

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

PABLO CESAR BASSANI CORREA

**Estudo da Eficiência do Sistema de Sombreamento da Ampliação
do Edifício Anexo do Tribunal de Contas do Paraná**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2014

PABLO CESAR BASSANI CORREA

**Estudo da Eficiência do Sistema de Sombreamento da Ampliação
do Edifício Anexo do Tribunal de Contas do Paraná**

Monografia de Especialização, do Departamento Acadêmico da Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, apresentada como requisito parcial para obtenção do Certificado de Conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Construções Sustentáveis.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo L. Krüger

CURITIBA
2014

Dedico este trabalho à minha família e à Rafaela,
pelo carinho, apoio e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Eduardo L. Krüger e a Arquiteta Jeanne Moro pelas orientações acadêmicas.

Ao escritório Roberto Gandolfi Arquitetura pelas orientações profissionais em minha formação, pela confiança e amizade.

A meus pais pelas orientações de vida.

*Na falta de livros e instrução formal, a arquitetura é
uma chave para compreender a realidade.*

(TUAN, Yi-fu, 1983).

RESUMO

CORREA, Pablo Cesar Bassani. **Estudo da Eficiência do Sistema de Sombreamento da Ampliação do Edifício Anexo do Tribunal de Contas do Paraná.** 2014. 60 f. Monografia de Especialização em Construções Sustentáveis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Alterações climáticas e o modo de consumo de recursos naturais estão cada vez mais em pauta nas discussões de pesquisadores e cientistas. Sendo o setor da construção civil um dos grandes responsáveis pela utilização de bens naturais finitos e energia, seus diversos campos, entre eles os projetos de arquitetura, têm estado no foco de estudos aprofundados sobre suas particularidades que resultam ou não em construções eficientes. O presente trabalho trata da análise da eficiência energética da envoltória de um projeto de edifício que utiliza um sistema de sombreamento de fachadas chamado tela tensionada. O edifício em questão é a ampliação do anexo do Tribunal de Contas do Paraná, e o processo utilizado para a análise foi o Método Prescritivo RTQ-C, que faz parte do programa PROCEL EDIFICA. Após as análises, constatou-se que o projeto alcançou o nível C e, a partir desse resultado, foram realizadas simulações com o intuito de entender a relação do sistema de sombreamento com os níveis de eficiência. Verificou-se que ao aprimorar a disposição e a forma da tela no projeto é possível alcançar um nível superior ao obtido. Também foi constatado que o mesmo projeto sem a tela só alcança o nível D, abaixo do índice do projeto original. Ao final das simulações, são sugeridas alterações para que se possa alcançar o nível máximo da escala, como a mudança ou adição de materiais, a forma e a densidade da tela. Por fim, concluiu-se que a porcentagem de abertura das fachadas tem papel fundamental no alcance de melhores índices de eficiência, energética e que a tela cumpre seu papel técnico de sombreamento das fachadas. Entretanto, deve-se ressaltar a importância do estudo da totalidade do projeto, bem como o entendimento do conceito de envoltória, com o intuito de responder positivamente aos pré-requisitos da análise proposta e as outras variantes que podem influenciar no resultado da eficiência energética.

Palavras chave: Sistemas de sombreamento de fachadas. Tela tensionada. Método prescritivo RTQ-C.

ABSTRACT

The construction industry is largely responsible for the use of natural resources and energy. Currently, studies are in the focus of the particularities of architectural projects that result or not in efficient buildings. The present work analyzes the energy efficiency envelope design of the building that uses a shading system called tensioned screen. The building in question is the extension of the attachment of the Tribunal de Contas of Paraná, and the process used for the analysis was the Prescriptive Method RTQ-C, part of PROCEL EDIFICA program. It was found that the project has reached the C level and, from this result, simulations in order to understand the relationship of the shading system with efficiency levels were performed. It was found that by improving the arrangement and shape of the screen can be obtained to achieve a higher level. It was also noted that the same design without the screen only reaches the D level, below the rate of the original design. At the end of the simulations, changes are suggested so that it can achieve maximum scale, like changing or adding materials, shape and density of the screen. Finally, it was concluded that the percentage opening of the facades has key role in achieving better levels of energy efficiency, and the screen does its technical role shading of facades. However, one should emphasize the importance of studying the entire project as well as understanding the concept of envelopment and how other variants may influence the outcome.

Keywords: Shading facade system. Tensioned screen. Prescriptive Method RTQ-C.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Implantação. Legenda: 1 - Edifício Sede, 2 - Edifício Anexo, 3 - Ligação, 4 - Ampliação do Edifício Anexo. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).....	13
Figura 2: Localização da Ampliação do Edifício Anexo. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013). Imagem Base: Google Maps.	13
Figura 3: Perspectiva artística com a ampliação do Edifício Anexo do Tribunal de Contas do Estado a esquerda. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).	14
Figura 4: Consumo de Energia no Setor Residencial. Fonte: EPE (2013).	19
Figura 5: Custo total de um edifício comercial em 50 anos. Fonte: CEOTTO (2006).	19
Figura 6: Possibilidade de interferência no custo total de um edifício em 50 anos. Fonte: CEOTTO (2006).	20
Figura 7: Exemplos de tramas metálicas. Fonte: PALHINHA (2009).	26
Figura 8: Aplicação da tela metálica. Fonte: HUNTER DOUGLAS (2014).	27
Figura 9: Exemplos de telas de Poliéster. Fonte: FERRARI (2013).	28
Figura 10: Aplicação da tela de Poliéster. Fonte: FERRARI (2014).	28
Figura 11: Localização de Curitiba no gráfico de zonas bioclimáticas brasileiras. Fonte: ZBBR 1.1 (2004).	29
Figura 12 - Detalhe Construtivo do Edifício. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).	31
Figura 13 - Elevação 2. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).	33
Figura 14: Corte do Edifício com subsolo não considerado nos cálculos em vermelho. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013). Elaboração: Autor.	34
Figura 15 - Sobreposição do edifício em rosa dos ventos para definição da orientação de cada fachada. Fonte: Autor.	36
Figura 16 - Corte em detalhe demonstrando a distância da tela (TE3) ao plano de vidro (AL11). Os elementos horizontais entre eles são as hastes de sustentação. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).	40
Figura 17 - Simulação 1: Adição Da Tela Nas Fachadas 4 E 6. Fonte: Autor.	42
Figura 18 - Tela com 28% de abertura a esquerda e simulação com 10% de abertura à direita. Fonte: FERRARI (2013). Adaptação: Autor.	43

Figura 19 - Comparação entre projeto original e projeto sugerido para alcance do nível A. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013). Simulação: Autor.48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos de proteção solar.....	25
Tabela 2 - Pré-requisitos para Zona Bioclimática 1	30
Tabela 3 - Resistência Térmica da Cobertura	31
Tabela 4 - Transmitância Térmica da Cobertura.....	32
Tabela 5 - Transmitância Térmica das Paredes Externas.....	33
Tabela 6 - Áreas da Edificação	35
Tabela 7 - Volume total da Edificação.....	35
Tabela 8 - Dados das fachadas.....	37
Tabela 9 - Área da envoltória	37
Tabela 10 - Percentual total de abertura das fachadas.....	37
Tabela 11 - Porcentagem de de PAFo com relação à PAFt.....	38
Tabela 12 - Fator Altura e Fator Forma.....	38
Tabela 13 - Fator de forma máximo e mínimo por zona bioclimática	39
Tabela 14 - Parâmetros das áreas translúcidas	40
Tabela 15 - Pré-requisitos para Zona Bioclimática 1 e nível máximo atingido	41
Tabela 16 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência.....	41
Tabela 17 - Índice de consumo da envoltória.....	41
Tabela 18 - Simulação 1: Adição da tela nas fachadas 4 e 6.....	43
Tabela 19 - Simulação 2: Tela tensionada com 10% de abertura	44
Tabela 20 - Simulação 3: Projeto sem sistema de sombreamento	44
Tabela 21 - Resumo dos níveis de eficiência alcançados.....	45
Tabela 22 - Resistência térmica da cobertura com material isolante adicionado	46
Tabela 23 - Transmitância térmica das paredes externas com vidro alterado	47
Tabela 24 - Alteração de PAFt para obtenção do nível A	47
Tabela 25 - Sugestão de alterações das fachadas para se atingir o nível A.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Apcob	- Área de projeção da cobertura
Ape	- Área de projeção do edifício
AQUA	- Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE	- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
Atot	- Área total de piso
AU	- Área útil
CBIC	- Câmara Brasileira da Indústria da Construção
ELETROBRAS	- Centrais Elétricas Brasileiras
FA	- Fator Altura
FF	- Fator Forma
FGV	- Fundação Getúlio Vargas
FIESP	- Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
ICenv	- Indicador de consumo da envoltória
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LEED	- Leadership in Energy and Environmental Design
NBR	- Norma Brasileira Regulamentadora
PROCEL EDIFICA	- Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
RTQ-C	- Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SOBRATEMA	- Associação Brasileira de Tecnologia para a Construção e Mineração

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA	11
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	12
1.3	PROBLEMA	14
1.4	OBJETIVOS	15
1.4.1	Geral	15
1.4.2	Específicos	15
1.5	JUSTIFICATIVA	15
1.6	EMBASAMENTO TEÓRICO	16
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	ENERGIA E ECONOMIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
2.2	REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS - RTQ-C	21
2.3	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	22
2.4	SISTEMAS DE SOMBREAMENTO NA ARQUITETURA	23
2.5	TIPOS DE DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO, VANTAGENS E DESVANTAGENS	24
2.5.1	Classificação dos Dispositivos de Sombreamento	24
3	METODOLOGIA	29
3.1	ZONA BIOCLIMÁTICA	29
3.2	PRÉ-REQUISITOS	30
3.3	APRESENTAÇÃO DOS DADOS	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	SIMULAÇÃO 1: ADIÇÃO DA TELA NAS FACHADAS 4 E 6	42
4.2	SIMULAÇÃO 2: TELA TENSIONADA COM 10% DE ABERTURA	43
4.3	SIMULAÇÃO 3: PROJETO SEM SISTEMA DE SOMBREAMENTO	44
4.4	ALTERAÇÕES NO PROJETO PARA SE ATINGIR O NÍVEL A	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

Nas últimas décadas, cientistas, pesquisadores e estudiosos vêm aprofundando a coleta de dados sobre a velocidade e o modo de consumo dos recursos naturais disponíveis no planeta, a fim de entender a relação destes aspectos com as mudanças climáticas, cada vez mais recorrentes. A procura pelo rápido crescimento econômico e a competitividade mercadológica faz com que diversos atores da sociedade, incluindo desde consumidores, empreendedores, empresários a chefes de estado busquem cada vez mais o consumo, como se a energia utilizada para a produção e os recursos naturais fossem infinitos.

Segundo PÁDUA (1999), a falta de “realismo ecológico” transparece em diferentes parâmetros, do cálculo empresarial às decisões políticas internacionais. Este fato pode ser percebido no balanço energético negativo de diferentes atividades produtivas no mundo moderno, no qual a quantidade de energia despendida no processo de produção é muito superior à obtida com os produtos resultantes desse processo.

Entre as diversas áreas consumidoras de recursos e energia de um país, o setor da construção civil tem grande representatividade, pois além de abranger diretamente os setores comercial, residencial e público, envolve indiretamente o setor industrial e o setor de transportes para a produção e deslocamento de materiais de construção. (TAVARES, 2006).

Desta forma, como será possível buscar a estabilidade entre o crescente setor da construção civil e o consumo de recursos e energia? Por mais que se estipulem metas que combatam o desperdício dos bens naturais, uma realização civil que se inicia com um projeto que estuda a fundo diversas condicionantes, que vão além das decisões econômicas, pode se tornar um grande motivador à busca de uma das chaves para do equilíbrio desejado, a eficiência.

Inúmeros selos de certificação para edifícios de diversos portes e produtos para o setor já estão em prática em todo mundo, o que tem contribuído e muito para o avanço de estudos e tecnologias na área. Além dos selos de certificação já em prática no Brasil, como o LEED e o AQUA, existem outros procedimentos a fim de se

aperfeiçoar o projeto em busca da eficiência. Um deles pertence ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, o INMETRO, chamado de Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), que será utilizado para o estudo de caso da presente monografia. Este manual classifica e determina a eficiência de edifícios através de três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. O estudo irá se concentrar apenas na determinação da eficiência da envoltória devido às características do projeto e do estudo que tem por um dos objetivos analisar o desempenho de um material de sombreamento de fachada.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo trata de um edifício de escritórios localizado em Curitiba/PR projetado para a ampliação do anexo do Tribunal de Contas do Estado do Paraná. Concebido pelo Escritório Roberto Gandolfi Arquitetura em conjunto com o Arquiteto José Sanhotene, o projeto conta com 8 andares e um subsolo com garagem e auditório, totalizando 12.140,76 m² de área construída. Como características formais, o prédio compreende um volume retangular. Também foi projetada uma passagem ligando os dois edifícios mas que não entrará no escopo da monografia, sendo o foco apenas o volume retangular.

Com relação aos materiais da envoltória, praticamente todas as faces são fechadas com panos de vidro e duas faces utilizam de um artifício de sombreamento chamado de tela tensionada. Como o material e a tecnologia são recentes e ainda pouco explorados no Brasil, estes foram alguns dos motivos para a realização do presente estudo e da intenção da análise da envoltória no uso do RTQ-C.

A figura 1 apresenta a implantação geral do Tribunal de Contas do Estado com a ampliação do edifício anexo (número 4) em verde. A figura 2 demonstra em uma vista área a localização do edifício com relação ao Palácio Iguazu. Já a figura 3 apresenta uma perspectiva artística com o edifício anexo e a ampliação à esquerda.

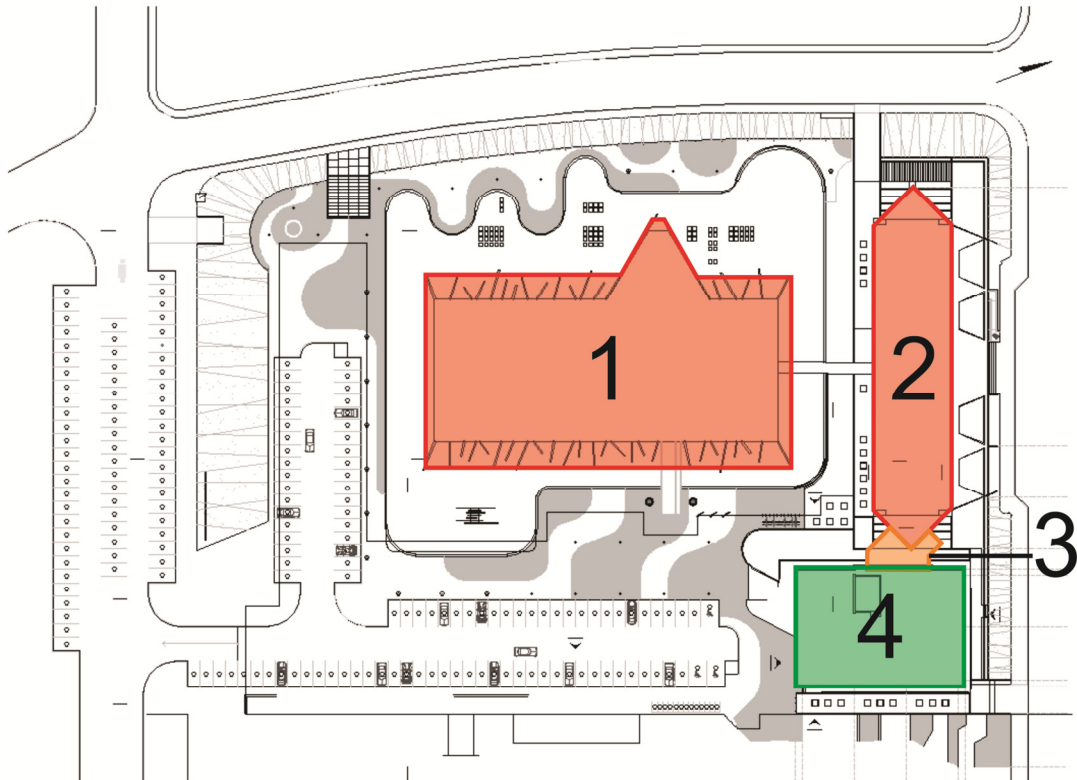


Figura 1 - Implantação. Legenda: 1 - Edifício Sede, 2 - Edifício Anexo, 3 - Ligação, 4 - Ampliação do Edifício Anexo. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).

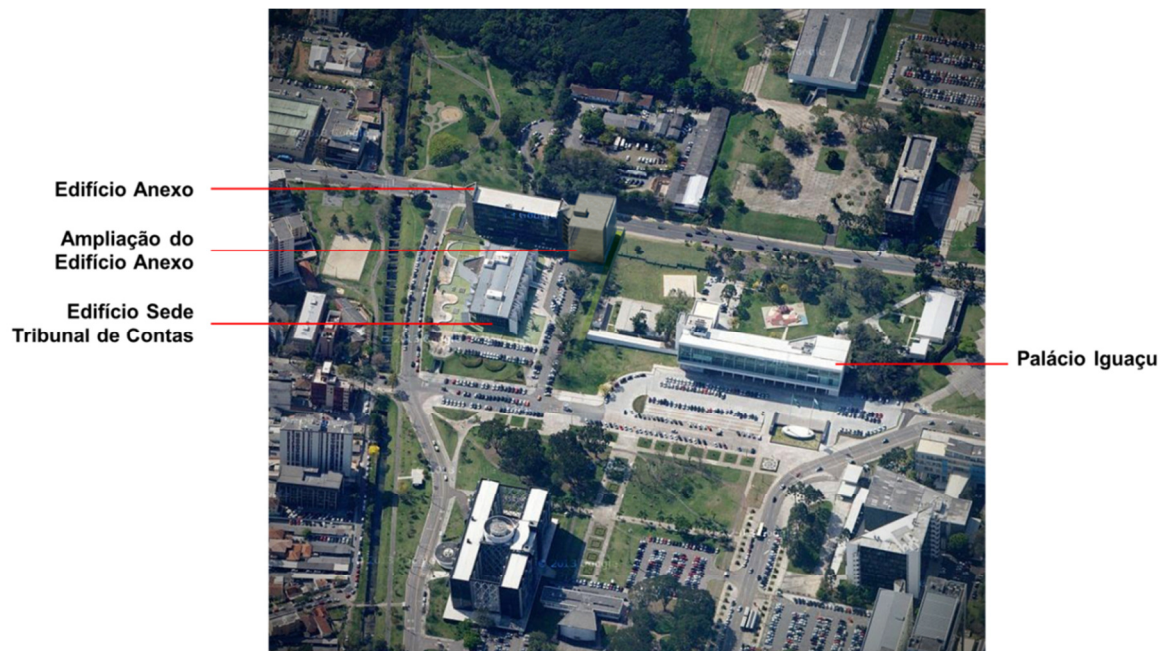


Figura 2: Localização da Ampliação do Edifício Anexo. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013). Imagem Base: Google Maps.



Figura 3: Perspectiva artística com a ampliação do Edifício Anexo do Tribunal de Contas do Estado a esquerda. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).

1.3 PROBLEMA

A concepção arquitetônica do novo edifício utiliza um elemento de sombreamento para duas fachadas. Segundo os arquitetos, a tela tensionada cumpre a função plástica satisfatoriamente pois, além de apropriar-se do caráter formal da obra, reflete sobre uma evolução dos elementos de sombreamento da arquitetura brasileira.

Assim como em qualquer escritório, os níveis de temperatura e luminosidade devem atender índices de conforto¹ a fim de se estabelecer a boa produtividade do ofício que se destinam. Há diversos caminhos para que se alcance tal objetivo, alguns utilizando mais energia com o uso de ar condicionado, e outros através de estratégias arquitetônicas dimensionadas em projeto. Além do aspecto visual, **será que o novo material/tecnologia é capaz de trazer uma eficiência energética satisfatória o suficiente para atender os níveis pré-estabelecidos pelo roteiro RTQ-C?**

¹ Condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. LAMBERTS apud ASHRAE (2009).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Geral

O objetivo do trabalho é aplicar o RTQ-C ao edifício ampliação do anexo do Tribunal de Contas do Estado para fins de caracterização do nível de eficiência energética da envoltória.

1.4.2 Específicos

Para os objetivos específicos pretende-se:

- Simular uma configuração de projeto diferente do original, porém utilizando a mesma tela tensionada;
- Estabelecer uma comparação de resultados da tela tensionada utilizada no projeto com outra de porcentagem de abertura diferente;
- Levantar o resultado da eficiência da envoltória do projeto sem a tela de sombreamento, a fim de se entender a sua importância como estratégia para o desempenho energético da edificação.
- Sugerir alterações no projeto para, se necessário, atingir um maior índice de eficiência energética.

1.5 JUSTIFICATIVA

As atuais condições globais do consumo de recursos e energia têm, de certa forma, obrigado os grandes setores produtores e transformadores a buscarem a eficiência em seus produtos finais, seja inovando em tecnologia de materiais, sistemas ou tendo uma nova visão sobre seus valores, colocando em pauta o manejo consciente dos recursos naturais disponíveis. Uma nova gama de materiais e tecnologias acompanha esta realidade e traz ao mercado novos produtos com a intenção de se alcançar metas estabelecidas por selos de certificação e/ou regulamentos técnicos. Independente da quantidade de novidades, ainda cabe aos arquitetos e demais projetistas as decisões de projeto que de maneira concisa

poderão contribuir para o panorama que se deseja alcançar, a sustentabilidade na arquitetura e na construção civil.

Medir e comprovar a eficiência de novas propostas arquitetônicas pode contribuir tanto para a comunidade acadêmica como para o meio profissional, com a intenção de despertar interesse na busca de novas propostas também eficientes e que irão contribuir para o equilíbrio da produção *versus* consumo.

1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO

Para o entendimento da relação da energia e da economia com a construção civil, são utilizados como referência CEOTTO (2006), relatórios e estudos da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC, Associação Brasileira de Tecnologia para a Construção e Mineração – SOBRATEMA, Fundação Getúlio Vargas – FVG, Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRAS e Empresa de Pesquisa Energética – EPE com o resultado do Balanço Energético Nacional de 2013.

Com relação aos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C, utiliza-se como referência o próprio regulamentador, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA.

No que diz respeito à compreensão da arquitetura bioclimática, os sistemas de sombreamento na arquitetura, suas variações e classificação, são utilizados os autores PALHINHA (2009), ZEVI (1918), LAMBERTS (1997), CORREA (2002) e VITRUVIUS (1º d.C.).

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho terá a seguinte estrutura:

Capítulo 1 - Introdução: apresentação do tema, a delimitação do estudo com a exposição do edifício a ser estudado, o problema com a pergunta chave da monografia, objetivos geral e específicos, a justificativa, os procedimentos metodológicos, o embasamento teórico e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Fundamentação teórica: abordagem dos assuntos pertinentes ao entendimento da proposta de análise dos resultados, bem como uma revisão bibliográfica dos sistemas de sombreamento na arquitetura, classificando-os e apresentando vantagens e desvantagens de cada estratégia.

Capítulo 3 – Metodologia: explanação do método utilizado para a realização da análise pretendida, bem como a apresentação dos dados obtidos.

Capítulo 4 – Resultados e Discussões: após a execução de cada análise, discussão e comentários dos resultados obtidos.

Capítulo 5 – Considerações finais: avaliação final dos resultados com relação à pergunta do trabalho e os objetivos descritos no capítulo 1.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA E ECONOMIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil tem grande participação na economia de um país. Segundo o Guia de Boas Práticas em Sustentabilidade da CBIC “O futuro crescimento brasileiro também deve ter importante participação da indústria da Construção, uma vez que há grande demanda por obras habitacionais e de infraestrutura. Em estudo encomendado pela SOBRATEMA e realizado pela CriActive Assessoria Comercial, no fim de 2011, estimou-se investimento de R\$ 1,48 trilhão até 2016 em obras de grande porte. Além disso, estimativas da FGV Projetos apresentadas pela FIESP apontam para a necessidade de R\$ 3 trilhões em investimentos até 2022 para atender à demanda por recuperação e construção de novas moradias”.

De acordo com a ELETROBRAS, no Brasil, o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, é bastante significativo. A tendência de crescimento estimada é ainda maior, devido à estabilidade da economia, aliada a uma política de melhor distribuição de renda. Isto permite o acesso da população aos confortos proporcionados pelas novas tecnologias. Soma-se a isto, a elevada taxa de urbanização e a expansão do setor de serviços. Calcula-se que quase 50% da energia elétrica produzida no país sejam consumidos não só na operação e manutenção das edificações, como também nos sistemas artificiais, que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água.

Somente no setor residencial, o consumo de eletricidade aumentou cerca de 36% de 2003 a 2012². Com relação a outras fontes de energia, o consumo de eletricidade representou no ano de 2012 42,6%.

² Fonte: EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2013: Ano Base 2012. Empresa de Pesquisa Energética - EPE, Rio de Janeiro, 2013.

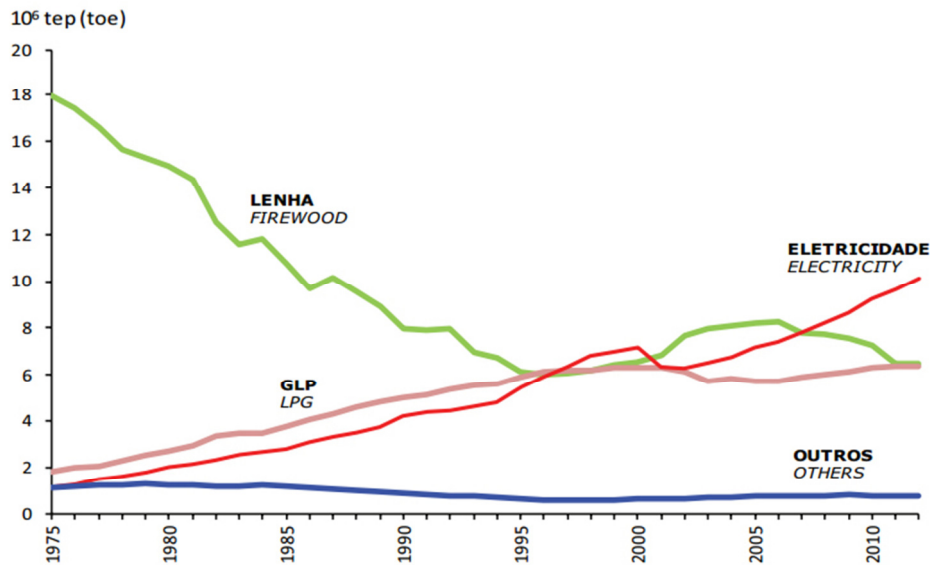


Figura 4: Consumo de Energia no Setor Residencial. Fonte: EPE (2013).

As despesas econômicas em uma edificação, independente do porte, passam por diversos atores e etapas de sua vida útil. Segundo CEOTTO (2006), também conhecida como Ciclo de vida de uma edificação, a importância de ações efetivas que busquem a sustentabilidade em cada fase deste ciclo, pode ter papel crucial na composição global da vida útil de uma edificação.

Ainda de acordo com CEOTTO (2006), o uso e a operação de um edifício podem consumir cerca de 80% do custo total e na fase de idealização menos de 0,2%.

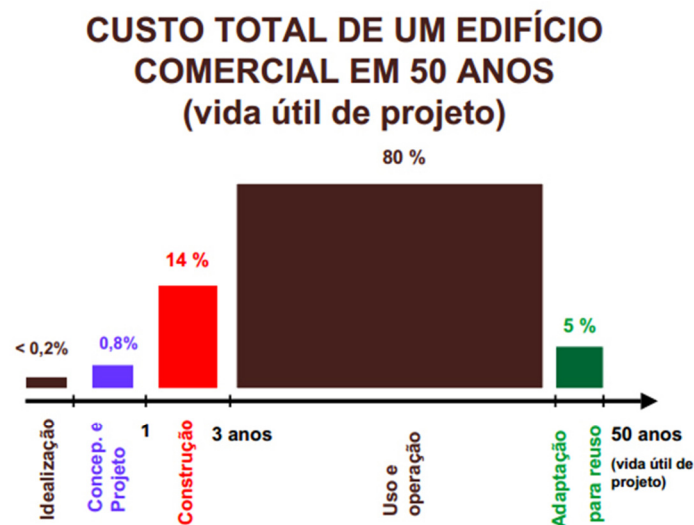


Figura 5: Custo total de um edifício comercial em 50 anos. Fonte: CEOTTO (2006).

Porém, CEOTTO reforça a importância de arquitetos e projetistas na fase de idealização do projeto, onde é a possibilidade de interferência no custo total é de 100%. Nesta fase, quanto mais decisões tomadas com relação a materiais, tecnologias e modos de operar o edifício, mais se terá o controle de seus consumos, como energia e água, e gastos financeiros decorrentes de manutenções e trocas de materiais.

POSSIBILIDADE DE INTERFERÊNCIA NO CUSTO TOTAL DE UM EDIFÍCIO EM 50 ANOS.



Figura 6: Possibilidade de interferência no custo total de um edifício em 50 anos. Fonte: CEOTTO (2006).

Intervenções arquitetônicas que demandem menos perda de energia durante a fase de uso e operação do edifício tornam-se fundamentais a partir do momento em que se busca a eficiência energética e econômica de um empreendimento.

Entre as diversas técnicas passivas³ que reduzem o consumo de energia em uma edificação, o uso de elementos de proteção solar pode propiciar a diminuição do uso de ar condicionado para o resfriamento de ambientes.

³ Que não utilizam energia para a obtenção de recursos como aquecimento e resfriamento de ambientes, iluminação e ventilação natural. São exemplos de técnicas passivas: correta orientação solar, materiais isolantes, tecnologias de proteção solar, entres outros.

2.2 REQUISITOS TÉCNICOS DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS - RTQ-C

Sendo a busca da eficiência uma meta para diversos setores consumidores de energia, em 2003 foi instituído pela ELETROBRAS/PROCEL o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA.

O PROCEL promove o uso racional da energia elétrica em edificações desde sua fundação, sendo que, com a criação do PROCEL EDIFICA, as ações foram ampliadas e organizadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente. (PROCEL, 2014).

Dentro das áreas temáticas do Procel Edifica, existe a etiquetagem de edificações:

O processo de etiquetagem de edificações no Brasil ocorre de forma distinta para edifícios comerciais, de serviços e públicos e para edifícios residenciais. A metodologia para a classificação do nível de eficiência energética dos primeiros foi publicada em 2009 e revisada em 2010, ano em que também foi publicada a metodologia para classificação dos edifícios residenciais.

A etiqueta é concedida em dois momentos: na fase de projeto e após a construção do edifício. Um projeto pode ser avaliado pelo método prescritivo ou pelo método da simulação, enquanto o edifício construído deve ser avaliado através de inspeção in loco.

Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Dessa forma, a etiqueta pode ser concedida de forma parcial, desde que sempre contemple a avaliação da envoltória. Nos edifícios residenciais são avaliados: a envoltória e o sistema de aquecimento de água, além dos sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares, como iluminação, elevadores, bombas centrífugas etc. (PROCEL, 2014).

Para o cálculo do indicador de consumo da envoltória (ICenv), uma série de fórmulas são preenchidas com valores correspondentes à altura do edifício, área, dimensões de áreas translúcidas e de sistemas de proteções solares, entre outros dados. Ao final, compara-se o valor obtido em uma escala que representa o nível de eficiência energética atingido pelo projeto. Esta varia de “A” representando o melhor resultado até “E”, que corresponde à menor eficiência.

2.3 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Assim como os seres humanos sentem a necessidade de usar determinados tipos de vestimentas de acordo com o clima, época do ano ou região em que se encontram, a execução de uma edificação, independente do uso a que se destina, também deveria ser pensada de modo a agir como uma proteção dos fatores externos como a temperatura, chuva, vento, etc. Ampliando o conceito de arquitetura pro Bruno Zevi (1918) onde “a arquitetura é como uma escultura escavada, em cujo interior o homem penetra e caminha”, pode-se dizer que este homem têm sensações diversas; psicológicas como espanto ou alegria, e físicas como calor e frio.

Além da concepção espacial, a arquitetura através dos tempos também foi retrato da época, da situação econômica e social do local em que se encontra. A arquitetura conhecida como Estilo Internacional abdicou de muitos conceitos relacionados ao estudo da influência climática nos ambientes construídos em busca de uma arquitetura icônica, onde, da circunstância do surgimento dos aparelhos de ar condicionado, não havia preocupação alguma com relação ao consumo de energia. Segundo LAMBERTS et al (1997), seu formalismo *clean* foi seguido por várias gerações de profissionais que internacionalizaram o que era distinto para algumas economias. O conseqüente edifício “estufa” foi então exportado com símbolo de poder, assim como sistemas sofisticados de ar condicionado e megaestruturas de aço e concreto, sem sofrer readaptações às características culturais e climáticas do local de destino.

A arquitetura bioclimática veio como uma reação à produção arquitetônica que deixava de lado as preocupações com o clima local e muitos outros aspectos relevantes ao consumo de recursos e energia. De acordo com CORREA (2002), a arquitetura bioclimática também é conhecida como a de alta eficiência energética, porque economiza e conserva a energia que capta, produz ou transforma no seu interior, reduzindo, portanto, o consumo energético e a suposta poluição ambiental. Em geral, é uma arquitetura pensada com o clima do lugar, o sol, o vento, a vegetação e a topografia, com um desenho que permite tirar proveito das condições naturais do lugar, estabelecendo condições adequadas de conforto físico e mental dentro do espaço físico em que se desenvolve.

2.4 SISTEMAS DE SOMBREAMENTO NA ARQUITETURA

Segundo PALHINHA (2009), uma das estratégias principais da concepção bioclimática passa pela adequada proteção do edifício contra os ganhos solares excessivos, diminuindo o consumo energético para arrefecimento, e simultaneamente permitindo elevados níveis de iluminação natural, mitigando a necessidade de iluminação artificial. Os sistemas de sombreamento surgem como um elemento preponderante no processo de concepção das fachadas de um edifício, quer pelo seu papel no desempenho energético, quer na procura de um espaço interior com o máximo de conforto e luminosidade. Adicionalmente os sistemas de sombreamento podem ter um papel fundamental na caracterização e definição da imagem exterior da arquitetura do edifício, pela sua forma, geometria e materialidade.

Independente da época e de sua corrente arquitetônica, a tríade de Vitruvius⁴: *firmitas* (solidez) *utilitas* (utilidade) e *venustas* (beleza), sempre serviu de guia e meta para a realização de projetos e obras de arquitetura. Como uma composição de elementos e componentes, o sistema de sombreamento também deve ser compreendido nestes três aspectos. Sendo assim, por mais que a questão estética possa sobressair na decisão de qual modelo adotar já que a fachada de uma obra tem grande influência na compreensão de seu caráter, deve se atentar a questões funcionais, como por exemplo, as condições climáticas locais.

Os sistemas de sombreamento não devem funcionar como elementos que se agregam à fachada, mas sim numa composição integral contínua. Esta é mais uma razão para a importância deste elemento arquitetônico que não deve ficar limitado pelos sistemas tradicionais e estandardizados, embora a utilização destes não deva ser desaproveitada.

Deve existir uma reflexão sobre a concepção dos sistemas de sombreamento, tirando partido da simples experiência pragmática de ensaiar formas, vãos, materiais, através dos novos instrumentos de desenho, da tecnologia e de meios mais rápidos de prever e avaliar o seu comportamento no edificado que a atualidade pode dispor. (PALHINHA, 2009).

⁴ Marcus Vitruvius Pollio (1º d. C.)

2.5 TIPOS DE DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO, VANTAGENS E DESVANTAGENS

Os dispositivos de proteção solar também são entendidos como um elemento de composição plástica, formalizando volumetrias, texturas e ritmos. Porém, apesar do atrativo visual, a escolha do tipo de sombreamento a ser utilizado em uma determinada obra vai depender fundamentalmente da orientação da edificação e dos ângulos solares. Outro fator determinante é como será a utilização e a manutenção do sistema, já que sua eficácia muitas vezes pode depender de como os usuários farão o seu uso.

2.5.1 Classificação dos Dispositivos de Sombreamento

Os sistemas de sombreamento são classificados de acordo com suas características de localização e de manuseio. Assim como cada obra deve ser pensada exclusivamente para sua localização, o fato de diferentes posições no globo terrestre resultarem em diferentes trajetórias solares, faz-se único também cada projeto de dispositivo solar.

Proteções externas e internas

Segundo PALHINHA (2009) o sombreamento pelo interior pode ser menos eficaz porque quando os raios solares interceptam o vidro estes alteram o seu comprimento de onda e já não conseguem voltar a sair, ficando retidos no espaço interior aquecendo-o (efeito de estufa), enquanto no sombreamento exterior, os raios solares ao interceptarem os elementos, dispersam antes de atingirem o vidro.

Porém, como cada projeto deve ser analisado individualmente, o uso de dispositivos externos não se torna uma regra, sendo possível, por exemplo, a utilização de elementos de proteção internos em conjunto com vidros de alta performance térmica.

Proteções fixas e móveis

A definição de dispositivos fixos ou móveis deve ser pensada em conjunto com os outros sistemas do edifício como a tecnologia de fechamento das fachadas, cálculos estruturais, limites externos como passeios e estacionamentos, entre outros aspectos, a fim de se evitar retrabalhos de projetos complementares e arquitetônicos e possíveis perdas econômicas. Não menos importante, deve se pensar na operação e manutenção do sistema, sendo boa parte do resultado de sua eficiência a correta utilização.

A eficiência de um sistema fixo varia consoante as variações das estações e a posição do sol e por isso os sistemas móveis podem ser mais adequados por evitarem alguns problemas nesse sentido. Estes são controlados manual ou automaticamente, podendo se adequarem à vontade individual e às condições térmicas confortáveis para o ocupante ao mesmo tempo que podem proporcionar ao longo de todo ano, bons níveis de iluminação, desde que sejam aplicados e geridos corretamente. (PALHINHA, 2009).

Tabela 1 - Elementos de proteção solar.

 <p>PROTEÇÕES HORIZONTAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mais eficaz quando tem orientação norte (hemisfério sul). 	 <p>BRISES SUSPENSOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ protegem contra o sol baixo; ▪ podem interferir na visibilidade do exterior.
 <p>BRISES HORIZONTAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ permitem a circulação do ar próximo à parede e reduzem ganhos térmicos por condução. 	 <p>BRISES VERTICAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mais eficazes para orientação leste ou oeste; ▪ a separação da parede reduz o ganho de calor por condução.
 <p>BRISES INCLINADOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ oferece mais proteção que aqueles paralelos à parede; ▪ o ângulo de inclinação depende da altura solar. 	 <p>GRELHAS - BRISES HORIZONTAIS E VERTICAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ alta capacidade de sombreamento; ▪ eficazes em climas quentes.
 <p>ANTEPAROS E VIDROS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ venezianas e cortinas podem fornecer uma redução de até 50% na insolação, dependendo de sua refletividade; ▪ vidros absorventes de calor podem absorver até 40% da radiação incidente sobre a superfície. 	 <p>ÁRVORES E EDIFICAÇÕES ADJACENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ podem oferecer proteção solar dependendo de sua proximidade, altura e orientação.

Telas tensionadas, tramas e painéis perfurados

As telas verticais e paralelas à fachada são mais uma opção de composição arquitetônica e funcional para os projetistas, podendo ser fixas ou automatizadas. De acordo com o arquiteto Paulo Duarte⁵ a eficiência do sistema está na distância estabelecida entre painel e fachada, que faz com que o ar circule pelo vão, 'varrendo' o calor que ali se acumula.

Diferentemente dos brises que barram por completo a incidência solar, as telas ou malhas, criam um filtro que reduz a passagem dos raios solares, resultando em uma iluminação natural difusa. Uma das vantagens destes materiais é a possibilidade de escolher a dimensão dos furos no caso dos painéis, ou o espaçamento das tramas, obtendo assim diferentes níveis de iluminação e efeitos plásticos na fachada.

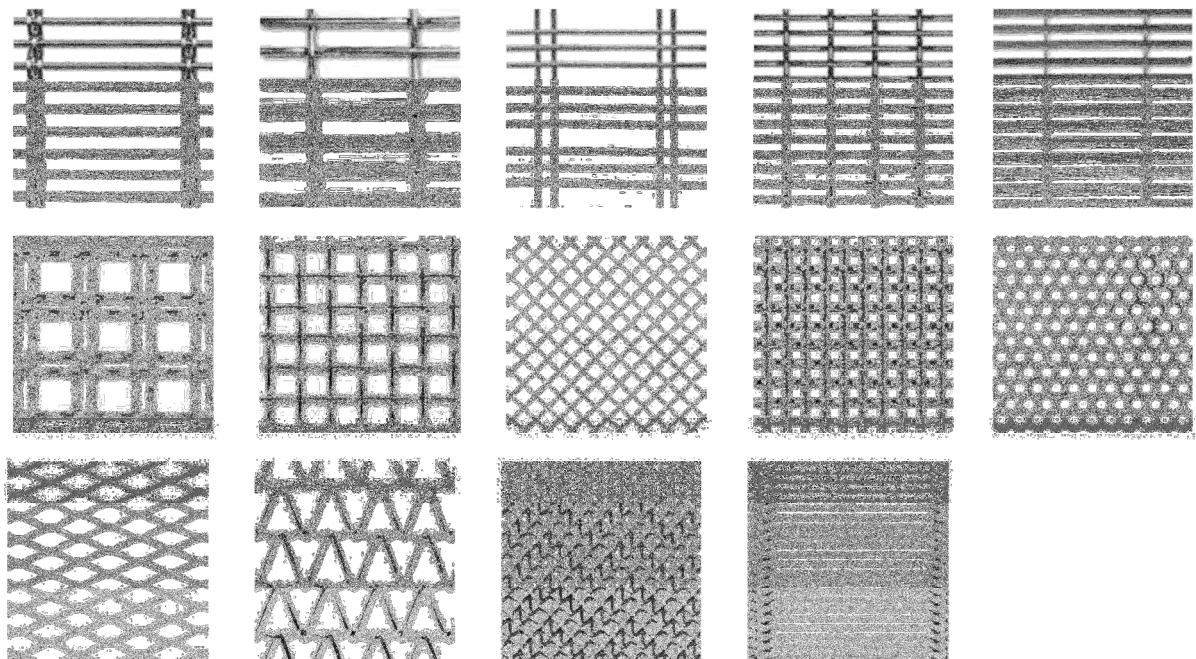


Figura 7: Exemplos de tramas metálicas. Fonte: PALHINHA (2009).

⁵ Fonte: AECWEB. Soluções para sombreamento de fachadas. Disponível em: http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/solucoes-para-sombreamento-de-fachadas_2871. Acesso em: 25 de Janeiro de 2014.

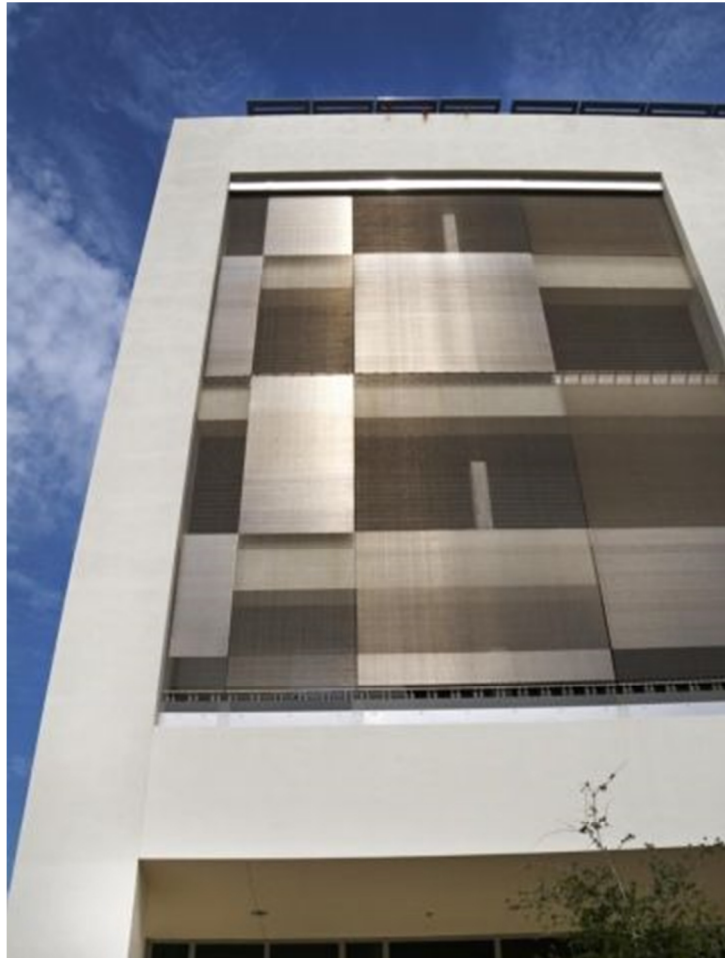


Figura 8: Aplicação da tela metálica. Fonte: HUNTER DOUGLAS (2014).

A tela tensionada do edifício em estudo é fixa e constituída de um material diferente das usuais tramas metálicas; segundo o fabricante a malha é composta de fios de poliéster de alta tenacidade com proteção aos raios ultravioleta. Uma das vantagens deste material é o menor carregamento por m^2 , o que acarreta em menos elementos de suporte e fixação na fachada. De acordo com os projetistas da tela, se para o edifício fosse utilizado tela metálica seriam necessários suportes a cada 1,5 m e com a tela tensionada é possível utilizar suportes com até 5 m de espaçamento.

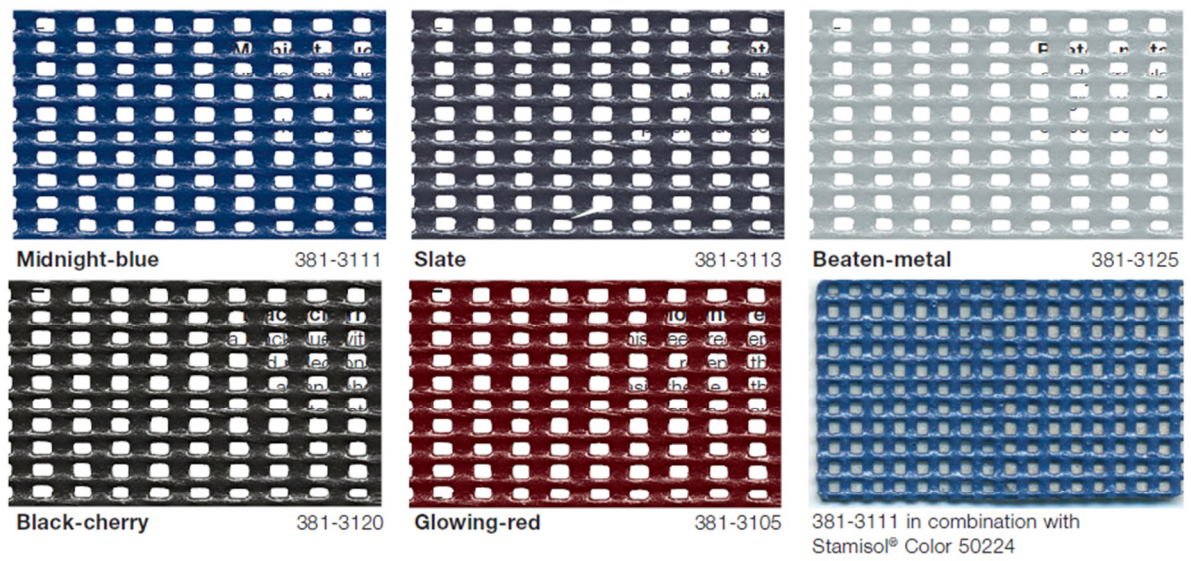


Figura 9: Exemplos de telas de Poliéster. Fonte: FERRARI (2013).



Figura 10: Aplicação da tela de Poliéster. Fonte: FERRARI (2014).

3 METODOLOGIA

Para a realização do estudo e análise da eficiência energética da envoltória do edifício foram coletados vários dados que preencherão listas e tabelas. Chamado de método prescritivo, através de equações e comparações com parâmetros pré-estabelecidos pelo roteiro, será possível saber em qual categoria (A, B, C, D ou E) se enquadra a eficiência do objeto de estudo.

3.1 ZONA BIOCLIMÁTICA

Curitiba está localizada na zona bioclimática 1 de acordo com a NBR 15220-3 que, além de estabelecer um zoneamento bioclimático brasileiro, apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social.

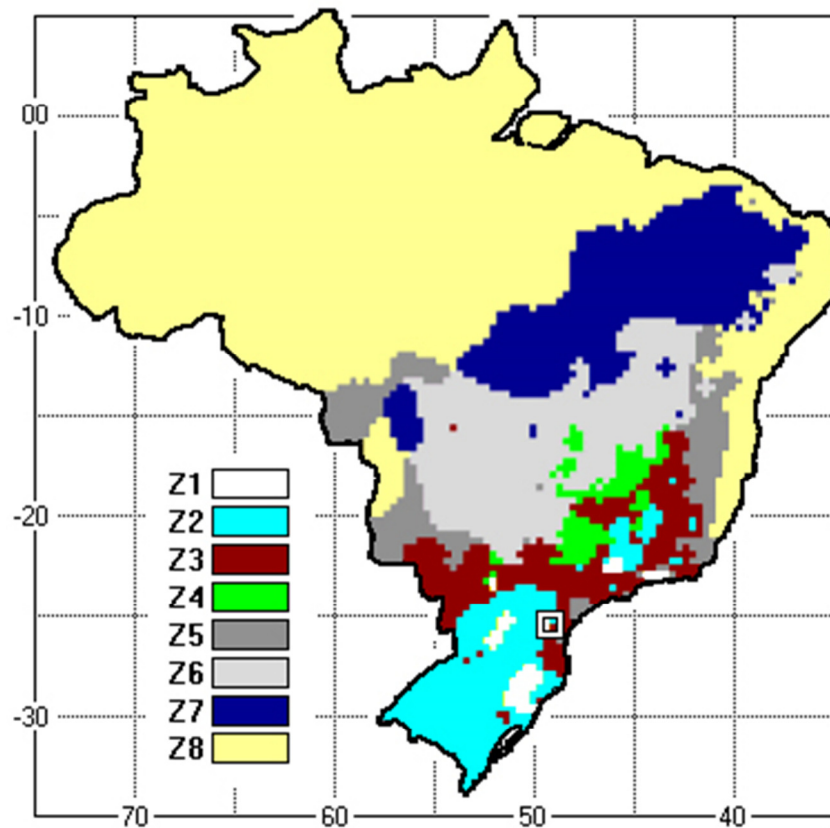


Figura 11: Localização de Curitiba no gráfico de zonas bioclimáticas brasileiras. Fonte: ZBBR 1.1 (2004).

3.2 PRÉ-REQUISITOS

Além da coleta de dados referentes à forma e dimensões do objeto de estudo, o manual RTQ-C estabelece pré-requisitos para a determinação do nível de eficiência energética da envoltória. São eles: transmitância térmica (U), cores e absorvância das superfícies (α), tanto para a cobertura quanto para as paredes externas.

O edifício em estudo possui todos os ambientes condicionados por um sistema central de ar condicionado, dessa forma, os valores para U_{cob} a serem considerados serão os da primeira coluna.

A tabela 2 apresenta os pré-requisitos mínimos para cada nível de eficiência para a Zona Bioclimática 1.

Tabela 2 - Pré-requisitos para Zona Bioclimática 1

Zona Bioclimática 1					
Nível	U_{cob} - Amb. Cond. (W/m^2K)	U_{cob} - Amb. não Cond. (W/m^2K)	U_{par} (W/m^2K)	α_{par}	α_{cob}
A	0,50	1,00	1,00	-	-
B	1	1,5	2	-	-
C e D	2	2	3,7	-	-

Fonte: Adaptado de LAMBERTS et al (2013).

Entende-se por transmitância térmica a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das fachadas (paredes externas) ou coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes⁶.

Segundo a NBR 15220-2 ABNT (2005), a transmitância térmica (U_t) de componentes é resultado do inverso da resistência térmica total (R_t). Desta forma, para a determinação da U_t da cobertura (U_{cob}), foram estudados os elementos construtivos e suas dimensões, exemplificadas na tabela 10. As variantes de cada

⁶ LAMBERTS, Roberto (Coord.) et al. Manual para aplicação do RTQ-C. Pág. 53.

material foram obtidas na mesma NBR citada anteriormente. A figura 12 demonstra graficamente o detalhe construtivo da cobertura.

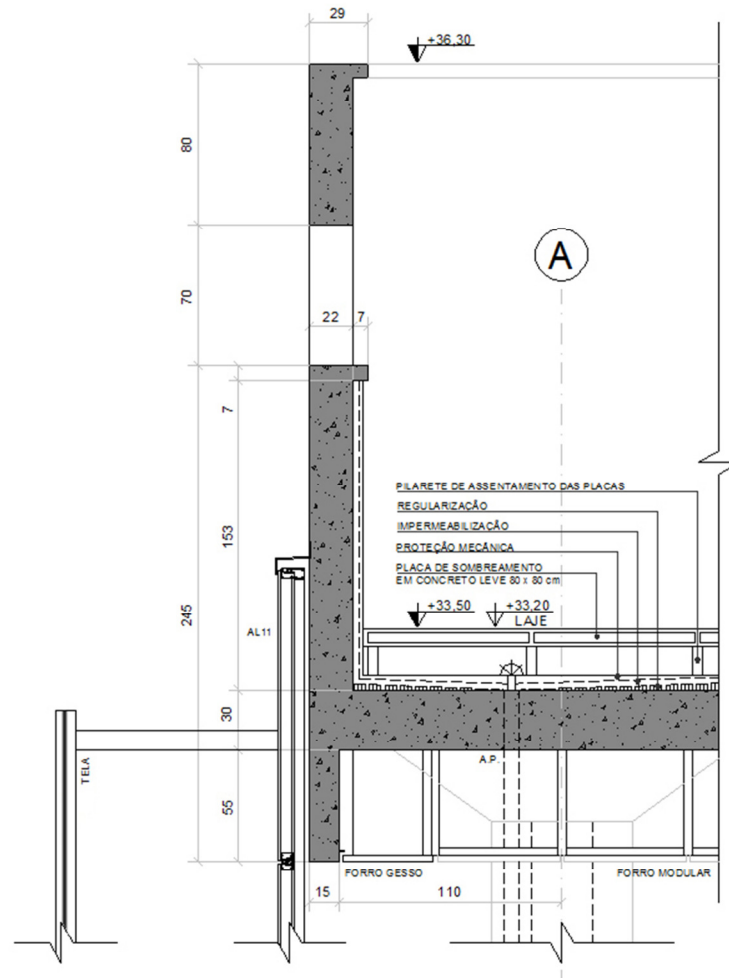


Figura 12 - Detalhe Construtivo do Edifício. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).

Tabela 3 - Resistência Térmica da Cobertura

Resistência Térmica da Cobertura - R_{cob} ($m^2.K/W$)				
Camada	Descrição	Espessura (m)	Condutividade Térmica λ ($W / (m.K)$)	R_t ($m^2.K/W$)
Rse	Superfície Externa	-----	-----	0,040
Rt1	Concreto Celular Autoclavado - Concreto Leve	0,085	0,170	0,500
Rt2	Camada de ar não ventilada	0,145	-----	0,210
Rt3	Argamassa comum - proteção mecânica + regularização	0,060	1,150	0,052

Rt4	Impermeabilizante - Membrana Betuminosa	0,010	0,230	0,043
Rt5	Concreto com Agregados de Pedra	0,300	1,750	0,171
Rt6	Camara de ar não ventilada - Entreforro	0,520	-----	0,210
Rt7	Forro - Poliestireno Expandido Moldado	0,020	0,040	0,500
Rsi	Superfície Interna	-----	-----	0,100
Resistência Térmica da Cobertura - Rcob (m².K/W)				1,827

Fonte: Autor.

Tabela 4 - Transmitância Térmica da Cobertura

Transmitância Térmica da Cobertura - Ucob (W/m².K)	0,55
--	-------------

Fonte: Autor.

Para a obtenção do valor da transmitância térmica das paredes externas (U_{par}), uma exceção do manual corresponde ao tipo de sombreamento utilizado no edifício:

Os planos compostos por superfícies envidraçadas protegidas por superfícies opacas paralelas ao plano de vidro, mesmo que vazadas, não precisam atender ao pré-requisito de transmitância térmica, visto que o plano posterior (vidro) não é elemento opaco e a superfície opaca provoca sombreamento na mesma.

Elementos que compõem esta exceção:

- proteções solares com aletas paralelas ocupando toda a fachada;
- pórticos;
- placas perfuradas;
- qualquer elemento de sombreamento paralelo a aberturas da fachada, desde que conectados à edificação ou possua uma distância entre o plano envidraçado e a fachada inferior a uma vez a altura do maior vão da abertura envidraçada, sendo que este afastamento entre os planos deve possuir proteção solar horizontal, como beiral ou marquise⁷.

Porém, após consultoria com a equipe técnica do RTQ-C, entende-se que o objeto de estudo não se enquadra 100% na exceção, já que os panos de tela tensionada não ocupam completamente todas as fachadas do edifício.

⁷ LAMBERTS, Roberto (Coord.) et al. Manual para aplicação do RTQ-C. Pág. 85.

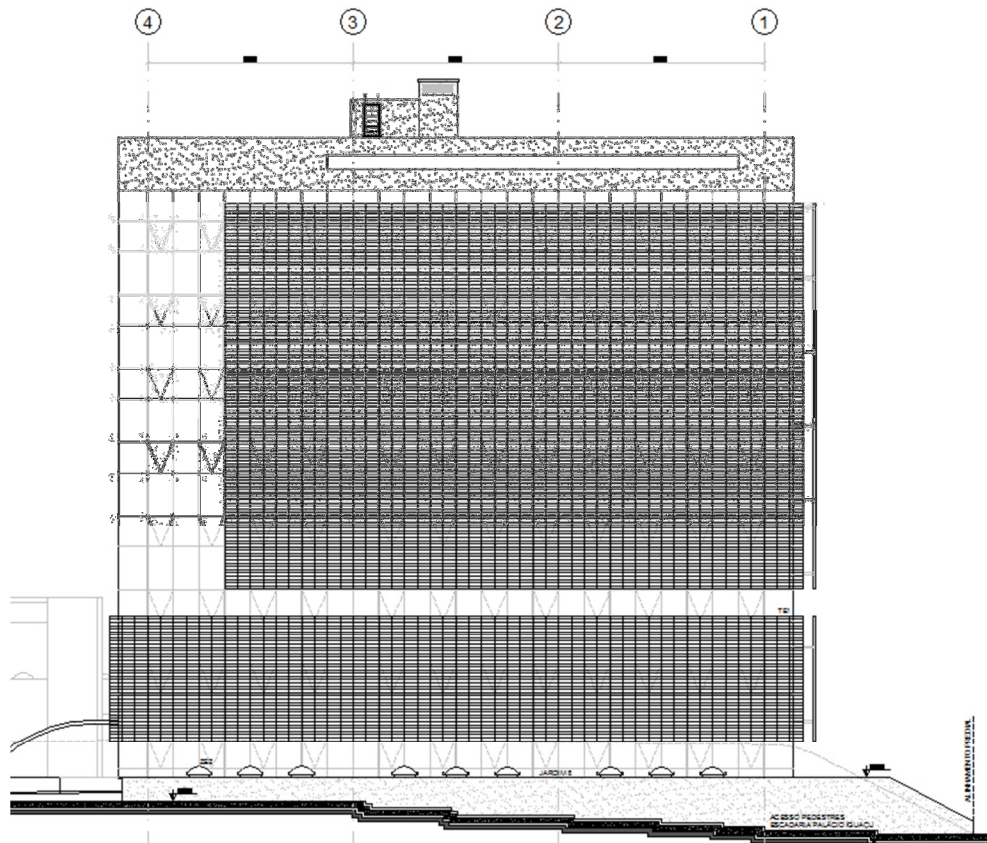


Figura 13 - Elevação 2. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).

Desta forma, a obtenção do Upar se dá pela média ponderada da transmitância de todos os componentes das fachadas e suas respectivas áreas.

A tabela 5 demonstra em resumo o resultado obtido.

Tabela 5 - Transmitância Térmica das Paredes Externas

Transmitância Térmica das Paredes Externas - Upar (W/m ² .K)			
Material	Área (m ²)	Transmitância (W/m ² .K)	Ponderação Transmitância Final
Vidro	907,20	5,06	1,30
Vidro +Concreto	2.272,00	0,18	
Tela Tensionada	683,07	0,00	

Fonte: Autor.

De acordo com a NBR 15220-2 ABNT (2005), a absorptância à radiação solar (α) corresponde ao quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Apesar de aparecer nas definições do manual RTQ-C a absorptância solar não é considerada

(não tem um índice limite) para a zona bioclimática 1. O intuito da inexistência do limite é aumentar os ganhos térmicos por radiação durante o inverno⁸.

3.3 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

A apresentação dos dados segue a sequência utilizada no Manual para aplicação do RTQ-C. Juntamente com as tabelas com os valores resultantes, serão apresentados desenhos, detalhes e esquemas para explicar graficamente a obtenção de todas as informações necessárias.

Um dos primeiros conceitos a serem entendidos é o de envoltória que, segundo o manual são os planos externos da edificação, compostos por fachadas, empenas, cobertura, brises, marquises, aberturas, assim como quaisquer elementos que os compõem.

Sendo assim, o subsolo do edifício que contém além da garagem um auditório com foyer, não foi utilizado na sequência dos dados numéricos.

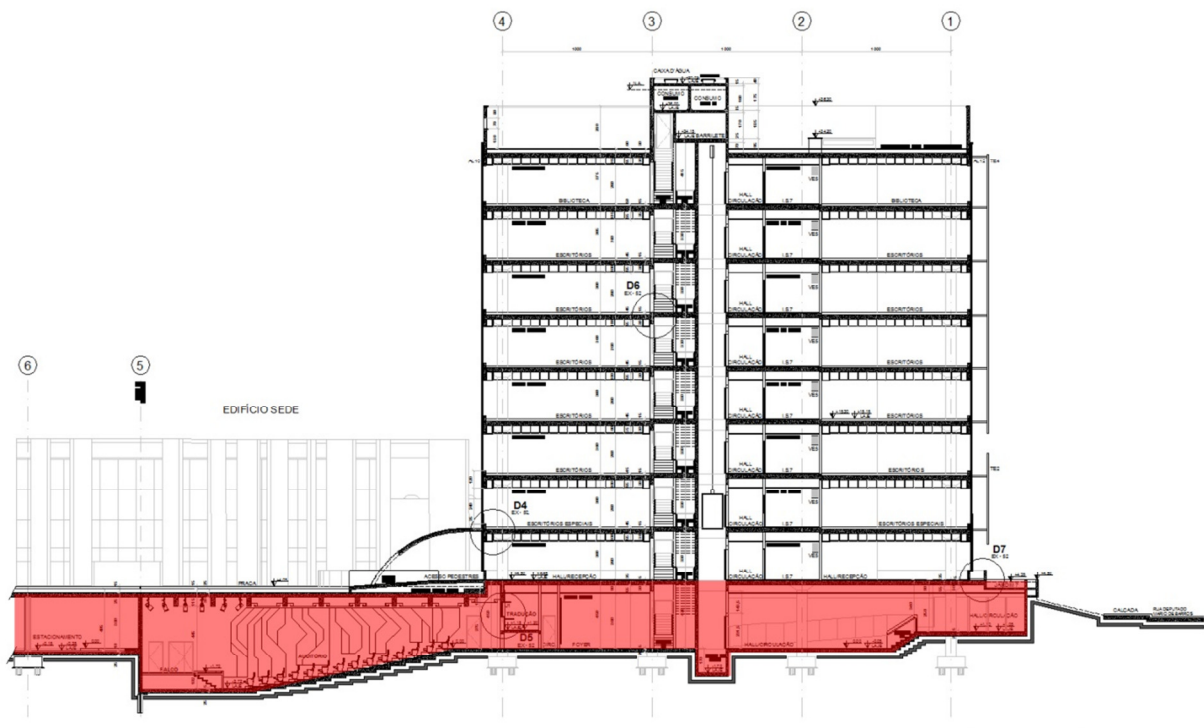


Figura 14: Corte do Edifício com subsolo não considerado nos cálculos em vermelho. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013). Elaboração: Autor.

⁸ LAMBERTS, Roberto (Coord.) et al. Manual para aplicação do RTQ-C. Pág. 87.

A tabela 6 apresenta os dados referentes às áreas do edifício. Sendo este composto de um volume regular, a área de projeção da cobertura (Apcob) e a área de projeção da edificação (Ape) são iguais. A área de projeção correspondente ao volume da caixa d'água não é considerada para o cálculo da área de projeção da edificação. Também apresenta a área útil (AU) ou a área disponível para a ocupação medida internamente, e a área total (Atot) que corresponde à soma das áreas de piso, medida externamente.

Tabela 6 - Áreas da Edificação

Área de projeção da cobertura - Apcob (m²)	Área de projeção do edifício - Ape (m²)	Área útil - AU (m²)	Área total da edificação - Atot (m²)
756,20	756,20	5.685,98	6.049,60

Fonte: Autor.

A tabela 7 mostra o volume total da edificação (Vtot) que, de acordo com o manual corresponde ao volume delimitado pelos fechamentos externos do edifício (fachadas e cobertura).

Tabela 7 - Volume total da Edificação

Volume total da edificação - Vtot (m³)
21.891,99

Fonte: Autor.

Antes da determinação da área da envoltória (Aenv) que é resultado da somatória das áreas das fachadas com a área da cobertura, é preciso definir a orientação de cada fachada. A figura 15 ilustra a posição do edifício com relação ao norte e a numeração de cada elevação.

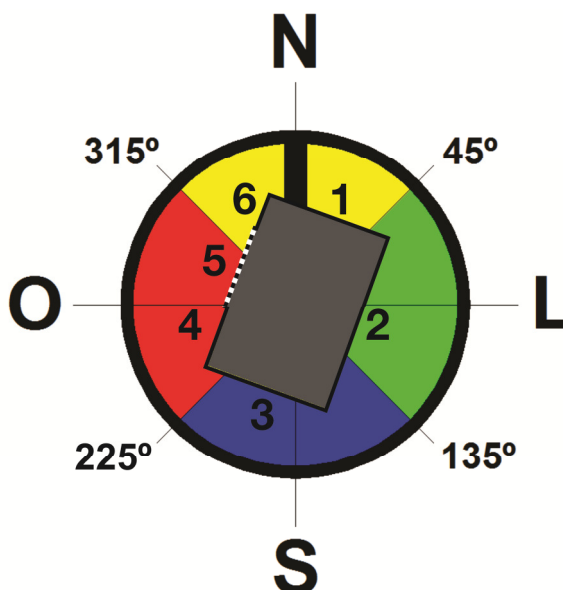


Figura 15 - Sobreposição do edifício em rosa dos ventos para definição da orientação de cada fachada.
Fonte: Autor.

A fachada 5 corresponde à transição do volume da ampliação em estudo ao edifício anexo. De acordo com o manual do RTQ-C a área desta fachada deve ser considerada no cálculo da transmitância térmica, entretanto não se considera a absorvância térmica da parede que se encontra encostada em outra edificação, pois não recebe radiação solar, e por isso não entrará no cálculo. Para o cálculo do Percentual de Área de Abertura na Fachada total (PAFt) esta área será considerada como superfície opaca, pois é área que delimita a edificação e não possui aberturas⁹.

A tabela 8 demonstra a área de cada fachada, bem como as áreas de vidro resultantes para a obtenção do PAF. Para a determinação da área translúcida de cada fachada, o cálculo computou as áreas que não são sobrepostas pela tela e posteriormente as áreas sobrepostas pela tela utilizando o percentual de abertura da mesma que, segundo o fabricante é de 28%.

⁹ LAMBERTS, Roberto (Coord.) et al. Manual para aplicação do RTQ-C. Pág. 97.

Tabela 8 - Dados das fachadas

Dados das fachadas						
Elevação	Orientação	Área total (m ²)	Área vidros sem tela (m ²)	Área vidros através da tela (28%) (m ²)	Área total vidros (m ²)	PAF (%)
1	Norte	652,70	91,80	77,86	169,66	25,99
2	Leste	939,00	124,20	113,40	237,60	25,30
3	Sul	652,70	388,80	0,00	388,80	59,57
4	Oeste	322,80	194,40	0,00	194,40	60,22
5	Oeste	431,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Norte	181,00	108,00	0,00	108,00	59,67
Fachadas (m²)		3.179,20			1.098,46	34,55

Fonte: Autor.

A tabela 9 apresenta em resumo o resultado da área da envoltória (Aenv).

Tabela 9 - Área da envoltória

Área da envoltória - Aenv (m ²)	
Fachadas	3.179,20
Cobertura	756,20
Aenv	3.935,40

Fonte: Autor.

A tabela 10 tem como resultado o percentual total de abertura (PAFt) das fachadas.

Tabela 10 - Percentual total de abertura das fachadas

Percentual Total de Abertura - PAFt (%)	
Área das fachadas (m ²)	3.179,20
Área translúcida (m ²)	1.098,46
PAFt	34,55

Fonte: Autor.

De acordo com o manual RTQ-C, para a equação, o PAFt corresponde a um valor médio representativo do percentual de aberturas de todas as fachadas. Para o uso deste valor, primeiramente deve-se realizar o cálculo do PAF para a fachada

oeste (PAFo). Se o PAFo for pelo menos 20% maior que o PAFT, deve-se adotar o PAFo na equação.¹⁰

Conforme demonstrado na tabela 11 o PAFo, que corresponde à média das duas fachadas oeste (fachada 4 e 5), resultou em 30,11% ou seja, 12,85% menor que o PAFT. Sendo assim o valor usado para a equação será o PAFT: 34,55%.

Tabela 11 - Porcentagem de de PAFo com relação à PAFT

Percentual de Abertura Total - PAFT e Percentual de Abertura Oeste - PAFo (%)	
PAFT	34,55
PAFo	30,11
PAFo superior a PAFT	-12,85

Fonte: Autor.

Os próximos resultados são para o Fator Altura (FA) e Fator Forma (FF) e seus índices são utilizados para o cálculo do índice de consumo da envoltória (ICenv). O Fator Altura compreende a razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (Apcob/Atot), com exceção dos subsolos. Já o Fator Forma corresponde à razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação (Aenv/Vtot).

Tabela 12 - Fator Altura e Fator Forma

Fator Altura - FA	
Apcob (m²)	756,20
Atot (m²)	6.049,60
FA	0,13

Fator Forma - FF	
Aenv (m²)	3.935,40
Vtot (m³)	21.891,99
FF	0,18

Fonte: Autor.

Com relação ao Fator Forma, o manual estabelece parâmetros máximos e mínimos e estabelece duas equações diferentes, para $A_{pe} < 500 \text{ m}^2$ e $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$

¹⁰ LAMBERTS, Roberto (Coord.) et al. Manual para aplicação do RTQ-C. Pág. 99.

que também estão relacionadas à zona bioclimática em que se encontra o objeto de estudo.

Tabela 13 - Fator de forma máximo e mínimo por zona bioclimática

Zona Bioclimática	$A_{pe} < 500m^2$ Fator de forma máximo	$A_{pe} > 500m^2$ Fator de forma mínimo
1	0,60	0,17
2 e 3	0,70	0,15
4 e 5	0,75	Livre
6 e 8	0,48	0,17
7	0,60	0,17

Fonte: LAMBERTS et al (2013).

Estando o edifício em Curitiba na zona bioclimática 1 e tendo mais de 500 m² de A_{pe}, o valor para FF a ser utilizado na equação será o resultante dos cálculos, 0,18, acima do mínimo estabelecido.

Os parâmetros das áreas translúcidas envolvem 3 especificações sendo eles o Fator Solar (FS) dos vidros utilizados, o ângulo vertical de sombreamento (AVS) e o ângulo horizontal de sombreamento (AHS). Devido à configuração do sistema de sombreamento ser paralela a fachada (Figura 16), o AVS e o AHS entram em uma exceção: Este sistema de proteção deve ser parte integrante do projeto do edifício e estar a uma distância do plano envidraçado inferior a uma vez a altura do maior vão da proteção. Neste caso, o ângulo de sombreamento não será considerado para o cálculo do AVS e AHS, aplicando-se zero na ponderação do ângulo de sombreamento¹¹.

O fator solar resultante corresponde ao vidro escolhido: Neutral 40 - 8mm, da linha SunGuard High Performance. (BRAZILGLASS, 2014).

¹¹ LAMBERTS, Roberto (Coord.) et al. Manual para aplicação do RTQ-C. Pág. 100.

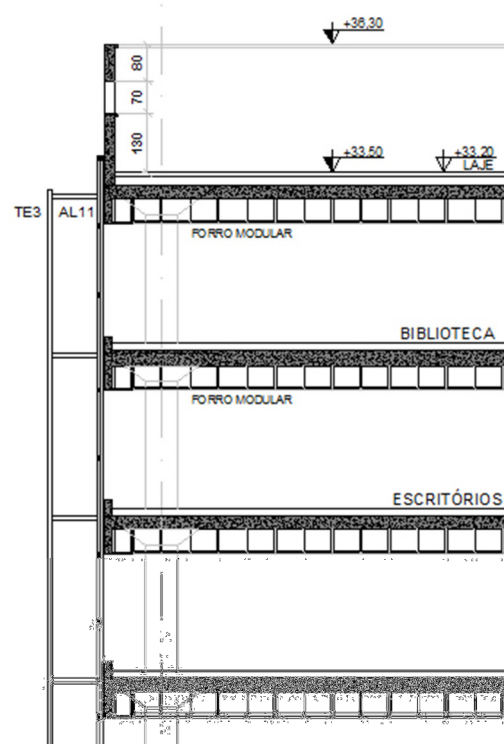


Figura 16 - Corte em detalhe demonstrando a distância da tela (TE3) ao plano de vidro (AL11). Os elementos horizontais entre eles são as hastes de sustentação. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013).

Tabela 14 - Parâmetros das áreas translúcidas

Fator Solar do Vidro - FS	Ângulo Vertical de Sombreamento - AVS	Ângulo Horizontal de Sombreamento - AHS
0,39	0,00	0,00

Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a coleta de todos os dados e a resolução das equações estabelecidas pelo manual RTQ-C, foi obtido o resultado final para o índice de eficiência energética da envoltória do edifício.

Para o cumprimento dos pré-requisitos da Zona Bioclimática 1, verificou-se que o projeto só pode atingir no máximo o nível B, de acordo com a tabela 15.

Tabela 15 - Pré-requisitos para Zona Bioclimática 1 e nível máximo atingido

Pré-requisitos para Zona Bioclimática 1					
Nível	Ucob - Amb. Cond. (W/m ² K)	Ucob Alcançado (W/m ² K)	Upar (W/m ² K)	Upar Alcançado (W/m ² K)	Nível máximo
A	0,50	0,55	1,00	1,30	B
B	1		2		
C e D	2		3,7		

Fonte: Autor.

Assim como na verificação dos pré-requisitos, para se saber qual o nível máximo pode ser atingido, o índice de consumo final também é obtido por comparação com valores obtidos por equações que utilizam dados fornecidos pelo manual.

A tabela 16 demonstra os limites para cada nível. Já a tabela 17 apresenta o valor final atingido para o índice de consumo, com as variantes do projeto.

Tabela 16 - Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim. IcenV Mín.	-	108,86	114,21	119,57	124,92
Lim. IcenV Máx.	108,85	114,20	119,56	124,91	-

Fonte: Autor.

Tabela 17 - Índice de consumo da envoltória

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAFt	0,35	0,60	0,05	
FS	0,39	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
IcenV	115,38	124,91	103,50	5,35

Fonte: Autor.

Sendo o resultado de 115,38 maior que 114,21 e menor que 119,56, o Nível de Eficiência Energética obtido pelo projeto é o **Nível C**.

Como parte do entendimento da função da tela tensionada enquanto elemento de sombreamento da fachada, a seguir serão apresentadas simulações que tem por objetivo estabelecer comparações com o projeto original.

4.1 SIMULAÇÃO 1: ADIÇÃO DA TELA NAS FACHADAS 4 E 6

Para esta simulação, propõe-se o uso da tela tensionada em 100% das fachadas 4 e 6, diferentemente das outras fachadas que já possuem a tela, porém não em sua totalidade.

A figura 17 ilustra em vermelho as fachadas que já possuem a tela e a adição do elemento de sombreamento em verde nas fachadas sugeridas.

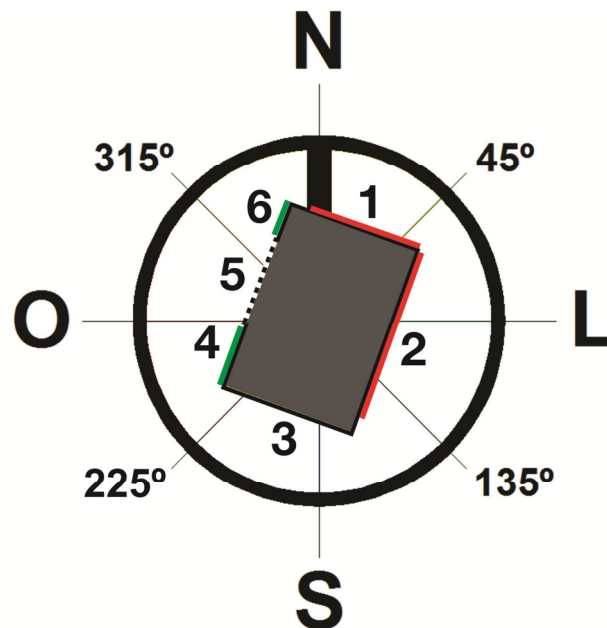


Figura 17 - Simulação 1: Adição Da Tela Nas Fachadas 4 E 6. Fonte: Autor.

A adição da tela na fachada 4 propõe-se a proteger o edifício da insolação ao final do dia, na orientação oeste. Já o uso da tela na fachada 6 tem por objetivo proteger o edifício da orientação de maior insolação, a orientação norte.

Como resultado da alteração sugerida, a porcentagem de abertura total das fachadas antes com 35% cai para 28%.

A tabela 18 apresenta o índice final obtido (112,75) que, em comparação com a mesma tabela 16 utilizada anteriormente, o nível final resultante foi **B**.

Entende-se que aumentando a proteção das fachadas, antes expostas, é possível aumentar o nível de eficiência energética do edifício.

Tabela 18 - Simulação 1: Adição da tela nas fachadas 4 e 6

Variável	Projeto	IC _{máxD}	IC _{mín}	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAFt	0,28	0,60	0,05	
FS	0,39	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
IC _{enV}	112,75	124,91	103,50	5,35

Fonte: Autor.

4.2 SIMULAÇÃO 2: TELA TENSIONADA COM 10% DE ABERTURA

A simulação 2 tem por objetivo utilizar o mesmo projeto e as mesmas dimensões da tela, porém a alteração se dá na porcentagem de abertura da mesma. No projeto original a porcentagem de abertura da tela é de 28% e para esta simulação propõe-se uma abertura de 10%.

Por padrão o fornecedor não disponibiliza o material com 10% de abertura, sendo então um projeto especial. A figura 18 apresenta uma simulação computadorizada da tela proposta.

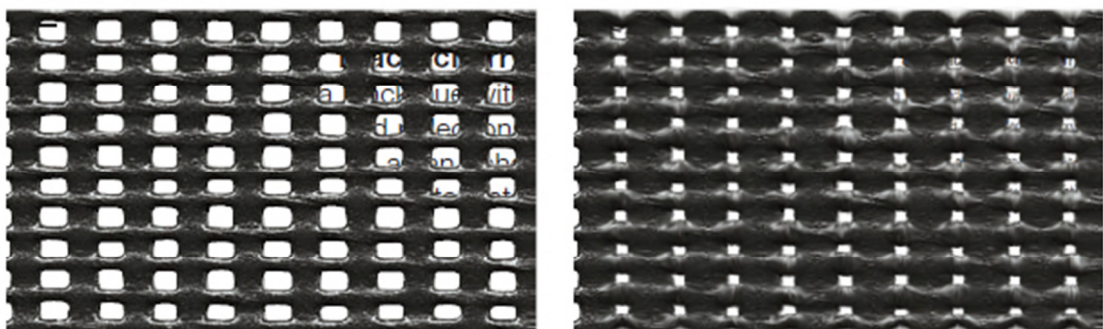


Figura 18 - Tela com 28% de abertura a esquerda e simulação com 10% de abertura à direita. Fonte: FERRARI (2013). Adaptação: Autor.

Da mesma maneira que a simulação 1, esta diminui a porcentagem de abertura das fachadas. A tabela 19 apresenta o resultado do índice obtido que se enquadra no nível **B**.

Tabela 19 - Simulação 2: Tela tensionada com 10% de abertura

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAFt	0,31	0,60	0,05	
FS	0,39	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
IcenV	113,89	124,91	103,50	

Fonte: Autor.

Apesar de o nível atingido ser melhor que do projeto original, as fachadas 4 e 6 ainda continuam desprotegidas e o nível de iluminação natural através das telas pode ser afetado, o que pode contribuir negativamente para a produção do escritório.

4.3 SIMULAÇÃO 3: PROJETO SEM SISTEMA DE SOMBREAMENTO

Para se entender a influência da tela tensionada na eficiência energética do edifício, a simulação 3 tem por objetivo analisar o projeto totalmente sem a tela tensionada. Como variação dos cálculos, a porcentagem de abertura das fachadas sobe para 50%.

Após os cálculos, o resultado obtido e demonstrado na tabela 20 foi de 121,32 para o índice de consumo, o que representa a eficiência no nível **D**.

Tabela 20 - Simulação 3: Projeto sem sistema de sombreamento

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAFt	0,50	0,60	0,05	
FS	0,39	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
IcenV	121,32	124,91	103,50	

Fonte: Autor.

Apesar do resultado da simulação sem a tela não ser o mais baixo da escala de níveis, este representou o nível de menor eficiência de todas as simulações.

A tabela 21 apresenta um resumo de todas as simulações juntamente com o projeto original.

Tabela 21 - Resumo dos níveis de eficiência alcançados

Quadro Resumo				
	Projeto Original	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Nível de Eficiência	C	B	B	D

Fonte: Autor.

De fato, através dos cálculos foi possível compreender a importância do sistema de sombreamento proposto pelos arquitetos e projetistas para se atingir melhores níveis de eficiência energética. Porém, o nível atingido pelo projeto original encontra-se distante da excelência que pode se obter utilizando o método RTQ-C, representada pelo alcance do nível A. O próximo subcapítulo procura trazer possíveis soluções para que tal nível possa ser alcançado, o que pode ser traduzido na busca da melhor eficiência para o desempenho energético da envoltória.

4.4 ALTERAÇÕES NO PROJETO PARA SE ATINGIR O NÍVEL A

Conforme visto anteriormente, o primeiro passo antes de se encontrar o índice de consumo energético da envoltória é saber se o projeto cumpre os pré-requisitos para determinada zona Bioclimática. Utilizando os mesmos parâmetros pré-definidos para a zona Bioclimática 1, as primeiras sugestões de alteração no projeto são com relação à transmitância térmica da cobertura e das paredes externas.

O valor de transmitância térmica da cobertura para ambientes condicionados para o nível A é de 0,5 W/m²K. Para se alcançar tal índice, propõe-se a adição de uma camada de 10 mm de isolante térmico EPS ou Poliestireno Expandido. Com a adição desta camada atinge-se o índice pretendido, com o resultado de 0,48 W/m²K.

Tabela 22 - Resistência térmica da cobertura com material isolante adicionado

Resistência Térmica da Cobertura - R_{cob} (m².K/W) - Com alterações				
Camada	Descrição	Espessura (m)	Condutividade Térmica λ ((W / (m.K))	Rt ((m².K/W))
R_{se}	Superfície Externa	-----	-----	0,040
R_{t1}	Concreto Celular Autoclavado - Concreto Leve	0,085	0,170	0,500
R_{t2}	Camada de ar não ventilada	0,145	-----	0,210
R_{t3}	Argamassa comum - proteção mecânica + regularização	0,060	1,150	0,052
R_{t4}	Impermeabilizante - Membrana Betuminosa	0,010	0,230	0,043
R_{t5}	EPS - Poliestireno Expandido	0,010	0,040	0,250
R_{t6}	Concreto com Agregados de Pedra	0,300	1,750	0,171
R_{t7}	Camara de ar não ventilada - Entreforro	0,520	-----	0,210
R_{t8}	Forro - Poliestireno Expandido Moldado	0,020	0,040	0,500
R_{si}	Superfície Interna	-----	-----	0,100
Resistência Térmica da Cobertura - R_{cob} (m².K/W)				2,077

Transmitância Térmica da Cobertura - U_{cob} (W/m².K) - Com alterações	0,48
--	-------------

Fonte: Autor.

Para o valor da transmitância térmica das paredes externas é preciso atingir o valor 1,0 W/m²K. Para se alcançar o índice, é proposto a substituição dos vidros de 8 mm com 5,06 W/m²K para outro com 2,8 W/m²K, que é composto de vidro de controle solar (6mm) + Ar seco (12mm) + Vidro Laminado incolor (6mm). Utilizando o mesmo método de ponderação para o cálculo no projeto original, tem-se que a nova transmitância atingida é 0,84 W/m²K.

Tabela 23 - Transmitância térmica das paredes externas com vidro alterado

Transmitância Térmica das Paredes Externas - Upar (W/m ² .K) - Com Alterações			
Material	Área (m ²)	Trânsmitância (W/m ² .K)	Ponderação Transmitância Final
Vidro	907,20	2,80	0,84
Vidro +Concreto	2.272,00	0,31	
Tela Tensionada	683,07	0,00	

Fonte: Autor.

Com relação ao índice de Consumo, foi utilizada a ferramenta “Atingir Meta” do programa Microsoft Excel onde, colocando o valor máximo do nível A, 108,85, e tendo como variante a porcentagem de abertura das fachadas, têm-se que para se atingir tal objetivo, o valor do PAFt deve ser 0,1726. Em outras palavras, o máximo de abertura translúcida que o edifício deve ter para obter o nível A de eficiência é de 17,26%.

Tabela 24 - Alteração de PAFt para obtenção do nível A

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAFt	0,1726	0,60	0,05	
FS	0,29	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
IcenV	108,85	124,91	103,50	

Fonte: Autor.

Em termos de projeto, a busca pelo PAFt menor ou igual 17% se concentrou na alteração da porcentagem de abertura de todas as fachadas, menos na fachada 3, por ter orientação sul onde é preciso propiciar maior captação de calor na fachada menos favorecida no inverno, e na fachada 5 pois é a transição com o outro edifício.

Para a fachada 1 e 2, sugere-se o uso de tela com abertura de 10% cobrindo a totalidade dos panos de vidro. Para as fachadas 4 e 6, sugere-se o uso de empenas cegas, sem aberturas. A tabela 25 demonstra os dados das propostas onde o PAFt alcança 17,24.

A figura 19 apresenta uma simulação comparando a elevação 1 original e a resultante da sugestão para se atingir o nível A de eficiência da envoltória.

Tabela 25 - Sugestão de alterações das fachadas para se atingir o nível A

Dados das fachadas - Sugestão de Alterações						
Elevação	Orientação	Área total (m ²)	Área vidros sem tela (m ²)	Área vidros através da tela (10%) (m ²)	Área total vidros (m ²)	PAF (%)
1	Norte	652,70	0,00	65,27	65,27	10,00
2	Leste	939,00	0,00	93,90	93,90	10,00
3	Sul	652,70	388,80	0,00	388,80	59,57
4	Oeste	322,80	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Oeste	431,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Norte	181,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fachadas (m²)		3.179,20			547,97	17,24

Fonte: Autor.

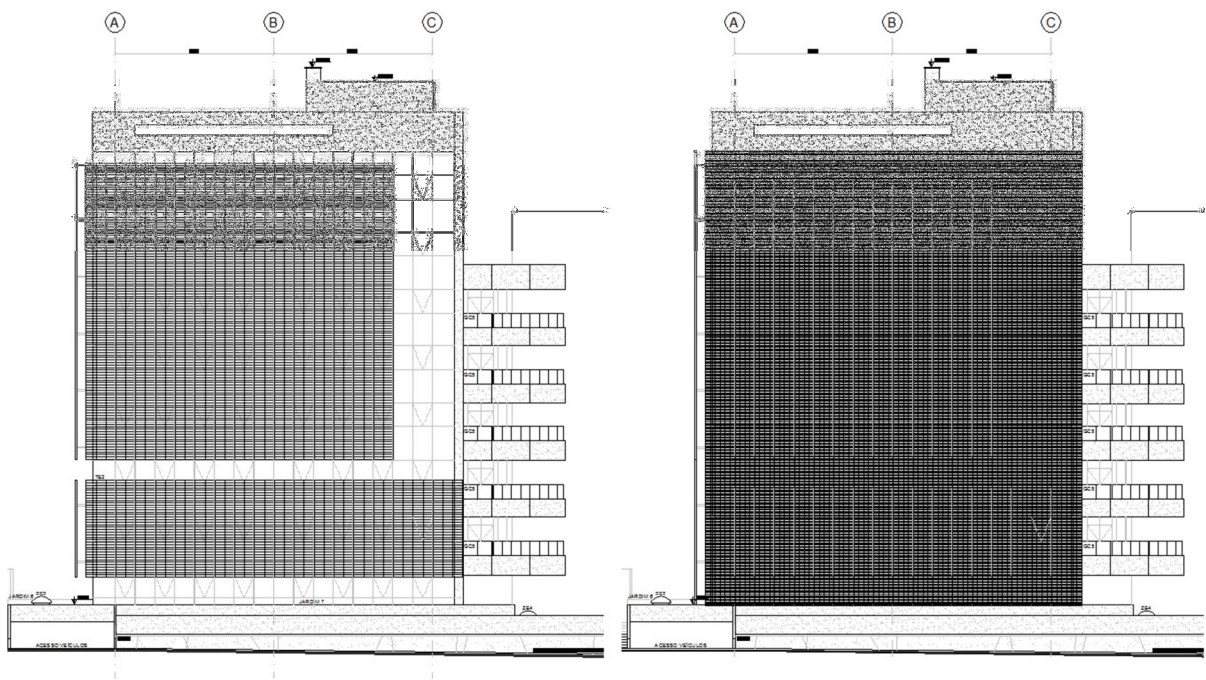


Figura 19 - Comparação entre projeto original e projeto sugerido para alcance do nível A. Fonte: Roberto Gandolfi Arquitetura (2013). Simulação: Autor.

As sugestões de projeto estabeleceram modificações referentes ao PAFt pois estão diretamente relacionadas ao uso das telas tensionadas. Entende-se necessário em uma rotina de projeto, após a análise dos dados obtidos pela proposta original, o estudo das outras variantes como o fator forma e a altura do

edifício, com o intuito de se encontrar o melhor equilíbrio entre técnica, função, plástica e eficiência energética.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo avaliou o nível de eficiência energética da envoltória da Ampliação do Edifício Anexo do Tribunal de Contas do Paraná utilizando a metodologia conhecida como RTQ-C (Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos). Também foram realizadas simulações que tiveram como objetivo entender a influência do sistema de sombreamento de fachadas adotado no projeto na obtenção dos índices de eficiência.

Concluiu-se que a porcentagem de aberturas ou áreas translúcidas no edifício influenciam de maneira significativa os resultados, e que a tela tensionada responde positivamente aos propósitos de alcance de níveis de eficiência. Dos cinco níveis, a tela esteve presente em resultados que obtiveram os 3 níveis superiores (A, B e C). Somente na simulação sem a presença da tela se obteve o nível D, o mais baixo das simulações.

Entende-se que o aprimoramento do seu estudo formal pode alcançar maiores níveis de eficiência, porém, sugere-se aos projetistas e arquitetos que este aprofundamento técnico não interfira negativamente em outros fatores arquitetônicos, como a função estabelecida ao edifício e seus respectivos índices de iluminação natural e a plástica desejada, que expressa o caráter proposto para a obra arquitetônica.

Demonstra-se também que o estudo de materiais influencia os resultados, como no caso do alcance dos pré-requisitos a serem atendidos antes da análise. Desta forma, se reconhece a importância da compreensão do conceito da envoltória, que não relaciona apenas as fachadas do edifício mas também sua cobertura.

Coloca-se como oportuno a investigação e a realização de análises nas outras áreas propostas pelo RTQ-C, como estudo da eficiência do condicionamento de ar e do projeto luminotécnico.

A introdução de novos materiais e tecnologias no mercado da construção civil e na arquitetura traz resultados positivos desde que suas funções técnicas possam ser comprovadas através de análises e/ou testes. Desse modo, destaca-se a importância da relação do meio acadêmico com o profissional, tendo como um dos

objetivos globais a geração de melhores condições para o pleno suporte das atuais e futuras gerações.

Sendo a engenharia civil, a arquitetura e o urbanismo grandes interventores do espaço e consumidores de energia em suas realizações, entende-se que o papel do arquiteto, do engenheiro e dos demais projetistas das áreas relacionadas sobressai às cadeiras aplicadas e exatas das áreas de conhecimento, a partir do momento em que se coloca a figura do homem e da conservação da natureza como aspectos fundamentais e indispensáveis para a realização de qualquer trabalho seja acadêmico ou profissional.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Soluções para sombreamento de fachadas.** Disponível em: http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/solucoes-para-sombreamento-de-fachadas_2871. Acesso em: 25 de Janeiro de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02: 135.07-001/2. Projeto de normalização em conforto ambiental. Parte 2 - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02: 135.07-001/3. Projeto de normalização em conforto ambiental. Parte 3 – Norma de zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2003.

BRAZILGLASS. **Vidros laminados de controle solar.** Disponível em: http://www.brazilglass.com.br/v_laminado_c_solar.html Acesso em: 07 de Março de 2014.

CEOTTO, Luiz Henrique. **Empreendimentos Sustentáveis x Empresas Sustentáveis.** SBCS 08 – I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável. São Paulo, 2008.

CHING, Francis D. K. **Técnicas de construção ilustradas.** 4ª ed. Ed. Bookman. 2010.

CORREA, Celina Britto. **Arquitetura Bioclimática – Adequação do Projeto de Arquitetura ao Meio Ambiente Natural.** Pelotas, 2002. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/02.004/1590>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2014.

DZIURA, Giselle Luzia. **Três Tradadistas Da Arquitetura E A Ênfase No Uso Do Espaço.** Da Vinci, v. 3, n. 1, p. 19-36. Curitiba, 2006.

ELETROBRAS, Centrais Elétricas Brasileiras. **Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Edificações – Apresentação.** Disponível em: <http://www.eletronbras.com/elb/main.asp?TeamID={A8468F2A-5813-4D4B-953A-1F2A5DAC9B55}>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2014.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2013: Ano Base 2012.** Empresa de Pesquisa Energética - EPE, Rio de Janeiro, 2013.

FERRARI, Serge. **STAMISOL ® FT381.** Disponível em: <http://www.archiproducts.com/pt/produtos/24672/stamisol-ft-rede-estirada-para->

[revestimento-de-fachada-stamisol-ft381-serge-ferrari.html](http://www.sergeferrari.com/bioclimate-facade/stamisol-a-full-range-of-membranes-for-bioclimate-facades/). Acesso em: 25 de Janeiro de 2014.

FERRARI, Serge. **Stamisol: a full range of membranes for bioclimatic facades**. Disponível em: <http://en.sergeferrari.com/bioclimate-facade/stamisol-a-full-range-of-membranes-for-bioclimate-facades/>. Acesso em: 02 de Novembro de 2013.

Hunter Douglas. **Telas Metálicas – GKD**. Disponível em: <http://www.hunterdouglas.cl/ap/br/linea/revestimento-externo/telas-metalicas-gkd/cq-gkd>. Acesso em: 04 de Fevereiro de 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Anexo da portaria INMETRO Nº 50/ 2013. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/AnexoVRAC_CatalogoPropriedadesTermicas%20v03SET2013.pdf. Acesso em: 26 de Fevereiro de 2014.

LAMBERTS, Roberto (Coord.) et al. **Manual para aplicação do RTQ-C**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – CB3e – UFSC. Florianópolis, 2013.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e Stress Térmico**. Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Ed. PW, São Paulo, 1997.

PÁDUA, J.A. **Produção, Consumo e Sustentabilidade: O Brasil no Contexto Planetário**. Cadernos de Debate do Projeto Brasil Sustentável e Democrático, n. 6. Ed. Fase. Rio de Janeiro, 1999.

PALHINHA, Milene Silva de Jesus. **Sistemas De Sombreamento Em Arquitectura: Proposta De Um Novo Método De Conceção**. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em: Arquitectura. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2009.

PEREIRA, Décio. **A Pesquisa e suas aplicações**. Ceplan – Centro de Ensino do Planalto Norte. São Bento do Sul, 2010. Disponível em: http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/delcio/materiais/Classifica_Pesquisa.pdf. Acesso em: 14 de Março de 2014.

PROCEL, Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética nas Edificações**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>. Acesso em: 21 de Janeiro de 2014.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia De Análise Do Ciclo De Vida Energético De Edificações Residenciais Brasileiras**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Tese para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil. Florianópolis, 2006.

TELLO, Rafael; RIBEIRO, Fabiana Batista. **Guia CBIC de Boas Práticas em Sustentabilidade na Indústria da Construção**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção; Serviço Social da Indústria; Nova Lima: Fundação Dom Cabral, Brasília, 2012.

TUAN, Yi-fu. **Espaço e Lugar: a perspectiva da experiência**. São Paulo: Difel, 1983.

ZBBR 1.1 - ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO BRASIL. **Classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, conforme a ABNT NBR 15220-3, de 29/04/2005**. São Carlos - SP, 2004.

ZEVI, Bruno. **Saber Ver a Arquitetura**. 1918. Tradução: Maria Isabel Gaspar, Gaëtan Martins de Oliveira. 5ª ed. Ed. Martins Fontes, São Paulo, 1996.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Planilhas de cálculos

PROJETO ORIGINAL

AU (m ²)	
Térreo	681,26
2º Pav.	714,96
Pav. Tipo (x4)	2.859,84
7º Pav.	714,96
8º Pav.	714,96
AU	5.685,98

Atot (m ²)	
Térreo	756,20
2º Pav.	756,20
Pav. Tipo (x4)	3.024,80
7º Pav.	756,20
8º Pav.	756,20
Atot	6.049,60

Vtot (m ³)	
Apcob (m²)	756,20
Altura (m)	28,95
Vtot (m³)	21.891,99

Dados das fachadas						
Elevação	Orientação	Área total (m ²)	Área vidros sem tela(m ²)	Área vidros através da tela (28%) (m ²)	Área total vidros (m ²)	PAF (%)
1	Norte	652,70	91,80	77,86	169,66	25,99
2	Leste	939,00	124,20	113,40	237,60	25,30
3	Sul	652,70	388,80	0,00	388,80	59,57
4	Oeste	322,80	194,40	0,00	194,40	60,22
5	Oeste	431,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Norte	181,00	108,00	0,00	108,00	59,67
Fachadas (m²)		3.179,20			1.098,46	34,55

Fator Altura - FA	
Apcob (m²)	756,20
Atot (m²)	6.049,60
FA	0,13

Fator Forma - FF	
Aenv (m²)	3.935,40
Vtot (m³)	21.891,99
FF	0,18

Vidro Sun Guard High Performance - Neutral 40 - 8 mm

FS	
Propriedades do vidro	
Transmitância Térmica	5,06 W / (m ² .K)
Transmitância a radiação solar	37%
Absortância solar	51%
Resistência superficial externa	0,04 (m ² .K)/W
FS	0,39

Área de projeção da cobertura - Apcob (m²)	Área de projeção do edifício - Ape (m²)	Área útil - AU (m²)	Área total da edificação - Atot (m²)
756,20	756,20	5.685,98	6.049,60

Volume total da edificação - Vtot (m³)
21.891,99

Área da envoltória - Aenv (m²)	
Fachadas	3.179,20
Cobertura	756,20
Aenv	3.935,40

Percentual de Abertura - PAF (%)	
Área das fachadas (m ²)	3.179,20
Área translúcida (m ²)	1.098,46
PAF	34,55

Percentual de Abertura Total - PAFt e Percentual de Abertura Oeste - PAFo (%)	
PAFt	34,55
PAFo	30,11
PAFo superior a PAFt	-12,85

Equação ICenv – Zona Bioclimática 1 – Curitiba/PR

Ape >500 m²

Limite: Fator de forma mínimo (A_{env}/V_{tot}) = 0,17

$$IC_{env} = 10,47.FA + 29874.FF + 38,41.PAF_T - 1,11.FS - 0,11.AVS + 0,24.AHS - 0,54.PAF_T.AHS + 47,53$$

Eq. 3.4

Cálculo do ICenv

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAFt	0,35	0,60	0,05	
FS	0,39	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
IcenV	115,38	124,91	103,50	

Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim. IcenV Mín.	-	108,86	114,21	119,57	124,92
Lim. IcenV Máx.	108,85	114,20	119,56	124,91	-

Resultado: Eficiência C

Simulação 1: Adição da Tela nas Fachadas 4 e 6

Dados das fachadas						
Elevação	Orientação	Área total (m ²)	Área vidros sem tela(m ²)	Área vidros através da tela (28%) (m ²)	Área total vidros (m ²)	PAF (%)
1	Norte	652,70	91,80	77,86	169,66	25,99
2	Leste	939,00	124,20	113,40	237,60	25,30
3	Sul	652,70	388,80	0,00	388,80	59,57

4	Oeste	322,80	0,00	54,43	54,43	16,86
5	Oeste	431,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Norte	181,00	0,00	30,24	30,24	16,71
Fachadas (m²)		3.179,20			880,73	27,70

Cálculo do ICenv

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAFt	0,28	0,60	0,05	
FS	0,39	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
Icenv	112,75	124,91	103,50	5,35

Resultado: Eficiência B

Simulação 2: Tela Tensionada com 10% de abertura

Dados das fachadas						
Elevação	Orientação	Área total (m²)	Área vidros sem tela(m²)	Área vidros através da tela (10%) (m²)	Área total vidros (m²)	PAF (%)
1	Norte	652,70	91,80	27,81	119,61	18,33
2	Leste	939,00	124,20	40,50	164,70	17,54
3	Sul	652,70	388,80	0,00	388,80	59,57
4	Oeste	322,80	194,40	0,00	194,40	60,22
5	Oeste	431,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Norte	181,00	108,00	0,00	108,00	59,67
Fachadas (m²)		3.179,20			975,51	30,68

Cálculo do ICenv

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAFt	0,31	0,60	0,05	
FS	0,39	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
Icenv	113,89	124,91	103,50	5,35

Resultado: Eficiência B

Simulação 3: Projeto sem sistema de sombreamento

Dados das fachadas						
Elevação	Orientação	Área total (m ²)	Área vidros sem tela(m ²)	Área vidros através da tela (100%) (m ²)	Área total vidros (m ²)	PAF (%)
1	Norte	652,70	91,80	278,10	369,90	56,67
2	Leste	939,00	124,20	405,00	529,20	56,36
3	Sul	652,70	388,80	0,00	388,80	59,57
4	Oeste	322,80	194,40	0,00	194,40	60,22
5	Oeste	431,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Norte	181,00	108,00	0,00	108,00	59,67
Fachadas (m²)		3.179,20			1.590,30	50,02

Cálculo do I_{GenV}

Variável	Projeto	IC _{máxD}	I _{cmín}	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAF _t	0,50	0,60	0,05	
FS	0,39	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
I _{cenV}	121,32	124,91	103,50	

Resultado: Eficiência D

Alterações no projeto para se atingir o nível A

Vidro de controle solar (6mm) + Ar seco (12mm) + Vidro Laminado incolor (6mm)

FS	
Propriedades do vidro	
Transmitância Térmica	2,80 W / (m ² .K)
Transmitância a radiação solar	37%
Absortância solar	51%
Resistência superficial externa	0,04 (m ² .K)/W
FS	0,29

Dados das fachadas - Sugestões de Alteração						
Elevação	Orientação	Área total (m ²)	Área vidros sem tela(m ²)	Área vidros através da tela (10%) (m ²)	Área total vidros (m ²)	PAF (%)
1	Norte	652,70	0,00	65,27	65,27	10,00
2	Leste	939,00	0,00	93,90	93,90	10,00
3	Sul	652,70	388,80	0,00	388,80	59,57
4	Oeste	322,80	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Oeste	431,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Norte	181,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fachadas (m²)		3.179,20			547,97	17,24

Cálculo do ICenv

Variável	Projeto	ICmáxD	Icmín	Intervalo i
FA	0,13	0,13	0,13	
FF	0,18	0,18	0,18	
PAFt	0,17	0,60	0,05	
FS	0,29	0,61	0,87	
AVS	0,00	0,00	0,00	
AHS	0,00	0,00	0,00	
Icenv	108,84	124,91	103,50	5,35

Resultado: Eficiência A