

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Eduardo Gil Tarouco y Vieira

**IMPACTO DA ORIENTAÇÃO SOLAR E DO TIPO DE VIDRO
NO DESEMPENHO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA DE UMA
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL ENVIDRAÇADA:
ANÁLISE SEGUNDO A ETIQUETA PBE EDIFICA**

Porto Alegre
junho 2015

EDUARDO GIL TAROUCO Y VIEIRA

**IMPACTO DA ORIENTAÇÃO SOLAR E DO TIPO DE VIDRO
NO DESEMPENHO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA DE UMA
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL ENVIDRAÇADA:
ANÁLISE SEGUNDO A ETIQUETA PBE EDIFICA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Ana Carolina Badalotti Passuello
Orientador: Maurício Carvalho Ayres Torres

Porto Alegre
junho 2015

EDUARDO GIL TAROUCO Y VIEIRA

**IMPACTO DA ORIENTAÇÃO SOLAR E DO TIPO DE VIDRO
NO DESEMPENHO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA DE UMA
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL ENVIDRAÇADA:
ANÁLISE SEGUNDO A ETIQUETA PBE EDIFICA**

Profa. Ana Carolina Badalotti Passuello
PhD pela Universitat Rovira i Virgili
Orientadora

Prof. Maurício Carvalho Ayres Torres
Dr. pela Universitat Politècnica
de Catalunya
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt e
Prof. Jean Marie Désir
Coordenadores

BANCA EXAMINADORA

Profa Ana Carolina Badalotti Passuello
(UFRGS)
PhD pela Universitat Rovira i Virgili

Prof. Maurício Carvalho Ayres Torres
(sigla da instituição)
Dr. pela Universitat Politècnica
de Catalunya

Prof. Miguel Aloysio Sattler
(UFRGS)
PhD pela University of Sheffield

Prof. Gustavo Longaray Moraga
(PUCRS)
Arq. pela Pontifícia Universidade Católica do
Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Edison e Gilda, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Maurício Torres e à Profa. Ana Passuello, orientadores deste trabalho, pela enorme contribuição e incentivo para a realização do mesmo, do qual sem suas cobranças e correções não seria possível alcançar o nível desejado.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, principalmente àqueles com quem tive a oportunidade de ser aluno e que passaram seus conhecimentos para me tornar engenheiro e cidadão, em especial à Profa. Carin Schmitt, pelo grande auxílio para a pesquisa, formatação, organização e apresentação deste trabalho, estando sempre disposta a ajudar.

Agradeço a toda equipe da obra Trend City Center e demais, que me apoiaram e com quem tive a oportunidade de aprender muito para me tornar Engenheiro Civil.

Agradeço aos meus colegas, tanto os dos primeiros semestres na Engenharia Elétrica, quanto os que conheci depois na Engenharia Civil, pois sem eles o curso de engenharia não teria o mesmo valor para mim.

Agradeço aos meus amigos pelo apoio de sempre, estes certamente têm papel fundamental nesta caminhada.

Agradeço à minha namorada, Liza, pelo companheirismo e incentivo para a realização desse trabalho, assim como para minha formação no curso de graduação.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Edison e Gilda, pelos grandes ensinamentos de vida, pelo incentivo à educação que sempre me deram e por me fazer acreditar sempre na construção de um mundo melhor.

Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente.
Quem sobrevive é o mais disposto à mudança.

Charles Darwin

RESUMO

O consumo de energia aumenta dia após dia, enquanto os recursos naturais vão se esgotando. Por conta disso, o Governo Brasileiro expandiu seu selo de classificação de nível de eficiência energética para as edificações, através da criação do PBE Edifica (Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações). Por conta disso, esse trabalho contribui para o desempenho térmico nas edificações residenciais, tema importante e que deve ser mais explorado nos próximos anos, tendo em vista o papel do setor da construção civil na busca pela eficiência energética das edificações, item cuja importância vai ao encontro do desenvolvimento sustentável. Como o setor construtivo é um dos principais responsáveis pelo consumo de recursos, entre eles a energia consumida durante toda a vida útil de suas edificações, fez-se uma análise do desempenho térmico de unidades habitacionais de um edifício residencial de alto padrão com fachada em pele de vidro, localizado em Porto Alegre, RS, através da etiqueta PBE Edifica. Com isso, avaliou-se o impacto da utilização de fachadas envidraçadas para a eficiência energética, além da análise do impacto da orientação solar na classificação do desempenho térmico, assim como a relevância de fatores térmicos como transmitância, capacidade térmica e absorvância solar de paredes externas e a importância da especificação de materiais com baixa condutividade energética para um bom desempenho térmico. Os resultados mostram que apartamentos em fachadas oeste e norte, que recebem mais radiação solar, têm piores resultados para eficiência para resfriamento, mas apresentam resultados similares para eficiência para aquecimento e refrigeração. Além disso, vidros duplos insulados apresentam melhorias significativas para o desempenho térmico em comparação aos vidros comuns. Já etiqueta PBE Edifica demonstrou ser útil para determinação da eficiência energética nas edificações, mas os cálculos executados através da metodologia do Método Prescritivo, presente no Regulamento Técnico de Qualidade, além de serem de difícil manuseio, apresentaram resultado superior, isto é, com nível de eficiência mais elevado do que o esperado para uma edificação em pele de vidro.

Palavras-chave: PBE Edifica. Eficiência Energética. Desempenho Térmico. Desenvolvimento Sustentável. Pele de Vidro. Orientação Solar

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa	19
Figura 2 – Emissão de gás carbônico no mundo entre 1990 e 2011	23
Figura 3 – Projeção do consumo de energia para 2030	26
Figura 4 – Participação dos eletrodomésticos no consumo médio domiciliar no Brasil	27
Figura 5 – Etiqueta nacional de conservação de energia para unidade habitacional	33
Figura 6 – Zoneamento bioclimático brasileiro	37
Figura 7 – Imagem do empreendimento analisado	41
Figura 8 – Localização do empreendimento analisado	42
Figura 9 – Planta baixa pavimento tipo	43
Figura 10 – Legenda da envoltória das unidades habitacionais	44
Figura 11 – Planta baixa apartamentos final 12 com orientação oeste e norte	44
Figura 12 – Vista interna da unidade de final 12	45
Figura 13 - Planta baixa apartamentos final 08 com orientação leste	46
Figura 14 – Vista interna da unidade de final 08	47
Figura 15 – Planta baixa apartamentos final 04 com orientação sul	48
Figura 16 – Vista interna da unidade de final 04	49
Figura 17 – Imagem da pele de vidro	50
Figura 18 – Abertura das janelas maxim-ar	52
Figura 19 – Representação da camada da cobertura	53
Figura 20 – Transmitância térmica e capacidade térmica de alvenaria com argamassa em ambas as faces	55
Figura 21 – Transmitância térmica e capacidade térmica de alvenaria sem revestimento interno	55
Figura 22 – Parte superior da cobertura sobre a UH de final 12	65
Figura 23 – Gráfico comparativo em relação ao resfriamento das unidades analisadas	69
Figura 24 – Gráfico comparativo em relação ao aquecimento das unidades analisadas	70
Figura 25 – Gráfico comparativo em relação à refrigeração das unidades analisadas ...	71
Figura 26 – Gráfico comparativo do mesmo apartamento em fachadas leste e oeste em relação ao resfriamento	72
Figura 27 – Gráfico comparativo do mesmo apartamento em fachadas leste e oeste em relação ao aquecimento e à refrigeração	73
Figura 28 – Gráfico comparativo em relação ao resfriamento da unidade de final 12, sendo uma sob a cobertura e a outra em andar intermediário	74

Figura 29 – Gráfico comparativo em relação ao aquecimento da unidade de final 12, sendo uma sob a cobertura e a outra em andar intermediário	74
Figura 30 – Gráfico comparativo em relação à refrigeração da unidade de final 12, sendo uma sob a cobertura e a outra em andar intermediário	75
Figura 31 – Gráfico comparativo em relação ao resfriamento para diferentes tipos de vidros	82
Figura 32 – Gráfico comparativo em relação ao aquecimento para diferentes tipos de vidros	82
Figura 33 – Gráfico comparativo em relação à refrigeração para diferentes tipos de vidros	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentual de consumo de fontes de energia em relação à energia total do Brasil e do Mundo em 2003	25
Tabela 2 – Propriedades dos materiais frente à radiação da superfície	36
Tabela 3 – Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica	38
Tabela 4 – Valores de condutividade energética conforme o material	39
Tabela 5 – Informações técnicas do vidro	51
Tabela 6 – Valores de condutividade térmica, peso específico e calor específico conforme o material	54
Tabela 7 – Parâmetros para determinação da capacidade térmica das paredes externas da UH de final 04	59
Tabela 8 – Parâmetros para determinação da capacidade térmica das paredes externas da UH de final 08	60
Tabela 9 – Parâmetros para determinação da capacidade térmica das paredes externas da UH de final 12	61
Tabela 10 – Verificação de atendimento dos pré-requisitos das paredes externas	63
Tabela 11 – Parâmetros para determinação da resistência térmica e da capacidade térmica da cobertura	64
Tabela 12 – Verificação de atendimento dos pré-requisitos da cobertura	65
Tabela 13 – Parâmetros de avaliação da envoltória	66
Tabela 14 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento na zona bioclimática 3	67
Tabela 15 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento na zona bioclimática 3	67
Tabela 16 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração na zona bioclimática 3	68
Tabela 17 – Comparação da UH de final 08 em fachadas leste e oeste	72
Tabela 18 – Níveis obtidos por cálculo e níveis reais respeitando os pré requisitos	76
Tabela 19 – Cálculo da absorvância solar para vidro comum e vidro de baixa emissividade.....	81
Tabela 20 – Níveis obtidos conforme tipo de vidro	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores das resistências térmicas de cada material em cada unidade analisada	56
Quadro 2 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas das UH de final 04	57
Quadro 3 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas das UH de final 08	57
Quadro 4 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas das UH de final 12	58
Quadro 5 – Cálculo da capacidade térmica da UH de final 04	59
Quadro 6 – Cálculo da capacidade térmica da UH de final 08	60
Quadro 7 – Cálculo da capacidade térmica da UH de final 12	62
Quadro 8 – Resultados dos indicadores de resfriamento, aquecimento e refrigeração das unidades habitacionais analisadas	69
Quadro 9 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas da UH de final 12 com vidro comum	77
Quadro 10 - Cálculo da transmitância térmica das paredes externas da UH de final 12 com vidro de baixa emissividade	78
Quadro 11 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas da UH de final 12 com vidro comum	79
Quadro 12 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas da UH de final 12 com vidro de baixa emissividade	80
Quadro 13 – Resultados dos indicadores de resfriamento, aquecimento e refrigeração de acordo com os vidros utilizados	81

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AQUA – Alta Qualidade Ambiental

CA – Consumo para Aquecimento

CR – Consumo para Refrigeração

Eletrobras – Centrais Elétricas do Brasil

EqNum – Equivalente Numérico

GHR – Graus-Hora para Resfriamento

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RS – Rio Grande do Sul

RTQ – Regulamento Técnico de Qualidade

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UH – Unidade Habitacional

ZB – Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DE PESQUISA	16
2.2.1 Objetivo Principal	16
2.2.2 Objetivos Secundários	16
2.3 PRESSUPOSTO	17
2.4 PREMISA	17
2.5 DELIMITAÇÕES	17
2.6 LIMITAÇÕES	17
2.7 DELINEAMENTO	18
3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	20
3.1 MEIO AMBIENTE	21
3.2 ENERGIA	23
3.3 CONSTRUÇÃO	27
4 REGULAMENTO TÉCNICO DE QUALIDADE	32
4.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	32
4.1.1 Obtenção dos níveis de eficiência	33
4.1.2 Ventilação natural	34
4.1.3 Iluminação natural	35
4.2 ENVOLTÓRIA	36
4.2.1 Pré-requisitos da envoltória	37
4.2.2 Equações para transmitância, capacidade térmica e absortância solar	39
4.3 ANÁLISE DA ENVOLTÓRIA	40
4.3.1 Apresentação do empreendimento analisado	41
4.3.2 Envoltória das unidades habitacionais analisadas	42
4.3.3 Pele de vidro	49
4.3.3.1 Análise dos vidros	50
4.3.3.2 Análise das janelas	51
4.3.4 Cobertura	52
4.3.5 Parâmetros de transmitância, capacidade térmica e absortância	54
4.3.5.1 Parâmetros para paredes externas	56
4.3.5.1.1 Cálculos das transmitâncias térmicas das paredes externas	56

4.3.5.1.2 Cálculos das capacidades térmicas das paredes externas	58
4.3.5.1.3 Cálculos das absorvância solar das paredes externas	62
4.3.5.1.4 Verificação de pré-requisitos das paredes externas	63
4.3.5.2 Parâmetros para cobertura	63
4.3.5.2.1 Cálculos da transmitância, capacidade térmica e absorvância da cobertura ..	63
4.3.5.2.2 Verificação de pré-requisitos da cobertura	65
5 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO	66
5.1 MÉTODO PRESCRITIVO	66
5.1.1 Cálculo dos indicadores para resfriamento, aquecimento e refrigeração: vidro utilizado	68
5.1.2 Cálculo dos indicadores para resfriamento, aquecimento e refrigeração: vidro comum incolor 6mm e vidro de alto desempenho 20mm low-e	76
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS	89
ANEXO A	92
ANEXO B	98

1 INTRODUÇÃO

Dentre todos os dilemas da humanidade, há um em particular que poderá afetar o modo como vivemos hoje. Este envolve a necessidade da preservação ambiental e o seu custo, o qual nem todos estão dispostos a pagar. Desde a Revolução Industrial, a sociedade viu sua população mundial sextuplicar, a expectativa de vida crescer e a qualidade de vida aumentar (AGOPYAN; JOHN, c2011). Junto a isso, o homem tornou-se mais exigente em relação a tudo que consome, sendo incentivado a consumir cada vez mais. Entretanto, este consumismo em excesso se contrapõe à necessidade de economizar, que por sua vez é importante para o futuro da sociedade.

O desenvolvimento dos últimos dois séculos foi enorme, porém, a despreocupação com o meio ambiente já está ocasionando mudanças significativas na sociedade atual. Uma das maiores preocupações refere-se ao aquecimento global, ocasionado pela mudança de concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e que poderá aumentar a temperatura da Terra, trazendo inúmeros problemas para a humanidade. Atualmente, o aquecimento global “[...] está relacionado à dependência [...] nos combustíveis fósseis para suprimento de calor, geração de eletricidade e transporte.” (BRASIL, 2014a).

De acordo com o quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change*¹² (2007 apud FOSSATI, 2008, p. 1), “Dentre as opções de curto e médio prazos, pode-se afirmar com alto grau de certeza que edifícios eficientes e a mudança no estilo de vida e padrões de consumo da população podem reduzir consideravelmente as alterações promovidas ao clima.”. Dessa maneira, o desenvolvimento sustentável precisa ser buscado, de modo que o Governo tem papel crucial neste ponto, pois é ele que deve incentivar a prática sustentável tanto para as indústrias quanto para os consumidores, tendo o desafio de tornar a sustentabilidade acessível e alcançável a todos.

1 Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

2 INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Mitigation of Climate Change**. Report. Bangkok, Thailand, May 2007. IPCC Working Group III.

Uma das práticas que já ocorre, e que deve aumentar nos próximos anos, é o incentivo à eficiência energética. No mundo inteiro, a matriz de energia elétrica é a mais utilizada, e esta provém, obrigatoriamente, da natureza (PERUCHI, 2013). Como o consumo de energia aumenta dia após dia, sua geração também precisa ser maior, o que eleva o impacto ambiental. A indústria da construção civil, sendo responsável pela transformação do ambiente natural em ambiente construído, tem papel determinante. O setor consome muitos recursos naturais e gera muitos resíduos, o que eleva ainda mais sua responsabilidade em desenvolver novas práticas construtivas que sejam mais sustentáveis (AGOPYAN; JOHN, c2011).

Uma dessas novas práticas é a construção de edifícios eficientes, que gastam menos energia para obter um conforto adequado. Para a obtenção desse conforto, é necessária a utilização de recursos naturais durante a operação do edifício, como por exemplo: iluminação natural, aquecimento solar e ventilação natural para obtenção de conforto térmico. Estas práticas já foram usadas em tempos quando a tecnologia era algo distante, mas acabaram deixadas de lado pela disseminação de aparelhos como condicionadores de ar e aquecedores de água, por exemplo. O problema é que todos esses aparelhos também consomem recursos naturais, portanto, precisam tornar-se mais eficientes para que junto de outras tantas iniciativas o desenvolvimento seja, de fato, sustentável.

Hoje em dia, morar em ambientes que tenham aspectos mais sustentáveis tornou-se um fator importante, e em alguns casos determinante para parte dos consumidores. Porém, a eficiência e o desempenho energético nem sempre são levados em consideração, tanto pelas construtoras, quanto pelos usuários. Portanto, este trabalho visa analisar o impacto da orientação solar e do tipo de vidro no desempenho térmico de algumas unidades habitacionais em um edifício específico, concebido com fachada em pele de vidro, a ser entregue no ano de 2015, em Porto Alegre, RS. O empreendimento será analisado de acordo com o Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais, RTQ-R, publicado em 2012 pelo Inmetro, que faz parte da etiqueta PBE Edifica, criada em parceria do Inmetro com a Eletrobras.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: sabendo que a eficiência energética é importante para o desenvolvimento sustentável e que o desempenho térmico tem grande impacto na eficiência energética de uma edificação, qual o impacto da orientação solar e do tipo de vidro para o desempenho térmico da envoltória de apartamentos de um edifício de alto padrão, em pele de vidro, a ser entregue em 2015 na cidade de Porto Alegre, RS, de acordo com os requisitos da etiqueta PBE Edifica.

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho consiste na análise do impacto da orientação solar e do tipo de vidro utilizado em relação ao desempenho térmico da envoltória em unidades de um edifício residencial de alto padrão, com fachada em pele de vidro, a ser entregue em 2015 na cidade de Porto Alegre, RS, de acordo os requisitos da etiqueta PBE Edifica.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) classificação do nível de desempenho térmico que as unidades avaliadas da edificação obtêm em relação à etiqueta PBE Edifica;
- b) indicação de iniciativas ou materiais que aumentariam a classificação de desempenho térmico obtido;
- c) análise dos requerimentos da etiqueta PBE Edifica.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que a etiqueta PBE Edifica é adequada para a avaliação da eficiência energética e do desempenho térmico das edificações.

2.4 PREMISA

O trabalho tem por premissa que a Etiqueta PBE Edifica não é de cunho obrigatório e, portanto, o edifício em análise não foi projetado e nem construído para cumprir com os requerimentos da etiqueta em questão.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise de algumas unidades habitacionais autônomas de um condomínio residencial específico, localizado em Porto Alegre, RS, em relação ao desempenho térmico da envoltória de acordo com os requerimentos da etiqueta PBE Edifica. Os sistemas de aquecimento de água e as bonificações, que completariam o estudo da eficiência energética do empreendimento, não serão analisados, assim como os custos para se elevar os níveis alcançados.

2.6 LIMITAÇÕES

Serão conservados os aspectos arquitetônicos do empreendimento em questão e serão respeitados os requerimentos da etiqueta PBE Edifica.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) verificação envoltória do edifício;
- c) utilização do método prescritivo do RTQ-R;
- d) determinação da eficiência para resfriamento, aquecimento e refrigeração;
- e) classificação do nível de desempenho térmico de algumas unidades habitacionais;
- f) comparação dos níveis das unidades habitacionais avaliadas;
- g) análise dos resultados;
- h) considerações finais.

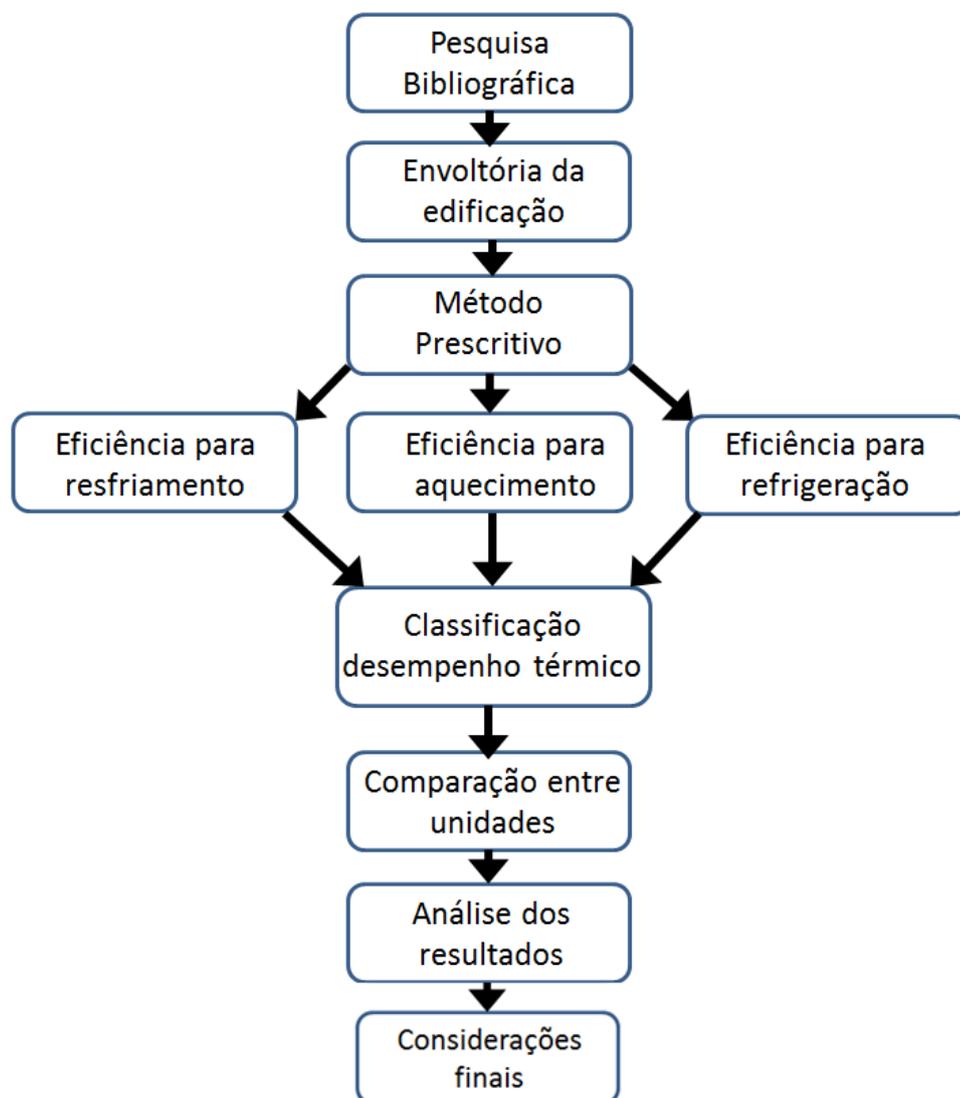
Primeiramente, foi realizada a **pesquisa bibliográfica**, quando se buscou as informações necessárias para a realização deste trabalho, como o histórico da sustentabilidade e consumo de energia, por exemplo, assim como outros dados que servirão de base para o projeto. Após a pesquisa inicial, foi necessário realizar a **verificação da envoltória do edifício**, que foi a etapa na qual foram definidas muitas das variáveis para a medição da eficiência térmica, assim como foram analisados os dados do edifício em questão. Esta verificação foi feita em todo decorrer do trabalho.

A partir de um conjunto de informações, iniciou-se a **utilização do método prescritivo do RTQ-R**, indicado no Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R), que foi o método escolhido para ser aplicado na medição do desempenho térmico do edifício em questão.

Com as três etapas anteriores, pôde-se realizar a **determinação da eficiência para resfriamento, aquecimento e refrigeração**, através do indicativo do método prescritivo e da NBR 15220:2005, em conjunto com as especificações das unidades da edificação. Nesta fase, foi analisada a eficiência em relação à iluminação natural e à ventilação natural, assim como à ventilação com uso de aparelhos condicionadores de ar. De posse das informações sobre a eficiência térmica das unidades habitacionais para cada item, foi possível fazer a **classificação do nível de desempenho térmico de algumas unidades habitacionais**, e, a seguir, realizar

uma **comparação dos níveis das unidades habitacionais avaliadas**. Com isso, fez-se uma **análise dos resultados** onde foram explicados alguns resultados obtidos, analisando o real impacto da orientação solar e do tipo de vidro no desempenho térmico das unidades estudadas. Por fim, foram realizadas as **considerações finais**, que além de concluir o trabalho, indicam o que poderia ser feito para se alcançar resultados melhores para a obtenção de níveis mais altos de desempenho térmico e faz também uma análise crítica do empreendimento e da etiqueta PBE Edifica.

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito inicial de sustentabilidade envolve o uso equilibrado dos recursos naturais para atender às necessidades da geração atual, e garantir que as futuras gerações também possam atender suas necessidades. Nos dias de hoje, o conceito se tornou ainda mais abrangente, devendo atender questões ambientais, econômicas e sociais (AGOPYAN; JOHN, c2011). Assim, um equipamento totalmente a favor do meio ambiente, mas que tenha um custo elevado, não pode ser considerado sustentável, pois não seria acessível a todos. Devido a este fato, o desafio da sociedade atual é estimular a prática sustentável, aumentando a qualidade de vida da população, sem haver um custo excessivo para isso. Isto também incentiva o crescimento das nações.

Para um país crescer é fundamental que sua economia esteja aquecida, isto é, que a indústria produza e as pessoas consumam. Isto gera renda, emprego e qualidade de vida. Entretanto, analisar apenas o viés econômico não é suficiente. A prática lucrativa por vezes ignora o impacto ocasionado ao meio ambiente, e isso traz apreensão a todos que olham para o futuro. A questão ambiental tornou-se fundamental, de modo que já está ocasionando mudanças significativas em diversas esferas da sociedade (FOSSATI, 2008). As pessoas estão cada vez mais exigentes em relação ao impacto gerado pela indústria e será preciso uma mudança, tanto de hábito quanto de mentalidade, para garantir que o desenvolvimento seja sustentável e as futuras gerações tenham condições sadias para viver. Tendo isso em vista, neste capítulo serão analisados três pontos:

- a) meio ambiente;
- b) energia;
- c) construção.

3.1 Meio ambiente

A relação de interação do homem com o ambiente é tema de diversas pesquisas e publicações. Entretanto, a comprovação de que o meio ambiente sofre com a poluição gerada pela

humanidade pode ser considerada recente. Foi apenas em 1962 que Rachel Carlson publicou o livro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), no qual apresentou pesquisas toxicológicas, ecológicas e epidemiológicas que afirmavam que a natureza não detinha infinita capacidade de absorver poluentes, diferentemente de como era pensado até então (INTERNATIONAL INSTITUTE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT, c2012). A partir da publicação do livro, diversos grupos começaram a pesquisar sobre o tema, preocupados com o futuro do Planeta. Após muitas previsões sombrias, entre elas a do Clube de Roma no livro *The limits to growth* (Os limites do crescimento) lançado em 1972, no qual afirmavam que a população, a industrialização, a poluição e o esgotamento de recursos naturais aumentariam muito mais rápido que a disponibilidade de recursos, a Organização das Nações Unidas resolve debater o tema. No mesmo ano, foi realizada em Estocolmo a Conferência sobre Ambiente Humano, considerada a primeira conferência mundial sobre meio ambiente, para discutir o tema. Em 1983, a ONU criou a Comissão Brundtland que, em 1987, publicaria o relatório chamado *Our common future* (Nosso futuro comum) definindo o conceito de desenvolvimento sustentável como um meio de fazer a economia evoluir, atendendo às expectativas da sociedade e mantendo o ambiente sadio para esta e para as futuras gerações (AGOPYAN; JOHN, c2011).

Em 1992, a Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Rio 92 ou Eco 92, firmou ainda mais o conceito de desenvolvimento sustentável e elaborou documentos de extrema importância, entre eles a agenda de trabalho para o novo século que se aproximava, denominada de Agenda 21, que seria “[...] ao mesmo tempo o mapa e o roteiro para a construção de uma sociedade sustentável.” (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 1995, p. 8). Infelizmente, as autoridades e a sociedade em geral utilizam muito pouco o documento, o que faz com que o desenvolvimento sustentável pareça ainda longe de ser alcançado.

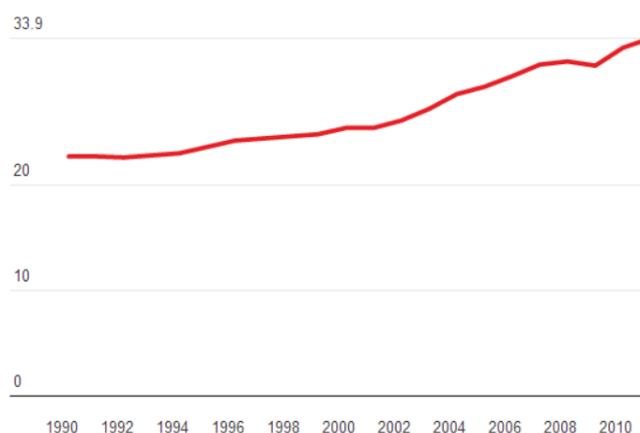
Atualmente, o maior problema relacionado ao meio ambiente é a mudança climática e o risco do aquecimento global. O quinto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2014) aponta que as mudanças climáticas são irreversíveis, embora possam ser reduzidas se a humanidade conseguir controlar as emissões de gases que ocasionam o efeito estufa. O efeito estufa em si não é o problema, pois é este fenômeno natural que possibilita a vida humana na Terra. Se esse fenômeno não existisse, a temperatura média no nosso planeta seria de 18° C negativos, sendo que com a sua existência, a temperatura média na superfície terrestre fica em

torno de 14° C (BRASIL, 2014b). Entretanto, ao aumentar a concentração de gases de efeito estufa, altera-se o balanço entre a energia solar que incide na Terra e a energia refletida na forma de calor pela sua superfície, o que faz com que a temperatura terrestre aumente, pois há mais energia retida na atmosfera. Segundo Brasil (2014b):

As emissões de gases de efeito estufa ocorrem praticamente em todas as atividades humanas e setores da economia: na agricultura, por meio da preparação da terra para plantio e aplicação de fertilizantes; na pecuária, por meio do tratamento de dejetos animais e pela fermentação entérica do gado; no transporte, pelo uso de combustíveis fósseis, como gasolina e gás natural; no tratamento dos resíduos sólidos, pela forma como o lixo é tratado e disposto; nas florestas, pelo desmatamento e degradação de florestas; e nas indústrias, pelos processos de produção, como cimento, alumínio, ferro e aço, por exemplo.

Para combater a emissão de gases de efeito estufa, foi criado, em 1997, o Protocolo de Quioto, um acordo internacional para a redução da emissão desses gases pelos países desenvolvidos, principais responsáveis pela mudança do clima. O prazo para a redução destas emissões em cerca de no mínimo 5% do emitido em 1990 era no período de 2008 a 2012. A maioria dos países que se comprometeram, cumpriram seu papel, entretanto este resultado não condiz com a realidade. Como muitos países desenvolvidos passaram a importar produtos e serviços de países emergentes, como a China, por exemplo, a grande emissão dos gases de efeito estufa apenas mudou de local. Neste período, estima-se que o aumento na emissão destes gases tenha sido constante (CLARK, 2012). A figura 2 representa a emissão de gás carbônico entre os anos de 1990 e 2011.

Figura 2 – Emissão de gás carbônico no mundo entre 1990 e 2011
(gigatoneladas/ano)



(fonte: CLARK, 2012)

Apesar do objetivo do protocolo não ter sido alcançado, este continua sendo muito importante, pois foi o primeiro passo em busca da diminuição da emissão dos gases que provocam o efeito estufa e que ocasionam o aquecimento global. Para que isso realmente mude, cabe à sociedade em geral cobrar, tanto de governos quanto da indústria, que os princípios da Agenda 21 sejam perseguidos todos os dias.

Em 1999, foi lançada a publicação *Agenda 21 on sustainable construction* (Agenda 21 sobre construção sustentável), que indica os principais desafios para a construção sustentável em países em desenvolvimento, como o Brasil. O foco da publicação é mostrar que todas as pessoas envolvidas na grande cadeia produtiva da construção e mesmo na execução e operação de edifícios têm suas responsabilidades (AGOPYAN; JOHN, c2011). O setor, como provedor de qualidade de vida, também é responsável pelo grande consumo de recursos naturais e, portanto, precisa repensar sua prática de trabalho. O consumo de energia, que ocorre durante todo o ciclo de vida das edificações, que geralmente é elevado, é um dos elementos que precisa ser melhor otimizado. Este será analisado no item 3.2.

3.2 Energia

Entre tudo que o homem pode consumir, provavelmente a energia seja a maior fonte deste consumo. O ser humano consome energia em todas suas atividades, seja para trabalhar,

dormir e até respirar. Porém, não é este o consumo que aumenta ano a ano e que preocupa governantes mundo afora.

Na atualidade, com o crescimento da tecnologia, o homem se tornou totalmente dependente da matriz de energia elétrica. De acordo com Peruchi (2013, p. 1), “A energia elétrica é uma fonte de desenvolvimento social e econômico formidável. Sua grande aplicabilidade e versatilidade facilitam seu emprego em diversos segmentos da sociedade.”.

Estima-se que, em 2003, o consumo diário de energia tenha sido de 46.300 kcal/habitante, enquanto a quantidade necessária para a sobrevivência biológica, obtida através dos alimentos, seja cerca de 2.000 kcal/dia (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Entretanto, a preocupação surge pelo fato de que “Os padrões atuais da produção e consumo de energia são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissão de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo do planeta. É preciso mudar esses padrões estimulando as energias renováveis.” (GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p. 1).

A tabela 1 mostra a contribuição percentual das diversas fontes de energia em relação à energia total consumida no Brasil e no mundo em 2003.

Tabela 1 – Percentual de consumo de fontes de energia em relação à energia total no Brasil e no mundo em 2003

Energia primária		Brasil	Mundo	
Total bilhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo)		0,193	10,7	
Não renováveis	Fósseis	Petróleo	43,6	35,3
		Gás natural	6,6	20,9
		Carvão	6,8	24,1
	Nuclear		1,8	6,4
	Subtotal		58,7	86,6
Renováveis	Tradicionais	Biomassa tradicional	19	9,4
	Convencionais	Hidráulica	15,3	2,1
	Modernas	Biomassa moderna	6,9	1,2
		Solar, eólica, etc.	<0,1	1,7
	Subtotal		41,3	14,4

(fonte: baseado em INTERNATIONAL ENERGY AGENCY³, 2006 apud GOLDEMBERG; LUCON, 2007, [p. 2])

Percebe-se que o Brasil está em uma posição favorável nesta questão em comparação com o resto do mundo, pois energias renováveis representam 41,3% do total, enquanto no restante do mundo este índice é de 14,4% (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Ainda assim, a maior parte do consumo de energia, tanto no Brasil quanto no mundo, é proveniente de combustíveis fósseis.

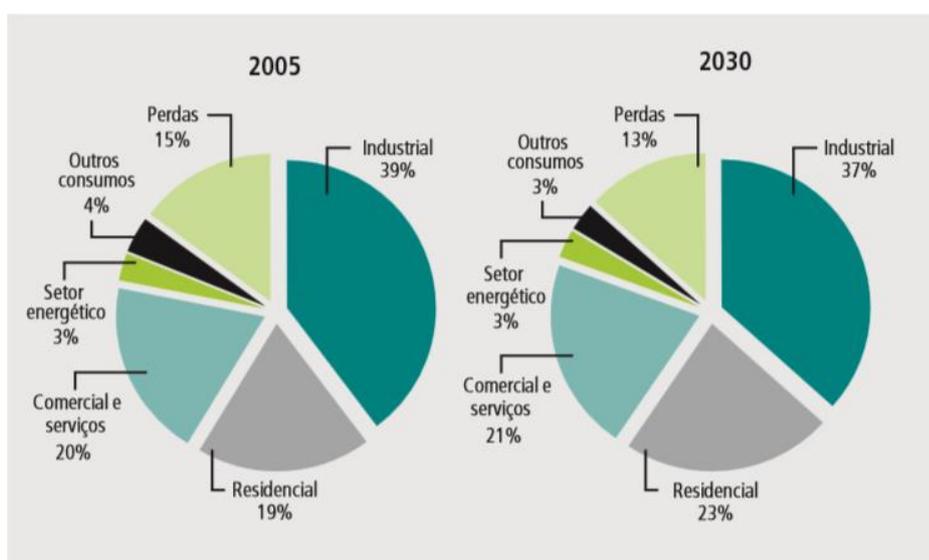
O setor energético é um dos setores estratégicos de um país e precisa ser pensado em conjunto com o meio ambiente, uma vez que a energia provém, obrigatoriamente, da natureza (PERUCHI, 2013). Além disso, a geração de energia tem um custo enorme para o Governo, o que diminui a verba para outras áreas fundamentais para sociedade, como saúde, educação, habitação e mobilidade urbana, setores que constantemente recebem críticas da população (AGOPYAN; JOHN, c2011).

De acordo com o Plano Nacional de Energia, está previsto um crescimento acentuado do consumo de energia elétrica total e *per capita* até 2030, em todos os cenários, sendo que o

³ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook**. Paris: OECD, 2006.

setor que mais aumentará seu consumo é o setor residencial, conforme mostra a figura 3 (BRASIL, 2007).

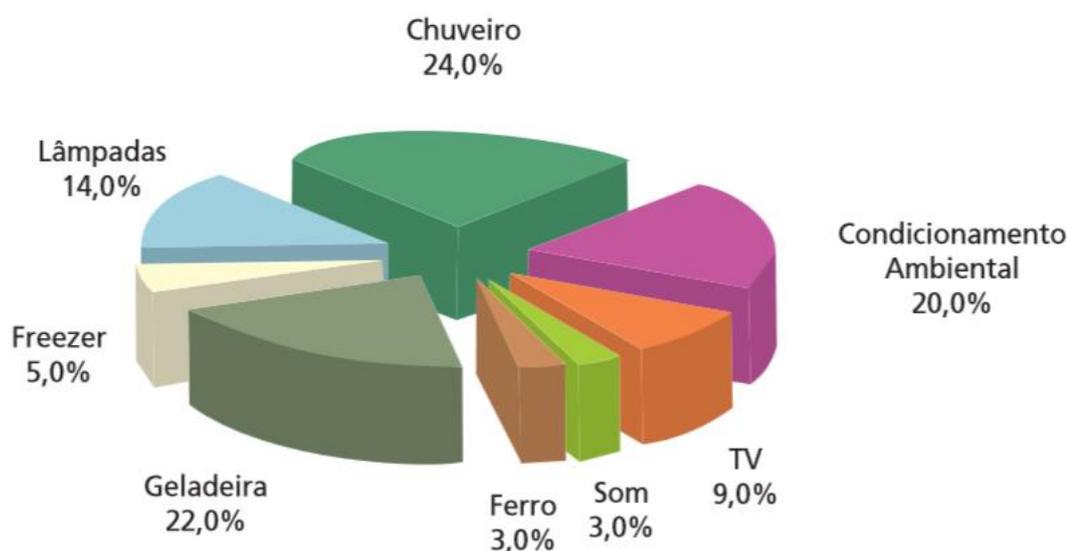
Figura 3 – Projeção do consumo de energia em 2030



(fonte: BRASIL, 2007, p. 30)

O consumo residencial médio irá de 138 kWh/mês, em 2005, para algo entre 245 e 308 kWh/mês em 2030 (BRASIL, 2007), um aumento de até 120%. O modo como as edificações são projetadas e construídas influencia diretamente em mais da metade deste consumo: energia para condicionamento (20%); aquecimento de água (24%) e iluminação (14%) (CENTRAIS ELÉTRICAS DO BRASIL, 2007). Estes dados estão representados na figura 4, que também mostra o índice de participação de outros eletrodomésticos no consumo médio em domicílios brasileiros. Nota-se que as geladeiras, que em sua ampla maioria são fabricadas com o nível A do selo Procel, ainda têm uma grande contribuição no consumo final das residências.

Figura 4 – Participação dos eletrodomésticos no consumo médio domiciliar no Brasil



(fonte: CENTRAIS ELÉTRICAS DO BRASIL, 2007, p. 17)

Além disso, o ar condicionado tende a ser cada vez mais utilizado nas residências, o que aumentará ainda mais o consumo. Assim, os investimentos em geração de energia precisam ser enormes. Estima-se que o país gaste, em geração e transmissão de energia, R\$ 800 bilhões de 2005 a 2030 (BRASIL, 2007), sendo que, apenas no setor elétrico, mais ligado ao uso dos edifícios, este valor chegará a R\$ 240 bilhões. Outro dado interessante é que, em 2007, 44% do consumo total de energia elétrica foi usado para a operação de ambientes construídos, sendo metade desse consumo feito pelas residências (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). Isso comprova que as edificações residências têm grande relevância e consomem cerca de 20% de toda a energia elétrica produzida no Brasil.

Conseqüentemente, economizar energia e criar ambientes eficientes e sustentáveis é fundamental para a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável do planeta. O setor da construção, como um dos protagonistas do desenvolvimento, tem papel crucial para isto, sendo melhor apresentado no item 3.3.

3.3 Construção

O setor da construção civil é essencial para o crescimento de um país, pois além de promover abrigo, conforto e qualidade de vida às pessoas, também é responsável pela implantação de toda a infraestrutura de base, como geração de energia, saneamento básico, comunicações, transportes e espaços urbanos. Entretanto, o setor é um dos principais consumidores de recursos naturais, entre eles energia e água, e gera muitos resíduos durante todo o período de vida útil de seus empreendimentos, o que afeta diretamente o meio ambiente (AGOPYAN; JOHN, c2011).

Outro ponto muito importante no ciclo de vida das edificações são os impactos da cadeia de produção de materiais de construção, que englobam uma gama enorme de produtos, desde os mais simples até os mais complexos. A análise do ciclo de vida dos materiais tornou-se um tema atual e importante neste sentido. Infelizmente, o setor demorou a perceber todo este impacto, e com uma sociedade cada vez mais bem esclarecida e exigente em relação à preservação da natureza, a construção civil tornou-se a principal responsável pelos problemas ambientais (AGOPYAN; JOHN, c2011). Neste contexto, o desenvolvimento sustentável torna-se quase uma obrigação para o setor.

Assim, para combater este estigma e mostrar seu papel rumo ao desenvolvimento sustentável, a indústria criou selos de certificação ambiental, tais quais: BREEAM⁴ (Reino Unido), HK-BEAM⁵ (Hong Kong), LEED⁶ (Estados Unidos), Green Star (Austrália), CASBEE⁷ (Japão), HQE⁸ (França), entre outros, para analisar a sustentabilidade nas construções. A certificação mais conhecida e usada no mundo é o LEED, que foi muito apoiada pela indústria americana e já está presente em muitas obras, inclusive do Brasil. Entretanto, existem algumas críticas em relação às certificações. Segundo Schendler e Udall (2005), talvez o mundo não precise tanto de uma certificação ambiental de edificações tanto quanto precise de especificações para edificações ambientalmente corretas. A verdade é que as certificações para edificações, em sua maioria, são voltadas mais especificamente para a questão ambiental, e como têm um

⁴ BREEAM – Building Research Establishent Environmental Assessment Method.

⁵ HK-BEAM – Hong Kong Building Environmental Assessment Method.

⁶ LEED – Leadership in Energy & Efficient Design.

⁷ CASBEE – Comprehensive Assessment System fot Built Environment Efficiency.

⁸ HQE – Haute Qualité Environmentale.

custo considerável, deixam em segundo plano os problemas econômicos e sociais, que compõem o tripé da sustentabilidade. Principalmente em países em desenvolvimento, nos quais os três problemas têm maior relevância, é fundamental que se pense em sustentabilidade como um todo. Por isso, selos estrangeiros não podem ser considerados a solução dos problemas. Além disso, com as diferenças de cultura e tradições do setor construtivo, suas aplicações eficientes se tornam ainda mais difíceis (FOSSATI, 2008). Por conta disso, o País viu que poderia criar seus próprios selos de certificação de edifícios, e hoje já existem o Selo Casa Azul da Caixa, o Processo AQUA e a Etiqueta PBE Edifica, que substituiu, em 2015, a etiqueta Procel Edifica.

O Procel, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (CENTRAIS ELETRICAS DO BRASIL, 2014):

[...] foi criado em 1993 para orientar os consumidores no ato da compra, indicando os produtos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro de cada categoria, o que gera economia na conta de energia elétrica e estimula a fabricação e comercialização de produtos mais eficientes, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e a preservação do meio ambiente.

Em 2003, a Eletrobras lançou o Procel Edifica, selo exclusivo para medir a eficiência energética das construções, com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação, etc.). O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) é o responsável pela etiquetagem das edificações que contemplam o selo. No ano de 2015, Eletrobras e Inmetro uniram o Procel Edifica ao Programa Brasileiro de Etiquetagem, surgindo assim a etiqueta PBE Edifica. Além disso, quando se trata especificamente da classificação da eficiência energética em edifícios ou produtos, a etiqueta se chama ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

Eficiência energética na construção, de acordo com Lamberts et al. (1997, p. 14), “[...] pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.”.

Um dos motivos para a espécie humana conseguir ter sobrevivido até os dias de hoje, foi ter aprendido a aproveitar as características favoráveis do clima, enquanto evitava as características desfavoráveis. Um exemplo é que “Já na Roma Antiga, se utilizavam sistemas

para aquecimento de água, como o *Calidarium*, e aquecimento de ar, como o *Ipoocausto* – túneis subterrâneos onde uma fornalha aquecia o ar, e, conseqüentemente, o ambiente.” (LAMBERTS et al., 1997, p. 15). Outro exemplo vem dos Estados Unidos, onde “No deserto do Colorado, [...] o povo de Mesa Verde construiu suas habitações protegidas do sol pelas encostas de pedra, de forma a sombrear a incidência dos raios solares no verão quente e seco.” (RUDOFISKY⁹, 1981 apud LAMBERTS et al., 1997, p. 16). Isto garantia o conforto térmico, pois se evitava um calor extremo durante o dia, enquanto à noite, o calor armazenado pela encosta era devolvido à habitação. Mesmo com a prática construtiva sendo muito mais rústica que hoje, o homem sabia utilizar o ambiente para obter conforto térmico.

No início do século XX, o modo de se construir mudou completamente. Com as grandes transformações sociais e econômicas, além da criação de novos materiais, como o concreto armado e a indústria do aço, os arquitetos e engenheiros tiveram condições de inovar cada vez mais. Com a criação e a disseminação de sistemas de iluminação e climatização artificial, houve uma despreocupação com o conforto ambiental, e passaram o foco totalmente para a estrutura e a beleza das edificações (LAMBERTS et al., 1997). Com isso, certos padrões de edifícios se propagaram ao redor do mundo independente das condições climáticas de cada local, pois se poderia atingir o conforto adequado artificialmente. Isto fez o consumo energético disparar e a necessidade de produção aumentar elevando o impacto sobre o meio ambiente (LAMBERTS et al., 1997).

Tendo isso em vista, Lamberts et al. (1997, p. 19) sugerem que:

A alternativa que se mostra mais adequada a esse quadro é aumentar a eficiência no uso de energia. Segundo Geller¹⁰ (1994), é mais barato **economizar** energia do que **fornecê-la**, pois se reduz a necessidade de gastos com o setor público, passando aos fabricantes de equipamentos e consumidores os investimentos necessários.

Assim, ao construir edifícios eficientes, evita-se a necessidade de maior produção de eletricidade no país, o que provoca menor impacto ambiental, além de constituir economia nos custos da obra e no consumo de energia (LAMBERTS et al., 1997). Além disso, há

⁹ RUDOFISKY, B. **Architecture without architects**: a short introduction to non pedigreed architecture. London, 1981.

¹⁰ GELLER, H. **O uso eficiente da eletricidade**: uma estratégia eficiente para o desenvolvimento do Brasil. Rio de Janeiro: INEE, 1994.

muitos outros benefícios (WESTPHALEN; KOSZALINSKI¹¹, 1999 apud PEDRINI, 2011, p. 8-9):

- a) redução do custo da construção do edifício através da redução das dimensões de equipamentos e infraestrutura;
- b) redução dos custos operacionais, que reflete no condomínio dos locatários;
- c) redução dos custos de manutenção;
- d) melhoria das condições de trabalho;
- e) aumento do valor do edifício e do retorno do investimento;
- f) melhoria da relação do edifício com a comunidade, como redução de ruídos e descarga de calor dos sistemas de ar condicionado.

De um modo geral, a racionalização do uso de energia em edifícios se faz presente na redução do consumo para iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água, sendo que estes três itens estão abordados na Etiqueta PBE Edifica. Para se obter edifícios eficientes, Lamberts et al. (1997, p. 150) sugerem três ideias básicas que devem ser perseguidas ainda na concepção arquitetônica:

- a) usar sistemas naturais de condicionamento e iluminação sempre que possível;
- b) usar sistemas artificiais eficientes;
- c) buscar a integração entre os dois (artificial e natural).

A seguir, serão introduzidas as etapas de análise do desempenho térmico de unidades habitacionais do edifício residencial em questão, de acordo com o Regulamento Técnico de Qualidade para Níveis de Eficiência Energética em Edificações Residenciais, que faz parte da Etiqueta PBE Edifica.

¹¹ WESTPHALEN, D.; KOSZALINSKI, S. **Energy consumption characteristics of comercial building HVAC systems**. Cambridge, USA, 1999. Volume II: thermal distribution, auxiliary equipment, and ventilation.

4 REGULAMENTO TÉCNICO DE QUALIDADE

Neste capítulo, é introduzida a forma de como foi feita a análise da eficiência térmica das unidades do edifício estudado, além de algumas das características que auxiliam a edificação a se tornar mais eficiente energeticamente. Usufruir de recursos naturais e diminuir o uso de equipamentos elétricos e eletrônicos é uma maneira de se tornar mais eficiente, mas também há o consumo de energia que não depende do clima, e sim da eficiência elétrica dos equipamentos, que, portanto, devem ser conhecidos para servir de auxílio a uma maior economia (PEDRINI, 2011).

Para realizar o trabalho e fazer a medição do desempenho térmico de unidades do edifício residencial em questão, foi analisado o Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R), publicado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) em 16 de janeiro de 2012. Este regulamento faz parte da etiqueta PBE Edifica, criada pela Eletrobras (Centrais Elétricas do Brasil), e os responsáveis pela etiquetagem nas edificações são empresas terceirizadas pelo Inmetro, que é o órgão que expede a etiqueta.

O regulamento foi criado para atender o que dispõe a Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001, que estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e o Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, que a regulamenta. Além disso, sua criação também se faz necessária pela obrigação do Governo em zelar pela eficiência energética das edificações residenciais, assim como pela necessidade de instituir regras equânimes e de conhecimento geral nas fases de projeto e construção de edifícios residenciais (BRASIL, 2012).

4.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Conforme a etiqueta PBE Edifica, os edifícios podem ser classificados de A a E, de acordo com sua eficiência energética, sendo o nível A o mais eficiente e o nível E o menos eficiente. (BRASIL, 2012).

Figura 5 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Unidade Habitacional Autônoma



(fonte: BRASIL, 2013)

No decorrer deste capítulo serão apresentados os principais itens para avaliação do nível de desempenho térmico de unidades habitacionais em edifícios residenciais, de acordo com a etiqueta PBE Edifica e o RTQ-R.

4.1.1 Obtenção dos níveis de eficiência

Segundo Brasil (2012, p. 15), “Para obtenção dos níveis de eficiência A ou B, havendo mais de uma unidade habitacional autônoma no mesmo lote, estas devem possuir medição individualizada de eletricidade e água.”. Essa obrigação vai ao encontro da eficiência, pois incentiva os usuários a não desperdiçarem energia e água, já que economizando esses recursos terão menos gastos no fim do mês. Ainda há prédios em que o consumo total é dividido igualmente entre os apartamentos, independente do número de moradores, o que prejudica quem mais economiza, pois este paga igual aos moradores que mais consomem. Assim, a pessoa deixa de se interessar pela economia e acaba consumindo mais. Por conta disso, o número de edificações novas com medição individualizada tende a crescer nos próximos anos.

A etiquetagem de eficiência energética em Edificações Multifamiliares é feita ponderando-se o resultado da avaliação dos requisitos de todas as unidades habitacionais autônomas da edificação, que são avaliadas conforme os seguintes requisitos presentes no RTQ-R:

- a) desempenho térmico da envoltória;
- b) eficiência dos sistemas de aquecimento de água;
- c) eventuais bonificações.

Este trabalho visou apenas o cálculo do desempenho térmico da envoltória, que está intimamente associado ao tipo de material utilizado na mesma. Já os sistemas de aquecimento de água estão relacionados tanto ao uso da captação de energia solar, quanto aos equipamentos e instalações utilizadas e não fizeram parte do escopo desse trabalho, assim como as bonificações. Conforme indicação do RTQ-R, o cálculo é feito considerando apenas as áreas de permanência prolongada, como salas e dormitórios.

4.1.2 Ventilação natural

De acordo com Bittencourt e Cândido (2010), a ventilação natural em edifícios pode ser produzida pela diferença de pressão estática ou dinâmica entre paredes que separam ambientes internos dos externos, devido a diferenças de temperatura, assim como pode ser produzida pela ação dos ventos. A ventilação natural tem três finalidades complementares (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 11):

- a) manter a qualidade do ar nos ambientes internos;
- b) remover a carga térmica adquirida pela edificação, em decorrência dos ganhos de calor externos e internos;
- c) promover o resfriamento fisiológico dos usuários.

O uso de ventilação natural é um dos meios mais fáceis de diminuir o consumo de energia, mas deve ser considerado desde a concepção do projeto arquitetônico. Para isso, é necessário examinar a influência do tamanho, tipo e localização das aberturas nas fachadas (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

Os ambientes de permanência prolongada devem possuir percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente, de tal forma que a área das aberturas para ventilação seja no mínimo 8% da área do piso. O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo nível C no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento. (BRASIL, 2012).

O percentual de abertura para ventilação (A) é calculado de acordo com a equação 1.

$$A = 100 (A_V / AU_{AMB}) \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

A: percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (%);

A_V : área de abertura para ventilação (m^2);

AU_{AMB} : área útil do ambiente.

Além disso, há relevantes considerações sobre o percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação, conforme o documento referência:

- a) se aceita banheiros cujas aberturas estejam voltadas para poços de ventilação, desde que atenda o percentual de 8% da área do piso;
- b) para obtenção de nível A, pelo menos 50% dos banheiros, com exceção dos lavabos, deve possuir ventilação natural. Caso contrário, o nível máximo é B (EqNum = 4);
- c) caso a unidade habitacional autônoma não possua ventilação cruzada, isto é, não promova escoamento de ar entre aberturas localizadas em, no mínimo, duas diferentes fachadas, a UH atingirá no máximo nível C no equivalente numérico da envoltória para resfriamento (BRASIL,2012).

4.1.3 Iluminação natural

A entrada de luz natural em ambientes de permanência prolongada deve ser garantida através de aberturas para o exterior. A soma das áreas de aberturas para iluminação natural deve ser de no mínimo 12,5% da área útil do ambiente (BRASIL, 2012).

4.2 ENVOLTÓRIA

A envoltória do edifício é todo o plano que separa o ambiente interno do ambiente externo, como fachadas, coberturas e aberturas, além de todos os materiais neles contidos. Pisos não fazem parte da envoltória (BRASIL, 2012). Sua definição é importante para a determinação do conforto térmico, lumínico e acústico. Materiais opacos refletem toda parcela de radiação que não absorvem, enquanto materiais translúcidos, como o vidro, são capazes de deixar a radiação solar atravessá-los, mas impedem que parte dessa energia volte ao ambiente externo, o que garante aquecimento do ambiente interno. (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Outro exemplo de diferença de comportamento em relação à determinação do material a ser utilizado é em caso de aquecer um ambiente, como uma sacada externa. Ao pintar a superfície de preto fosca, a capacidade de absorção térmica é 75% maior que se a superfície fosse pintada com tinta branca a óleo (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Tabela 2 – Propriedades do material frente à radiação das superfícies

Material	Absorção para a radiação solar (A)	Absorção e emissividade (A e E) infravermelha entre 10°C e 40°C
Telha ou tijolo de barro vermelho	0,7	0,9
Telha de barro amarelo, bege	0,4	0,5
Telha de fibrocimento nova	0,5	0,95
Telha de fibrocimento suja	0,7	0,95
Chapa nova de alumínio galvanizado	0,5	0,25
Chapa suja de ferro galvanizado	0,8	0,28
Vidro de janela (3mm)	0,05	0,87
Vidro de janela (8 mm)	0,27	0,65
Tinta branca	0,3	0,9
Tinta marrom escura, preta	0,95	0,9
Revestimento tipo caiação	0,3	0,9
Revestimento tipo branco de chumbo	0,2	0,89
Revestimento tipo asfalto, betume	0,93	0,93
Lajotas e azulejos escuros	0,8	0,9
Grama	0,67	-

(fonte: adequado de CORBELLA; YANNAS¹², 2003 apud BARROSO-KRAUSE, 2011, p. 27)

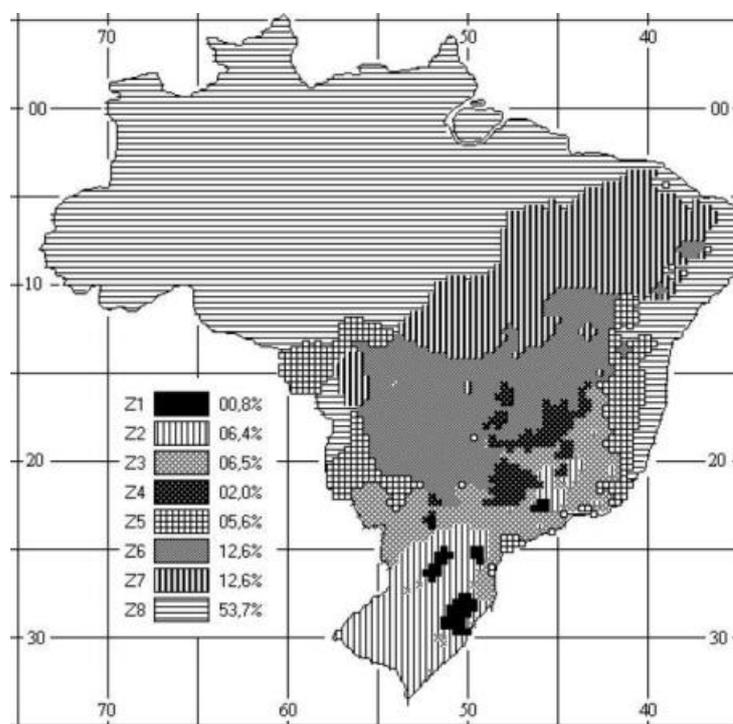
¹² CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

A tabela 2, acima, mostra a variação da capacidade de absorção solar e de emissão e absorção da radiação situada na faixa do infravermelho (calor), de acordo com o material utilizado. Estas e outras definições são importantes para a diminuição do consumo de energia em edificações.

4.2.1 Pré-requisitos da envoltória

Para o alcance de um bom nível de desempenho térmico, é necessário conhecer alguns pré-requisitos importantes. Os pré-requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica e absortância solar das paredes externas e coberturas de ambientes de permanência prolongada devem ser atendidos de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação se localiza (BRASIL, 2012).

Figura 6 – Zoneamento bioclimático brasileiro



(fonte: BRASIL, 2005b)

Como o edifício em questão está situado na cidade de Porto Alegre, RS, a sua Zona Bioclimática é a 3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b) e a tabela 3 indica seus pré-requisitos.

Tabela 3 – Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m ² K)]	Capacidade térmica [kJ/(m ² k)]
Z3	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

(fonte: adaptado de BRASIL, 2012, p. 23)

Caso este pré-requisito não seja atendido, a classificação máxima será de nível C nos equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento, aquecimento e refrigeração (BRASIL, 2012).

4.2.2 – Equações para determinação de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies

A transmitância térmica é a razão entre a condutividade do material e o comprimento de sua seção. A tabela 4 mostra a condutividade energética de alguns materiais usados na construção.

Tabela 4 – Valores de condutividade energética conforme o material

Material	Condutividade (λ) W/mK
Ar a pressão normal e a 20°C	0,024
Água a 4°C	2,26
Aço carbono	43
Alumínio (Al-Si)	204
Concreto (1-2-4)	1,37
Concreto celular	0,4
Madeira em painel aglomerado (seca)	0,14
Tijolo comum maciço	0,69
Tijolo comum (furado)	0,67
Telha de fibro-cimento	0,95
Vidro plano comum	1,1 ¹⁴
Cortiça seca em placas	0,051
Poliestireno expandido	0,036

(fonte: baseada em CORBELLA; YANNAS¹³, 2003
apud BARROSO-KRAUSE, 2011, p. 46)

A equação 2 define os parâmetros de capacidade térmica, enquanto a equação 3 representa a transmitância térmica da camada constituinte.

$$CT = e \cdot \rho \cdot c \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

CT: capacidade térmica da camada constituinte (kJ/m².K);

e: espessura da camada (m);

ρ : peso específico do material (kg/m³);

c: calor específico do material (kJ/kg.K).

$$U = \frac{1}{Rt} = \frac{\lambda}{e} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

U: Transmitância térmica da camada constituinte (kJ/m².K);

Rt: Resistência térmica da camada constituinte (m².K/kJ);

λ : condutividade térmica do material (W/m.K);

¹³ CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

e: espessura da camada (m).

Para o cálculo da absorptância, é necessário considerar a média da absorptância de cada parcela das paredes, ou cobertura, ponderadas pela área que ocupam. Em fachadas envidraçadas onde exista parede interna do vidro, é necessário utilizar a equação 4.

$$\alpha = FS_{\text{vidro}} \cdot \alpha_{\text{parede}} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

α : absorptância térmica da superfície (adimensional);

FS: fator solar do vidro (adimensional);

α_{parede} : absorptância da parede (adimensional).

4.3 ANÁLISE DA ENVOLTÓRIA

Após a apresentação dos itens necessários para o estudo, foi analisada a envoltória real da edificação em questão, mostrando como é o empreendimento e como são as unidades habitacionais que serão analisadas.

4.3.1 Apresentação do empreendimento analisado

O empreendimento que será analisado é o Trend City Center, localizado na esquina das avenidas Ipiranga e Borges de Medeiros, no bairro Praia de Belas na cidade de Porto Alegre. O empreendimento, com área total de quase 80 mil m², destaca-se por ser um dos mais altos da região e por ter praticamente toda a sua fachada em pele de vidro, o que lhe confere grande interesse visual. Ao todo são três torres com 22 pavimentos tipo cada, sendo duas comerciais (*Offices* e *Corporate*) e uma residencial (*Residence*). No térreo há um centro comercial com 28 lojas e nos subsolos existem mais de mil vagas de estacionamento.

Figura 7 – Imagem do empreendimento analisado



(fonte: AZEVEDO, 2015)

O empreendimento está situado no pólo jurídico de Porto Alegre e próximo a parques, shoppings, do lago Guaíba e do Centro Histórico da cidade, além de ficar em uma área que conecta a zona sul ao centro da cidade.

Figura 8 – Localização do empreendimento



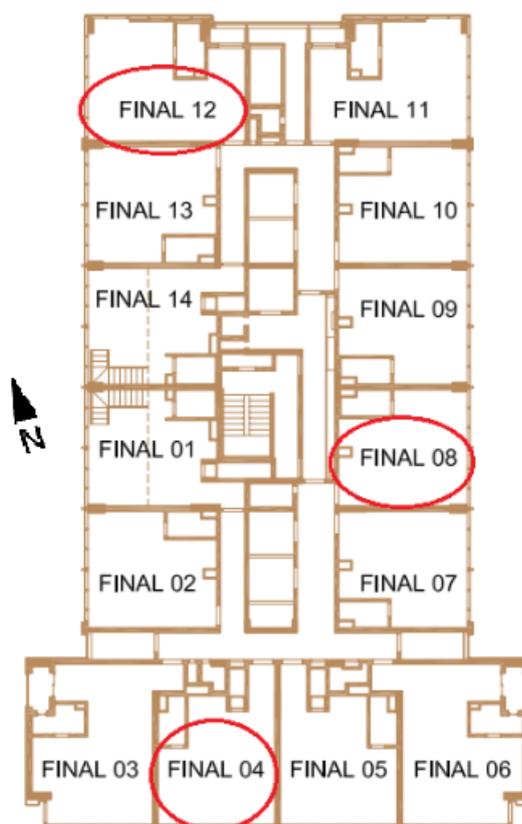
(fonte: imagem Google Maps adaptada pelo autor)

O estudo será feito apenas na torre *Residence*, que têm 274 apartamentos de estilo *studio* e suas áreas privativas variam de 38 a 73 m². No 24º pavimento da torre fica a área condominial, com piscina, academia, salão de festas, e um terraço localizado imediatamente acima de dois apartamentos do 23º pavimento.

4.3.2 Envoltória das unidades habitacionais analisadas

A figura 9 mostra a planta baixa do pavimento tipo da edificação em questão. Neste trabalho, foram analisadas quatro unidades habitacionais, sendo três delas com orientações solares diferentes, e uma, de final 12, em um pavimento intermediário e também no último pavimento, logo abaixo da cobertura. Desse modo, foi possível analisar as influências das orientações solares, da cobertura e também dos materiais utilizados em cada unidade.

Figura 9 – Planta baixa pavimento tipo



(fonte: elaborado pelo autor)

Foram escolhidas as unidades com finais 04, 08 e 12, sendo que cada uma tem orientação solar diferente. Os apartamentos são compactos e do tipo “*studio*”, onde não há divisórias internas. Por conta disso, todo o apartamento, exceto o sanitário, foi considerado de permanência prolongada e esse ambiente entrou nos cálculos de desempenho.

Todas as unidades têm espera para ar condicionado, sendo que os apartamentos de final 03, 06, 11 e 12 têm uma janela de correr para a colocação das condensadoras dos aparelhos. As condensadoras das outras unidades ficam em lajes técnicas. As plantas baixas de cada um dos apartamentos são mostradas a seguir, assim como a indicação da orientação de cada fachada. Antes disso, a figura 10 mostra a legenda das paredes das unidades, pois a especificação do material é de suma importância para seu desempenho.

Figura 10 – Legenda da envoltória das unidades habitacionais



(fonte: elaborado pelo autor)

A seguir, são apresentadas as plantas baixas das unidades habitacionais avaliadas.

Figura 11 – Planta baixa apartamentos final 12 com orientação Oeste e Norte



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 12 – Vista interna da unidade de final 12



(fonte: elaborado pelo autor)

A planta baixa dos apartamentos de final 12 é a única que tem mais de uma orientação, sendo que a abertura voltada para a fachada norte abrange um pouco menos de dois metros de comprimento. Este apartamento possui uma parede externa, pilares e vigas, além da pele de vidro. Como o vidro encobre a parede de alvenaria, esta foi pintada de preto para não ser notada pelo lado de fora, o que elevou o parâmetro de absorvência térmica.

A unidade também é composta por paredes de alvenaria de blocos cerâmicos e parede com placa dupla de gesso acartonado com lã de vidro na divisa com os vizinhos. Além disso, na área de serviço, há uma janela pequena para a colocação e manutenção do equipamento de ar condicionado. Como não há entrada de iluminação e a ventilação naquele local é pequena, esta foi desconsiderada nos cálculos.

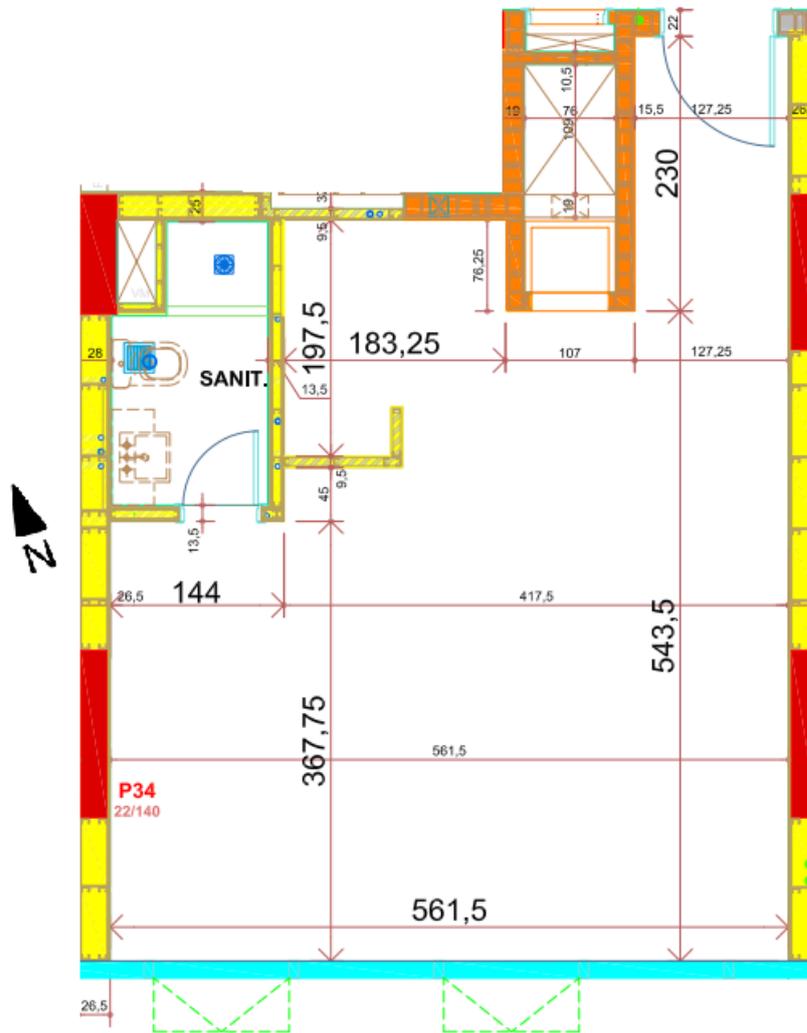
Figura 14 – Vista interna da unidade de final 08



(fonte: elaborado pelo autor)

Por fim, as unidades de final 04 são voltadas para o sul, têm suas paredes laterais de placas duplas de gesso acartonado, também com lã de vidro e a parede junto a cozinha é de alvenaria. Neste apartamento há ainda uma churrasqueira pré-fabricada revestida em alvenaria.

Figura 15 – Planta baixa apartamentos final 04 com orientação Sul



(fonte: adaptado pelo autor)

Figura 16 – Vista interna da unidade de final 04



(fonte: elaborado pelo autor)

4.3.3 Pele de vidro

Um dos diferenciais para a comercialização do empreendimento analisado é ter praticamente toda sua fachada em pele de vidro, algo não muito comum em prédios residenciais na cidade de Porto Alegre, o que, segundo os incorporadores, traz imponência ao empreendimento. Com relação ao seu desempenho, há um considerável ganho em iluminação natural, mas também um risco de ser pouco eficiente termicamente, pois os vidros, geralmente, têm alta transmitância térmica, ou seja, os ambientes externo e interno trocam calor rapidamente.

Figura 17 – Imagem da pele de vidro



(fonte: foto tirada pelo autor)

4.3.3.1 Análise dos vidros

Sendo o principal material que constitui a fachada, o vidro utilizado necessita de valores característicos diferentes de vidros comumente utilizados. Tais valores impactam diretamente nos fatores iluminação, resfriamento, aquecimento e refrigeração do ambiente. A tabela 5 indica os dados dos vidros de acordo com os fornecedores do material.

Tabela 5 – Informações técnicas do vidro

Vidro Duplo			114PN4.V6.i/As10/I6	
Câmara de ar (espessura/tipo de gás)			Câmara de AR 10mm	
Vidro 1			114PN 4mm	
Intercalar			PVB incolor	
Vidro 2			Float verde 6mm	
Propriedade	Descrição	Sigla	Medição	
Fatores Luminosos	Transmissão de luz (%)		TL	10
	Reflexão (%)	Externa	RLe	28
		Interna	RLi	31
Fatores de Energia	Transmissão energética (%)		TE	6
	Reflexão energética	Externa	REe	24
		Interna	REi	19
	Absorção		Abs %	70
	Fator Solar		FS	0,14
	Coeficiente de sombreamento		CS	0,16
Transmissão Térmica	Fator U		U W/m ² k	2,7
	Heat Gain		RHG W/m ²	-

(fonte: VIEIRA, 2015)

Percebe-se que o vidro da fachada é duplo, sendo a camada interna composta por um vidro float incolor de seis milímetros, enquanto a externa é um vidro laminado composto internamente por um vidro float incolor de quatro milímetros e externamente por um vidro float verde de seis milímetros. Uma câmara de ar com 10 milímetros separa as camadas. Além disso, a tabela apresenta os valores de transmitância térmica e o fator solar do vidro, itens importantes para a definição da eficiência energética das unidades habitacionais em questão.

4.3.3.2 Análise das janelas

Em edifícios com pele de vidro, é comum a utilização de janelas do tipo maxim-ar. O RTQ-R recomenda que para janelas que tenham abertura de 90°, o fator de ventilação equivalha a 80%. Entretanto, caso a janela não abra inteiramente é necessário fazer uma ponderação.

No edifício analisado, por localizar-se em uma zona de fortes ventos, a janela têm abertura limitada, como mostra a figura 18 a seguir.

Figura 18 – Abertura das janelas maxim-ar



(fonte: foto tirada pelo autor)

Desse modo, o ângulo de abertura da janela é de $5,6^\circ$. Ponderando a área de abertura, o fator de ventilação para a janela analisada é de aproximadamente $F_{\text{vent}} = 5\%$.

Além disso, como apresentado no capítulo 4.1.2, os ambientes de permanência prolongada devem ter uma relação de abertura para ventilação em relação à área do piso na ordem de no mínimo 8%. Neste caso, nenhuma unidade do empreendimento apresenta este valor mínimo e, portanto, isso implica numa classificação máxima de nível C para resfriamento em todas as unidades habitacionais. Além disso, não existe ventilação cruzada em nenhuma unidade, o que também limitaria o índice de resfriamento em nível C como máximo.

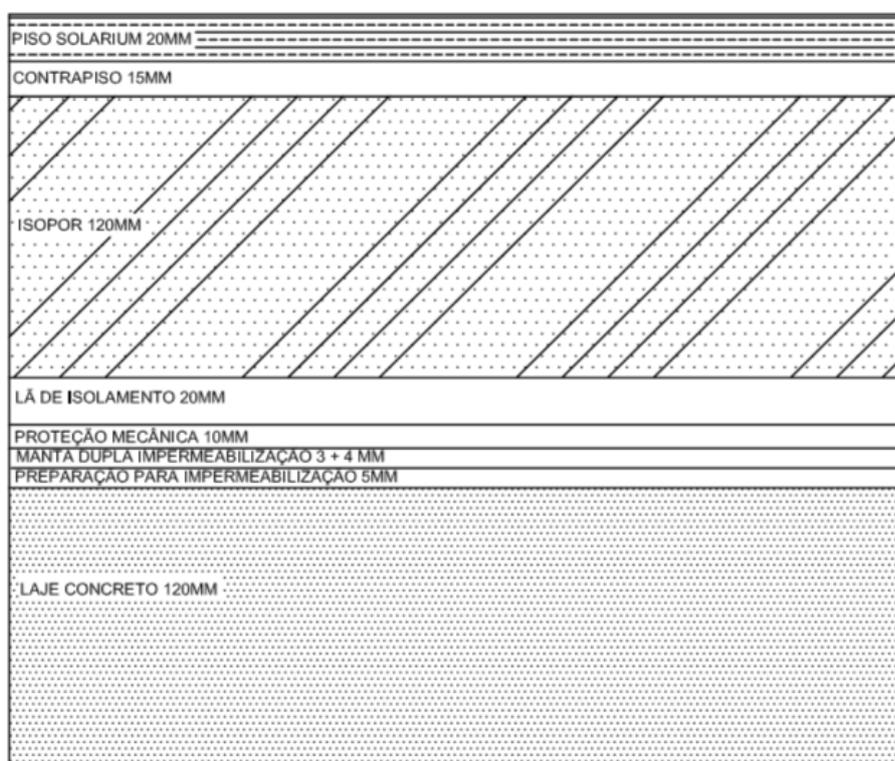
4.3.4 Cobertura

O último item analisado da envoltória da edificação foi a cobertura. No empreendimento, toda a área condominial (salão de festas, piscina, academia, etc) está localizada no 24º pavimento. No mesmo pavimento também existe um terraço “*lounge*” que faz parte da área de uso

comum. Dois apartamentos ficam sob esse terraço e por isso o desempenho térmico de um deles foi avaliado para analisar a sua influência.

Por ser uma área utilizada periodicamente, esta foi projetada com uma laje de concreto, manta dupla de impermeabilização, proteção mecânica, lã de isolamento térmico, camada de isopor para enchimento, contrapiso e piso solarium. A figura 19 representa a camada da cobertura.

Figura 19 – Representação da camada da cobertura com aproximadamente 32 centímetros de espessura



(fonte: elaborado pelo autor)

Com todas as informações relativas à envoltória, foi possível iniciar o desenvolvimento para obtenção do nível de desempenho térmico de cada unidade habitacional.

4.3.5 Parâmetros de transmitância, capacidade térmica e absorvância

A transmitância térmica, sendo a transmissão de calor induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes, é fator importante para avaliação do conforto térmico. O inverso da transmitância é a resistência térmica, que nada mais é do que o somatório das resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento e inclui as resistências externa, superficial e interna.

Já a capacidade térmica é “a quantidade de calor necessária para se variar em uma unidade a temperatura de um sistema.” (CENTRAIS ELÉTRICAS DO BRASIL, 2013). Teoricamente, em condições normais de temperatura, uma menor transmitância e uma alta capacidade térmica garantem conforto ambiental, pois não há tantas trocas de calor com o ambiente externo. A NBR 15220:2005 apresenta os valores relacionados a cada material para os parâmetros de condutividade térmica, peso específico e calor específico.

Tabela 6 – Valores de condutividade térmica, peso específico e calor específico conforme material

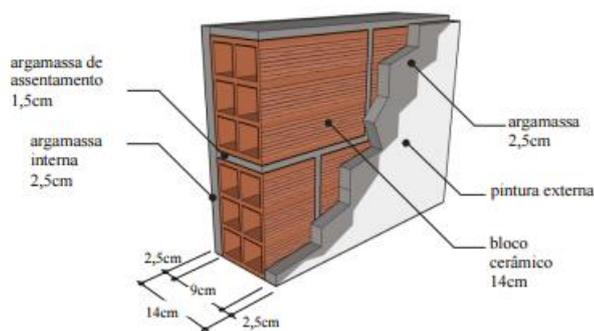
Material	λ	ρ	C
	(W/m.K)	(kg/m ³)	(kJ/kg.K)
Alvenaria*	0,90	1600	0,92
Argamassa	1,15	2100	1
Concreto	1,75	2400	1
Placa de gesso	0,35	1000	0,84
Lã de vidro	0,045	100	0,70
Vidro	0,8	2500	0,84

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a)

Percebe-se que o concreto tem um valor de condutividade térmica mais alto que os demais, enquanto a lã de vidro cumpre satisfatoriamente o papel de isolante térmico. Além disso, para simplificação foi considerado as características de blocos cerâmicos para a parede de alvenaria. Com esses dados, é possível calcular a transmitância e a capacidade térmica das unidades habitacionais autônomas.

Além de consultar a NBR 15220:2005, também é possível utilizar o Anexo V da Portaria 50 do Inmetro, que já indica valores de transmitância e capacidade térmica de acordo com os materiais constituintes utilizados.

Figura 20 – Transmitância térmica e capacidade térmica de alvenaria com argamassa em ambas as faces



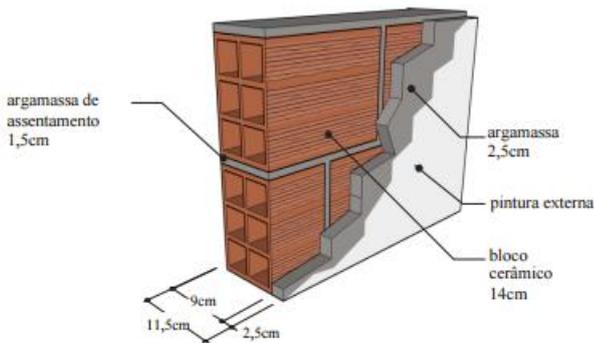
Descrição:

Argamassa interna (2,5cm)
Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm)
Argamassa externa (2,5cm)
Pintura externa (α)

U	C_T
[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]
2,46	150

(fonte: BRASIL, 2013)

Figura 21 – Transmitância térmica e capacidade térmica de alvenaria sem revestimento em uma das faces.



Descrição:

Sem Revestimento Interno
Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm)
Argamassa externa (2,5cm)
Pintura externa (α)

U	C_T
[W/(m ² K)]	[kJ/m ² K]
2,61	98

(fonte: BRASIL, 2013)

Percebe-se que para uma mesma parede, se não houver argamassa em uma das faces, a transmitância aumenta e a capacidade térmica diminui, pois a energia que provém do ambiente externo encontra menos resistência para ingressar no ambiente interno.

Já a absorvância refere-se à quantidade de radiação que é absorvida pela superfície, em relação à taxa de radiação que incide sobre a mesma superfície (CENTRAIS ELÉTRICAS DO

BRASIL, 2013). O RTQ-R indica que sejam desconsiderados a absorvência das partes envidraçadas das aberturas, e que apenas a absorvência das paredes opacas sejam contabilizadas.

4.3.5.1 Parâmetros para paredes externas

Para as paredes externas, cada parâmetro foi determinado da seguinte maneira.

4.3.5.1.1 Cálculo das transmitâncias das paredes externas

Com os parâmetros dos materiais utilizados já conhecidos, pôde-se calcular primeiramente, utilizando a equação 3 do capítulo 4.2.2, a resistência térmica de tais materiais.

Quadro 1 – Valores das resistências térmicas de cada material em cada unidade analisada

Material	λ	e final 12	e final 08	e final 04	Rt12	Rt08	Rt04
	(W/m.K)	(m)	(m)	(m)	(m ² .K/W)	(m ² .K/W)	(m ² .K/W)
Alvenaria*	0,90	0,09	0,14	0,14	0,1	0,155556	0,155556
Reboco	1,15	0,015	0,015	0,015	0,013043	0,013043	0,013043
Pilar concreto 1	1,75	0,70	0,70	0,70	0,4	0,4	-
Pilar concreto 2	1,75	0,25	-	-	0,142857	0,457143	-
Viga de concreto	1,75	0,30	0,30	0,30	0,171429	0,171429	0,171429
Placa de gesso	0,35	0,0125	0,0125	0,0125	0,035714	0,035714	0,035714
Vidro duplo	1	-	-	-	0,37037	0,37037	0,37037

(fonte: elaborado pelo autor)

No Quadro 1, acima, as células vazias representam que o respectivo material não está presente na respectiva UH. Com os valores da resistência térmica de cada material foi possível definir a transmitância térmica das paredes externas, ponderando-se as áreas, em cada unidade analisada. As áreas ponderadas representam o percentual da camada em relação a todas as camadas externas da unidade, e a ela deve ser multiplicado o valor da transmitância da camada. Nos apartamentos com final 04 a fachada é constituída apenas pela pele de vidro e pela viga superior, enquanto nos apartamentos de final 08, além da pele de vidro e da viga, também existem pilares nas extremidades da fachada. Em ambos os apartamentos as estruturas de concreto são revestidas com uma placa de gesso acartonado colada. Assim, a transmitância térmica destas unidades é apresentada nos quadros abaixo.

Quadro 2 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas da UH de final 04

UH	Descrição da camada	Área (m ²)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	U ponderada (W/m ² K)	U _{final} (W/m ² K)
Apto final 04	Parede sul vidro	12,353	0,3704	2,7	0,8148	2,2	2,52
	Parede sul vidro + viga + gesso	2,8075	0,5775	1,7316	0,1852	0,3207	

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 3 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas da UH de final 08

UH	Descrição da camada	Área (m ²)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	U ponderada (W/m ² K)	U _{final} (W/m ² K)
Apto final 08	Parede leste vidro	11,99	0,3704	2,7	0,7038	1,9002	2,35
	Parede leste vidro + pilar + placa de gesso	0,946	0,8061	1,2406	0,0555	0,0689	
	Parede leste vidro + viga + placa de gesso	3,155	0,5775	1,7316	0,1852	0,3207	
	Parede leste vidro + pilar + placa de gesso	0,946	0,8632	1,1584	0,0555	0,0643	

(fonte: elaborado pelo autor)

Já os apartamentos com final 12 têm fachadas para as orientações norte e oeste, sendo que para a orientação solar norte ainda há uma parede de alvenaria revestida com argamassa de reboco. Assim, neste apartamento é preciso considerar, além dos vidros isolados, a parede de alvenaria com reboco, pilares e vigas revestidos com gesso acartonado. O quadro 4 apresenta os valores considerados para a definição da transmitância térmica das paredes externas destes apartamentos.

Quadro 4 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas da UH de final 12

UH	Descrição da camada	Área (m ²)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	U ponderada (W/m ² K)	Ufinal (W/m ² K)
Apto final 12	Parede norte vidro	3,795	0,3704	2,70	0,1351	0,3647	2,31
	Parede norte vidro + alvenaria + reboco	4,73	0,4834	2,0686	0,1684	0,3483	
	Parede norte vidro + pilar + placa gesso	0,583	0,8061	1,2406	0,0208	0,0257	
	Parede norte vidro + viga + placa de gesso	2,07	0,5775	1,7316	0,0737	0,1276	
	Parede oeste vidro	11,33	0,3704	2,70	0,4033	1,0889	
	Parede oeste vidro + pilares + placa de gesso	2,453	0,5489	1,8217	0,0873	0,1591	
	Parede oeste vidro + viga + placa de gesso	3,1325	0,5775	1,7316	0,1115	0,1931	

(fonte: elaborado pelo autor)

4.3.5.1.2 Cálculo das capacidades térmicas das paredes externas

Conforme indicado na equação 2, do capítulo 4.2.2, a capacidade térmica é a soma do produto do peso específico, do calor específico e da espessura de cada camada da parede. Neste caso,

há que considerar apenas as paredes externas, e ponderar o valor conforme a área que o material ocupa. Para determinar a capacidade térmica também foram utilizados os dados da tabela 6 do capítulo 4.3.5.

Assim, para as UH de final 04, os parâmetros utilizados para determinação da capacidade térmica estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros para determinação da capacidade térmica das paredes da UH de final 04

Materiais constituintes UH final 04	e	ρ	C	CT
	(m)	(kg/m ³)	(kJ/kg.K)	(kJ/m ² K)
Concreto	0,3	2400	1	720
Placa de gesso colada	0,0125	1000	0,84	10,5
Vidro sul	0,026	2500	0,84	54,6

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela mostra claramente que a espessura do material é determinante para o valor de sua capacidade térmica e por conta disso as vigas externas precisam ser consideradas no cálculo deste item. Desse modo, calculou-se a capacidade térmica das paredes externas conforme a tabela abaixo.

Quadro 5 – Cálculo da capacidade térmica da UH de final 04

UH	Descrição da camada	Área (m ²)	CT (kJ/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	CT ponderado (kJ/m ² K)	CTfinal (kJ/m ² K)
Apto final 04	Parede sul vidro	12,353	54,6	0,8148	44,49	189,88
	Parede sul vidro + viga + gesso	2,8075	785,10	0,1852	145,39	

(fonte: elaborado pelo autor)

O mesmo procedimento foi utilizado para a determinação da capacidade térmica das unidades habitacionais de final 08.

Tabela 8 – Parâmetros para determinação da capacidade térmica das paredes da UH de final 08

Materiais constituintes UH final 08	e	ρ	c	CT
	(m)	(kg/m ³)	(kJ/kg.K)	(kJ/m ² K)
Viga de concreto	0,3	2400	1	720
Placa de gesso colada	0,0125	1000	0,84	10,5
Vidro leste	0,026	2500	0,84	54,6
Pilar sudeste	0,8	2400	1	1920
Pilar nordeste	0,7	2400	1	1680

(fonte: elaborado pelo autor)

Nota-se que além da pele de vidro e da viga, nesta UH também existem pilares nas extremidades externas do apartamento que precisam ser considerados. Assim, o cálculo da capacidade térmica das unidades habitacionais de final 08 é apresentado no quadro abaixo.

Quadro 6 – Cálculo da capacidade térmica da UH de final 08

UH	Descrição	Área (m ²)	CT (kJ/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	CT ponderado (kJ/m ² K)	CTfinal (kJ/m ² K)
Apto final 08	Parede leste vidro	11,99	54,6	0,7038	38,43	389,77

Parede leste vidro + viga + gesso	3,155	785,10	0,1852	145,39
Parede leste vidro + pilar sudeste	0,946	1974,60	0,0555	109,64
Parede leste vidro + pilar nordeste	0,946	1734,60	0,0555	96,32

(fonte: elaborado pelo autor)

Nota-se a expressiva influência dos pilares neste caso, principalmente por sua grande espessura (80 e 70 centímetros).

Por fim, repete-se o procedimento para as unidades de final 12.

Tabela 9 – Parâmetros para determinação da capacidade térmica das paredes da UH de final 12

Materiais constituintes UH final 12	e	ρ	C	CT
	(m)	(kg/m ³)	(kJ/kg.K)	(kJ/m ² K)
Viga de concreto	0,3	2400	1	720
Placa de gesso colada	0,0125	1000	0,84	10,5
Vidro norte	0,026	2500	0,84	54,6
Pilar noroeste 1	0,7	2400	1	1680
Pilar noroeste 2	0,25	2400	1	600
Alvenaria norte	0,19	1600	0,92	279,68
Argamassa	0,02	2100	1	42
Pilar sudoeste	0,8	2400	1	1920

(fonte: elaborado pelo autor)

Nas unidades habitacionais de final 12, têm-se fachadas norte e oeste, sendo que o pilar localizado entre as duas orientações deve entrar no cálculo duas vezes, pois sua espessura é

diferente de acordo com cada orientação. Com isso, o cálculo da capacidade térmica das paredes das UHs de final 12 é apresentado a seguir.

Quadro 7 – Cálculo da capacidade térmica da UH de final 12

UH	Descrição da camada	Área (m ²)	CT (kJ/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	CT ponderado (kJ/m ² K)	CTfinal (kJ/m ² K)
Apto final 12	Parede norte vidro	3,795	54,6	0,1351	7,38	374,96
	Parede norte vidro + alvenaria + argamassa	4,73	376,28	0,1684	63,35	
	Parede norte vidro + viga + argamassa	2,07	816,60	0,0737	60,17	
	Parede norte vidro + pilar noroeste	0,583	1734,6	0,0208	36,00	
	Parede oeste vidro + pilar noroeste	1,573	654,6	0,0560	36,65	
	Parede oeste vidro	11,33	54,60	0,4033	22,02	
	Parede oeste vidro + viga + gesso	3,1325	785,10	0,1115	87,54	
	Parede oeste vidro + pilar sudoeste	0,88	1974,6	0,0313	61,85	

(fonte: elaborado pelo autor)

Neste caso, novamente as vigas e pilares têm impacto importante para o valor encontrado.

4.3.5.1.3 Cálculo da absorvância solar das paredes externas

Segundo o RTQ-R, a absorptância só pode ser considerada em relação às paredes opacas, e devem ser descartados os valores das partes envidraçadas (BRASIL, 2012). Porém, caso haja vidro na frente de uma parede opaca, deve ser usada uma das equações apresentadas no regulamento. Como existe ar entre o vidro e a parede, deve-se usar a equação 4, apresentada no capítulo 4.2.2 desse trabalho. Assim, para o valor da absorptância das paredes, utilizou-se o valor indicado do fator solar, de 0,14, que consta no catálogo do vidro apresentado no capítulo 4.3.3.1, e também o valor de 0,97 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a) que é o valor indicado de absorptância para superfícies pintadas de preto, como são as faces voltadas para os ambientes externos dos pilares e vigas do edifício analisado. Desse modo, como todas as paredes opacas das unidades analisadas são pintadas de preto, com vidro por fora, chegou-se ao valor de $\alpha_{\text{Par}} = 0,136$ para as UHs.

4.3.5.1.4 Verificação de pré-requisitos das paredes externas

Com os valores de transmitância, capacidade térmica e absorptância, pôde-se realizar a verificação dos pré-requisitos apresentados na tabela 3 do capítulo 4.2.1.

Tabela 10 – Verificação de atendimento dos pré-requisitos das paredes externas

UH	α	U (W/m ² K)	Atende? (U<3,70)	CT (kJ/m ² K)	Atende? (CT>130)
Final 04	0,136	2,52	Sim	189,88	Sim
Final 08	0,136	2,35	Sim	378,33	Sim
Final 12	0,136	2,31	Sim	374,96	Sim

(fonte: elaborado pelo autor)

Com isso, percebe-se que os pré-requisitos referentes às paredes externas são cumpridos.

4.3.5.2 Parâmetros para cobertura

Como já mencionado anteriormente, a cobertura faz parte da envoltória de apenas dois apartamentos na edificação, sendo um deles o de final 12 no vigésimo terceiro pavimento. Por conta disso, esta UH foi uma das unidades analisadas.

4.3.5.2.1 Cálculos da transmitância, capacidade térmica e absorvância da cobertura

Para o cálculo dos parâmetros da cobertura, foi criada a tabela a seguir, que indica os parâmetros de todos materiais que constituem a camada da cobertura.

Tabela 11 – Parâmetros para determinação da Resistência Térmica e da Capacidade Térmica da cobertura

Material	e (m)	ρ (kg/m ³)	λ (w/mK)	C (kJ/ kg.K)	Rt (m ² K/W)	CT' (kJ/M ² k)
Laje de concreto	0,12	2400	1,75	1	0,06857	288
Preparação imp.	0,005	2100	1,15	1	0,00435	10,5
Manta dupla imp.	0,007	1100	0,23	1,46	0,03043	11,242
Proteção mecânica	0,01	2100	1,15	1	0,00870	21
Lã de isolamento	0,02	100	0,045	0,7	0,44444	1,4
Isopor	0,12	35	0,04	1,42	3,00000	5,964
Contrapiso	0,015	2100	1,15	1	0,01304	31,5
Piso solarium	0,02	2225	0,75	1	0,13333	44
					$\Sigma Rt = 3,59620$	$\Sigma CT' = 414,1$

(fonte: elaborado pelo autor)

Como a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica, o valor para esse item é $U_{cob} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$, o que demonstra a adequada escolha de alguns materiais isolantes. Além disso, por ter uma espessura total de mais de 30 centímetros, a capacidade térmica da cobertura também é elevada.

A absorvância da cobertura foi estimada em 30%, pois a superfície do piso solarium é branca, como mostra a figura representativa abaixo.

Figura 22 – Parte superior da cobertura sobre UH de final 12



(fonte: elaborado pelo autor)

4.3.5.2.2 Verificação dos pré-requisitos da cobertura

Com esses valores, é possível verificar o atendimento dos pré-requisitos da cobertura, demonstrados na tabela abaixo.

Tabela 12 – Verificação de atendimento dos pré-requisitos da cobertura

UH	α	U (W/m ² K)	Atende? (U<2,30)	CT (kJ/m ² K)	Atende?
Cob	0,3	0,28	Sim	414,1	Sem exigência

(fonte: elaborado pelo autor)

Dessa maneira, todos os pré-requisitos de absorvância, transmitância e capacidade térmica dos ambientes de permanência prolongada são atendidos.

5 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO

Com a análise da envoltória de cada unidade habitacional já definida, foi possível iniciar o cálculo do desempenho térmico dos ambientes.

5.1 MÉTODO PRESCRITIVO

O cálculo da eficiência térmica foi feito pelo método prescritivo, proposto no Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.

O método prescritivo determina o desempenho térmico da envoltória através do seu equivalente numérico, que deve ser referente à eficiência quando naturalmente ventilada. Para esse cálculo são considerados os parâmetros e pré-requisitos da envoltória, de acordo com a Zona Bioclimática onde se encontra o empreendimento em análise (BRASIL, 2012).

Tabela 13 – Parâmetros de avaliação da envoltória

<p>Eficiência para Resfriamento</p> <p>GHR – Graus-Hora de resfriamento (°C.h)</p>	Verão	Representa o somatório anual de graus-hora, calculado para a temperatura base de 26°C para resfriamento.
<p>Eficiência para Aquecimento</p> <p>CA - Consumo relativo anual para aquecimento (kWh/m²)</p>	Inverno	Representa o consumo necessário para aquecimento de ambiente durante o período de 21h às 8h, todos os dias do ano, com manutenção de temperatura de 22°C.
<p>Eficiência para Refrigeração</p> <p>CR - Consumo relativo anual para refrigeração (kWh/m²)</p>	Ambientes condicionados artificialmente	Representa o consumo anual de energia (em kWh) por m ² necessário para refrigeração do ambiente das 21h às 8h, todos os dias do ano, com manutenção de temperatura de 24°C.

(fonte: FERREIRA, 2012)

Os parâmetros de avaliação da envoltória são os mesmos tanto para o método prescritivo, quanto para o método de simulação, mas a avaliação por simulação leva em consideração os horários indicados na tabela 13.

Para o cálculo da eficiência quando normalmente ventilada, foram utilizados os seguintes passos presentes no RTQ-R:

- a) cálculo do indicador graus-hora para resfriamento;
- b) cálculo do consumo relativo para aquecimento;

A classificação dos níveis de eficiência para resfriamento é dada pela tabela 14, enquanto a tabela 15 indica o equivalente numérico para aquecimento.

Tabela 14 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento na zona bioclimática 3

Eficiência	EqNumAmbResfri	Condição
A	5	$GHR \leq 822$
B	4	$822 < GHR \leq 1643$
C	3	$1643 < GHR \leq 2465$
D	2	$2465 < GHR \leq 3286$
E	1	$GHR > 3286$

(fonte: adaptado de INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012, pág. 45)

Tabela 15 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento na zona bioclimática 3

Eficiência	EqNumAmbA	Condição
A	5	$CA \leq 6,429$
B	4	$6,429 < CA \leq 12,858$
C	3	$12,858 < CA \leq 19,287$
D	2	$19,287 < CA \leq 25,716$
E	1	$CA > 25,716$

(fonte: adaptado de INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012, pág. 45)

Conforme já mencionado, o nível da eficiência quando condicionada artificialmente é de caráter informativo. A obtenção do nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente é dada pelo cálculo do consumo relativo para refrigeração e a tabela 16 apresenta os limites para cada nível.

Tabela 16 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração na zona bioclimática 3

Eficiência	EqNumAmbRefrig	Condição
A	5	$CR \leq 6,890$
B	4	$6,890 < CR \leq 12,284$
C	3	$12,284 < CR \leq 17,677$
D	2	$17,677 < CR \leq 23,071$
E	1	$CR > 23,071$

(fonte: adaptado de INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2012, pág. 58)

5.1.1 Cálculo dos indicadores para resfriamento, aquecimento e refrigeração: vidro utilizado

Um dos principais itens de uma moradia para o bem estar de seus habitantes é o resfriamento, propiciado principalmente pela ventilação natural. Esta não apenas é importante para o conforto térmico, mas também para a qualidade do ar interno, visto que, ao respirar, as pessoas aspiram oxigênio e liberam gás carbônico, e a ocorrência desse aumento de partículas de gás carbônico em um ambiente sem renovação de ar gera uma sensação de cansaço maior aos usuários e até mesmo desmotivação (fonte: informação verbal¹⁴).

Para se obter o nível de eficiência energética referente à ventilação natural, considerando o vidro real utilizado no empreendimento, utiliza-se a equação de graus hora para resfriamento, assim como a equação para o consumo relativo para aquecimento. Também foi calculado o consumo relativo para refrigeração, quando a unidade é condicionada artificialmente. As equações destes três itens estão apresentadas nos anexos deste trabalho e os resultados são apresentados a seguir.

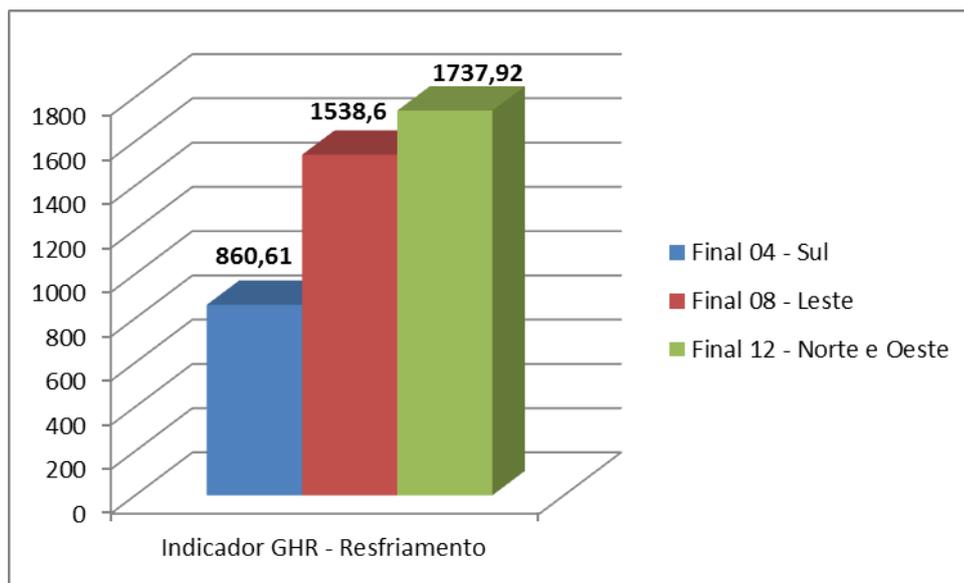
Quadro 8 – Resultados dos indicadores de resfriamento, aquecimento e refrigeração das unidades habitacionais analisadas

Unidade Habitacional	Resfriamento GHR	Nível resfri.	Aquecimento CA	Nível aquec.	Refrigeração CR	Nível refrig.
Final 04 - Sul	860,61	B	10,6609	B	5,5172	A
Final 08 - Leste	1538,6	B	6,0706	A	9,7275	B
Final 12 – Norte/Oeste	1737,92	C	5,3198	A	7,7858	B
Final 12 sob cobertura – Norte/Oeste	1808,39	C	8,2523	B	5,1073	A

(fonte: elaborado pelo autor)

Com os dados, foi possível montar gráficos para comparar os indicadores de cada unidade estudada e assim analisar o impacto da orientação solar no desempenho térmico dos apartamentos. O nível máximo das UHs para resfriamento conforme o RTQ-R é C, devido à baixa área de ventilação natural e por não haver ventilação cruzada. Os dados acima só indicam o nível conforme as características dos materiais das envoltórias.

Figura 23 – Gráfico comparativo em relação ao resfriamento das unidades analisadas



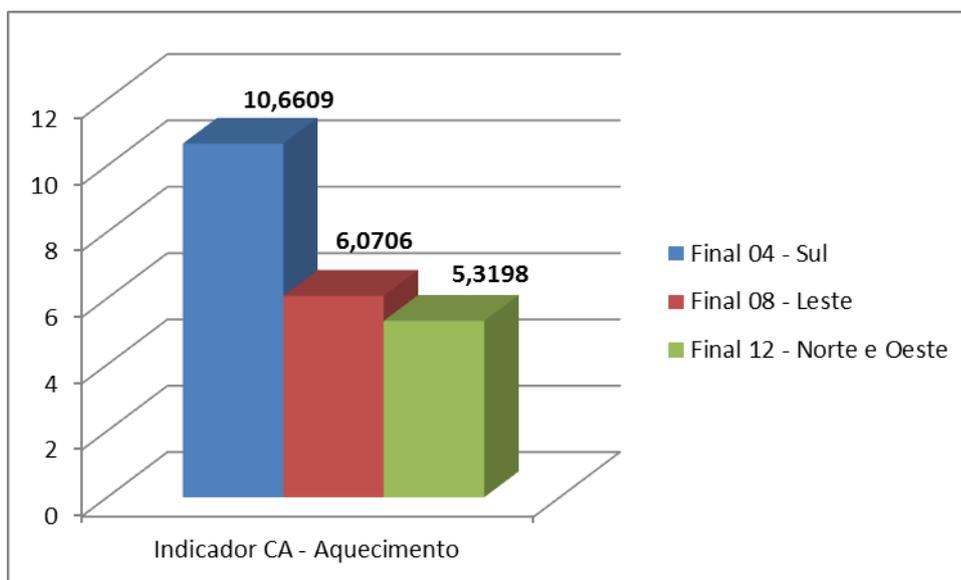
(fonte: elaborado pelo autor)

¹⁴ Informação dada por Vitor Tosseto no evento Construir + Verde realizado em Porto Alegre, dia 25 nov. 2014.

Os resultados apontam que o apartamento com orientação solar norte e oeste (final 12) são os que apresentam maior valor do indicador de graus-hora para resfriamento, o que indica que estes apartamentos precisam de um tempo maior para que consigam se resfriar e assim obter um conforto térmico adequado, mesmo estes tendo mais paredes externas opacas que as demais unidades analisadas. Já os apartamentos com orientação sul (final 04), que recebem menos energia solar direta, acabaram obtendo o menor valor do indicador de graus-hora para resfriamento, indicando ser mais eficiente termicamente para a necessidade de resfriamento, principalmente durante o verão.

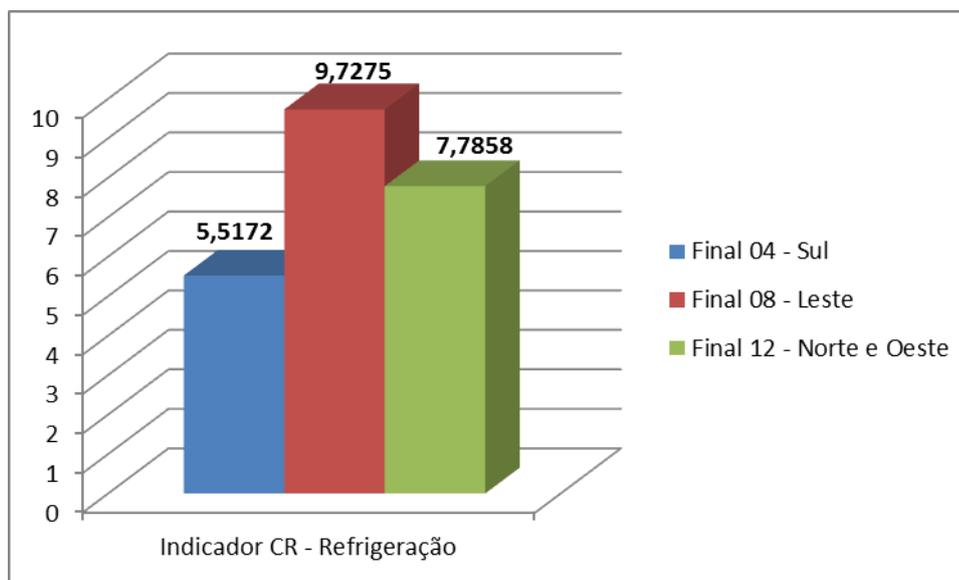
Para o indicador do consumo para aquecimento (figura 24), analisado no inverno, a unidade de final 12, com orientação norte e oeste, recebeu o menor valor de consumo, indicando que tem o melhor desempenho para essa situação, pois a energia solar que incide nesta unidade provoca menor necessidade de consumo para aquecimento. Como era de se esperar, a unidade com orientação sul, de final 04, precisa gastar mais energia para se aquecer durante os meses de inverno, pois recebe menos sol em sua fachada.

Figura 24 – Gráfico comparativo em relação ao aquecimento das unidades analisadas



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 25 – Gráfico comparativo em relação à refrigeração das unidades analisadas



(fonte: elaborado pelo autor)

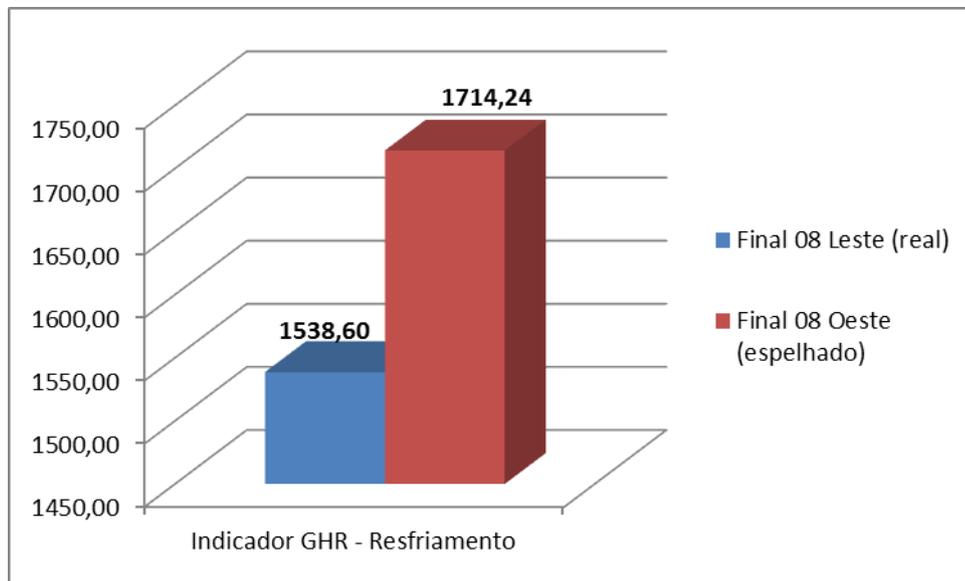
O indicador de refrigeração do método prescritivo é de caráter informativo e serve apenas para receber possíveis bonificações ao se analisar todos os itens para determinação da eficiência energética de uma edificação. Neste quesito, a unidade que precisaria consumir mais energia dos aparelhos de ar condicionado para se obter um conforto térmico satisfatório seria a de final 08, com orientação leste. Como este resultado não era esperado, pois a fachada leste não recebe tanta radiação quanto a fachada oeste, mas também nem tão pouco como a fachada sul, fez uma análise da unidade 08 se a mesma fosse voltada para a orientação oeste, com as mesmas dimensões e características da envoltória, ou seja, apenas espelhando a unidade de final 08 para a fachada oeste. O resultado continuou sendo de certa forma surpreendente, pois tanto para a orientação leste quanto para a orientação oeste os valores continuam mais altos que as outras unidades, além de que para a fachada leste o resultado para o consumo de refrigeração foi ligeiramente maior que para a unidade de final 08 caso fosse voltada para a fachada oeste, como mostra a tabela 17. Por conta disso, fez-se o mesmo cálculo também para os indicadores de graus-hora para resfriamento e para o consumo de aquecimento, novamente espelhando o apartamento de final 08 para a orientação oeste e comparando o desempenho alcançado em ambas as orientações.

Tabela 17 – Comparação da UH de final 08 em fachadas leste e oeste

FINAL 08	Orientação	
	Leste	Oeste
Resfriamento GHR	1538,60	1714,24
Aquecimento CA	6,070558	6,068851
Refrigeração CR	9,72748	9,72287

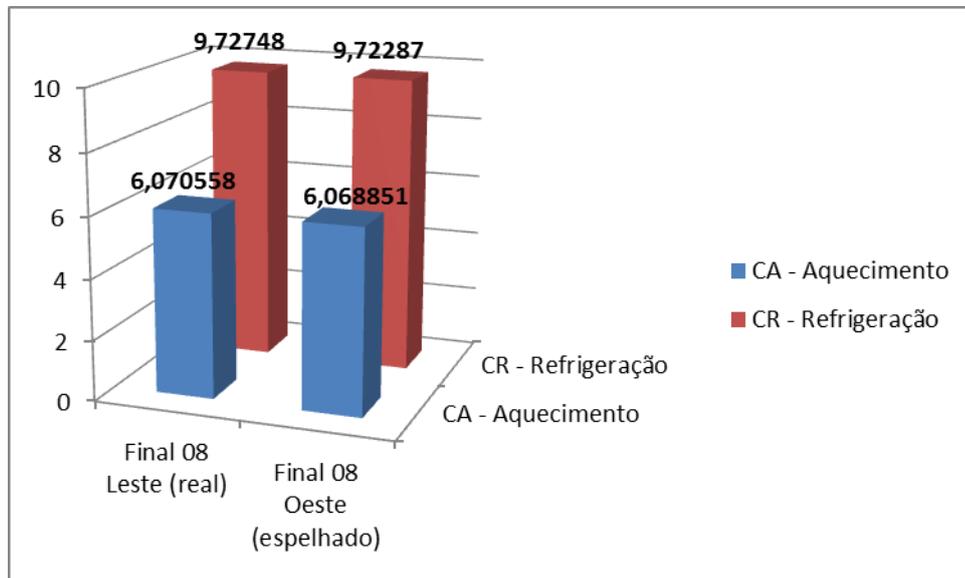
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 26 – Comparação de mesmo apartamento em fachadas leste e oeste em relação ao resfriamento



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 27 – Comparação de mesmo apartamento em fachadas leste e oeste em relação ao aquecimento e à refrigeração

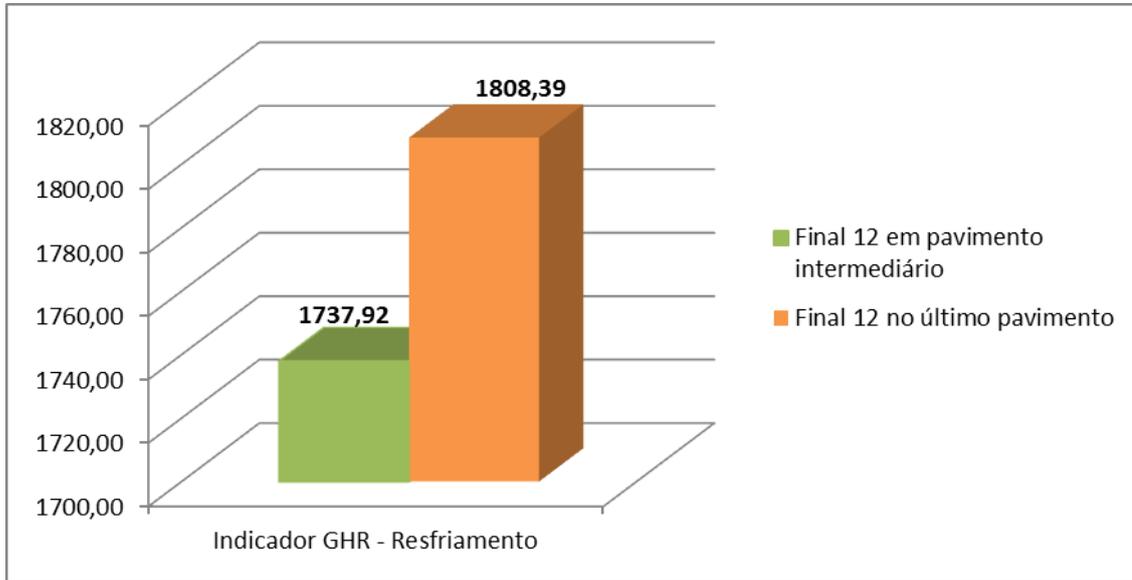


(fonte: elaborado pelo autor)

O resultado mostra que o único fator que sofre impacto da orientação solar, no método prescritivo da etiqueta PBE Edifica, é o indicador de graus-hora para resfriamento, enquanto os resultados de consumo para aquecimento e para refrigeração não são afetados significativamente pela orientação de suas fachadas, pois tanto para a fachada leste quanto para a fachada oeste os resultados foram muito próximos.

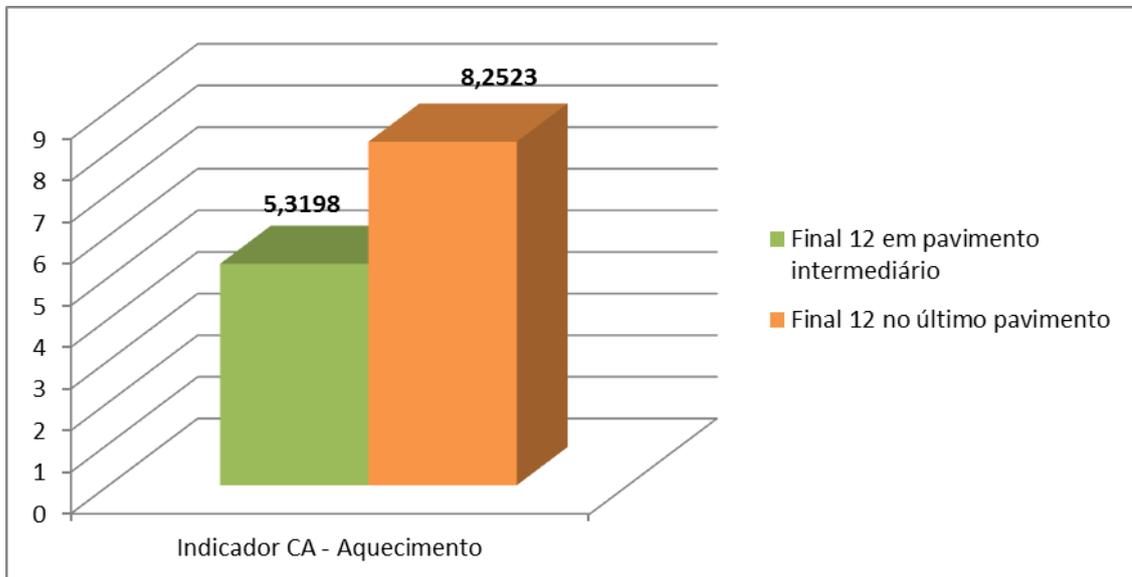
Outro item avaliado foi a influência da cobertura no desempenho térmico das unidades. Para isso, foi realizada a comparação entre unidades de final 12, sendo uma imediatamente sob a cobertura, no último pavimento, e a outra em um andar intermediário.

Figura 28 – Gráfico comparativo em relação ao resfriamento das unidades 12, sendo uma sob a cobertura e a outra em andar intermediário



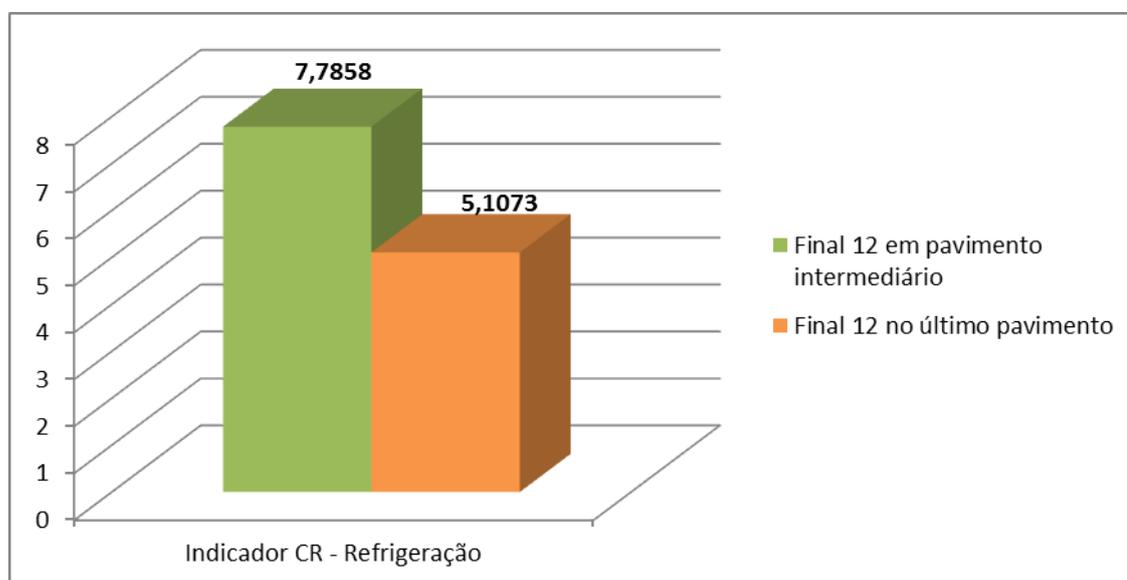
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 29 – Gráfico comparativo em relação ao aquecimento das unidades 12, sendo uma sob a cobertura e a outra em andar intermediário



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 30 – Gráfico comparativo em relação à refrigeração das unidades 12, sendo uma sob a cobertura e a outra em pavimento intermediário



(fonte: elaborado pelo autor)

Tanto para resfriamento quanto para aquecimento, a cobertura teve influência negativa para o desempenho térmico, pois durante o dia recebe energia e à noite a UH perde energia pela cobertura. Já para o indicador de consumo para refrigeração, o pavimento intermediário apresentou valor mais desfavorável, mostrando que, para esse índice, a existência de cobertura auxilia na refrigeração do ambiente, segundo o método prescritivo.

Com todos os resultados, foi possível criar uma tabela com os resultados dos níveis atingidos de cada unidade habitacional, de acordo com a orientação solar. A tabela 18 mostra os níveis obtidos através do cálculo, e também os níveis reais respeitando os pré-requisitos.

Tabela 18 – Níveis obtidos por cálculo e níveis reais respeitando os pré-requisitos

Unidade Habitacional	EqNum Envolvória*	Nível obtido*	EqNum Envolvória	Nível real
Final 04 - Sul	4	B	3,36	C
Final 08 - Leste	4,36	B	3,72	B
Final 12 - Norte/Oeste	3,72	B	3,72	B
Final 12 sob cobertura	3,36	C	3,36	C

(fonte: elaborado pelo autor)

É importante analisar que a fachada leste é a que apresenta o melhor desempenho térmico através do cálculo, atingindo nível B e faltando pouco para atingir classificação A. Como os pré-requisitos não foram atingidos, o nível continua sendo B, mas fica bem próximo do nível C. Já a fachada sul, unidade de final 04, atingiu nível B pelos cálculos, mas com os pré-requisitos acaba recebendo classificação C, sendo pior classificada que a unidade de final 12, com fachadas oeste e norte, que atingiu classificação B. Isso mostra mais uma vez a importância de se atingir os pré-requisitos.

5.1.2 Cálculo dos indicadores para resfriamento, aquecimento e refrigeração: vidro comum incolor 6 mm e vidro alto desempenho 20 mm Low-e

Esse trabalho também procurou analisar o desempenho térmico do empreendimento caso outros tipos de vidro fossem utilizados. Para isso, avaliou-se também os dados de um vidro comum incolor Cebrace de 6 milímetros, que é um dos vidros mais utilizados nas edificações, além de um vidro insulado com baixa emissividade (low-e), que segundo o fabricante teria alto desempenho térmico. O vidro insulado *low-e* é composto por um vidro incolor Cebrace 4mm, tem 12 mm de ar, sendo 90% gás argônio, e mais 4 mm de vidro incolor Cebrace, além de uma capa COOL-LITE KNT 155. O vidro comum tem transmitância da ordem de 5,7 W/m².K e absorvância de 10%, enquanto o vidro insulado de alto desempenho tem transmitância de 1,6 W/m².K e absorvância de 48% (VIEIRA, 2015).

Para analisar o impacto do tipo de vidro, foram recalculados os parâmetros da unidade de final 12 em pavimento intermediário.

Quadro 9 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas da UH de final 12 com vidro comum

UH	Descrição da camada	Área (m ²)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	U ponderada (W/m ² K)	Ufinal (W/m ² K)
Apto final 12	Parede norte vidro	3,795	0,1754	5,70	0,1351	0,7700	4,42
	Parede norte vidro + alvenaria + reboco	4,73	0,2885	3,4664	0,1684	0,5836	
	Parede norte vidro + pilar + placa gesso	0,583	0,6112	1,6363	0,0208	0,0340	
	Parede norte vidro + viga + placa de gesso	2,07	0,3826	2,6138	0,0737	0,1926	
	Parede oeste vidro	11,33	0,1754	5,70	0,4033	2,2988	
	Parede oeste vidro + pilares + placa de gesso	2,453	0,3540	2,8248	0,0873	0,2466	
	Parede oeste vidro + viga + placa de gesso	3,1325	0,3826	2,6138	0,1115	0,2914	

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 10 – Cálculo da transmitância térmica das paredes externas da UH de final 12 com vidro de baixa emissividade

UH	Descrição da camada	Área (m ²)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	U ponderada (W/m ² K)	Ufinal (W/m ² K)
Apto final 12	Parede norte vidro	3,795	0,6250	1,60	0,1351	0,2161	1,44
	Parede norte vidro + alvenaria + reboco	4,73	0,7380	1,3549	0,1684	0,2281	
	Parede norte vidro + pilar + placa gesso	0,583	1,0607	0,9428	0,0208	0,0196	
	Parede norte vidro + viga + placa de gesso	2,07	0,8321	1,2017	0,0737	0,0885	
	Parede oeste vidro	11,33	0,6250	1,60	0,4033	0,6453	
	Parede oeste vidro + pilares + placa de gesso	2,453	0,8036	1,2444	0,0873	0,1087	
	Parede oeste vidro + viga + placa de gesso	3,1325	0,8321	1,2017	0,1115	0,1340	

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 11 – Cálculo da capacidade térmica das paredes das UH de final 12 com vidro comum

UH	Descrição da camada	Área (m ²)	CT (kJ/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	CT ponderado (kJ/m ² K)	CTfinal (kJ/m ² K)
Apto final 12	Parede norte vidro	3,795	12,6	0,1351	1,70	332,96
	Parede norte vidro + alvenaria + argamassa	4,73	334,28	0,1684	56,28	
	Parede norte vidro + viga + argamassa	2,07	774,60	0,0737	57,07	
	Parede norte vidro + pilar noroeste	0,583	1692,6	0,0208	35,13	
	Parede oeste vidro + pilar noroeste	1,573	612,6	0,0560	34,30	
	Parede oeste vidro	11,33	12,60	0,4033	5,08	
	Parede oeste vidro + viga + gesso	3,1325	743,10	0,1115	82,86	
	Parede oeste vidro + pilar sudoeste	0,88	1932,6	0,0313	60,54	

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 12 – Cálculo da capacidade térmica das paredes das UHs de final 12 com vidro de baixa emissividade

UH	Descrição da camada	Área (m ²)	CT (kJ/m ² K)	Área ponderada (m ² /m ²)	CT ponderado (kJ/m ² K)	CTfinal (kJ/m ² K)
Apto final 12	Parede norte vidro	3,795	42	0,1351	5,67	362,36
	Parede norte vidro + alvenaria + argamassa	4,73	363,68	0,1684	61,23	
	Parede norte vidro + viga + argamassa	2,07	804,00	0,0737	59,24	
	Parede norte vidro + pilar noroeste	0,583	1722	0,0208	35,74	
	Pared oeste vidro + pilar noroeste	1,573	642	0,0560	35,95	
	Parede oeste vidro	11,33	42,00	0,4033	16,94	
	Parede oeste vidro + viga + gesso	3,1325	772,50	0,1115	86,14	
	Parede oeste vidro + pilar sudoeste	0,88	1962	0,0313	61,46	

(fonte: elaborado pelo autor)

Em relação à absorptância solar, há variação em relação ao fator solar para diferentes vidros. Para se calcular o fator solar, usou-se a equação proposta por Alucci (2015).

$$FS = \frac{\alpha X U}{he} + T \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

FS: fator solar do vidro (adimensional);

α : absorptância do vidro (adimensional);

U: transmitância do vidro (W/m².K);

he: coeficiente de condutância térmica (equivalente a 23W/m².K);

T: transmissão direta da radiação (adimensional).

Assim, com os dados passados pelo fabricante, foi possível montar a tabela 18, já mostrando o valor da absorptância solar das paredes para cada tipo de vidro, conforme a equação 4 apresentada no capítulo 4.2.2.

Tabela 19 – Cálculo da absortância solar para vidro comum e vidro de baixa emissividade

Parâmetros	Vidro Comum	Vidro Low-e
Transmissão energética (T)	83%	32%
Transmitância térmica (U)	5,7	1,6
Absortância (α)	10%	48%
FS	0,855	0,353
α_{par}	0,829	0,343

(fonte: elaborado pelo autor)

Com isso, foi possível calcular os indicadores para cada tipo de vidro, que são apresentados no quadro abaixo.

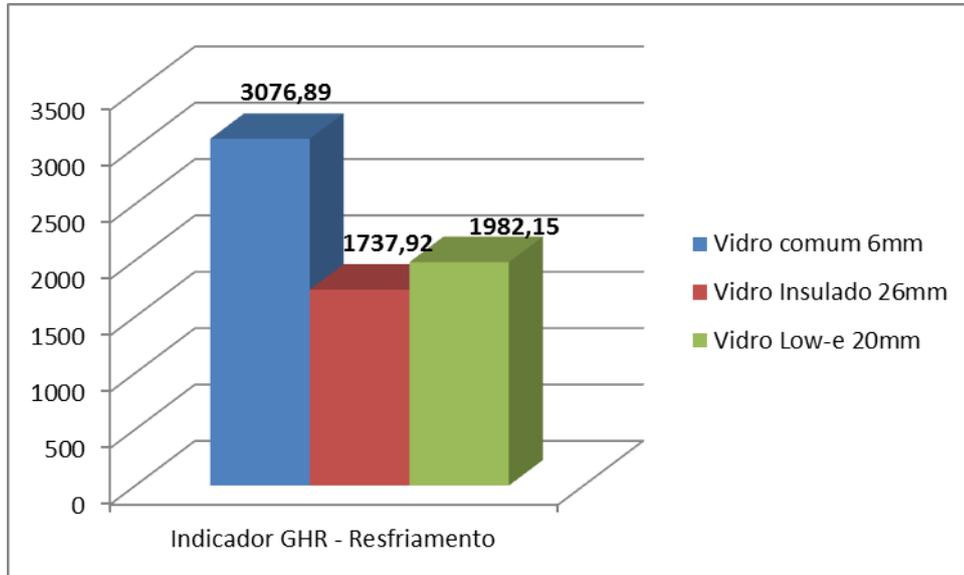
Quadro 13 – Resultados dos indicadores de resfriamento, aquecimento e refrigeração de acordo com o vidro utilizado

Unidade Habitacional	Resfriamento GHR	Nível resfri.	Aquecimento CA	Nível aquec.	Refrigeração CR	Nível refrig.
Final 12 Vidro insulado 26 mm (real)	1737,92	C	5,3198	A	7,7858	B
Final 12 Vidro comum 6 mm	3076,89	D	5,2697	A	11,9425	B
Final 12 Vidro duplo low-E 20 mm	1982,15	C	3,8194	A	9,0276	B

(fonte: elaborado pelo autor)

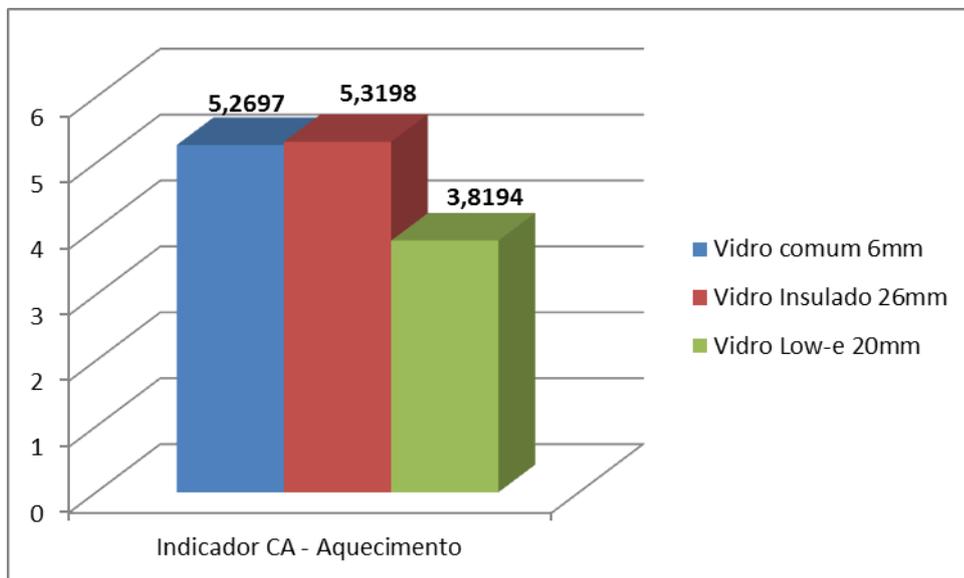
Para poder comparar os valores, foram feitos os mesmos gráficos referentes aos indicadores de resfriamento, aquecimento e refrigeração.

Figura 31 – Gráfico comparativo em relação ao resfriamento para diferentes tipos de vidros



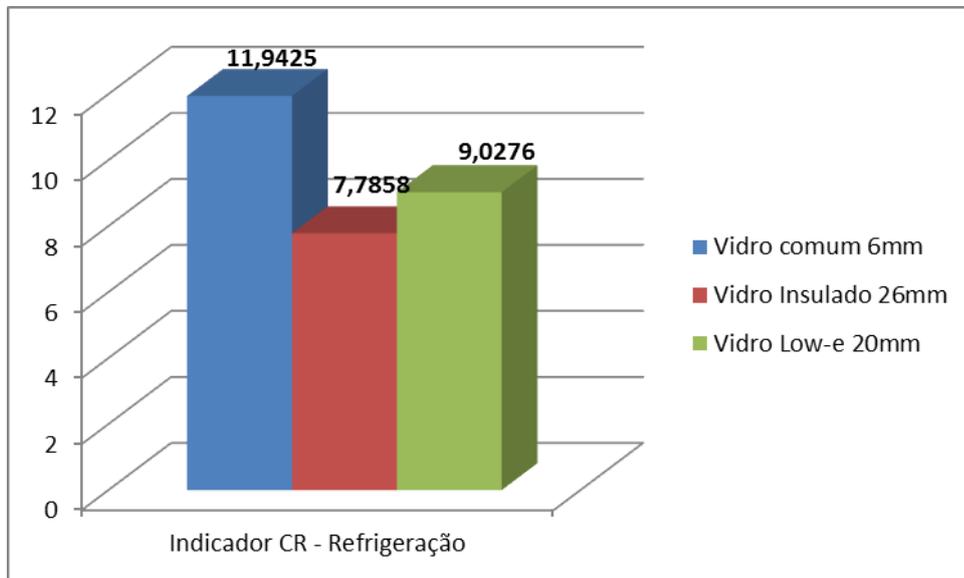
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 32 – Gráfico comparativo em relação ao aquecimento para diferentes tipos de vidros



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 33 – Gráfico comparativo em relação à refrigeração para diferentes tipos de vidros



(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 20 – Níveis obtidos conforme tipo de vidro

Unidade Habitacional	EqNum Envoltória	Nível
Final 12 Vidro insulado 26mm (real)	3,72	B
Final 12 Vidro comum 6mm	3,08	C
Final 12 Vidro low-E 20mm	3,72	B

(fonte: elaborado pelo autor)

O impacto do tipo de vidro deixa mais evidente a sua importância para o desempenho térmico da edificação. O vidro comum incolor de 6 milímetros de espessura apresenta indicadores maiores, ou seja, menos favoráveis para resfriamento e refrigeração, sendo o único que alcançaria nível D em resfriamento. Já os vidros insulados, apresentam resultados melhores, sendo que o vidro insulado de 26 milímetros, que foi utilizado na obra em questão, apresentou um valor ligeiramente superior para o consumo de aquecimento que o vidro comum. Porém, este vidro insulado de 26 milímetros foi o que apresentou os melhores índices para

resfriamento e refrigeração. Em contrapartida, o vidro insulado de baixa emissividade, com 20 milímetros de espessura foi o que apresentou melhor resultado para consumo de aquecimento. Em geral, ambos vidros insulados apresentaram indicadores semelhantes, e obtiveram a mesma classificação em relação ao desempenho térmico segundo a etiqueta PBE Edifica. Com a tabela 20, também se percebe uma certa facilidade de se atingir a classificação C pela etiqueta PBE Edifica, visto que mesmo se utilizando um vidro comum, este seria o nível atingido.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho visou analisar o impacto da orientação solar e do tipo de vidro no desempenho térmico de uma edificação com fachada envidraçada, localizada na cidade de Porto Alegre, RS. Para isso, foi utilizada a etiqueta PBE Edifica e o método prescritivo presente no Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R).

Com todos os resultados já apresentados, identificou-se que a construtora escolheu um vidro com boas características para ser instalado na edificação, muito em conta pelo seu baixíssimo valor de fator solar, que influencia diretamente na absorção solar das superfícies externas. Porém, a falta de ventilação cruzada, e a baixa área de ventilação natural, influenciam negativamente para a classificação final das unidades analisadas e tornam-se determinantes para impedir uma melhora no nível alcançado, independente de alterações que possam ser feitas para elevar o desempenho térmico.

A orientação solar mostrou-se relevante apenas para o indicador de resfriamento dos apartamentos, que tem o maior peso no RTQ-R. O indicador de aquecimento até se aceita ser independente da orientação da fachada, pois em dias frios, o sol não é tão forte, e assim o consumo de energia para aquecer os ambientes internos parece ser similar com qualquer orientação. O que causa estranheza é a não importância da orientação solar para o índice de refrigeração, uma vez que esse deveria ser maior em fachadas que têm maior incidência de radiação solar, pois sendo mais aquecidas, as unidades precisariam, teoricamente, de maior consumo para refrigeração.

A refrigeração também foi maior em pavimentos intermediários do que em unidades no último pavimento, logo abaixo da cobertura. Nesse caso, como os raios solares também incidem na cobertura, a refrigeração em ambientes no último pavimento também deveria, teoricamente, obter maior consumo do que nas unidades intermediárias. Nesse ponto, como o indicador de refrigeração só serve como informação adicional, e não entra no cálculo geral da

eficiência energética de uma edificação¹⁵, o mesmo mostra-se não ser tão preciso quanto os indicadores de resfriamento e aquecimento, que têm mais importância para a etiqueta PBE Edifica. Isto acaba levando a um questionamento em relação à validade do Método Prescritivo do RTQ-R, pois provavelmente utilizando-se o Método de Simulação a diferença entre fachadas leste e oeste seria evidenciada. Por fim, a fachada leste foi a que obteve a melhor classificação em relação ao desempenho térmico.

Outro fator analisado foi o tipo de vidro. Esse tem influência nítida no cálculo do desempenho térmico das unidades analisadas. Como já mencionado, vidros insulados, com ar entre as camadas e com baixa transmitância térmica são os mais indicados para a obtenção de melhores níveis de desempenho térmico. Entretanto, a etiqueta também poderia analisar outros quesitos importantes dos vidros, como a emissividade, refletância energética e fatores luminosos, e não só analisar, basicamente, a transmitância térmica do vidro. No caso da edificação analisada, por ter vidro encobrindo paredes opacas, usa-se o fator solar do vidro no cálculo da absorvância solar das paredes opacas, e este valor é determinante para os cálculos de eficiência térmica. A indicação é que os vidros também sejam projetados para atender as necessidades de desempenho térmico e não utilizá-los apenas pensando no viés econômico, independente se for para baratear os custos ou elevar o valor final do empreendimento.

Para minimizar os indicadores de resfriamento, aquecimento e refrigeração, e assim elevar o desempenho térmico, é recomendado aumentar a capacidade térmica das paredes externas, assim como diminuir a transmitância térmica das mesmas, ou seja, aumentar a espessura das paredes externas, utilizar materiais com baixa condutividade energética em troca de materiais condutores, como, por exemplo: utilizar placas de gesso ao invés de argamassas de reboco para revestir as estruturas de concreto ou alvenaria, usar concreto celular e utilizar camadas de poliestireno expandido entre paredes são alguns exemplos que aumentariam o conforto térmico. Outras soluções arquitetônicas seriam criar ambientes mais amplos e com pés direitos maiores, com ventilação cruzada e janelas operáveis que representem mais que 12,5% da área do piso.

¹⁵ Apenas se ganhar classificação A, o indicador de refrigeração aumenta as bonificações, índice que faz parte do cálculo da eficiência geral, assim como o desempenho térmico e os sistemas de aquecimento de água

Por fim, são feitas algumas ponderações referentes aos cálculos. Para a realização dos mesmos, não foram considerados os caixilhos da pele de vidro. Para informação, estes foram feitos de alumínio, metal com alta condutividade energética, que certamente implica em maior troca de calor entre ambientes e por isso menor desempenho térmico. O ideal seria utilizar materiais com menor condutividade, como PVC, por exemplo. Além disso, nos cálculos das características da envoltória foram consideradas as capacidades térmicas e transmitância dos vidros, porém suas áreas foram desconsideradas na soma das paredes externas, pois o RTQ-R leva em consideração apenas as paredes opacas, chamando as partes envidraçadas de aberturas, e não paredes. Os valores de capacidade e transmitância térmica dos vidros foram utilizados porque, caso contrário, as únicas paredes consideradas seriam as estruturas de concreto, que apresentam valores altos para estes itens, e, portanto, não condizentes com a realidade de uma edificação em pele de vidro. Os cálculos incluindo as aberturas de vidro no valor da soma das áreas das paredes externas até foram feitos, mas os resultados obtidos foram incoerentes.

Outro fator inesperado é a aprovação dos pré-requisitos de capacidade térmica das paredes externas. Embora as exigências tenham sido atendidas, sua eficácia é relativa, pois uma porcentagem muito pequena da fachada (vigas e pilares) tem essa capacidade térmica para ser usada. Isso demonstra certa imprecisão na forma que a capacidade térmica é exigida pelo Método Prescritivo, pois a área envidraçada do apartamento é muito maior e ali sua capacidade térmica é mínima.

O fato é que o Método Prescritivo do RTQ-R da etiqueta PBE Edifica, é de extrema dificuldade para ser realizado, além de não aparentar ser sensível o suficiente para grandes diferenças de proporções de áreas opacas e translúcidas nas fachadas, como é o empreendimento analisado. Por conta disso recomenda-se que seja utilizado o Método de Simulação para se analisar a eficiência energética de edificações em pele de vidro. Outro ponto já comentado anteriormente e que deve ser reiterado é que mesmo calculando o desempenho térmico utilizando vidro comum ao invés do vidro duplo, a classificação obtida foi C, o que demonstra certa facilidade para a obtenção deste nível que não é tão baixo. Talvez isso ocorra para se incentivar a aplicação da etiqueta nos novos empreendimentos, mas para realmente aumentar o conforto térmico e economizar energia, é necessário que a etiqueta seja um pouco mais rígida.

Finalmente, este trabalho serve para mostrar a importância de se pensar na eficiência energética de uma edificação na etapa de projeto, pois apenas mudando materiais não seria possível elevar a classificação dos apartamentos analisados. Além disso, as questões de sustentabilidade estão em alta e tendem a aumentar ainda mais, principalmente no setor da construção civil, que ainda utiliza técnicas milenares para construir, mas que aos poucos vem tendo inovações importantes para se adaptar às novas necessidades da sociedade atual, assim como das futuras gerações. Por fim, espera-se que a eficiência energética aumente em todos os setores da sociedade e que a etiqueta PBE Edifica melhore seus métodos, torne-se de cunho obrigatório e sirva como parâmetro para a eficiência na construção, evoluindo e facilitando seu emprego em todos os tipos de edificações.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 3. ed. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>> Acesso em: 26 maio 2014.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, c2011. Série Sustentabilidade, v. 5. (GOLDEMBERG, J. (Coord.))

ALUCCI, M. P. (Orient.) **Características térmicas, luminosas e acústicas de vidros e plásticos translúcidos**: desempenho térmico de vidros e policarbonatos. São Paulo: FAU/USP, 2015. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/termica.htm>> Acesso em 23 maio 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações – parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e composições de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

AZEVEDO, M. P. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <eduardo.vieira@maiojama.com.br> em 02 mar. 2015.

BARROSO-KRAUSE, C. **Desempenho térmico e eficiência energética em edificações**. Rio de Janeiro: Procel/Eletrobrás, 2011.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Ventilação natural em edificações**. Rio de Janeiro: Procel/Eletrobrás, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Planejamento Energético. **Plano Nacional de energia 2030**. Brasília, 2007.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade. **Portaria n.º 18**. Rio de Janeiro, 16 jan. 2012.

_____. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade. **Portaria n.º 50**. Rio de Janeiro, 01 fev. 2013. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/RTAC001961.pdf>> Acesso em: 06 maio 2015.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Mitigação da mudança do clima**. Brasília, 2014a. Não paginado. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/ciencia-da-mudanca-do-clima/mitigacao-da-mudanca-do-clima>>. Acesso em: 5 jun. 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Efeito estufa e aquecimento global**. Brasília, 2014b. Não paginado. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/ciencia-da-mudanca-do-clima/efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acesso em: 6 jun. 2014.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO BRASIL. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil**: sumário executivo, ano base 2005. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **Manual para aplicação do RTQ-R**. [S. l.] 2013.

_____. **Apresentação...** Rio de Janeiro, 2014. Não paginado. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={95F19022-F8BB-4991-862A-1C116F13AB71}>>. Acesso em: 6 abr. 2014.

CLARK, D. Has the Kyoto Protocol made any difference to carbon emissions?. Environment blog. **The Guardian**. Londres, 26 nov. 2012. Não paginado. Disponível em: <<http://www.theguardian.com/environment/blog/2012/nov/26/kyoto-protocol-carbon-emissions>>. Acesso em: 6 jun. 2014.

FERREIRA, R. M. A. **Análise da envoltória de um edifício residencial construído em sistema não-convencional no contexto brasileiro**. 2012. 74 f. Monografia (Especialização em Construções Sustentáveis) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação de sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis**. 2008. 313 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**. v. 21, n. 59, p. 7-20, São Paulo, abr. 2007. Não paginado. Disponível em: <<http://www.scientificcircle.com/pt/86692/energia-meio-ambiente-brasil/>>. Acesso em: 26 maio 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Yokohama, Japan, March, 2014. Disponível em: <http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-Chap19_FGDall.pdf>. Acesso em: 5 maio 2014.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Sustainable Development Timeline**. [S. l.]. c2012. Disponível em: <http://www.iisd.org/pdf/2012/sd_timeline_2012.pdf>. Acesso em: 5 maio 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 21**. Brasília, Comissão de Defesa do Consumidor, Meio Ambiente e Minorias, Câmara de Deputados, 1995.

PEDRINI, A. **Eficiência energética em edificações e equipamentos eletromecânicos**. Rio de Janeiro: Procel/Eletrobrás, 2011.

PERUCHI, D. A. **Eficiência energética em edificações**: redução do consumo de energia elétrica em prédios públicos através do método PDCA. 2013. 116 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SCHENDLER, A; UDALL, R. **Leed it's broken. Let's fix it**. Aspen, United States, 2005. Disponível em: <http://www.igreenbuild.com/cd_1706.aspx>. Acesso em: 6 abr. 2014.

VIEIRA, C. D. (Representante Cebrace) Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <eduardo.vieira@maiojama.com.br> em 11 maio 2015.

**ANEXO A – Equações, variáveis e constantes referentes ao desempenho
térmico do RTQ-R**

Equação do indicador de graus-hora para resfriamento:

$$\begin{aligned}
 GH_R = & (a) + (b \times CT_{baixa}) + (c \times \alpha_{cob}) + (d \times somb) + (e \times solo \times AU_{amb}) \\
 & + (f \times \alpha_{par}) + (g \times PD/AU_{amb}) + (h \times CT_{cob}) + (i \times Ab_S) \\
 & + (j \times AP_{ambL} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (k \times A_{parInt} \times CT_{par}) + (l \times solo) \\
 & + (m \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times cob \times AU_{amb}) + (n \times F_{vent}) + (o \times AU_{amb}) + (p \times SomA_{par}) \\
 & + (q \times AAb_O \times (1-somb)) + (r \times AAb_L \times F_{vent}) + (s \times CT_{par}) \\
 & + (t \times AAb_S \times (1-somb)) + (u \times AP_{ambN} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (v \times pil) \\
 & + (w \times P_{ambO}) + (x \times AAb_N \times somb) + (y \times Ab_N) + (z \times P_{ambN}) \\
 & + (aa \times AP_{ambN}) + [ab \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] + (ac \times cob \times AU_{amb}) \\
 & + (ad \times CT_{alta}) + (ae \times U_{cob}) + (af \times AP_{ambS} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (ag \times P_{ambL}) \\
 & + (ah \times A_{parInt}) + (ai \times PD \times AU_{amb}) + (aj \times P_{ambS}) + (ak \times AAb_S \times F_{vent}) \\
 & + (al \times AAb_O \times F_{vent}) + (am \times AAb_N \times F_{vent}) + (an \times AP_{ambO} \times U_{par} \times \alpha_{par}) \\
 & + (ao \times AP_{ambS}) + (ap \times AAb_N \times (1-somb))
 \end{aligned}$$

(fonte: BRASIL, 2012, pág. 44)

Constantes da equação de GH_R:

a	836,4188	l	-605,5557	w	399,0021	ah	16,2740
b	1002,2853	m	25,1879	x	2,4466	ai	-20,4181
c	1248,7615	n	-830,6742	y	-379,5777	aj	126,6339
d	-1042,8507	o	34,1620	z	738,1763	ak	51,1530
e	-7,9675	p	-3,3292	aa	-4,2304	al	55,4249
f	1007,6786	q	16,9856	ab	5,5988	am	79,2095
g	2324,8467	r	70,1758	ac	-6,1829	an	15,3351
h	-0,3032	s	-0,0426	ad	-200,9447	ao	26,0925
i	-77,7838	t	-54,1796	ae	-103,1092	ap	-34,7777
j	26,3363	u	14,1195	af	3,8400		
k	-0,0016	v	-114,4985	ag	431,9407		

(fonte: BRASIL, 2012, pág. 44)

Equação do consumo relativo para aquecimento:

$$C_A = [(a) + (b \times CT_{par}) + (c \times AU_{amb}) + (d \times P_{ambS}) + (e \times CT_{baixa}) + (f \times solo) + (g \times pil) + (h \times U_{cob}) + (i \times \alpha_{par}) + (j \times CT_{cob}) + (k \times SomA_{par}) + (l \times AAb_S) + (m \times Ab_N) + [n \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] + (o \times CT_{alta}) + (p \times U_{par}) + (q \times F_{vent}) + (r \times cob) + (s \times \alpha_{cob}) + (t \times PD) + (u \times SomA_{parExt} \times CT_{par}) + (v \times AP_{ambN} \times \alpha_{par}) + (w \times AP_{ambS} \times \alpha_{par}) + (x \times PD/AU_{amb})]/1000$$

(fonte: BRASIL, 2012, pág. 44)

Constantes da equação do consumo relativo para aquecimento:

a	6981,8136	g	2479,9604	m	-543,4286	s	-3315,0119
b	0,3717	h	394,0458	n	14,0555	t	1262,6737
c	-122,4306	i	-2521,9122	o	-1583,9814	u	-0,0219
d	1557,3444	j	-1,2280	p	990,0915	v	-75,9370
e	2109,4866	k	65,4370	q	-1111,1099	w	-80,3345
f	2802,3931	l	131,7352	r	4323,9241	x	-15281,1938

(fonte: BRASIL, 2012, pág. 45)

Equação do consumo relativo para refrigeração:

$$C_R = [(a) + (b \times PD/AU_{amb}) + (c \times CT_{baixa}) + (d \times solo) + (e \times \alpha_{par}) + (f \times CT_{cob}) + (g \times somb) + (h \times Ab_S) + (i \times AU_{amb}) + (j \times SomA_{parExt} \times CT_{par}) + (k \times pil) + (l \times cob) + (m \times U_{cob} \times \alpha_{cob} \times cob \times AU_{amb}) + [n \times (U_{cob} \times \alpha_{cob}/CT_{cob}) \times AU_{amb}] + (o \times cob \times AU_{amb}) + (p \times Ab_N) + [q \times (U_{par} \times \alpha_{par}/CT_{par}) \times SomA_{par}] + (r \times SomA_{par}) + (s \times \alpha_{cob}) + (t \times AAb_N \times somb) + (u \times AAb_S \times F_{vent}) + (v \times AAb_L \times F_{vent}) + (w \times AAb_O \times F_{vent}) + (x \times AAb_S) + (y \times P_{ambS}) + (z \times AP_{ambS} \times U_{par} \times \alpha_{par}) + (aa \times AP_{ambS} \times \alpha_{par}) + (ab \times AAb_N \times F_{vent}) + (ac \times AAb_N \times (1-somb))]/1000$$

(fonte: BRASIL, 2012, pág. 57)

Constantes da equação do consumo de refrigeração:

a	7867,8924	i	-79,8228	q	-7,4793	y	-660,4513
b	33900,9915	j	0,0211	r	31,0384	z	73,9340
c	-4066,2367	k	-1185,7252	s	1977,0195	aa	-112,7864
d	-4446,9250	l	-2582,5286	t	16,3096	ab	397,1551
e	6016,2116	m	92,4051	u	641,0082	ac	-247,9866
f	1,8199	n	-14,3024	v	493,2535		
g	-1827,6311	o	-46,8056	w	485,5657		
h	-877,7417	p	-351,0817	x	-199,1908		

(fonte: BRASIL, 2012, pág. 58)

Definição das variáveis das equações dos indicadores de resfriamento, aquecimento e refrigeração (BRASIL, 2012)

Ab_L : variável binária que define a existência de abertura voltada para o Leste. Se o ambiente possuir abertura para o Leste o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

Ab_N : variável binária que define a existência de abertura voltada para o Norte. Se o ambiente possuir abertura para o Norte o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

Ab_O : variável binária que define a existência de abertura voltada para o Oeste. Se o ambiente possuir abertura para o Oeste o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

Ab_S : variável binária que define a existência de abertura voltada para o Sul. Se o ambiente possuir abertura para o Sul o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

AAb_L (m²): área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para Leste;

AAb_N (m²): área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para Norte;

AAb_O (m²): área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para Oeste;

AAb_S (m²): área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para Sul;

AP_{ambL} (m²): área de parede externa do ambiente voltada para o Leste;

AP_{ambN} (m²): área de parede externa do ambiente voltada para o Norte;

AP_{ambO} (m²): área de parede externa do ambiente voltada para o Oeste;

AP_{ambS} (m²): área de parede externa do ambiente voltada para o Sul;

A_{parInt} (m²): áreas das paredes internas, excluindo as aberturas e as paredes externas;

AU_{amb} (m²): área útil do ambiente analisado;

α_{cob} (adimensional): absorptância da superfície externa da cobertura. O valor deve se situar entre 0,10 e 0,90 ou 0 (zero) quando a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior;

α_{par} (adimensional): absorptância externa das paredes externas. O valor deve se situar entre 0,10 e 0,90;

C_{altura} : coeficiente de altura, calculado pela razão entre o pé-direito e a área útil do ambiente;

cob : variável que define se o ambiente possui fechamento superior voltado para o exterior (cobertura). Se o fechamento superior do ambiente estiver voltado para o exterior o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero).

CT_{alta} [kJ/(m²K)]: variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica alta, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para o RTQ é considerada capacidade térmica alta valores acima de 250 kJ/m²K. Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica alta, o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

CT_{baixa} [kJ/(m²K)]: variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica baixa, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para o RTQ é considerada capacidade térmica baixa valores abaixo de 50 kJ/m²K. Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica alta, o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

Observação: caso a capacidade térmica dos fechamentos seja um valor entre 50 kJ/m²K e 250kJ/m²K deve-se adotar o valor 0 (zero) tanto para CT_{baixa} quanto para CT_{alta} . Em nenhuma circunstância pode-se adotar o valor 1 (um) para ambos simultaneamente.

CT_{cob} (kJ/m²K): capacidade térmica da cobertura. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 1 (um);

CT_{par} (kJ/m²K): média ponderada da capacidade térmica das paredes externas e internas do ambiente pelas respectivas áreas;

F_{vent} (adimensional): fator das aberturas para ventilação: valor adimensional proporcional à abertura para ventilação em relação à abertura do vão. Os valores variam de 0 (zero) a 1 (um). Por exemplo, se a abertura para ventilação for igual á abertura do vão, o valor deve ser 1 (um); se a abertura estiver totalmente obstruída, o valor deve ser 0 (zero); se a abertura possibilitar metade da abertura para ventilação, deve ser 0,5;

isol : variável binária que representa a existência de isolamento nas paredes externas e coberturas. São consideradas isoladas paredes externas e coberturas que apresentem isolamento térmico e transmitância menor ou igual a 1,00 W/(m²K);

P_{ambL} (m²): variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para Leste. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Leste, o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

P_{ambN} (m²): variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para Norte. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Norte, o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

P_{ambO} (m^2): variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para Oeste. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Oeste, o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

P_{ambS} (m^2): variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para Sul. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Sul, o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

PD (m): pé-direito do ambiente analisado;

pil: variável binária que define contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis. Se o ambiente estiver sobre o pilotis, o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero);

solo: variável binária que define o contato do piso do ambiente com o solo (laje de terrapleno). Se o piso estiver em contato com o solo o valor deve ser 1 (um), se não estiver, o valor deve ser 0 (zero);

$SomA_{parext}$: somatório das áreas de parede externas do ambiente;

somb: variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas. Valores variam de 1 (um) quando houver fechamento de 100% da abertura, e 0 (zero), quando não houver dispositivos de proteção;

U_{cob} [W/m^2K]: transmitância térmica da cobertura. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior dos ambientes. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 0 (zero);

U_{par} [W/m^2K]: transmitância térmica das paredes externas. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente;

U_{vid} [W/m^2K]: transmitância térmica do vidro;

vid: variável binária que indica a existência de vidro duplo no ambiente. Se o ambiente possuir vidro duplo, o valor deve ser 1 (um), se não possuir, o valor deve ser 0 (zero);

volume (m^3): volume do ambiente, obtido através da multiplicação entre o pé-direito e a área útil do ambiente (BRASIL, 2012).

ANEXO B – Cálculos das orientações solares e dos tipos de vidro

VALORES INSERIDOS NAS EQUAÇÕES PARA VIDROS INSULADOS 26MM (UTILIZADOS NO EDIFÍCIO)							
FINAL 04		FINAL 08		FINAL 12		FINAL 12 SOB A COBERTURA	
AbL	0	AbL	1	AbL	0	AbL	0
AbN	0	AbN	0	AbN	1	AbN	1
AbO	0	AbO	0	AbO	1	AbO	1
AbS	1	AbS	0	AbS	0	AbS	0
AAbL	0	AAbL	11,99	AAbL	0	AAbL	0
AAbN	0	AAbN	0	AAbN	3,795	AAbN	3,795
AAbO	0	AAbO	0	AAbO	11,33	AAbO	11,33
AAbS	12,353	AAbS	0	AAbS	0	AAbS	0
APambL	0	APambL	5,047	APambL	0	APambL	0
APambN	0	APambN	0	APambN	7,3695	APambN	7,3695
APambO	0	APambO	0	APambO	5,5855	APambO	5,5855
APambS	2,8075	APambS	0	APambS	0	APambS	0
AparInt	58,73175	AparInt	48,573	AparInt	49,572	AparInt	49,572
Auamb	32,18	Auamb	30,61	Auamb	36,9	Auamb	36,9
αcob	0	αcob	0	αcob	0	αcob	0,3
αpar	0,136	αpar	0,136	αpar	0,136	αpar	0,136
Caltura	0,083903	Caltura	0,08820647	Caltura	0,0731707	Caltura	0,07317073
cob	0	cob	0	cob	0	cob	1
CTalta	0	CTalta	1	CTalta	1	CTalta	1
CTbaixa	0	CTbaixa	0	CTbaixa	0	CTbaixa	0
Ctcob	1	Ctcob	1	Ctcob	1	Ctcob	414,1
Ctpar	189,88	Ctpar	389,77	Ctpar	374,96	Ctpar	374,96
Fvent	0,05	Fvent	0,05	Fvent	0,05	Fvent	0,05
isol	0	isol	0	isol	0	isol	0
PambL	0	PambL	1	PambL	0	PambL	0
PambN	0	PambN	0	PambN	1	PambN	1
PambO	0	PambO	0	PambO	1	PambO	1
PambS	1	PambS	0	PambS	0	PambS	0
PD	2,7	PD	2,7	PD	2,7	PD	2,7
pil	0	pil	0	pil	0	pil	0
solo	0	solo	0	solo	0	solo	0
SomAext	2,8075	SomAext	5,047	SomAext	12,955	SomAext	12,955
somb	0	somb	0	somb	0	somb	0
Ucob	0	Ucob	0	Ucob	0	Ucob	0,28
Upar	2,52	Upar	2,35	Upar	2,31	Upar	2,31
Uvid	2,7	Uvid	2,7	Uvid	2,7	Uvid	2,7
vid	1	vid	1	vid	1	vid	1
volume	86,886	volume	82,647	volume	99,63	volume	99,63
GHR	860,6094	GHR	1538,59928	GHR	1737,9234	GHR	1808,39467
CA	10,66096	CA	6,0705589	CA	5,3197645	CA	8,25233626
CR	5,517162	CR	9,72748281	CR	7,7857752	CR	5,1073383

Valores para unidade de final 08 com orientação leste (real) e oeste (espelhado):

COMPARAÇÃO DO MESMO APTO COM DIFERENTES ORIENTAÇÕES		
FINAL 08	LESTE	OESTE
AbL	1	0
AbN	0	0
AbO	0	1
AbS	0	0
AAbL	11,99	0
AAbN	0	0
AAbO	0	11,99
AAbS	0	0
APambL	5,017	0
APambN	0	0
APambO	0	5,017
APambS	0	0
AparInt	48,573	48,573
Auamb	30,61	30,61
acob	0	0
apar	0,136	0,136
Caltura	0,088206468	0,088206468
cob	0	0
CTalta	1	1
CTbaixa	0	0
Ctcob	1	1
Ctpar	389,77	389,77
Fvent	0,05	0,05
isol	0	0
PambL	1	1
PambN	0	0
PambO	0	0
PambS	0	0
PD	2,7	2,7
pil	0	0
solo	0	0
SomAext	5,017	5,017
somb	0	0
Ucob	0	0
Upar	2,35	2,35
Uvid	2,7	2,7
vid	1	1
volume	82,647	82,647
GHR	1538,60	1714,24
CA	6,070558	6,068851
CR	9,72748	9,72287

Valores inseridos nas equações conforme tipo de vidro					
VIDRO DUPLO 26MM		VIDRO COMUM 6MM		VIDRO LOW-E 20MM	
AbL	0	AbL	0	AbL	0
AbN	1	AbN	1	AbN	1
AbO	1	AbO	1	AbO	1
AbS	0	AbS	0	AbS	0
AAbL	0	AAbL	0	AAbL	0
AAbN	3,795	AAbN	3,795	AAbN	3,795
AAbO	11,33	AAbO	11,33	AAbO	11,33
AAbS	0	AAbS	0	AAbS	0
APambL	0	APambL	0	APambL	0
APambN	7,3695	APambN	7,3695	APambN	7,3695
APambO	5,5855	APambO	5,5855	APambO	5,5855
APambS	0	APambS	0	APambS	0
AparInt	49,572	AparInt	49,572	AparInt	49,572
Auamb	36,9	Auamb	36,9	Auamb	36,9
αcob	0	αcob	0	αcob	0
αpar	0,136	αpar	0,829	αpar	0,343
Caltura	0,073171	Caltura	0,073171	Caltura	0,073171
cob	0	cob	0	cob	0
CTalta	1	CTalta	1	CTalta	1
CTbaixa	0	CTbaixa	0	CTbaixa	0
Ctcob	1	Ctcob	1	Ctcob	1
Ctpar	374,96	Ctpar	332,96	Ctpar	362,36
Fvent	0,05	Fvent	0,05	Fvent	0,05
isol	0	isol	0	isol	0
PambL	0	PambL	0	PambL	0
PambN	1	PambN	1	PambN	1
PambO	1	PambO	1	PambO	1
PambS	0	PambS	0	PambS	0
PD	2,7	PD	2,7	PD	2,7
pil	0	pil	0	pil	0
solo	0	solo	0	solo	0
SomAext	12,955	SomAext	12,955	SomAext	12,955
somb	0	somb	0	somb	0
Ucob	0	Ucob	0	Ucob	0
Upar	2,31	Upar	4,42	Upar	1,44
Uvid	2,7	Uvid	5,7	Uvid	1,6
vid	1	vid	1	vid	1
volume	99,63	volume	99,63	volume	99,63
GHR	1737,923	GHR	3076,890	GHR	1982,151
CA	5,319764	CA	5,269662	CA	3,819400
CR	7,785775	CR	11,94254	CR	9,027636

