações que bloquearão alguns raios solares, independentemente da qualidade do vidro selecionado.

A mesma composição de espaços amplos e abertos é mantida no térreo, equivalente a 159m^2 da área residencial, composto por living integrando sala de estar/TV e cozinha. Separando apenas a lavanderia, o lavabo e banheiro de serviço. As aberturas da área residencial priorizam a iluminação e ventilação natural, na face leste as poucas aberturas estão localizadas na cozinha e na face oeste grandes portas de correr abrem a casa para o jardim e área de lazer. Cada uma dessas portas tem 4m de largura e 2,4m de altura, sendo que a porta mais ao sul usufrui de um pouco de proteção da cobertura da área de lazer, onde ficam localizados os dormitórios do pavimento superior.

Á área comercial no pavimento superior, equivalente a 31m² é destinada a um espaço reservado, podendo ser utilizado para reuniões ou como atelier e oficina.

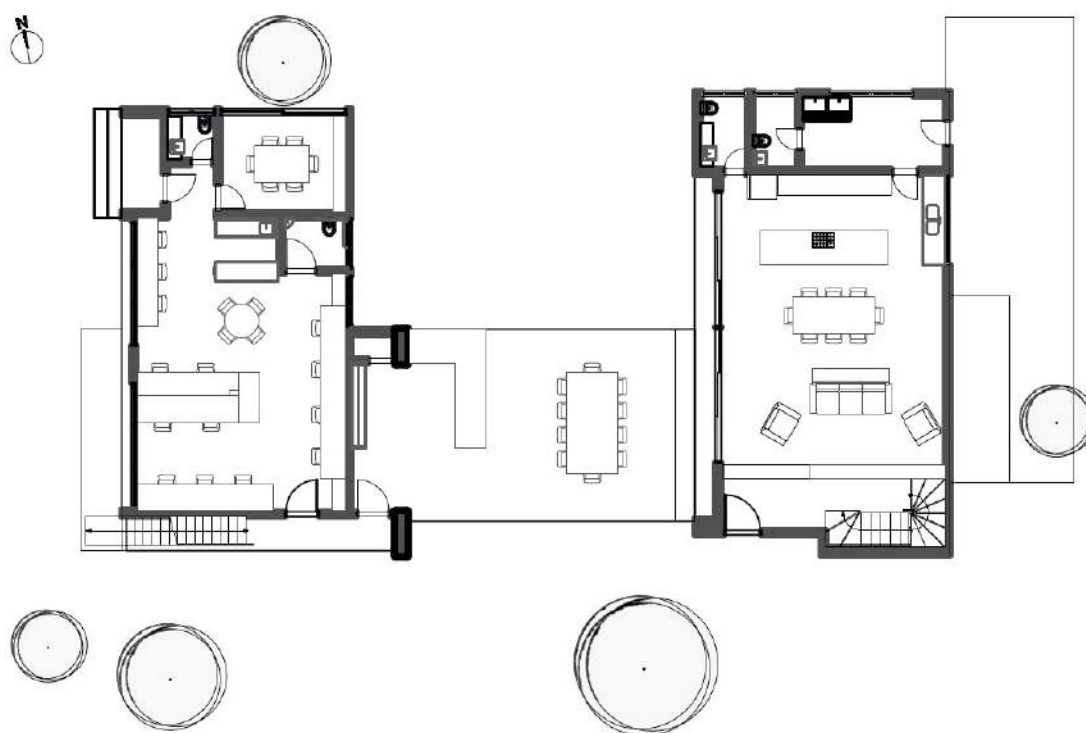


Figura 10 - Planta do pavimento térreo – Estudo de caso

O restante da laje que cobre o térreo do escritório é utilizado como terraço descoberto, projetado com floreiras em toda sua extensão. Estas floreiras têm como função principal o cultivo de vegetações pendentes que ao crescerem caem das lajes protegendo as aberturas do escritório dos raios solares.

No pavimento superior da área residencial, equivalente a 175m², estão localizados os ambientes chamados de longa permanência, sendo estes dos quartos e a sala íntima. No ambiente dos quartos as aberturas já são desenhadas em menores dimensões permitindo a iluminação natural, mas protegendo da exposição exagerada. Como em praticamente todas as aberturas da edificação, no pavimento superior as aberturas são protegidas por beirais de 40cm a 60cm protegendo ainda mais da radiação solar. Praticamente todas as aberturas deste setor estão localizadas na face norte, as únicas situações que existem aberturas para sul são no caso de circulação cruzada pelos corredores e nos banheiros que estão localizados a sul da edificação.

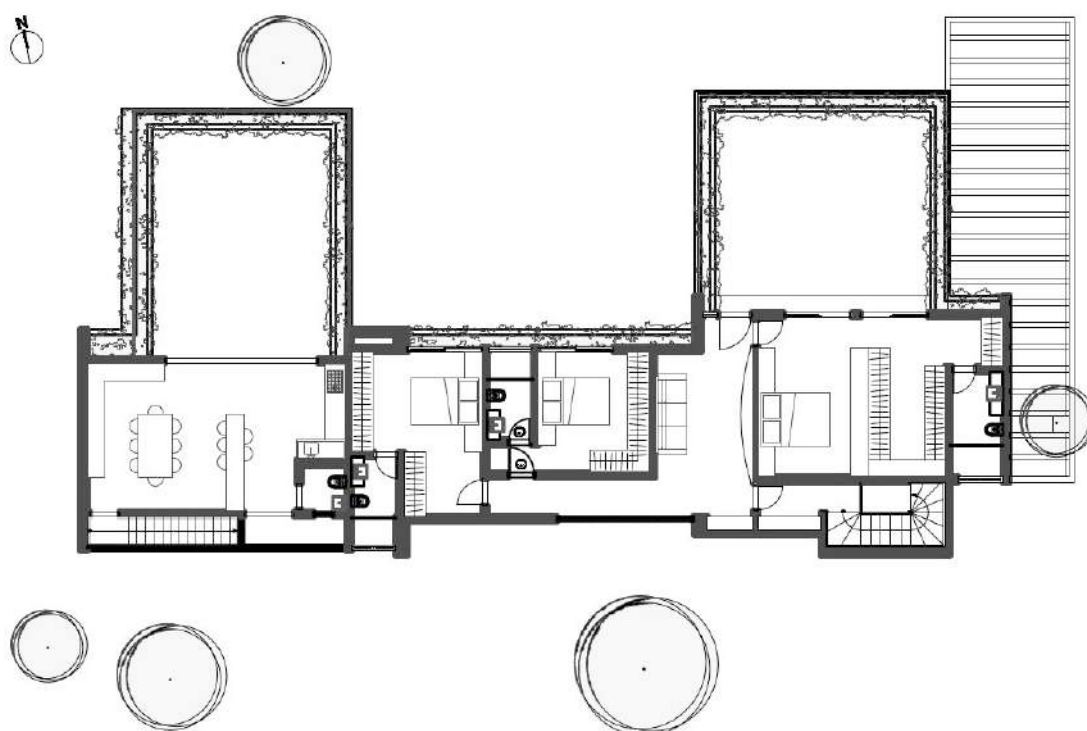


Figura 11 - Planta do pavimento superior – Estudo de caso

A vegetação cultivada nas floreiras deve ser especificada como pendentes, para quando as vegetações caírem de cima da laje ela possam proteger as aberturas do pavimento inferior das radiações solares.

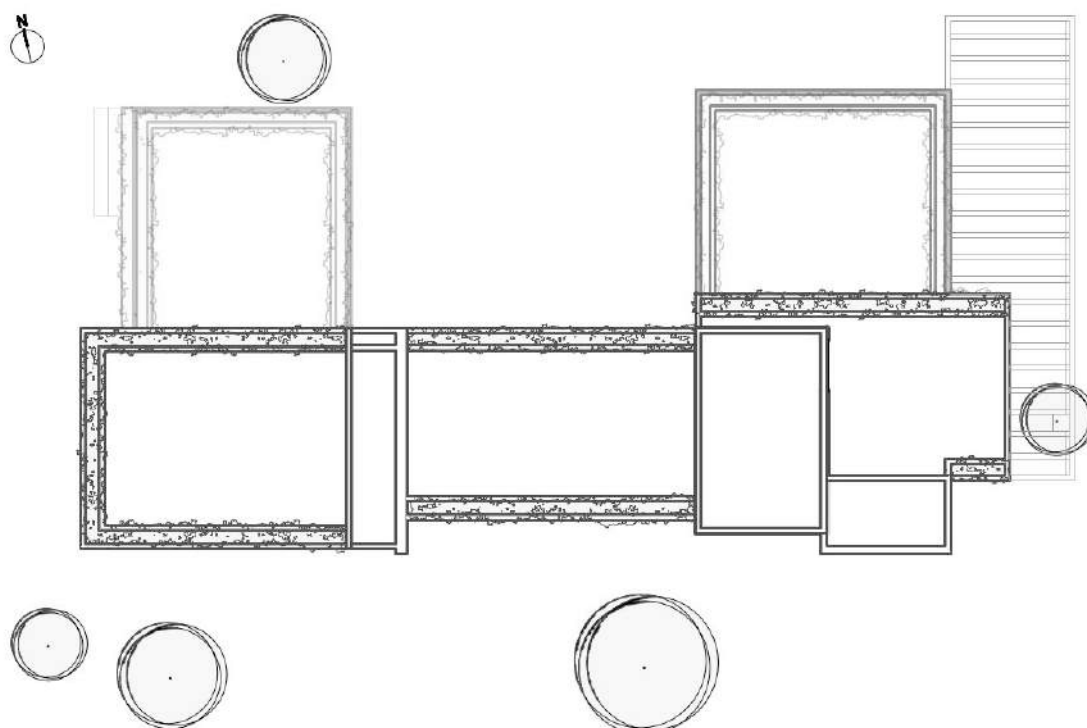


Figura 12 - Planta da cobertura – Estudo de caso

E assim como os terraços ajardinados do pavimento superior, as lajes de cobertura também são detalhadas em quase toda a sua extensão com floreiras onde serão cultivadas o mesmo tipo de vegetação já citado, através do bloqueio de parte dos raios solares.

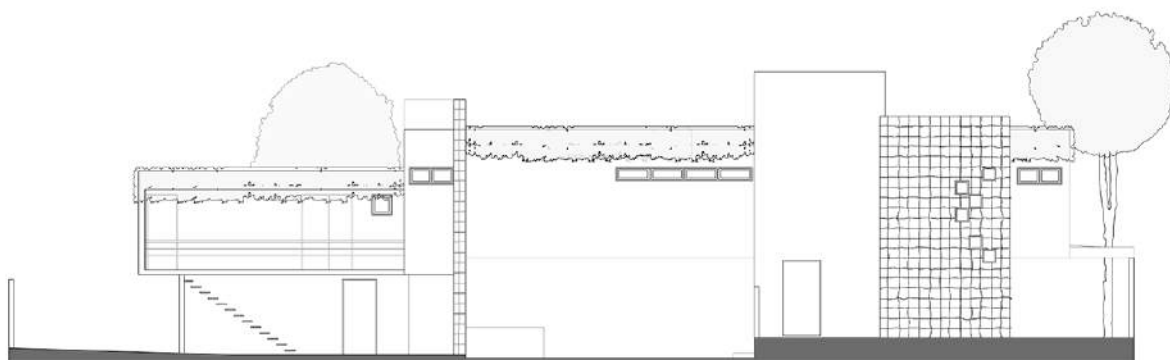


Figura 13 - Elevação face sul

Na elevação sul, o percentual de aberturas de fachada ou PAF é de 8% da área total da fachada da face sul.

A elevação norte é a face com maior quantidade de aberturas, mas como é, junto com a elevação sul, a maior área de fachada, não é a face com maior percentual de abertura de fachada. A porcentagem de abertura nesta face é de 26%.

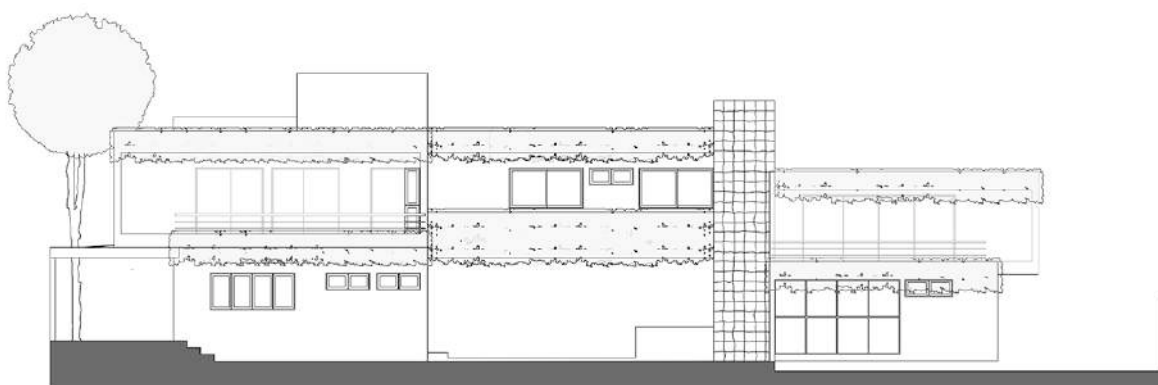


Figura 14 - Elevação face norte

Quando o projeto arquitetônico apresenta grandes aberturas, é onde começam a surgir os primeiros cuidados com a eficiência energética. Quando ampliamos as aberturas para diminuir a necessidade de iluminação artificial, abrimos duas questões que podem comprometer a eficiência de uma edificação e ambas estão relacionadas com as esquadrias. A primeira delas é como a radiação solar se comporta ao

atravessar o vidro e gerar radiação infravermelha transmitida dos objetos que receberam a radiação solar, criando uma ilha de calor. A segunda é que apesar de ser um material de transmissão térmica relativamente baixa, o vidro permite que o ambiente perca muito calor, caso a esquadria esteja localizada em uma fachada que não recebe radiação solar.

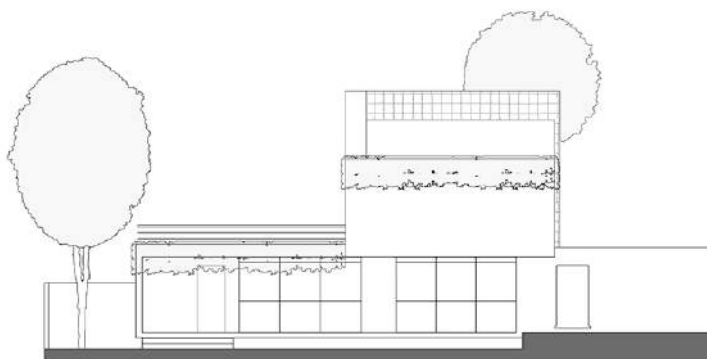


Figura 15 - Elevação face oeste externa

A elevação oeste externa, que fica de frente para a rua, é a fachada que fica mais exposta. Apesar de não ter a mesma quantidade de aberturas que a face norte, é uma fachada menor e automaticamente o percentual de abertura fica maior. Neste caso esse percentual é de 37,30%. Na elevação oeste interna o percentual de aberturas de fachada é de 40,7%, mas metade dessa face, incluindo a abertura, é coberta por parte da edificação, como pode ser visto no conte apresentado na Figura 16.

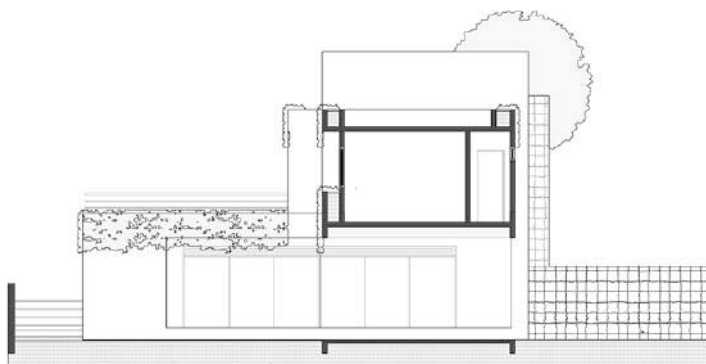


Figura 16 - Elevação face oeste interna

Somente o fator de ampliar as esquadrias já é o suficiente para prejudicar a eficiência energética da edificação, devido a necessidade de climatização dos ambientes, seja para frio ou para calor. No projeto escolhido como o estudo de caso, a edificação foi projetada com beirais de pelo menos 40cm em praticamente todas as

esquadrias, buscando resolver questões relacionadas com a radiação solar e questões relacionadas às possíveis infiltrações que possam ocorrer nas esquadrias com o passar do tempo.

Para os dois ambientes que não foram projetados com beiral, é proposto a utilização de vegetações decíduas ou também chamadas de caducas, que perdem completamente suas folhas no inverno. Essa vegetação é típica de climas temperados e no bioma brasileiro encontramos opções desse tipo de vegetação, como Ipê, Jacarandá Mimoso e Magnólia. Apesar de artifícios como os citados acima, vamos analisar como a escolha cuidadosa dos materiais e suas especificações podem ser fundamentais para ganhos energéticos, principalmente quando há a necessidade de climatização dos ambientes.

O projeto também aproveita as lajes de cobertura para formar terraços ajardinados, com acesso no piso superior e sem acesso na cobertura. A finalidade dessa vegetação é funcionar como barreira para a radiação solar, seja a radiação que seria absorvida pela edificação, ou a radiação que seria refletida pela mesma, minimizando desta forma a carga térmica final.

3.1.1. Localização e Clima

O projeto escolhido como estudo de caso está localizado na cidade de Curitiba-PR, na região sul do país, com altitude de 934,6m com relação ao nível do mar. Curitiba é conhecida pelo seu clima Temperado Subtropical Úmido, que de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger se enquadra na sigla Cfb. A estrutura da classificação de Köppen-Geiger, criada pelo climatologista russo Wladimir Köppen com participação do meteorologista alemão Rudolf Geiger, divide os climas em 5 grupos que se subdividem em tipos e subtipos. Essas siglas são compostas da seguinte forma:

- A primeira letra indica o grupo climático determinado pelas características gerais do clima de uma região específica. É indicada por letra maiúscula de “A” a “E”.
- A segunda letra indica o tipo de clima dentro do grupo e pode determinar particularidades do regime pluviométrico. Nos casos quando a primeira letra for “A”, “C” ou “D”, a segunda letra será minúscula. Caso a primeira letra seja “B”,

determina a quantidade de precipitação total do ano e a segunda letra seguirá maiúscula. E caso a primeira seja “E”, determina a temperatura média anual do ar e a segunda letra também seguirá maiúscula.

- A terceira letra, a qual será sempre minúscula, indica o subtipo de clima e segue os grupos que começam com “B”, “C” e “D”, ou seja, não existem para os grupos “A” e “E”. Nos grupos iniciados por “C” ou “D”, determina-se a temperatura média mensal do ar nos meses com temperaturas mais altas. Caso a primeira letra seja “B”, a informação é determinada de acordo com a temperatura média anual do ar.

Curitiba, que é uma das poucas regiões que seguem a sigla Cfb, se enquadra no grupo “C” que indica Clima Temperado com estações de verão e inverno bem definidas na maioria do tempo. Nos três meses mais frios tem temperatura média do ar variando entre -3°C e 18°C e no mês mais quente a temperatura média é superior a 10°C. O tipo de clima, indicado pela letra “f”, sugere clima úmido e ocorrência de precipitação em todos os meses do ano, sem uma estação seca definida. E o subtipo do clima, indicado pela letra “b”, indica que o verão é temperado com a temperatura média do ar nos quatro meses mais quentes acima de 10°C e destes quatro meses mais quentes, o mês mais quente inferior a 22°C.

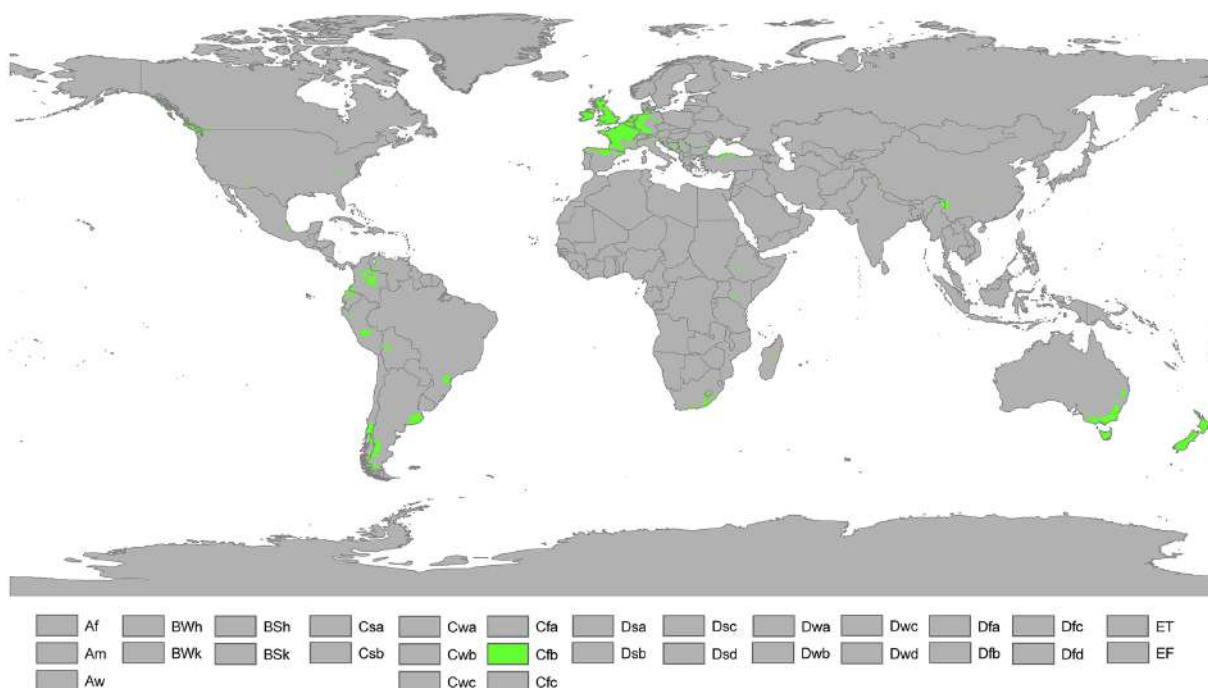


Figura 17 - Mapa mundi com demarcação do clima Cfb, segundo classificação climática de Köppen-Geiger

Com essas características climáticas já é possível verificar que existe uma preocupação maior com a proteção no inverno do que com o resfriamento no verão.

3.1.2. Implantação e Orientação solar

A implantação do projeto seguiu dois critérios determinantes para a divisão das áreas comercial e residencial e a partir disso o traçado dos ambientes internos. O primeiro critério foi a orientação solar para a maior incidência de radiação solar e para iluminação natural os principais ambientes da casa estão direcionados a norte e noroeste.

O segundo critério está relacionado com o acesso das diferentes áreas, aproveitando ser um terreno de esquina, a separação dos acessos foi determinada pelo tipo de via. Na esquina com a menor testada do terreno se trata de uma via arterial com velocidade máxima de 60km/h e na esquina com a maior testada do terreno se trata de uma via local com velocidade máxima de 30km/h. Seguindo estes dois critérios ficou determinado o acesso à área comercial na via arterial e o acesso à área residencial pela via local.

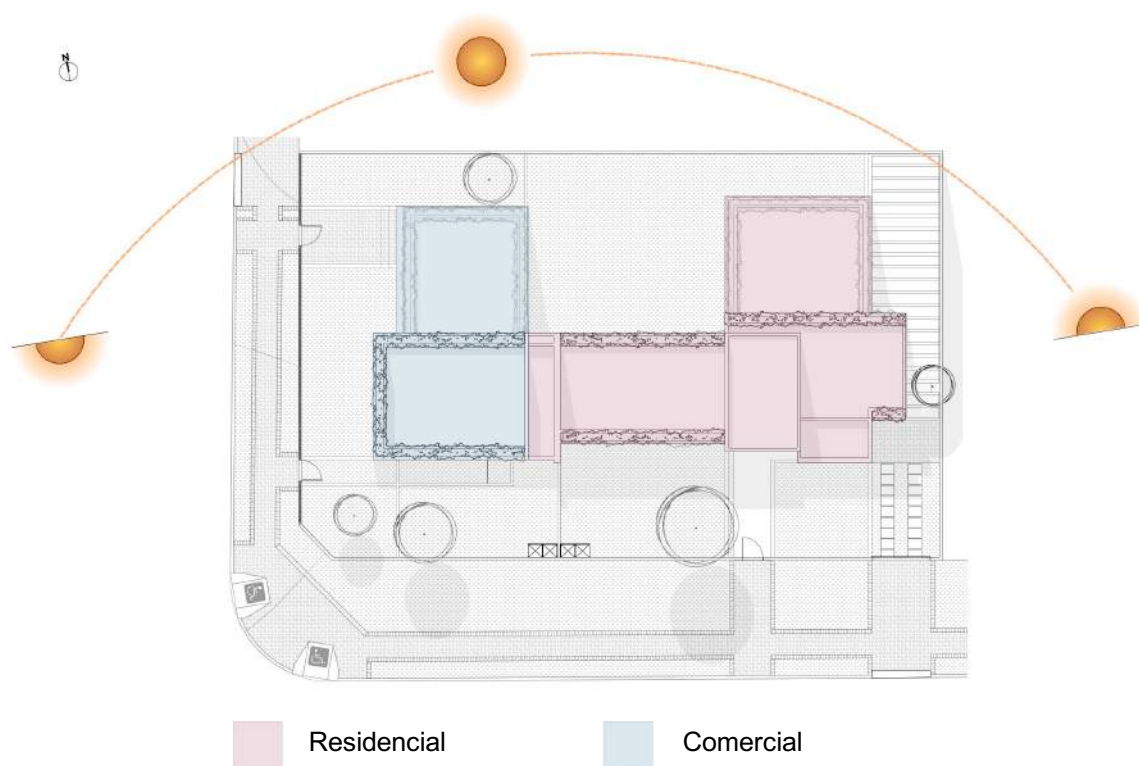


Figura 18 - Implantação e orientação solar do projeto utilizado para estudo de caso

4. SIMULAÇÕES

4.1. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A base utilizada para determinar os parâmetros utilizados na análise das simulações foi o Manual para aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade Residencial (RTQ-R) e o Manual para aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade Comercial, de Serviço e Público (RTQ-C), sendo o primeiro manual citado desenvolvidos com base na NBR 15.575 de desempenho de edificações.

Iniciando pelo setor residencial, será analisado o consumo relativo de aquecimento (C_A) e consumo relativo de resfriamento (C_R) dos ambientes de permanência prolongada, assim como determina a RTQ-R, que indica que o consumo relativo para aquecimento (C_A) deve ser considerado nas Zonas Bioclimáticas de 1 a 4.

Segundo a norma, o período considerado para a avaliação deve ser das 21 horas às 8 horas da manhã do dia seguinte e as temperaturas deveriam ser de 24°C para resfriamento e de 22°C para o aquecimento. Considerando que Curitiba é uma cidade de temperaturas amenas na maior parte do tempo, optou-se por utilizar como temperatura de aquecimento 20°C. Isso porque nos dias mais frios, sofrer a mudança de 8°C do ambiente externo para 20°C do ambiente climatizado, já é uma diferença significativa de temperatura. Outro benefício ao utilizarmos a temperatura dois graus mais baixo que o determinado pela RTQ-R é uma pequena economia que se pode ganhar em cima desses dois graus que não estão sendo demandados. Para o estudo de caso foram considerados como ambientes de permanência prolongada, a sala íntima e os dormitórios. No período não compreendido das 21 horas às 8 horas, considerou-se que a edificação utilizará o sistema de ventilação natural. Com relação ao setor comercial, a RTQ-C determina que seja informado o período de utilização do espaço e seja analisado juntamente com os demais parâmetros. De acordo com o programa determinado para o desenvolvimento do projeto, foi definido o período de utilização do espaço das 8 horas às 19 horas.

Com relação às temperaturas do consumo relativo de aquecimento (C_A) e consumo relativo de resfriamento (C_R), foram utilizadas as mesmas temperaturas citadas, quando descrito o método utilizado para a avaliação do setor residencial. Para

a realização das avaliações, foi utilizado o software EnergyPlus, validado pela ANSI/ASHRAE Standard 140, atendendo ao critério estabelecido na NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

O estudo de caso escolhido para este trabalho localiza-se na Zona Bioclimática 1, zona esta que equivale a 0,08% do território nacional, sendo composto por doze cidades, entre elas a cidade de Curitiba – PR, com temperaturas médias variando entre 15°C e 26°C ao longo do ano.



Figura 19 - Zona Bioclimática 1, de acordo com a NBR 15220

Utilizando o Software Analysis BIO, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina, é possível verificar na Carta Bioclimática de Givoni que nos meses de maio a agosto Curitiba alcança a Zona 9, indicativa de aquecimento artificial, e nos meses de verão permanece na Zona 1, indicativa de conforto.

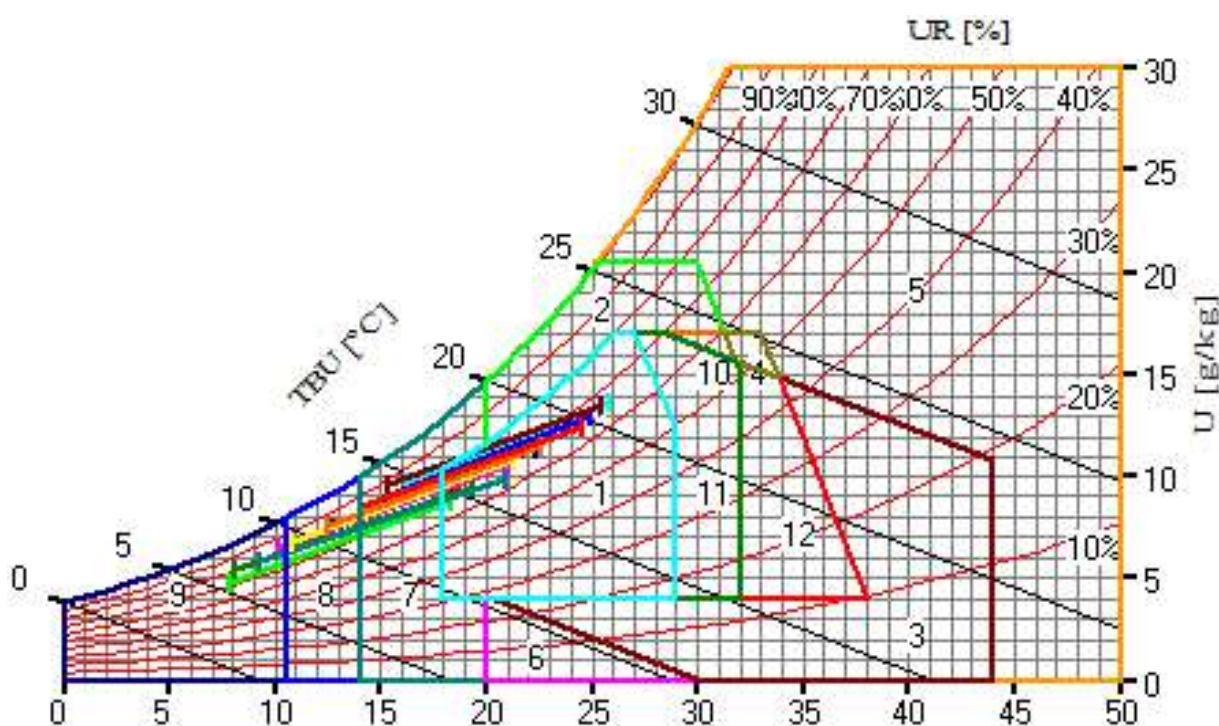


Figura 20 - Carta Bioclimática de Givoni, segundo o Software Analysis BIO para a localização de Curitiba – PR

ZONAS:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Conforto | 7. Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar |
| 2. Ventilação | 8. Aquecimento Solar Passivo |
| 3. Resfriamento Evaporativo | 9. Aquecimento Artificial |
| 4. Alta Inércia Térmica p/ Resfr. | 10. Ventilação/Alta Inércia |
| 5. Ar Condicionado | 11. Vent./Alta Inércia/Resf. Evap. |
| 6. Umidificação | 12. Alta Inércia/Resf. Evap. |

Figura 21 - Legenda da Carta Bioclimática de Givoni, segundo o Software Analysis BIO para a localização de Curitiba – PR

Segundo a NBR 15220, na Zona Bioclimática 1, as aberturas para ventilação devem ser médias e permitir a entrada de sol durante o período frio, indicado pela Tabela 1, e na Tabela 3 esclarece que o condicionamento passivo será insuficiente durante os dias mais frios do ano.

Tabela 1 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 1

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o período frio

Figura 22 - Tabela 1 da NBR 15.220 para a Zona Bioclimática 1

Tabela 3 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 1

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica) Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

Figura 23 - Tabela 3 da NBR 15.220 para a Zona Bioclimática 1

A tabela indicada acima já há um perfil histórico das temperaturas médias mensais e que durante os dias mais frios o aquecimento solar será suficiente, de forma natural. O conhecimento de tais informações e a tomada de decisões a partir dos dados levantados sobre a localidade onde o projeto está inserido é fundamental para o desenvolvimento de um projeto que tenha como interesse central a eficiência energética. Explorando essas possibilidades conforme as características climáticas locais, temos como resultado uma edificação adequada ao uso proposto e ao meio que está inserida oferecendo maior conforto interno com menor consumo energético. Segundo Roaf (2006), para sobreviver, precisamos nos proteger do clima usando três peles. A primeira é proporcionada pela nossa própria pele, a segunda, por uma camada de roupas e a terceira é a edificação.

4.1.1. Sistema de envoltória

A envoltória não é apenas responsável por proteger os ambientes internos do clima e das intempéries do ambiente externo. Esta deveria ser também a principal responsável pelo conforto ambiental dentro das edificações. A envoltória deve ser especificada para atender as necessidades de isolamento de acordo com as características locais, como a amplitude térmica e o clima. No presente trabalho optou-se por desenvolver as análises utilizando um dos sistemas construtivos mais disseminados pelo território nacional, a alvenaria convencional. A escolha do material foi feita com o intuito de que as análises aqui apresentadas pudessem atingir de alguma forma, em larga escala, os projetos desenvolvidos pelos profissionais da área da construção civil. Os parâmetros que determinam a análise que será escolhida como base para comparação com os demais experimentos, foram escolhidos por comporem a situação mais econômica quando a escolha do sistema construtivo for alvenaria convencional.

Empregando todos os dados levantados para a o desenvolvimento do projeto utilizado como estudo de caso, foram determinadas seis estratégias de composição de materiais simulando em alvenaria convencional, da situação mais simples e barata para a situação melhor elaborada e cara. As simulações foram desenvolvidas utilizando o software EnergyPlus para avaliação da transmitância térmica (U) dos materiais escolhidos. A transmitância térmica significa a quantidade de calor que atravessa por segundo em um metro quadrado de um elemento, com a espessura de um metro e com a diferença de temperatura do ar de um Kelvin das superfícies opostas, sendo expressada pela unidade W/m^2K . Quanto menor a transmitância térmica (U) de um elemento, menor sua dispersão de calor e maior sua inércia térmica, ou seja, mais tempo o material leva para transmitir a temperatura do exterior para o interior e vice e versa.

Na composição das fachadas a RTQ considera janelas de vidro como aberturas, onde é possível a passagem de luz, ventilação e radiação solar. É importante que as aberturas sejam protegidas de alguma maneira, limitando a entrada de radiação solar nos ambientes internos. Como o programa do projeto demandava grandes aberturas permitindo o máximo aproveitamento de iluminação natural, não foi possível limitar a extensão das aberturas. A solução encontrada para impedir as irradiações

indesejadas foi o sombreamento das aberturas, com estruturas de no mínimo 40cm de largura.

Como já visto, para o setor residencial o RTQ-R orienta que sejam analisados ambientes de longa permanência, como quartos e sala, no horário das 21 horas até as 8 horas do dia seguinte. Para o setor comercial, o RTQ-C não determina faixa de horário devido a grande variação de possibilidades de funcionamento para cada tipo de comércio. Neste caso consideramos como período de funcionamento da área comercial nos dias de semana das 8 horas às 19 horas.

4.1.2. Sistema de iluminação artificial

A iluminação dos ambientes precisa sempre ser preparada para que estes sejam utilizados a qualquer horário do dia e da noite. Desta forma a disposição das luminárias precisa considerar a pior situação na qual o usuário será exposto, ausência de luz. Para resolver a necessidade do usuário e ao mesmo tempo ter um projeto racional, uma solução muito interessante é a separação dos circuitos de iluminação. A opção de separar os circuitos da iluminação artificial, permitindo o acionamento separado das luminárias próximas e das luminárias mais às aberturas, estimula o aproveitamento da iluminação natural, utilizando energia elétrica somente onde necessário.

Uma opção muito conveniente para os espaços comerciais e corporativos, além da separação dos circuitos citados acima, é a disposição de iluminação de apoio por usuário. Dependendo da atividade desenvolvida no ambiente de escritórios a NBR 8995-1/2013 determina uma quantidade específica de lumens por metro quadrado (lm/m^2). A adoção de estratégias de iluminação de apoio individual auxilia no conforto lumínico e mantém a eficiência do projeto. Este é um tipo de requisito que independe da necessidade de softwares elaborados para conseguir um sistema de iluminação eficiente, permitindo a sustentabilidade e viabilidade do projeto sem a necessidade de grandes investimentos.

A grande diferença para a iluminação artificial no projeto em estudo foi destacada para o setor comercial. O setor residencial também demanda soluções eficientes, mas como não há atividade laboral, não foi incluído no escopo do projeto. Além do atendimento da NBR 8995-1/2013 quanto ao fluxo luminoso de acordo com as tarefas

desenvolvidas em cada ambiente, a ampliação das esquadrias com a finalidade de permitir a entrada de iluminação natural é um fator de relevante no projeto. No ambiente comercial, a especificação correta do tipo de fonte luminosa pode ser determinante inclusive para a saúde das pessoas que ali desenvolvem seus trabalhos e também para a saúde financeira da empresa que ocupa o espaço do escritório.

Com a evolução tecnológica das lâmpadas, o LED (Lighting Emitted Diode) praticamente tomou conta do mercado reproduzindo todos os tipos de lâmpadas existentes, mas permanecendo como uma das opções mais caras. Entretanto, o custo das lâmpadas de LED é justificável quando se analisa a eficiência luminosa (lm/W), que nada mais é que a eficiência de uma fonte luminosa em converter a fonte a energia que recebe em luz.

Ainda existem lâmpadas concorrentes do LED, como as fluorescentes tubulares (lâmpadas T5). Se compararmos as especificações de uma lâmpada T5 de 28W com um LâmpLED de 19W, à primeira vista o LâmpLED sai em vantagem por oferecer pouco mais que o dobro de horas de vida útil com pouco diferença na quantidade de lúmens. Enquanto uma lâmpada T5 oferece 2.950 lúmens com eficiência luminosa de 105lm/W, o LâmpLED oferece 2.470 lúmens com eficiência luminosa de 130lm/W. A disparidade começa a diminuir quando entra na comparação o custo de cada lâmpada, a LâmpLED é 30% mais cara que as lâmpadas T5. Essa diferença de custos praticamente empata o comparativo das duas.

4.1.3. Sistema de aquecimento solar

O aquecimento solar será considerado apenas para o setor residencial, já que o uso do setor comercial é de escritórios, praticamente não demandando a necessidade de aquecimento de água. Para o setor residencial, o tipo de coletor selecionado foi o de tubo a vácuo, considerando a eficiência do equipamento e também as baixas temperaturas que ocorrem no inverno. Infelizmente no projeto, ficou inviável as diferenças de altura necessárias entre o reservatório térmico e as placas coletoras, inviabilizando o sistema de circulação passivo, também chamado de termossifão. Sendo assim, o sistema de circulação da água será por circulação forçada. Uma preocupação do projeto foi a existência de casa de máquinas que pudesse proteger a caixa d'água e o reservatório térmico do tempo. Essa proteção auxiliará ainda mais

na eficiência do reservatório térmico, já que ele estará protegido da amplitude térmica do ambiente externo além do isolamento que faz parte da sua composição.

Para calcular a quantidade de placas necessárias para atender a demanda da utilização da área residencial, utilizamos dados de média de consumo de metais considerando quatro usuários na casa.

Peças	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário	Temperatura de consumo (°C)
			(minuto/pessoa)	
Ducha de banho	6,6 l/min	12,0 l/min	10	39 – 40
Lavatório	3,0 l/min	4,8 l/min	2	39 – 40
Ducha Higiênica	3,0 l/min	4,8 l/min	2	39 – 40
Banheira	80 l	440 l	banho	39 – 40
Pia cozinha	3,0 l/min	4,8 l/min	3	39 – 40

Figura 24 - Tabela de consumo de metais

Segundo os cálculos apresentados acima, o total de área coletora necessária para o aquecimento do volume de água demandado é de aproximadamente 7m². Verificando as opções oferecidas pelo mercado, considerou-se a utilização de um coletor solar de tubo a vácuo com 15 tubos, 76,15kWh/mês por metro quadrado e área de 2,28m². Dentro dessas especificações, a quantidade necessária de placas para comportar a necessidade resultante dos cálculos será de 3 coletores solares de tubo a vácuo. Os cálculos para a conclusão dos dados expostos estão apresentados no APÊNDICE A.

4.2. ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

4.2.1. Estratégia 1 – Sistema de envoltória de alvenaria convencional simples

O interesse dessa primeira análise foi determinar, através de critérios verificados por intermédio de pesquisa de mercado, qual seria a situação mais básica na construção civil, do ponto de vista da especificação dos materiais. A partir destes critérios determinados, foi feita a simulação utilizando software EnergyPlus, validado pela ANSI/ASHRAE Standard 140, a carga térmica necessária para manter os ambientes aquecidos no inverno ou resfriados no verão.

Este modelo mais simples será utilizado como base de comparação para a averiguação da diferença de investimento financeiro para com os demais modelos determinados como estratégias da construção civil brasileira analisando diferentes espessuras e composições dos mesmos materiais. A análise ocorrerá em torno da

envoltória e das lajes, considerando o investimento financeiro, a carga térmica e o maior ganho de eficiência energética. Os cálculos para a conclusão dos dados expostos estão apresentados no APÊNDICE B.

Como a Estratégia 1 é a situação base, ou seja, mais simples da construção com alvenaria convencional, foi especificado como opção de parede, tanto interna como externa, a utilização do tijolo de 6 furos em pé, sendo denominado de parede de 9cm (9,0 x 14,0 x 19,0cm), com argamassa de assentamento de 1,5cm e argamassa de reboco de 2,5cm, além da pintura externa e interna. A transmitância térmica (U) do tijolo utilizado no sentido que foi especificado nesta Estratégia 1 foi de 2,654W/m²K, com capacidade térmica de 142,19kJ/m²K.

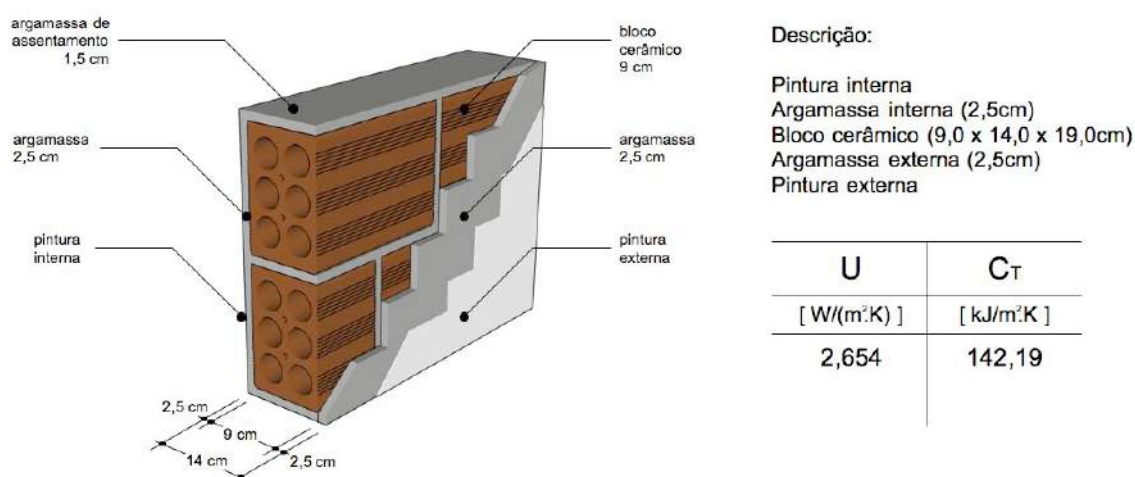


Figura 25 - Desenho de parede de 9cm

O tipo de laje especificado no projeto foi de laje de concreto armado estruturado devido aos grandes vãos existentes.

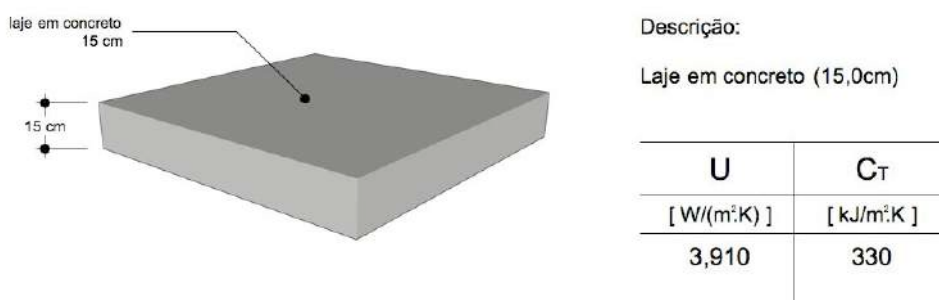


Figura 26 - Desenho de laje simples

Na especificação de materiais utilizados para a Estratégia 1 as lajes não são isoladas e no caso das lajes do térreo, estas serão apenas separadas do solo por um bolsão de ar, evitando pontes de frio. Neste caso a transmitância térmica (U) foi de $3,910\text{W/m}^2\text{K}$, com capacidade térmica de $330\text{kJ/m}^2\text{K}$.

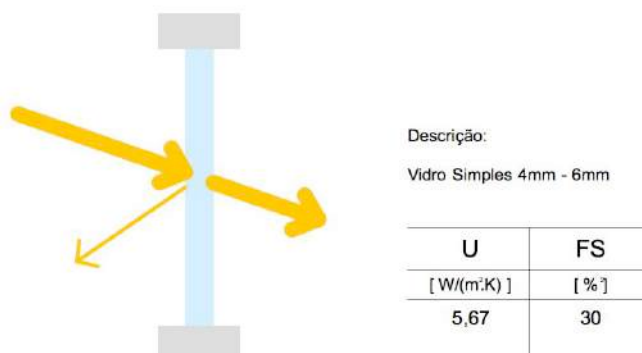


Figura 27 - Vidro Float de 4mm a 6mm

Com relação a parcela da fachada composta de material transparente ou translúcido, considerado pela RTQ como aberturas, como já citado, foi determinado para a Estratégia1 a utilização vidro Float de 4mm na maioria das esquadrias. Esse padrão não foi seguido apenas nas situações que compunham porta-janelas, por conta da própria estrutura do vidro. Nessas esquadrias a especificação foi de vidro Float de 6mm, ambos com transmitância térmica (U) de $5,67\text{W/m}^2\text{K}$ e fator solar de 30%.

4.2.2. Estratégia 2 – Sistema de envoltória de alvenaria convencional intermediária

A Estratégia 2 propõe uma situação de envoltória mais robusta, sendo especificado com opção de parede, tanto interna como externa, a utilização do tijolo de 6 furos deitado, sendo denominado de parede de 14cm ($9,0 \times 14,0 \times 19,0\text{cm}$), com argamassa de assentamento de 1,5cm e argamassa de reboco de 2,5cm, além da pintura externa e interna.

A transmitância térmica (U) do tijolo utilizado no sentido que foi especificado nesta Estratégia 2 foi de $1,743\text{W/m}^2\text{K}$, com capacidade térmica de $153,93\text{kJ/m}^2\text{K}$. Como já mencionado, o tipo de laje especificado no projeto foi de laje de concreto armado estruturado devido aos grandes vãos existentes.

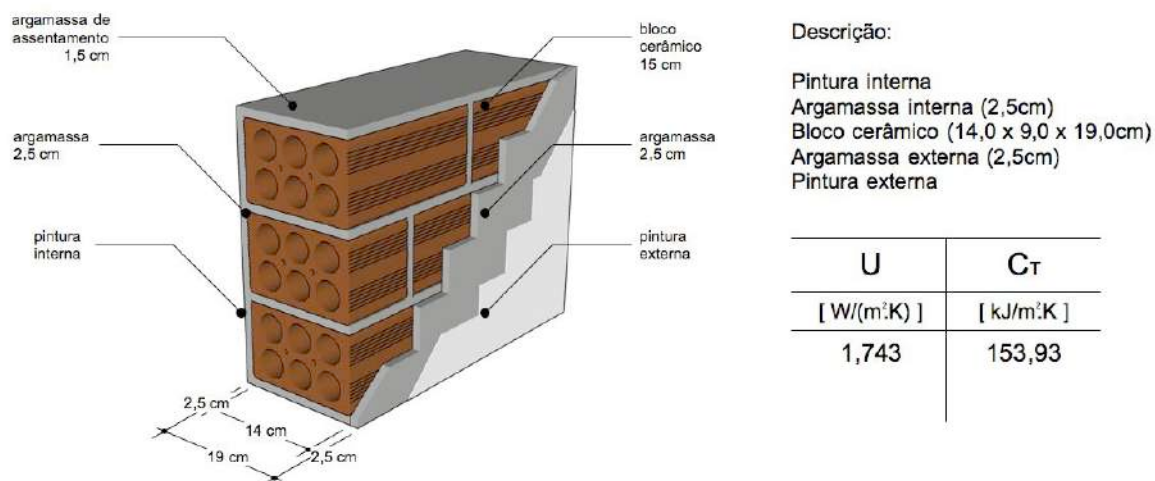


Figura 28 - Desenho de parede de 14cm

Nesta opção, além de separadas do solo pelo bolsão de ar no caso da laje do térreo, as lajes são isoladas com 2cm de isopor. Nas demais lajes o isolamento de isopor também ocorre, principalmente na laje de cobertura. Neste caso a transmitância térmica (U) foi de 1,147W/m²K, com capacidade térmica de 331,14kJ/m²K.

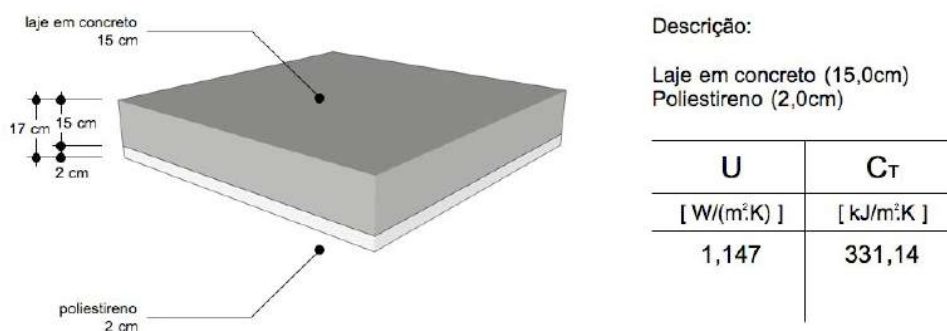


Figura 29 - Desenho de laje isolada

Com relação a parcela da fachada composta de material transparente ou translúcido, denominado pela RTQ de aberturas, foi determinado também para a Estratégia 2, a utilização vidro Float de 4mm na maioria das esquadrias. Esse padrão não foi seguido apenas nas situações que compunham porta-janelas, por conta da própria estrutura do vidro. Nessas esquadrias a especificação foi de vidro Float de 6mm, ambos com transmitância térmica (U) de 5,67W/m²K e fator solar de 30%.

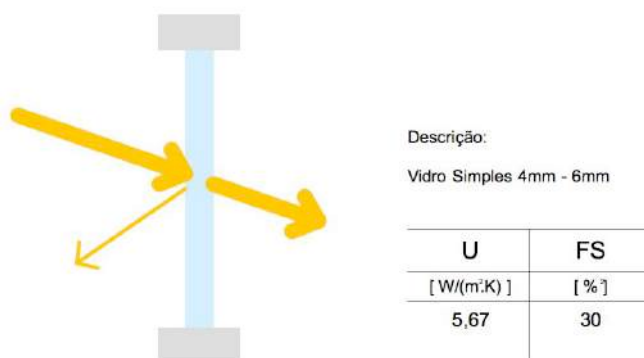


Figura 30 - Vidro Float de 4mm a 6mm

4.2.3. Estratégia 3 – Sistema de envoltória de alvenaria convencional e fechamentos de vidro intermediários

A Estratégia 3 mantém as mesmas características de parede que a Estratégia 2, propondo uma situação de envoltória mais robusta, sendo especificado com opção de parede, tanto interna como externa, a utilização do tijolo de 6 furos deitado, sendo denominado de parede de 14cm (9,0 x 14,0 x 19,0cm), com argamassa de assentamento de 1,5cm e argamassa de reboco de 2,5cm, além da pintura externa e interna. A transmitância térmica (U) do tijolo utilizado no sentido que foi especificado nesta Estratégia 2 foi de 1,743W/m²K, com capacidade térmica de 153,93kJ/m²K.

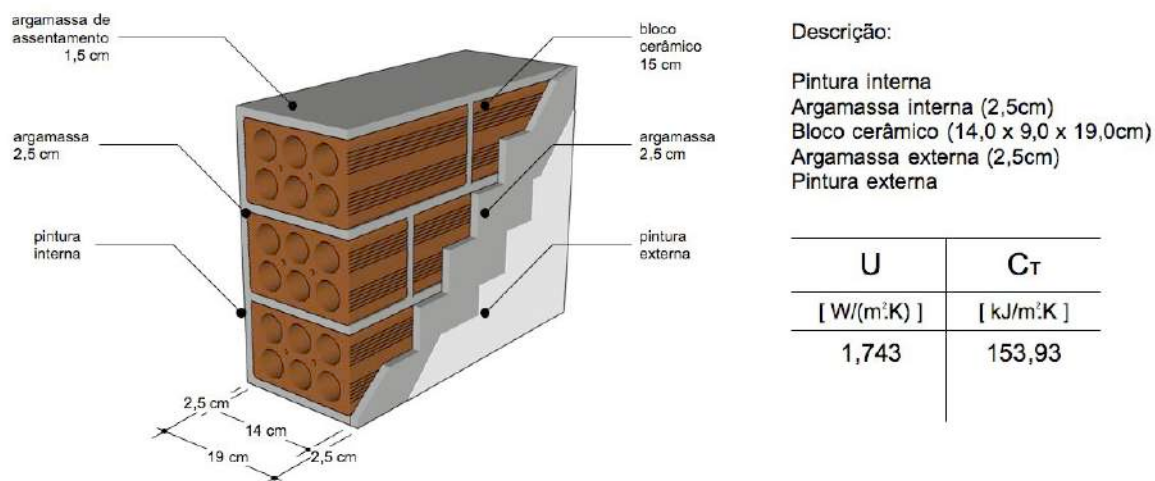


Figura 31 - Desenho de parede de 14cm

O tipo de laje especificado no projeto foi de laje de concreto armado estruturado devido aos grandes vãos existentes. Nesta opção, além de separadas do solo pelo bolsão de ar no caso da laje do térreo, as lajes são isoladas com 2cm de isopor. Nas demais lajes o isolamento de isopor também ocorre, principalmente na laje de cobertura. Neste caso a transmitância térmica (U) foi de $1,147 \text{ W/m}^2\text{K}$, com capacidade térmica de $331,14 \text{ kJ/m}^2\text{K}$.

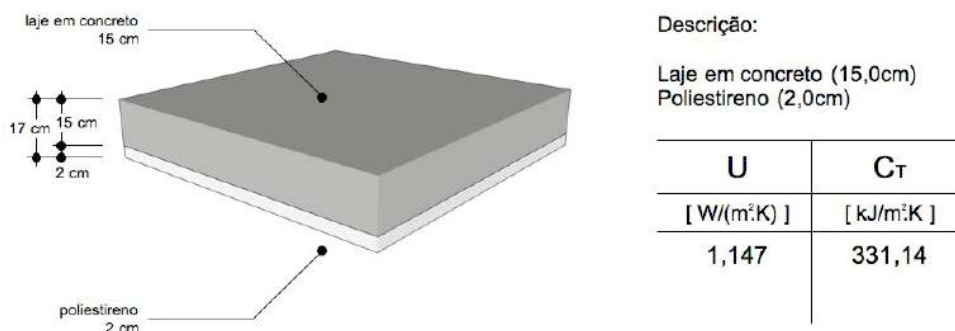


Figura 32 - Desenho de laje isolada

Com relação a parcela da fachada composta de material transparente ou translúcido, denominado pela RTQ de aberturas, foi determinado também para a estratégia 3, a utilização vidro Guardian Reflexivo de 6mm em todas as esquadrias com transmitância térmica (U) de $4,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ e fator solar de 29%.

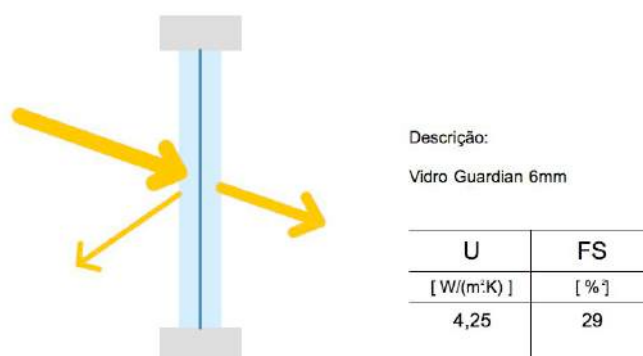
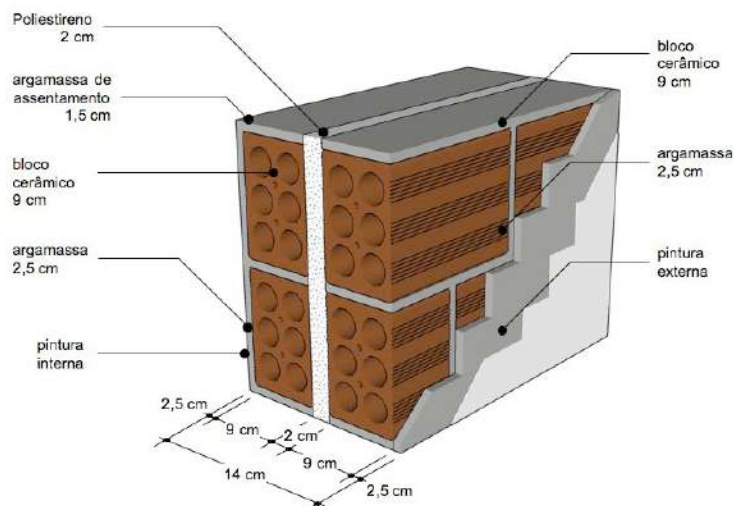


Figura 33 - Vidro Guardian Refletivo de 6mm

4.2.4. Estratégia 4 – Sistema de envoltória de alvenaria de parede dupla e fechamento de vidro simples

A partir da Estratégia 4 começa a ser considerado a utilização de parede dupla das fachadas e parede de 14cm nos ambientes internos. A parede dupla é composta

por tijolos interno de 9cm (9,0 x 14,0 x 24,0cm), 2cm de isopor e tijolos externo de 9cm (9,0 x 14,0 x 24,0cm), com argamassa de assentamento de 1,5cm e argamassa de reboco de 2,5cm, além da pintura externa e interna. A transmitância térmica (U) do tijolo utilizado no sentido que foi especificado nesta Estratégia 4 foi de 0,575W/m²K, com capacidade térmica de 176,64kJ/m²K.



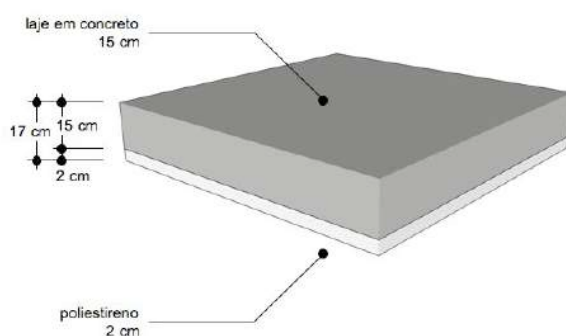
Descrição:

Pintura interna
Argamassa interna (2,5cm)
Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 19,0cm)
Poliestireno (2,0cm)
Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 19,0cm)
Argamassa externa (2,5cm)
Pintura externa

U	C _T
[W/(m ² :K)]	[kJ/m ² :K]
0,576	176,64

Figura 34 - Desenho de parede dupla

Novamente, o tipo de laje especificado no projeto foi de laje de concreto armado estruturado devido aos grandes vãos existentes. Nesta opção, além de separadas do solo pelo bolsão de ar no caso da laje do térreo, as lajes são isoladas com 2cm de isopor. Nas demais lajes o isolamento de isopor também ocorre, principalmente na laje de cobertura. Neste caso a transmitância térmica (U) foi de 1,147W/m²K, com capacidade térmica de 331,14kJ/m²K.



Descrição:

Laje em concreto (15,0cm)
Poliestireno (2,0cm)

U	C _T
[W/(m ² :K)]	[kJ/m ² :K]
1,147	331,14

Figura 35 - Desenho de laje isolada

Com relação a parcela da fachada composta de material transparente ou translúcido, denominado pela RTQ de aberturas, foi determinado também para a Estratégia 2, a utilização vidro Float de 4mm na maioria das esquadrias, esse padrão não foi seguido apenas nas situações que compunham porta-janela, por conta da própria estrutura do vidro, nessas esquadrias a especificação foi de vidro Float de 6mm, ambos com transmitância térmica (U) de $5,67\text{W/m}^2\text{K}$ e fator solar de 30%.

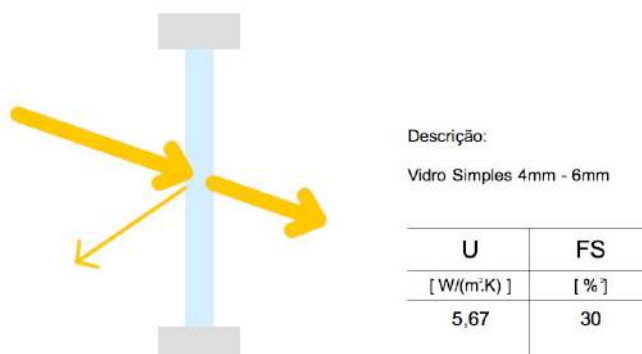


Figura 36 - Vidro Float de 4mm a 6mm

4.2.5. Estratégia 5 – Sistema de envoltória de alvenaria de parede dupla e fechamento em vidro duplo nos ambientes de longa permanência.

A partir da Estratégia 5 começa a ser considerado a utilização de parede dupla das fachadas e parede de 14cm nos ambientes internos.

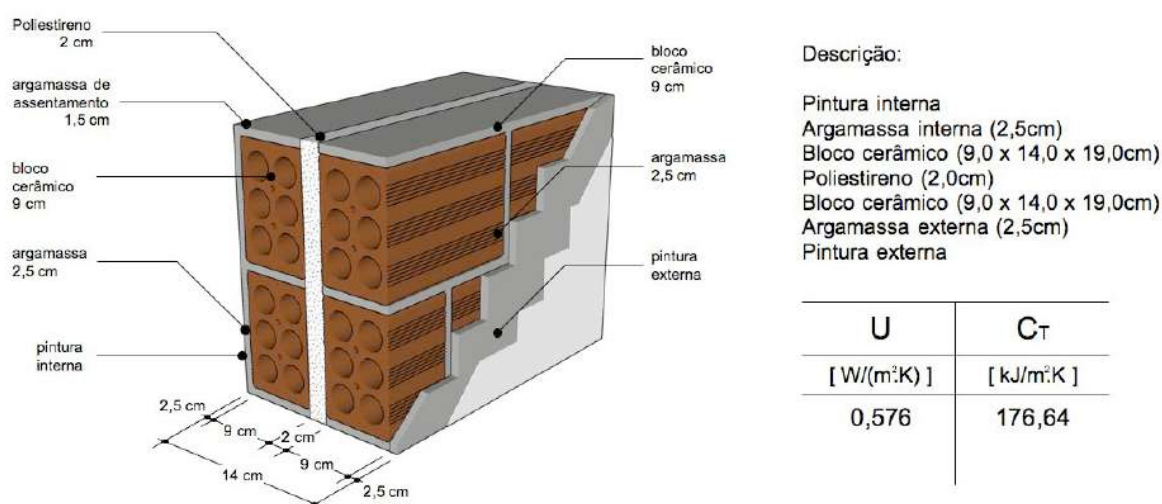


Figura 37 - Desenho de parede dupla

A parede dupla é composta por tijolos interno de 9cm (9,0 x 14,0 x 24,0cm), 2cm de isopor e tijolos externo de 9cm (9,0 x 14,0 x 24,0cm), com argamassa de

assentamento de 1,5cm e argamassa de reboco de 2,5cm, além da pintura externa e interna. A transmitância térmica (U) do tijolo utilizado no sentido que foi especificado nesta Estratégia 5 foi de $0,576\text{W/m}^2\text{K}$, com capacidade térmica de $176,64\text{kJ/m}^2\text{K}$.

Aqui também, tipo de laje especificado no projeto foi de laje de concreto armado estruturado devido aos grandes vãos existentes. Nesta opção, além de separadas do solo pelo bolsão de ar no caso da laje do térreo, as lajes são isoladas com 2cm de isopor. Nas demais lajes o isolamento de isopor também ocorre, principalmente na laje de cobertura. Neste caso a transmitância térmica (U) foi de $1,147\text{W/m}^2\text{K}$, com capacidade térmica de $331,14\text{kJ/m}^2\text{K}$.

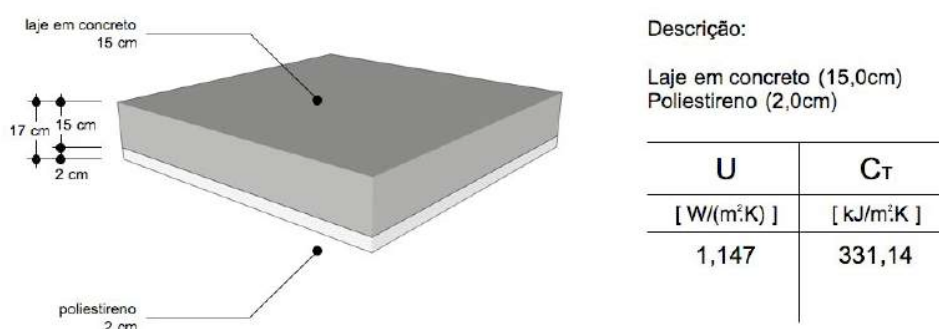


Figura 38 - Desenho de laje isolada

Com relação a parcela da fachada composta de material transparente ou translúcido, denominado pela RTQ de aberturas, foi determinado também para a Estratégia 5 a utilização do vidro *Guardian* Duplo com câmara de ar de 8mm e vidro de 5mm nos ambientes de longa permanência, neste caso selecionando os quartos e a sala íntima como estes ambientes, com transmitância térmica (U) de $3,25\text{W/m}^2\text{K}$ com fator solar de 27%, e vidro *Guardian* Reflexivo de 6mm em todas as demais esquadrias, com transmitância térmica (U) de $4,25\text{W/m}^2\text{K}$ e fator solar de 29%.

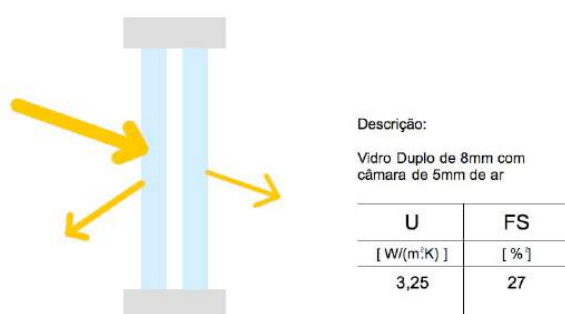


Figura 39 - Vidro Duplo com câmara de ar

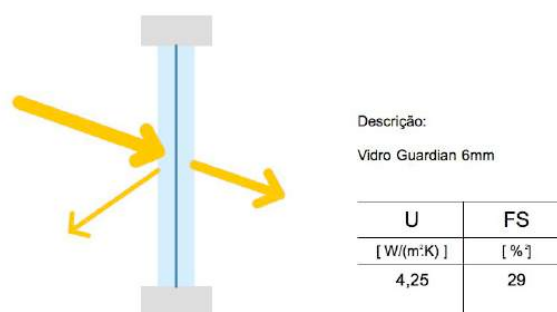


Figura 40 - Vidro Guardian Refletivo de 6mma

4.2.6. Estratégia 6 – Sistema de envoltória de alvenaria de parede dupla e fechamento em vidro duplo

A Estratégia 6 segue a especificação de utilização de parede dupla das fachadas e parede de 14cm nos ambientes internos. A parede dupla é composta por tijolos interno de 9cm (9,0 x 14,0 x 24,0cm), 2cm de isopor e tijolos externo de 9cm (9,0 x 14,0 x 24,0cm), com argamassa de assentamento de 1,5cm e argamassa de reboco de 2,5cm, além da pintura externa e interna. A transmitância térmica (U) do tijolo utilizado no sentido que foi especificado nesta Estratégia 5 foi de 0,576W/m²K, com capacidade térmica de 176,64kJ/m²K.

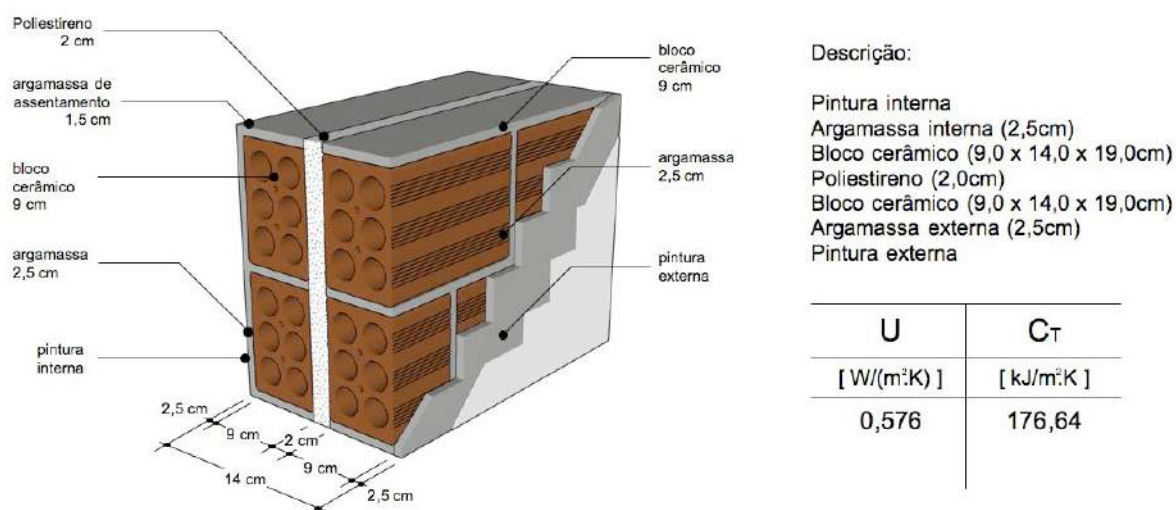


Figura 41 - Desenho de parede dupla

Da mesma maneira, o tipo de laje especificado no projeto foi de laje de concreto armado estruturado devido aos grandes vãos existentes. Nesta opção, além de separadas do solo pelo bolsão de ar no caso da laje do térreo, as lajes são isoladas com 2cm de isopor. Nas demais lajes o isolamento de isopor também ocorre, principalmente na laje de cobertura. Neste caso a transmitância térmica (U) foi de 1,147W/m²K, com capacidade térmica de 331,14kJ/m²K.

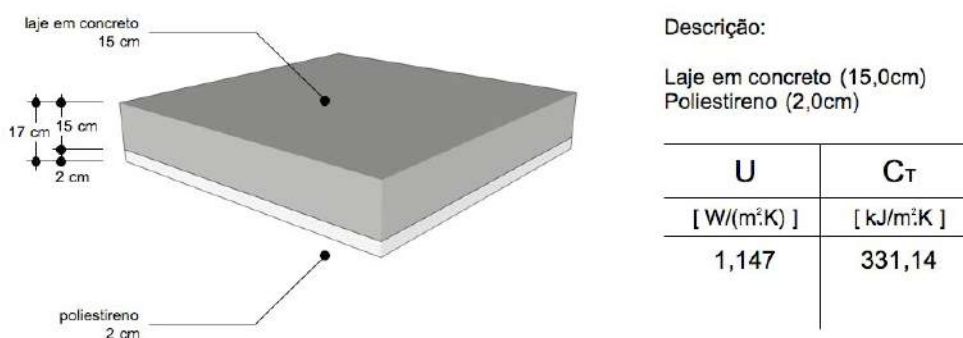


Figura 42 - Desenho de laje isolada

Com relação a parcela da fachada composta de material transparente ou translúcido, denominado pela RTQ de aberturas, foi determinado também para a Estratégia 6, a utilização de vidro Guandian Duplo com câmara de ar de 8mm e vidro de 5mm em todos os ambientes, com transmitância térmica (U) de 3,25W/m²K e fator solar de 27%.

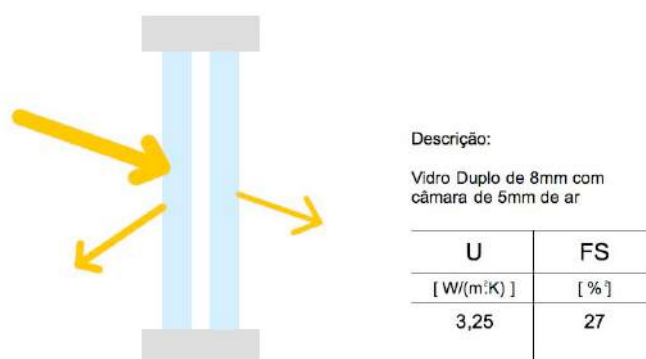


Figura 43 - Vidro Duplo com câmara de ar

5. CUSTOS COMPARATIVOS

5.1. CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

A análise feita do projeto escolhido como estudo de caso, tinha como objetivo observar o impacto financeiro da execução de acordo com suas especificações. Foram feitas seis análise utilizando praticamente os mesmos materiais, alterando suas composições e espessuras. Através do software EnergyPlus, obteve-se a carga térmica de cada estratégia para aquecimento e resfriamento. Claramente as estratégias que compunham maior combinação de elementos isolantes obtiveram melhores resultados, enquanto que as estratégias que foram compostas com acabamentos mais simples tiveram piores resultados. O interessante foi observar os resultados obtidos nas estratégias intermediárias, nas quais determinadas composições de materiais de mais e menos eficiência, exatamente para entender qual material tem mais influencia na eficiência do estudo de caso.

Uma tabela com as composições de cada estratégia foi elaborada com o intuito de revisar os itens descritos no Capítulo 4.2 – Estratégias de Eficiência Energética. Essa tabela é apresentada na sequencia, na figura 33.

RESUMO DAS ESTRATÉGIAS						
Materiais	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Alvenaria Simples (parede 9 cm)	x					
Alvenaria Simples (parede 14 cm)		x	x			
Alvenaria Dupla (parede 19 cm)				x	x	x
Laje sem Isolamento	x					
Laje com Isolamento		x	x	x	x	x
Vidro Simples	x	x		x		
Vidro Guardian			x		x	
Vidro Duplo com Camara de Ar					x	x

Figura 44 - Tabela com resumo das estratégias estabelecidas

Do ponto de vista econômico, o gráfico da Figura 34 indica que os valores de custo de obra e de gasto energético são inversamente proporcionais. Quanto maior o investimento em materiais isolantes, menor a carga térmica, ou gasto energético da edificação. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi elaborado um levantamento do custo médio dos materiais de construção especificados em cada uma das estratégias analisadas.

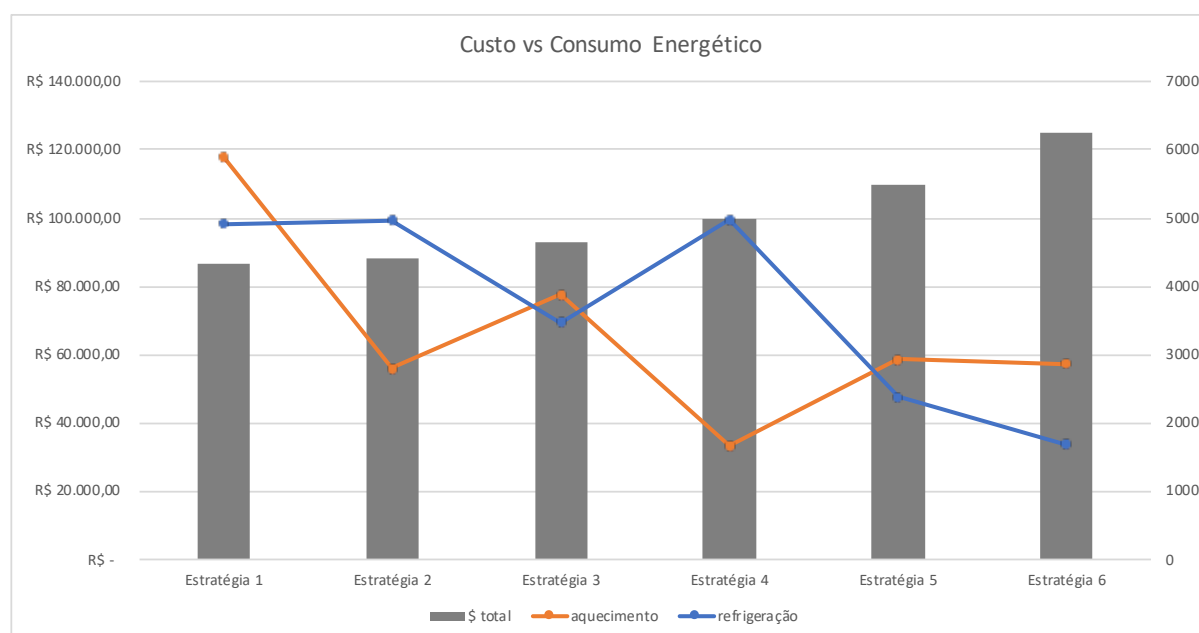


Figura 45 - Gráfico de custo de obra e consumo energético

Tabela Custo vs Consumo Energético			
Estratégias	Aquecimento (kW/h)	Refrigeração (kW/h)	Custo da Obra (R\$)
Estratégia 1	5889	4908,4	R\$ 86.822,32
Estratégia 2	2799,96	4971,53	R\$ 87.939,28
Estratégia 3	3873,76	3469,86	R\$ 93.022,24
Estratégia 4	1665,84	4976,47	R\$ 99.681,68
Estratégia 5	2926,72	2380,37	R\$ 109.813,61
Estratégia 6	2869,51	1678,33	R\$ 125.122,69

Figura 46 - Tabela de custo de obra vs. consumo energético

Com esse levantamento foi possível dimensionar o quanto vale o investimento no isolamento não apenas em edificações comerciais, como já ocorre com maior frequência, mas também as edificações residenciais. O levantamento considerou custos de material e mão de obra, tanto das alvenarias, estrutura de laje e esquadrias, que foram os elementos avaliados mediante alterações referentes a cada estratégia. A alvenaria foi o elemento que sofreu maior variação dos itens analisados, lembrando que para o item alvenaria, foram detalhados três modelos padrões. O cálculo médio de custos com alvenaria indicou uma variação de 35% entre a opção de alvenaria mais simples, parede de 9cm, e a opção de alvenaria mais elaborada, parede dupla. Entre a alvenaria mais simples, parede de 9cm, e a alvenaria intermediária, parede de 14cm, a variação foi de apenas 4,5%. Dependendo do porte e padrão do projeto e da obra, uma variação de 4,5% é tão pequena comparado ao ganho energético que merece ser analisado com mais atenção.

O custo das lajes segue um raciocínio muito parecido ao que foi considerado quanto a escolha entre utilizar o tijolo em pé (parede de 9 cm) ou utilizar o tijolo deitado (parede de 14 cm). Foram detalhados dois tipos de lajes: o primeiro detalhamento indica a laje moldada e concretada in loco, resultando em uma laje estruturada de 15cm; e no segundo detalhamento é indicada a laje moldada e concretada in loco com 2cm de poliestireno na base inferior, resultando em uma laje estruturada e isolada de 17cm. A variação laje sem isolamento para as lajes com isolamento foi de 3%. Essa diferença tão pequena indica que não existe justificativas plausíveis para a não utilização de lajes com isolamento, por mais simples que seja a obra.

O último elemento a ser analisado foram as esquadrias, sendo determinadas quatro especificações. A primeira delas, utilizada nas Estratégias 1, 2 e 4, a edificação inteira utilizaria vidro simples de 4mm a 6mm. A segunda especificação, utilizada na Estratégia 3 seria a utilização de vidros Guardian refletivos de 6mm também na edificação inteira. A terceira especificação, utilizada na Estratégia 5, indica a utilização de vidros duplos 8mm com câmara de ar nos ambientes de longa permanência (quartos e sala íntima), e a utilização dos vidros Guardian refletivos de 6mm nas demais esquadrias da edificação. A quarta e última especificação, utilizada na Estratégia 6, determina a utilização de vidro duplo em todas as esquadrias da edificação.

A variação de custos da esquadria de vidro simples de 4mm para a esquadria de vidro duplo foi muito parecida com a variação de custos da parede simples para a parede dupla, sendo essa variação de quase 28,5%. Quando comparamos o vidro simples de 4mm a 6mm com o vidro Guardian refletivo de 6mm essa variação cai para 7,3%. A opção de especificar dois detalhamentos diferentes na mesma estratégia, que seria a Estratégia 5, deixa a diferença dos custos em um valor intermediário das opções, ou seja, da situação mais simples para a estratégia de mesclar os dois tipos de esquadrias verificamos uma variação de 13,7% de custos.

5.2. COMPARATIVOS DE EFICIÊNCIA

5.2.1. Comparativo de eficiência na área residencial

Do ponto de vista da eficiência energética pode ser constatado situações intermediárias interessantes, buscando um equilíbrio entre a eficiência e o financeiramente viável. Por exemplo, se comparando diretamente as duas estratégias mais extremas, a Estratégia 1 se apresenta como opção mais econômica custando 30% menos que a Estratégia 6. Em contrapartida resulta em uma carga térmica para aquecimento de 51,3% e uma carga térmica para resfriamento de 65,8% a mais que a Estratégia 6. Ou seja, durante toda a vida útil da edificação que foi economizado 30% para sua execução, vai gastar uma quantidade significativa de energia para manter os padrões mínimos de conforto ambiental.

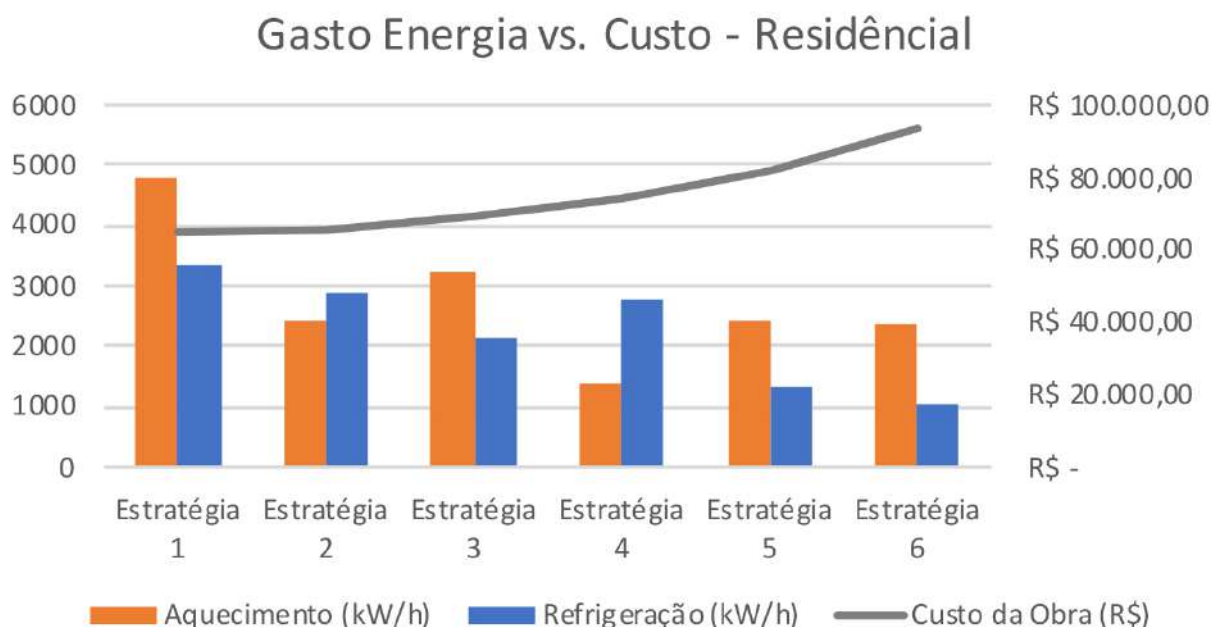


Figura 47 - Gráfico de consumo energético

Tabela Custo vs Consumo Energético - Residencial			
Estrategias	Aquecimento (kW/h)	Refrigeração (kW/h)	Custo da Obra (R\$)
Estratégia 1	4783,29	3328,65	R\$ 64.872,82
Estratégia 2	2402,3	2882,61	R\$ 65.707,82
Estratégia 3	3244,11	2112,76	R\$ 69.505,40
Estratégia 4	1396,82	2786,58	R\$ 74.482,00
Estratégia 5	2428,26	1329,26	R\$ 82.053,78
Estratégia 6	2357,62	1026,15	R\$ 93.493,28

Figura 48 - Tabela de consumo energético

As Estratégias 2 e 4 mostraram economia considerável para o aquecimento dos ambientes internos, reduzindo respectivamente 52,5% e 71%, entretanto a mesma economia não foi verificada quando considerada a energia gasta para a resfriamento. Do ponto de vista de resfriamento as Estratégias 2 e 4 gastam respectivamente 1,3% e 1,4% a mais que a Estratégia 1.

A justificativa para tal resultado, muito provavelmente, se deve a especificação do vidro simples de 4mm a 6mm utilizados em ambas as estratégias. O vidro simples praticamente não oferece nenhum filtro de raios solares e durante o dia o calor vai sendo acumulado no interior da edificação. No inverno, com a especificação de parede

de 14cm na Estratégia 2 e a especificação de parede dupla na Estratégia 4, o calor fica retido durante a noite devido a inércia térmica dos materiais, gerando economia no gasto para aquecimento dos ambientes. O problema é que no verão o mesmo fator da radiação solar ocorre na mesma proporção ou pior e como os materiais continuam com a mesma inércia térmica, impedem que o calor seja dissipado para o ambiente externo. No caso da Estratégia 4 a inércia térmica é ainda mais acentuada, já que para esta opção foi especificado parede dupla em todo o fechamento da edificação. As duas estratégias que apresentam carga térmica menos díspares são a Estratégias 3 e 5, sendo que a diferença de gasto energético anual entre resfriamento e aquecimento é respectivamente 10% e 18%. Na Estratégia 3, além da laje com isolamento que é igual para ambas as estratégias, foi especificado parede de 14cm e vidros Guardian refletivo de 6mm. No comparativo, a Estratégia 3 é 15% mais econômica financeiramente que a estratégia 5, mas consome 24% a mais de energia para aquecer e 31% a mais para refrigerar.

Essa análise pode ser interpretada considerando que ao longo dos dias de verão a incidência dos raios solares são de fato parcialmente filtrados pelo vidro Guardian 6mm da Estratégia 3 ou pelo vidro duplo da Estratégia 5.

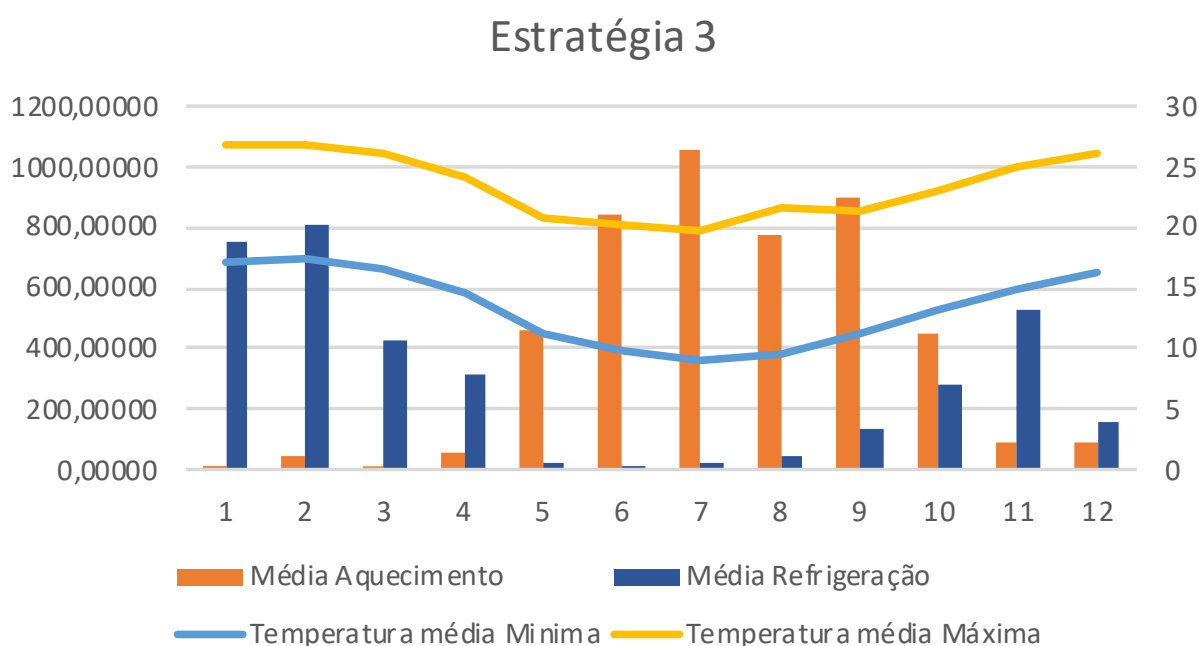


Figura 49 - Gráfico comportamento estratégias 3

O filtro associado aos sombreamentos das aberturas de fato protegeu, segundo a análise, os ambientes internos das temperaturas externas e reduziu a quantidade de energia que seria gasta para a resfriamento dos mesmos. No inverno o

comportamento dos materiais especificados ocorre da mesma forma que verificamos nos dias de verão. Os vidros filtram os raios solares mesmo que estes não sejam bloqueados pelo sombreamento das aberturas. No inverno, o sombreamento das aberturas projetado com medidas de 40cm a 60cm não são o suficiente para bloquear os raios solares devido a inclinação da terra em relação ao sol, chamado de altitude solar. O que ocorre nas Estratégias 3 e 5 é exatamente o contrário do que ocorre nas Estratégias 2 e 4.

ESTRATÉGIA 3				
Mês	Média Aquecimento (kW/h)	Média Refrigeração (kW/h)	Temperatura média Mínima (°C)	Temperatura média Máxima (°C)
Janeiro	0,7	748,5	17,2	26,8
Fevereiro	40,1	813,1	17,4	26,8
Março	11,6	422,7	16,5	26,0
Abril	59,3	315,3	14,6	24,0
Maio	455,9	19,3	11,2	20,8
Junho	842,8	1,4	9,7	20,1
Julho	1053,6	22,7	9,0	19,7
Agosto	768,6	47,6	9,6	21,5
Setembro	894,3	135,8	11,1	21,4
Outubro	445,7	279,5	13,2	23,1
Novembro	92,4	531,3	14,9	25,0
Dezembro	92,4	157,2	16,2	26,2

Figura 50 - Tabela comportamento estratégias 3

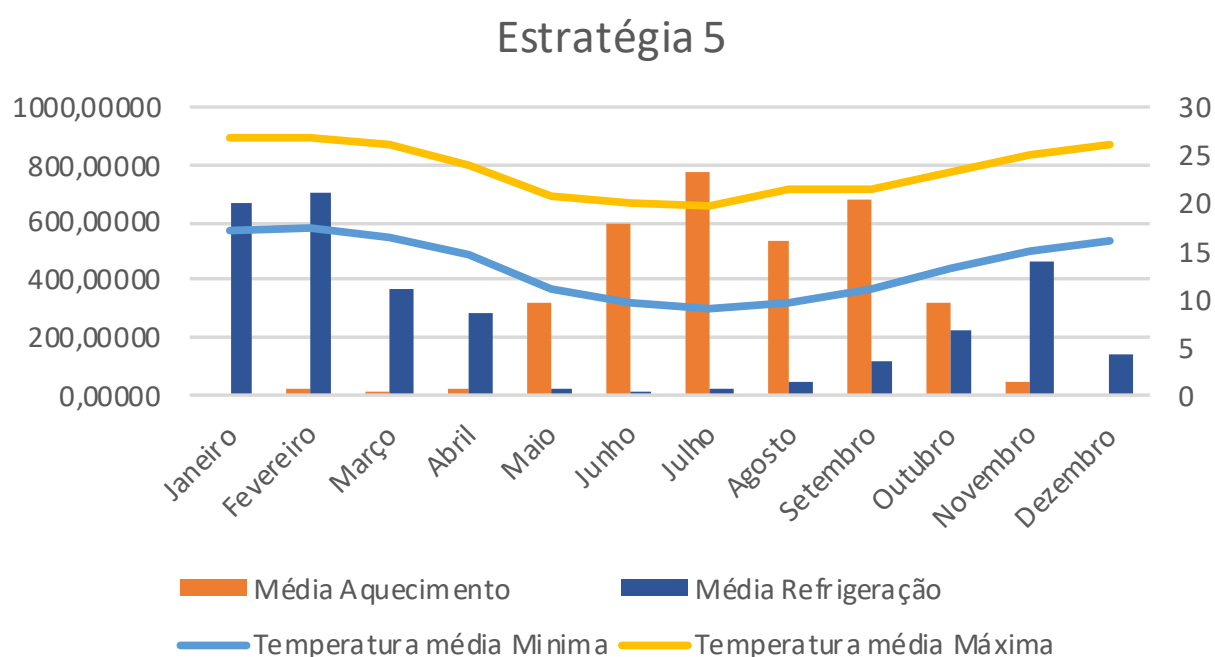


Figura 51 - Gráfico comportamento estratégias 5

ESTRATÉGIA 5				
Mês	Média Aquecimento (kW/h)	Média Refrigeração (kW/h)	Temperatura média Mínima (°C)	Temperatura média Máxima (°C)
Janeiro	0,0	662,6	17,2	26,8
Fevereiro	22,4	702,8	17,4	26,8
Março	1,8	364,5	16,5	26,0
Abril	22,6	287,9	14,6	24,0
Maiο	323,6	19,4	11,2	20,8
Junho	592,0	1,4	9,7	20,1
Julho	777,7	22,0	9,0	19,7
Agosto	532,1	44,4	9,6	21,5
Setembro	674,9	118,3	11,1	21,4
Outubro	315,1	230,7	13,2	23,1
Novembro	46,4	461,9	14,9	25,0
Dezembro	0,0	140,2	16,2	26,2

Figura 52 - Tabela comportamento estratégias 5

Para enxergar as similaridades citadas entre as estratégias 3 e 5, geramos gráficos comparando as temperaturas médias mensais com o consumo para climatização.

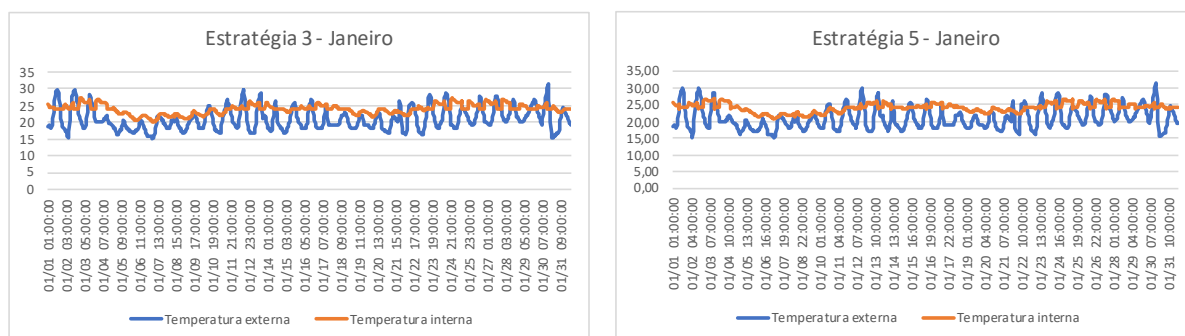


Figura 53 - Comparativos temperaturas externas e internas em janeiro das Estratégias 3 e 5

Também foram gerados gráficos comparando as temperaturas externas, representado pela linha azul, e as temperaturas internas, representado pela linha laranja, com a utilização de sistemas de climatização. Esses gráficos indicam o comportamento da manutenção das temperaturas internas nos momentos no qual a climatização estiver desativada.

É possível verificar que os gráficos indicam que as Estratégias 3 e 5 tem comportamentos praticamente iguais para os meses de janeiro e junho. A diferença aparece de 1°C a 3°C dependendo do dia, ficando praticamente imperceptível nos gráficos.

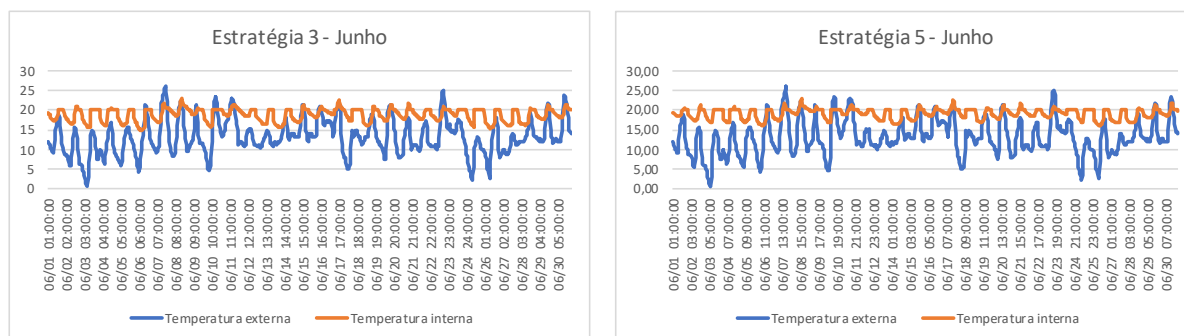


Figura 54 - Comparativos temperaturas externas e internas em junho das Estratégias 3 e 5

5.2.2. Comparativo de eficiência na área comercial

Apesar dos materiais e das estratégias compostas para a utilização dos materiais serem iguais para a edificação como um todo, o uso dos setores residencial e comercial são diferentes. Enquanto o horário de maior permanência da área residencial é determinado para o intervalo das 21 horas até às 8 horas, o horário de funcionamento do escritório é determinado para o intervalo das 8 horas até às 19 horas.

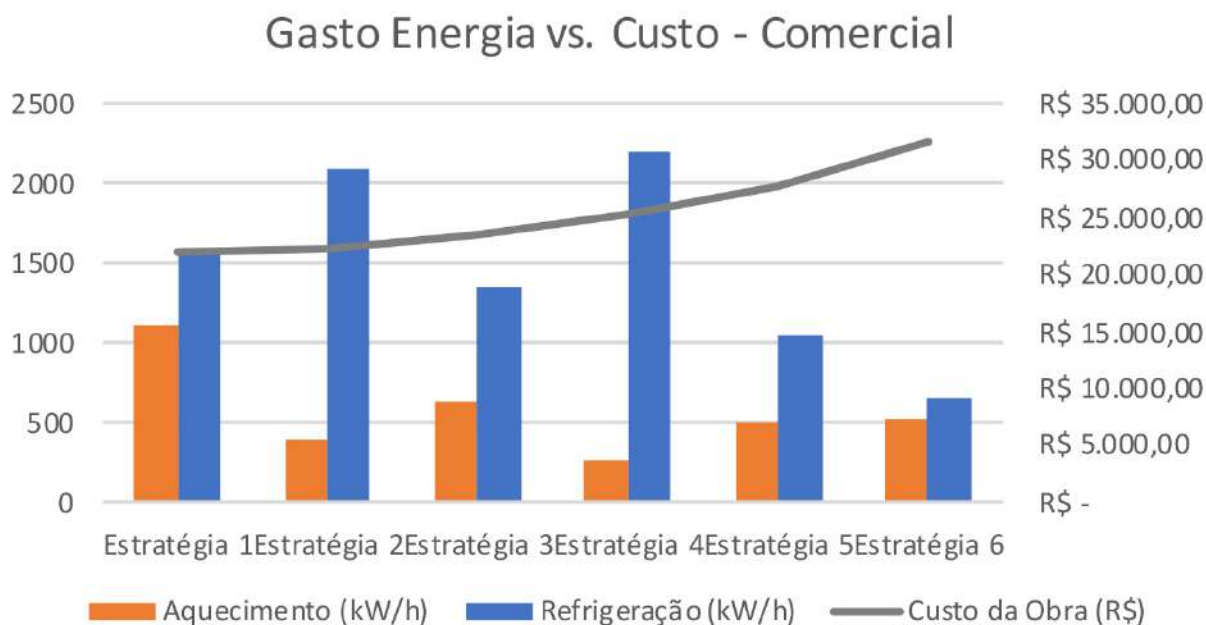


Figura 55 - Gráfico de consumo energético na área comercial

Isso fica visível no gráfico da Figura 34 que aparece bem diferente do gráfico resultante da análise sobre a área residencial. No gráfico referente a área comercial é notória a necessidade maior de resfriamento em comparação com a necessidade de aquecimento.

Tabela Custo vs Consumo Energético - Comercial			
Estratégias	Aquecimento (kW/h)	Refrigeração (kW/h)	Custo da Obra (R\$)
Estratégia 1	1105,71	1579,75	R\$ 21.947,99
Estratégia 2	397,66	2088,92	R\$ 22.230,49
Estratégia 3	629,65	1357,1	R\$ 23.515,30
Estratégia 4	269,02	2189,89	R\$ 25.199,00
Estratégia 5	498,46	1051,11	R\$ 27.760,71
Estratégia 6	511,89	652,18	R\$ 31.630,96

Figura 56 - Tabela de consumo energético na área comercial

Isso se deve principalmente ao período determinado como horário comercial. Como este período ocorre durante o dia, com exceção dos dias mais frios de inverno, a necessidade maior é pelo resfriamento do ambiente interno. Diferentemente da permanência no setor residencial que ocorre de madrugada e por isso demanda mais aquecimento ao longo do ano.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. CONCLUSÕES

Com o escopo central de desenvolver análises térmicas através de um modelo real, determinando estratégias de especificação dos materiais existentes no mercado da construção civil, foi necessário o levantamento de diversos dados para o desenvolvimento de tais análises. A partir da escolha do projeto foi necessário fazer o levantamento dos dados sobre a localização onde o projeto utilizado como estudo de caso estava inserido. Informações como altitude, dados meteorológicos e geometria solar foram imprescindíveis para o progresso deste trabalho.

Para a descrição e avaliação das seis estratégias consideradas, também foi preciso um levantamento dos materiais utilizados em larga escala na construção civil e o custo de cada um deles. Especificados todos os materiais necessários para cada estratégia, foi o momento de colocar as mesmas em análise utilizando o software EnergyPlus. O resultado obtido foi de similaridade por parte de algumas estratégias, permitindo traçar comparativos. O primeiro comparativo surgiu da análise das

Estratégias 1 e 6, sendo que essas duas estratégias se comportaram exatamente como o esperado para cada uma delas. A estratégia mais barata é a mesma que terá maior demanda de carga térmica para aquecimento ou resfriamento ao longo da vida útil da edificação. E a mais cara é a mesma que terá o menor consumo de carga térmica para aquecimento ou resfriamento ao longo da vida útil da edificação, ou seja, as Estratégias 1 e 6 tem seus valores inversamente proporcionais.

Os resultados mais interessantes surgiram das estratégias intermediárias. As Estratégias 2 e 4, por exemplo, indicaram a ineficiência de alvenarias mais robustas nos meses mais quentes sem a composição dessa especificação em conjunto com vidros que acompanhem a proteção proposta pela alvenaria. Em contrapartida as Estratégias 3 e 5 com a especificação das alvenarias mais robustas e vidros mais eficientes, acabou minimizando o aproveitamento da radiação solar para aquecimento natural dos ambientes internos no período do inverno.

Os resultados obtidos indicaram que o gasto com resfriamento no verão para as Estratégias 2 e 4, acaba sendo maior que o gasto com aquecimento no inverno para as Estratégias 3 e 5. E com isso podemos concluir que as superfícies de vidro são de extrema importância para o comportamento térmico de uma edificação e o sucesso da sua eficiência energética.

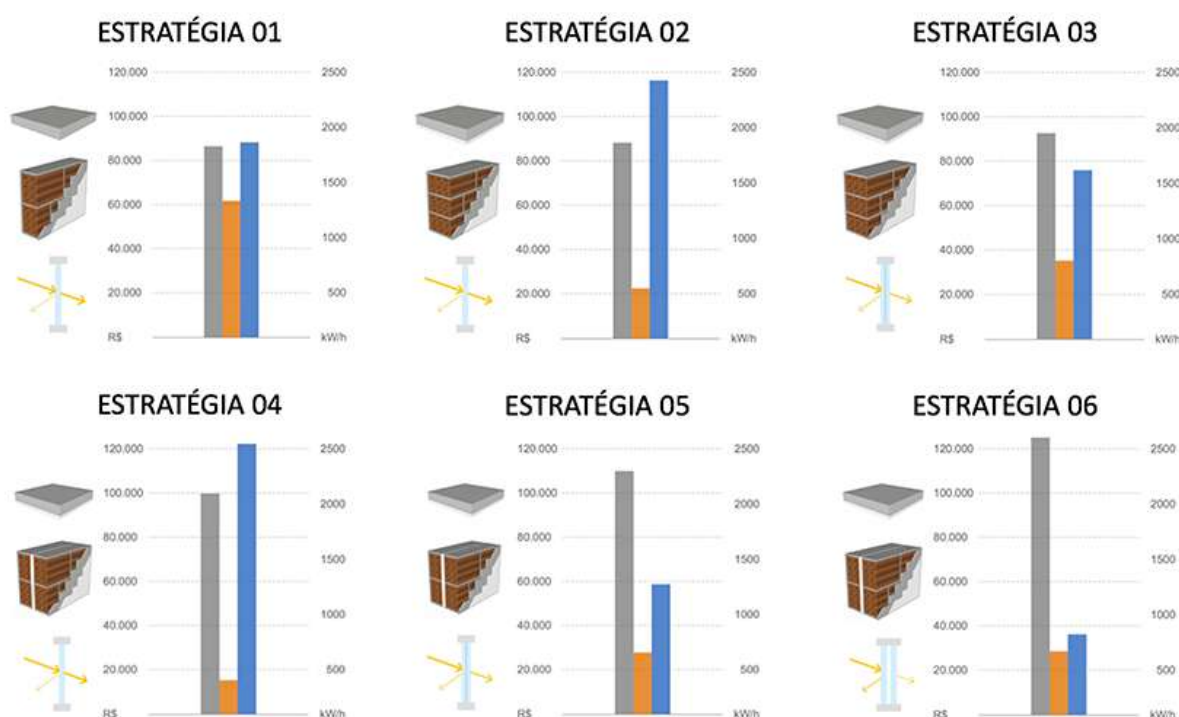


Figura 57 - Comparativo de gráficos das estratégias

6.2. RECOMENDAÇÕES

Como verificado na conclusão do trabalho, de todas as estratégias desenvolvidas e analisadas, as Estratégias 3 e 5 foram as opções que agregaram maior valor com relação a carga térmica da edificação ao longo de sua vida útil. O custo adicional para execução da Estratégia 5 é de 15% contra 24% e 31% de economia para aquecimento e resfriamento respectivamente. No entanto, 15% de aumento no custo final de uma obra é uma quantia que nem todos os brasileiros podem se dar ao luxo de ter. Grande parte desse custo adicional é devido a especificação de paredes duplas nos fechamentos das edificações, ou seja, o ganho energético deste caso vem do isolamento das paredes. Uma opção existente no mercado e certamente mais econômica que a utilização de parede dupla é o isolamento das paredes através da impermeabilização destas por dentro das edificações. Inclusive porque um dado não levantado no trabalho é sobre a quantidade de reforço que seria necessária na estrutura da edificação para suportar o peso das paredes duplas e com o isolante esse peso pode ser praticamente desconsiderado.

As Estratégias 2 e 4 apresentaram desvantagem no verão devido a especificação do vidro Float. Quando não existir a possibilidade da especificação de um vidro mais eficiente, a opção que pode auxiliar no verão e manter o aquecimento natural verificado no inverno é a utilização de brise-soleil nas fachadas. A utilização deste artifício, principalmente se este puder ser móvel, é de grande desempenho energético para qualquer edificação enquadrada em qualquer estratégia.

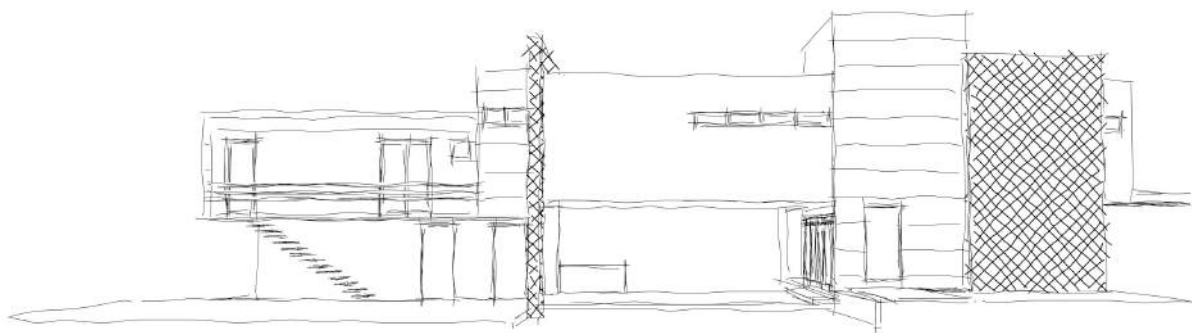


Figura 58 - Croqui da face sul da edificação

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Roaf, Sue. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**; tradução Alexandre Salvaterra. – 2. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006.

Parareda, Guillermo Yáñez. **Arquitectura Solar e Iluminacion Natural: Conceptos, Métodos y Ejemplos**. Madrid: Munilla-Lería, 2008.

ABNT. **NBR 15220 Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. **NBR 15575 Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **NBR 8995-1 Iluminação de ambientes de trabalho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. **NBR 15569 Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

PORTARIA INMETRO Nº 50. **Requisitos de avaliação da conformidade para eficiência energética de edificações: Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas das paredes coberturas e vidros**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2018. Disponível em <www.inmetro.gov.br>. Acesso em 20 de abril de 2018.

INMETRO. **Etiquetagem de eficiência energética de edificações**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2018. Disponível em <www.inmetro.gov.br>. Acesso em 20 de abril de 2018.

_____. **Manual de aplicação dos regulamentos: RTQ-R**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2018. Disponível em <www.inmetro.gov.br>. Acesso em 20 de Abril de 2018.

Maciel, Alexandra. **Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico**. Tese de doutorado em engenharia civil. Curso de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

Melo, Ana Paula; Lamberts, Roberto. **O método de balanço térmico através de simulação computacional no programa EnergyPlus**. Florianópolis, 2008. Disponível em <www.technobuild.com.br>. Acesso em 05 de junho de 2018.

Cavalcante, Rodrigo de Castro Dantas. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho**. São Paulo: Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP, 2010.

APÊNDICE A – CALCULOS DE AQUECIMENTO SOLAR

$$V_{\text{consumo}} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso})$$

Ducha:

Tempo médio de banho: 10 minutos

Vazão da ducha: 6,6l/min.

Frequência de banho: 1 banho por usuário

$$V_{\text{ducha}} = 6,6\text{l/min} \times 10\text{min} \times 1 \text{ banho} \times 4 \text{ usuários} \times 1 \text{ casa}$$

$$V_{\text{ducha}} = 264 \text{ litros}$$

Lavabo:

Tempo médio de uso: 2 minutos

Vazão da ducha: 3,0l/min.

Frequência de banho: 2 utilizações por usuário

$$V_{\text{lav}} = 3,0\text{l/min} \times 2\text{min} \times 2 \text{ utilizações} \times 4 \text{ usuários} \times 1 \text{ casa}$$

$$V_{\text{lav}} = 48 \text{ litros}$$

$$V_{\text{consumo}} = \sum (Q_{pu})$$

$$V_{\text{consumo}} = 264 + 120 + 48 + 120$$

$$V_{\text{consumo}} = 552 \text{ litros}$$

$$V_{\text{consumo}} = 0,552 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V_{\text{armaz}} = \frac{V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{(T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}})}$$

$$V_{\text{arm}} = \frac{0,552 \times (40 - 20)}{(50 - 20)}$$

$$V_{\text{arm}} = 0,1104 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$E_{\text{útil}} = V_{\text{armaz}} \times \gamma \times C_p \times (T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}})$$

$$E_{\text{útil}} = 0,414 \times 1000 \times 11,63 \cdot 10^{-4} \times (46,6 - 20)$$

$$E_{\text{útil}} = 12,80 \text{ kWh/dia}$$

Calculo de Área Coletora

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr_{\text{ta}} - 0,0249 \times Fr_{\text{UL}})$$

$$PMDEE = 4,901 \times (0,709 - 0,0249 \times 6,443)$$

$$PMDEE = 2,596 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$$

$$FC_{\text{instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2]}$$

$$FC_{\text{instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 \cdot 10^{-4} \times (35 - 35)^2]}$$

$$FC_{\text{instal}} = 1$$

Pia Banheiro:

Tempo médio de uso: 5 minutos

Vazão da ducha: 3,0l/min.

Frequência de banho: 2 utilizações por usuário

$$V_{\text{pia}} = 3,0\text{l/min} \times 5\text{min} \times 2 \text{ utilizações} \times 4 \text{ usuários} \times 1 \text{ casa}$$

$$V_{\text{pia}} = 120 \text{ litros}$$

Cozinha:

Tempo médio de banho: 5 minutos

Vazão da ducha: 3,9l/min.

Frequência de banho: 2 utilizações por usuário

$$V_{\text{pia}} = 3,0\text{l/min} \times 5\text{min} \times 2 \text{ utilizações} \times 4 \text{ usuários} \times 1 \text{ casa}$$

$$V_{\text{pia}} = 120 \text{ litros}$$

$$0,1104 \text{ m}^3 < 75\% \text{ do volume de consumo}$$

$$V_{\text{arm}} = 0,75 \times 0,552$$

$$V_{\text{arm}} = 0,414 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V_{\text{armaz}} = \frac{V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{(T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}})}$$

$$0,414 = \frac{0,552 \times (40 - 20)}{(T_{\text{arm}} - 20)}$$

$$T_{\text{arm}} = 46,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times E_{\text{útil}}$$

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times 12,80$$

$$E_{\text{útil}} = 1,92 \text{ kWh/dia}$$

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$$

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(12,80 + 1,92) \times 1 \times 4,901}{2,596 \times 3,91}$$

$$A_{\text{coletora}} = 6,46 \text{ m}^2$$

APÊNDICE B – CALCULOS DE TRANSTÂNCIA TÉRMICA

Calculo de transmitância térmica - Parede de 9cm

Dados:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Argamassa e Reboco:

$$\lambda = 1,15 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1 \text{ kJ/Kg.K}$$

Cerâmica

$$\lambda = 0,405 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1 \text{ kJ/Kg.K}$$

Resistência térmica do tijolo - Seção 1 (tijolo)

$$A_1 = 0,011 \times 0,19$$

$$A_1 = 0,00209 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e}{\lambda}$$

$$R_1 = \frac{0,09}{1}$$

$$R_1 = 0,09 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica do tijolo - Seção 2 (tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo)

$$A_2 = 0,032 \times 0,19$$

$$A_2 = 0,0061$$

$$R_2 = \frac{0,01}{1} + 0,16 + \frac{0,01}{1} + 0,16 + \frac{0,01}{1}$$

$$R_2 = 0,01 + 0,16 + 0,01 + 0,16 + 0,01$$

$$R_2 = 0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica do tijolo - Total

$$R_{tij} = \frac{4 \times A_1}{R_1} + \frac{3 \times A_2}{R_2}$$

$$R_{tij} = \frac{4 \times 0,00209}{0,09} + \frac{3 \times 0,0061}{0,35}$$

$$R_{tij} = \frac{0,00836}{0,09} + \frac{0,01824}{0,35}$$

$$R_{tij} = \frac{0,0266}{0,09289} + 0,05211$$

$$R_{tij} = \frac{0,0266}{0,14500}$$

$$R_{tij} = 0,1834 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica da parede - Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,15$$

$$A_a = 0,00340 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_a = 0,0217 + 0,0783 + 0,0217$$

$$R_a = 0,1217 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica da parede - Seção B (argamassa + tijolo + argamassa)

$$A_b = 0,14 \times 0,19$$

$$A_b = 0,02660 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + R_{tij} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + 0,1834 + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_b = 0,0217 + 0,1834 + 0,0217$$

$$R_b = 0,2269 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica da parede - Total

$$R_t = \frac{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

$$R_t = \frac{\frac{0,0034}{0,1217} + \frac{0,0266}{0,2269}}{\frac{0,0034}{0,1217} + \frac{0,0266}{0,2269}}$$

$$R_t = \frac{0,0034 + 0,0266}{0,0279 + 0,1172}$$

$$R_t = \frac{0,0300}{0,1451}$$

$$R_t = 0,2067 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2067 + 0,13$$

$$R_T = 0,3767 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

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

$$U = \frac{1}{0,3767}$$

$$U = 2,6547 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

Capacidade térmica do tijolo - Seção 1 (tijolo)

$$CT_1 = e \times c \times \rho$$

$$CT_1 = 0,09 \times 1 \times 890$$

$$CT_1 = 80,10 \text{ kJ / m}^3 \cdot \text{K}$$

Capacidade térmica do tijolo - Seção 2 (tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo)

$$CT_2 = 0,01 \times 3 \times 1 \times 890$$

$$CT_2 = 26,70 \text{ kJ / m}^2 \cdot K$$

Capacidade térmica total do tijolo

$$C_{tij} = \frac{4 \times A_1}{4 \times A_1} + \frac{3 \times A_2}{3 \times A_2}$$

$$C_{tij} = \frac{4 \times 0,00209}{4 \times 0,00209} + \frac{3 \times 0,0061}{3 \times 0,0061}$$

$$C_{tij} = \frac{0,00836}{0,00836} + \frac{0,01824}{0,01824}$$

$$C_{tij} = \frac{0,0266}{0,0001} + \frac{0,0007}{0,0007}$$

$$C_{tij} = \frac{0,0266}{0,0008}$$

$$C_{tij} = 33,78 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Capacidade térmica da parede - Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$CT_a = 0,025 + 0,09 + 0,025 \times 1 \times 2000$$

$$CT_a = 280,00 \text{ kJ / m}^2 \cdot K$$

Capacidade térmica da parede - Seção B (argamassa + tijolo + argamassa)

$$CT_b = 2 \times 0,025 \times 1 \times 2000 + 33,78$$

$$CT_b = 133,78$$

Capacidade térmica total da parede

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

$$CT = \frac{0,00340}{0,00340} + \frac{0,02660}{0,02660}$$

$$CT = \frac{0,03000}{1,2E-05 + 0,0002}$$

$$CT = \frac{3,00E-02}{2,11E-04}$$

$$CT = 142,1929 \text{ kJ / m}^2 \cdot K$$

Calculo de transmitância térmica - Parede de 14cm

Dados:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Argamassa e Reboco:

$$\lambda = 1,15 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1 \text{ kJ/Kg.K}$$

Cerâmica

$$\lambda = 0,405 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1 \text{ kJ/Kg.K}$$

Resistência térmica do tijolo - Seção 1 (tijolo)

$$A_1 = 0,01 \times 0,19$$

$$A_1 = 0,00190 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e}{\lambda}$$

$$R_1 = \frac{0,14}{1}$$

$$R_1 = 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica do tijolo - Seção 2 (tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo)

$$A_2 = 0,3 \times 0,19$$

$$A_2 = 0,057$$

$$R_2 = \frac{0,011}{1} + 0,16 + \frac{0,011}{1} + 0,16 + \frac{0,011}{1} + 0,16 + \frac{0,011}{1}$$

$$R_2 = 0,011 + 0,16 + 0,011 + 0,16 + 0,011 + 0,16 + 0,011$$

$$R_2 = 0,52 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica do tijolo - Total

$$R_{tij} = \frac{3 \times A_1}{R_1} + \frac{4 \times A_2}{R_2}$$

$$R_{tij} = \frac{3 \times 0,0019}{0,14} + \frac{4 \times 0,057}{0,52}$$

$$R_{tij} = \frac{0,0057}{0,14} + \frac{0,228}{0,52}$$

$$R_{tij} = \frac{0,2337}{0,04071} + 0,43511$$

$$R_{tij} = \frac{0,2337}{0,47583}$$

$$R_{tij} = 0,4911 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica da parede - Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,1$$

$$A_a = 0,00290 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,14}{1,15} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_a = 0,0217 + 0,1217 + 0,0217$$

$$R_a = 0,1652 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica da parede - Seção B (argamassa + tijolo + argamassa)

$$A_b = 0,09 \times 0,19$$

$$A_b = 0,01710 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + R_{tij} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + 0,4911 + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_b = 0,0217 + 0,4911 + 0,0217$$

$$R_b = 0,5346 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica da parede - Total

$$R_t = \frac{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

$$R_t = \frac{\frac{0,0029}{0,1652} + \frac{0,0171}{0,5346}}{\frac{0,0029}{0,1652} + \frac{0,0171}{0,5346}}$$

$$R_t = \frac{0,0029 + 0,0171}{0,0176 + 0,032}$$

$$R_t = \frac{0,0200}{0,0495}$$

$$R_t = 0,4037 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,4037 + 0,13$$

$$R_T = 0,5737 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

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

$$U = \frac{1}{0,5737}$$

$$U = 1,7430 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

Capacidade térmica do tijolo - Seção 1 (tijolo)

$$CT_1 = e \times c \times \rho$$

$$CT_1 = 0,14 \times 1 \times 890$$

$$CT_1 = 124,60 \text{ kJ / m}^3 \cdot \text{K}$$

Capacidade térmica do tijolo - Seção 2 (tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo)

$$CT_2 = 0,011 \times 4 \times 1 \times 890$$

$$CT_2 = 39,16 \text{ kJ / m}^2 \cdot K$$

Capacidade térmica total do tijolo

$$C_{tij} = \frac{3 \times A_1}{CT_1} + \frac{4 \times A_2}{CT_2}$$

$$C_{tij} = \frac{3 \times 0,00190}{124,60} + \frac{4 \times 0,057}{39,16}$$

$$C_{tij} = \frac{0,0057}{124,6} + \frac{0,228}{39,16}$$

$$C_{tij} = \frac{0,2337}{0,0000 + 0,0058}$$

$$C_{tij} = \frac{0,2337}{0,0059}$$

$$C_{tij} = 39,83 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Capacidade térmica da parede - Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$CT_a = 0,025 + 0,14 + 0,025 \times 1 \times 2000$$

$$CT_a = 380,00 \text{ kJ / m}^2 \cdot K$$

Capacidade térmica da parede - Seção B (argamassa + tijolo + argamassa)

$$CT_b = 2 \times 0,025 \times 1 \times 2000 + 39,83$$

$$CT_b = 139,83$$

Capacidade térmica total da parede

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

$$CT = \frac{0,00290}{380,00} + \frac{0,01710}{139,83}$$

$$CT = \frac{0,02000}{7,6E-06 + 0,0001}$$

$$CT = \frac{2,00E-02}{1,30E-04}$$

$$CT = 153,9334 \text{ kJ / m}^2 \cdot K$$

Calculo de transmitância térmica - Parede Dupla

Dados:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Argamassa e Reboco:

$$\lambda = 1,15 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1 \text{ kJ/Kg.K}$$

Cerâmica

$$\lambda = 0,405 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1 \text{ kJ/Kg.K}$$

Isopor

$$\lambda = 0,035 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1,42 \text{ kJ/Kg.K}$$

Resistência térmica do tijolo - Seção 1 (tijolo)

$$A_1 = 0,011 \times 0,19$$

$$A_1 = 0,00209 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e}{\lambda}$$

$$R_1 = \frac{0,09}{1}$$

$$R_1 = 0,09 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica do tijolo - Seção 2 (tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo)

$$A_2 = 0,032 \times 0,19$$

$$A_2 = 0,00608$$

$$R_2 = \frac{0,01}{1} + 0,16 + \frac{0,01}{1} + 0,16 + \frac{0,01}{1}$$

$$R_2 = 0,01 + 0,16 + 0,01 + 0,16 + 0,01$$

$$R_2 = 0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica do tijolo - Total

$$R_{tij} = \frac{4 \times A_1}{4 \times A_1} + \frac{3 \times A_2}{3 \times A_2}$$

$$R_{tij} = \frac{4 \times 0,00209}{4 \times 0,00209} + \frac{3 \times 0,00608}{3 \times 0,00608}$$

$$R_{tij} = \frac{0,00836}{0,00836} + \frac{0,01824}{0,01824}$$

$$R_{tij} = \frac{0,0266}{0,09289 + 0,05211}$$

$$R_{tij} = \frac{0,0266}{0,14500}$$

$$R_{tij} = 0,18344 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica da parede - Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,15$$

$$A_a = 0,00340 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_a = 0,02174 + 0,0783 + 0,02174$$

$$R_a = 0,12174 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica da parede - Seção B (argamassa + tijolo + isopor + tijolo + argamassa)

$$A_b = 0,14 \times 0,19$$

$$A_b = 0,02660 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + R_{tij} + \frac{0,02}{0,035} + R_{tij} + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_b = \frac{0,025}{1,15} + 0,1834 + \frac{0,02}{0,035} + 0,1834 + \frac{0,025}{1,15}$$

$$R_b = 0,02174 + 0,1834 + 0,57143 + 0,1834 + 0,02174$$

$$R_b = 0,9818 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Resistência térmica da parede - Total

$$R_t = \frac{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}$$

$$R_t = \frac{\frac{0,0034}{0,0034} + \frac{0,0266}{0,0266}}{\frac{0,12174}{0,12174} + \frac{0,9818}{0,9818}}$$

$$R_t = \frac{0,0034 + 0,0266}{0,02793 + 0,0271}$$

$$R_t = \frac{0,0300}{0,05502}$$

$$R_t = 0,54524 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$RT = R_{se} + R_t + \lambda$$

$$RT = 0,04 + 0,5452 + 1,15$$

$$RT = 1,73524 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

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

$$U = \frac{1}{1,73524}$$

$$U = 0,5763 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

Capacidade térmica do tijolo - Seção 1 (tijolo)

$$CT_1 = e \times c \times \rho$$

$$CT_1 = 0,09 \times 1 \times 890$$

$$CT_1 = 80,10 \text{ kJ / m}^3 \cdot \text{K}$$

Capacidade térmica do tijolo - Seção 2 (tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo)

$$CT_2 = 0,01 \times 3 \times 1 \times 890$$

$$CT_2 = 26,70 \text{ kJ / m}^2 \cdot K$$

Capacidade térmica total do tijolo

$$CT_{tij} = \frac{4 \times A_1}{4 \times A_1} + \frac{3 \times A_2}{3 \times A_2}$$

$$CT_{tij} = \frac{CT_1}{CT_1} + \frac{CT_2}{CT_2}$$

$$CT_{tij} = \frac{4 \times 0,00209}{4 \times 0,00209} + \frac{3 \times 0,00608}{3 \times 0,00608}$$

$$CT_{tij} = \frac{80,10}{80,10} + \frac{26,70}{26,70}$$

$$CT_{tij} = \frac{0,00836}{0,00836} + \frac{0,01824}{0,01824}$$

$$CT_{tij} = \frac{80,1}{80,1} + \frac{26,70}{26,70}$$

$$CT_{tij} = \frac{0,0266}{0,0001} + \frac{0,0007}{0,0007}$$

$$CT_{tij} = \frac{0,0266}{0,0008}$$

$$CT_{tij} = 33,78 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Capacidade térmica da parede - Seção A (reboco + argamassa + reboco)

$$CT_a = 0,025 + 0,09 + 0,025 \times 1 \times 2000$$

$$CT_a = 280,00 \text{ kJ / m}^2 \cdot K$$

Capacidade térmica da parede - Seção B (argamassa + tijolo + isopor + tijolo + argamassa)

$$CT_b = 0,02 \times 1,42 \times 40 + CT_{tij} \times 2 + 0,025 \times 2000 \times 1 \times 2$$

$$CT_b = 0,02 \times 1,42 \times 40 + 33,78 \times 2 + 0,025 \times 2000 \times 1 \times 2$$

$$CT_b = 168,69$$

Capacidade térmica total da parede

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

$$CT = \frac{0,00340}{0,00340} + \frac{0,02660}{0,02660}$$

$$CT = \frac{280,00}{280,00} + \frac{168,69}{168,69}$$

$$CT = \frac{0,03000}{1,2E-05 + 0,0002}$$

$$CT = \frac{3,00E-02}{1,70E-04}$$

$$CT = 176,6490 \text{ kJ / m}^2 \cdot K$$

Calculo de transmitância térmica - Laje Simples (15cm)

Dados:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Concreto:

$$\lambda = 1,75 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1 \text{ kJ/Kg.K}$$

Resistência térmica

$$R_t = \frac{e}{\lambda}$$

$$R_t = \frac{0,15}{1,75}$$

$$R_t = 0,0857 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,0857 + 0,13$$

$$R_T = 0,2557 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

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

$$U = \frac{1}{0,2557}$$

$$U = 3,9106 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

Capacidade térmica

$$CT = e \times c \times \rho$$

$$CT = 0,15 \times 1 \times 2200$$

$$CT = 330,00 \text{ kJ / m}^2 \cdot \text{K}$$

Calculo de transmitância térmica - Laje Isolada (17cm)

Dados:

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Concreto:

$$\lambda = 1,15 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1 \text{ kJ/Kg.K}$$

Isopor:

$$\lambda = 0,035 \text{ W/m.K}$$

$$c = 1,42 \text{ kJ/Kg.K}$$

Resistência térmica

$$R_t = \frac{e}{\lambda}$$

$$R_t = \frac{0,15}{1,15} + \frac{0,02}{0,035}$$

$$R_t = 0,1304 + 0,5714$$

$$R_t = 0,7019 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,7019 + 0,13$$

$$R_T = 0,8719 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

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

$$U = \frac{1}{0,8719}$$

$$U = 1,1470 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

Capacidade térmica

$$CT = e \times c \times \rho$$

$$CT = 0,15 \times 1 \times 2200 + 0,02 \times 1,42 \times 40$$

$$CT = 330 + 1,136$$

$$CT = 331,14 \text{ kJ / m}^2 \cdot \text{K}$$