

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Tatiane da Silva Moro

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONTAINER**

Panambi, RS
2017

Tatiane da Silva Moro

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONTAINER**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do Título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

Orientadora: Prof^a Dr^a. Ísis Portolan dos Santos

Panambi, RS
2017

Tatiane da Silva Moro

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONTAINER**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EaD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do Título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

Aprovado em 28 de julho de 2017:

Orientadora - Ísis Portolan dos Santos, Dr^a. (UFSM)

Co-orientador - Cristiano José Scheuer, Dr. (UFSM)

1º Avaliador - Claudio Roberto Losekann, Dr. (UFSM)

2º Avaliador - Ademar Michels, Dr. (UFSM)

Suplente - Geomar Machado Martins, Dr. (UFSM)

Panambi, RS
2017

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Tania e Luiz Moro, por todo o amor e apoio ao longo de minha vida. Mãe, teu cuidado e dedicação foi essencial para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao meu esposo Claudio Roberto Militz, pelo amor, companheirismo e pela capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre.

À minha irmã Juliana Moro, pelo apoio, carinho e por sempre acreditar em mim.

As minhas sócias Raquel Mansilha e Fernanda Dallasta, pela compreensão e confiança que alcançaria meus objetivos.

Ao professor Eduardo Grala da Cunha e Edson Mansilha, empresário do ramo de energia elétrica e minha orientadora Isis Portolan dos Santos pelos ensinamentos.

RESUMO

ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CONFORTO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO EM CONTAINER

AUTORA: Tatiane da Silva Moro
ORIENTADORA: Ísis Portolan dos Santos

A utilização de containers é uma forma de agilizar a construção civil e evitar os desperdícios. Dentro deste conceito, este trabalho objetiva analisar os parâmetros de uma edificação em container localizada na cidade de Santa Maria, RS, bem como apresentar novas soluções em construções sustentáveis por meio do reaproveitamento destes recipientes de carga, além de simular o desempenho térmico e energético desta nova forma de habitação. A pesquisa parte de uma edificação existente, onde são elencadas novas características para a mesma, com a finalidade de comparar o conforto térmico e energético para o mês de janeiro, devido este período apresentar um maior índice de desconforto e maior consumo energético quando comparado ao restante do ano. Para isso, foi realizado um levantamento “in loco” na edificação, observando as dimensões, iluminação e equipamentos, além de entrevista com o proprietário. Os dados foram simulados no *software* Domus – Eletrobrás e após as modificações dos parâmetros da edificação, foram realizadas simulações individualmente de todas as novas características. Em seguida, as simulações dos dados foram analisadas e comparadas com a edificação existente a fim de verificar se essas contribuíram para o conforto térmico e a redução do consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Conforto térmico. Consumo de energia elétrica. Container. Simulação computacional. Sustentabilidade.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF COMFORT AND ENERGY EFFICIENCY OF A BUILDING IN CONTAINER

AUTHOR: Tatiane Da Silva Moro
ADVISOR: Ísis Portolan Dos Santos

The use of containers is a way to streamline construction and avoid waste. Within this concept, this work aims to analyze the parameters of a container building located in the city of Santa Maria, RS, as well as to present new solutions in sustainable constructions through the reuse of these cargo containers, besides simulating the thermal and energy performance of this container New form of housing. The research starts from an existing building where new characteristics are listed for the purpose of comparing the thermal and energetic comfort for the month of January, due to the fact that this period presents a higher index of discomfort and higher energy consumption when compared to the rest of the year. For this, a survey was carried out "in loco" in the building, observing the dimensions, lighting and equipment, in addition to an interview with the owner. The data were simulated in the software Domus - Eletrobrás and after the modifications of the building parameters, individual simulations of all the new characteristics were performed. Next, the data simulations were analyzed and compared with the existing building in order to verify if these contributed to the comfort and the reduction of the electric energy consumption.

Keywords: Thermal Comfort. Energy consumption. Container. Computer simulation. Sustainability.

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e os modelos modificados com relação as paredes | 32 |
| Gráfico 2 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e os modelos modificados com relação às coberturas | 33 |
| Gráfico 3 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e os modelos modificados com relação aos vidros | 34 |
| Gráfico 4 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e os modelos modificados com relação às cores | 35 |
| Gráfico 5 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e modelo modificado proteção solar..... | 36 |
| Gráfico 6 - Comparação das horas de conforto tentre a edificação existente o modelo otimizado | 37 |
| Gráfico 7 - Comparação das paredes | 38 |
| Gráfico 8 - Comparação da cobertura. | 39 |
| Gráfico 9 - Comparação dos vidros..... | 40 |
| Gráfico 10 - Comparação das cores..... | 40 |
| Gráfico 11 - Comparação da proteção solar..... | 41 |
| Gráfico 12 - Comparação dos modelos | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Medidas externas dos containers..... | 11 |
| Tabela 2 - Limites das zonas de conforto conforme ISO 7730/2005 | 13 |
| Tabela 3 - Síntese das exigências para transmitância térmica de paredes externas os diferentes níveis..... | 15 |
| Tabela 4 - Síntese das exigências para transmitância térmica de cobertura para os diferentes níveis de eficiência e Zonas Bioclimáticas..... | 16 |
| Tabela 5 - Configuração dos modelos..... | 18 |
| Tabela 6 - Ganhos internos com iluminação | 25 |
| Tabela 7 - Ganhos internos com equipamentos..... | 25 |
| Tabela 8 - Ganhos internos por pessoas..... | 26 |
| Tabela 9 - Configuração dos modelos..... | 27 |
| Tabela 10 - Transmitância térmica das paredes e cobertura do container | 30 |
| Tabela 11 - Absorbância das paredes e coberturas | 30 |
| Tabela 12 - Resultados de conforto térmico para o mês de janeiro..... | 37 |
| Tabela 13 - Resultados do consumo de energia para o mês de janeiro | 42 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Gráfico PMV e PPD | 12 |
| Figura 2 - Zona Bioclimática..... | 21 |
| Figura 3 - Imagem da edificação | 22 |
| Figura 4 - Imagem da edificação | 22 |
| Figura 5 - Planta de Situação da edificação | 23 |
| Figura 6 - Revestimentos do container..... | 23 |
| Figura 7 - Divisão das zonas térmicas | 24 |
| Figura 8 - Etiqueta RTQ-C para o modelo existente, com envoltória C. | 50 |
| Figura 9 - Etiqueta RTQ-C para o modelo otimizado, com envoltória A..... | 51 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------------|--|
| ASHRAE Engineers | American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| ISO | International Organization for Standardization |
| MMA | Ministério do meio ambiente |
| NBR Técnicas (ABNT) | Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas |
| PBE | Programa Brasileiro de Etiquetagem |
| PMV | Votos Médios Estimados |
| PPD | Porcentagem Estimada de Insatisfeitos |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 | OBJETIVO..... | 8 |
| 1.1.1 | Objetivo geral | 8 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 8 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 9 |
| 2.1 | DESAFIOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL | 9 |
| 2.2 | REUTILIZAÇÃO DE CONTAINER..... | 10 |
| 2.3 | CONFORTO TÉRMICO..... | 11 |
| 2.4 | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES | 14 |
| 3 | METODOLOGIA | 16 |
| 3.1 | LEVANTAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO | 16 |
| 3.2 | CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS | 17 |
| 3.3 | PROPRIEDADE DOS MATERIAIS..... | 19 |
| 3.4 | SIMULAÇÃO | 19 |
| 3.5 | ANÁLISE DE RESULTADOS: CONFORTO TÉRMICO..... | 19 |
| 3.6 | ANÁLISE DE RESULTADOS: CONSUMO DE ENERGIA | 20 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 21 |
| 4.1 | LEVANTAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO | 21 |
| 4.2 | CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS | 27 |
| 4.3 | PROPRIEDADE DOS MATERIAIS..... | 29 |
| 4.4 | SIMULAÇÃO | 31 |
| 4.5 | CONFORTO TÉRMICO..... | 31 |
| 4.5.1 | Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1, 2 e 3 | 31 |
| 4.5.2 | Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1, 4 e 5 | 32 |
| 4.5.3 | Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1, 6 e 7 | 33 |
| 4.5.4 | Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1, 8 e 9 | 34 |
| 4.5.5 | Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1 e 10 | 35 |
| 4.5.6 | Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1 e 11 | 36 |
| 4.6 | CONSUMO DE ENERGIA..... | 38 |
| 4.6.1 | Comparação do consumo de energia dos modelos 1, 2 e 3 | 38 |
| 4.6.2 | Comparação do consumo de energia dos modelos 1, 4 e 5 | 39 |
| 4.6.3 | Comparação do consumo de energia dos modelos 1, 6 e 7 | 39 |
| 4.6.4 | Comparação do consumo de energia dos modelos 1, 8 e 9 | 40 |
| 4.6.5 | Comparação do consumo de energia dos modelos 1 e 10 | 41 |
| 4.6.6 | Comparação do consumo de energia dos modelos 1 e 11 | 41 |
| 4.7 | DISCUSSÃO | 43 |
| 5 | CONCLUSÃO | 45 |
| | REFERÊNCIAS | 47 |
| | ANEXO A – MÉTODO PRESCRITIVO - ETIQUETA RTQ-C | 50 |

1 INTRODUÇÃO

O efeito estufa quando controlado é de vital importância, pois serve para manter o planeta aquecido e garantir a manutenção da vida. Porém, ao longo dos anos, o agravamento do efeito estufa desestabilizou o equilíbrio energético do planeta e originou o fenômeno conhecido como aquecimento global (NASCIMENTO, 2015).

Nesse contexto, a indústria da construção civil destaca-se como uma das atividades geradoras de impactos ambientais, uma vez que, utiliza os recursos naturais, modifica a paisagem e geram resíduos. Além disso, o lixo originado da construção civil e demolição, que posteriormente é depositado em aterros, é considerados um dos mais prejudiciais ao meio ambiente, devido a sua carga ser mais pesada. A carga mais pesada sobre o meio ambiente é o lixo sólido, resultado do lixo da construção e demolição o que compromete onde o mesmo é depositado (CIB, 2000).

Deste modo, o desafio da construção civil consiste em identificar práticas inovadoras que gerem menor impacto ao meio ambiente. Nesse sentido, a reutilização de containers, prática já utilizada no Brasil, tem como objetivo racionalizar e agilizar as construções, uma vez que possuem grande resistência às intempéries. Portanto, fazem-se necessários estudos que apliquem esta prática nas cidades de modo que seja possível verificar se esta é uma solução adequada e a mesma cumpre os requisitos de desempenho térmico necessários para manter o conforto térmico nas edificações e redução do consumo de energia.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho foi avaliar, por meio de uma simulação computacional, o desempenho térmico/energético de uma edificação comercial construída em container. Posteriormente, foram propostas medidas de conservação de energia com o objetivo de melhorar o desempenho termoenergético da edificação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento da edificação existente e identificá-la;
- Efetuar a configuração dos modelos modificados;
- Verificar as propriedades térmicas dos materiais da edificação existente, dos modelos modificados e do otimizado;
- Simular o modelo existente, modificados e otimizado e avaliar o conforto térmico;
- Simular o modelo existente, modificados e otimizado e avaliar o consumo de energia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DESAFIOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Desde a pré-história os seres humanos buscavam formas de se abrigar de intempéries, dependendo exclusivamente de fontes naturais para construção de suas casas (ANDRADE, 2008). A partir da revolução industrial, as técnicas tradicionais foram perdidas e novos materiais foram inseridos, modernizando os sistemas de construções (FATHY, 1986; LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997). Porém, concomitantemente ao progresso da construção civil, novos problemas surgiram oriundos do desperdício de recursos naturais e de resíduos gerados pela construção civil (MATOS, 2015).

A construção civil interfere significativamente no meio ambiente desde a concepção do projeto, como a localização da obra, partido arquitetônico com as especificações de materiais, afetando diretamente no consumo dos recursos naturais e de energia (CIB, 2000). Pinto (1999 apud SILVA, 2007, p. 67), afirmam que, nas grandes cidades brasileiras, construções novas geram 50 % dos resíduos, já as atividades de manutenção e reformas respondem pela outra metade. Essa afirmação se refere somente ao lixo produzido pela indústria da construção civil.

Nesse contexto, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017), o modelo da construção sustentável pode ser uma alternativa para minimizar os impactos ambientais provocados pela construção civil. Ainda, conforme Simas (2012), a construção sustentável é um termo que define uma construção com materiais recicláveis, juntamente com o uso de recursos tecnológicos de energia renovável e que evita impactos ambientais.

Diante da busca pela sustentabilidade, preservação dos recursos naturais e eficiência energética em edifícios é preciso buscar novas alternativas para o desenvolvimento de melhores condições para a sociedade. Braun (2005, p. 9), diz que, “tem-se que buscar soluções criativas, deixando claro que não existem soluções simples para a complexa confusão criada pelo homem”.

2.2 REUTILIZAÇÃO DE CONTAINER

Nos primórdios da navegação marítima, toda a mercadoria era transportada em tonéis. Com as construções de novos navios e aumento das dimensões das cargas surgiu à necessidade da padronização do recipiente. Após divergências entre países, em 1968 ocorreu à padronização, propostas pelo *International Standard Organization*- ISO (CECONPORT, 2013).

No Brasil os containers de carga atendem as normas da ISO, conforme definido pela norma NBR ISO 668 - ABNT, 2000 (CARBONARI, 2016). Os containers são recipientes em grandes dimensões utilizados para o acondicionamento e transporte de cargas em navios, sendo conhecidos também como cofre de carga. Além disso, esse é identificado pelo seu comprimento e pelas medidas externas padronizadas.

A estrutura do container é feita de aço-liga especial e as demais partes são construídas de alumínio, material sintético, aço e/ou madeira antifungo. Para a pintura são utilizadas tintas com qualidade especial, para resistir às condições climáticas extremas (CECONPORT, 2015).

No mercado náutico, a vida útil dos containers é de dez anos, porém este apresenta uma vida real de 100 anos, sendo então abandonados nas regiões portuárias, em média, por 90 anos (MUSSNICH, 2015).

Diante disso, para reduzir o número de containers em desuso, estes passaram a serem utilizados em residências, escritórios, estabelecimentos comerciais dentre outros. Do mesmo modo, é ambientalmente correto, sendo sua obra limpa, gerando o mínimo de resíduos e economia dos recursos naturais (CORBAS, 2012).

No mercado existem diferentes modelos de containers, porém para o setor arquitetônico os mais utilizados são: container *standard* 20 pés, container *standard* 40 pés, container *High Cube* (HC) 40 pés e o container *reefer* 40 pés (MUSSNICH, 2015). Suas dimensões são visualizadas na tabela 1.

Os containers são semelhantes na sua estrutura, à diferença é que o *standard* tem a altura máxima de 2,59 metros, e os HC possuem 2,89 metros. Já os *reefer* são containers isolados termicamente, comumente usados para manter temperaturas de

cargas congeladas normalmente perecíveis, no resfriamento de certos tipos de produtos ou qualquer produto que precise de uma temperatura constante (GRUPOIRS, 2017).

Tabela 1 - Medidas externas dos containers

| MODELOS | COMPRIMENTO | LARGURA | ALTURA |
|-------------------------|--------------------|----------------|---------------|
| <i>Standard 20 pés</i> | 6,063 m | 2,440 m | 2,593 m |
| <i>Standard 40 pés</i> | 12,190 m | 2,440 m | 2,593 m |
| 40 pés HC | 12,190 m | 2,440 m | 2,890 m |
| <i>Reefer 40 pés HC</i> | 12,190 m | 2,440 m | 2,890 m |

Fonte: (Itajaí Containers, 2017).

Para que os containers possam ser habitados, devem-se adicionar isolamentos para que se obtenha uma transmitância térmica mais baixa. Figuerola 2013 apud CARBONARI, 2015, p. 34 afirma que, é necessário o isolamento térmico devido à elevada condutibilidade térmica do invólucro de aço.

Para as paredes e cobertura é possível a utilização de gesso acartonado com o isolamento em Poliestireno expandido (EPS), lã de vidro, lã de rocha e lã de pet, com o objetivo de melhorar o desempenho térmico (BUORO; GUEDES, 2015). Costa; Prado, (2014), afirma que, devido às limitações das dimensões dos contêineres, muitas vezes há restrição das possibilidades de isolamento térmico devido à espessura do material.

2.3 CONFORTO TÉRMICO

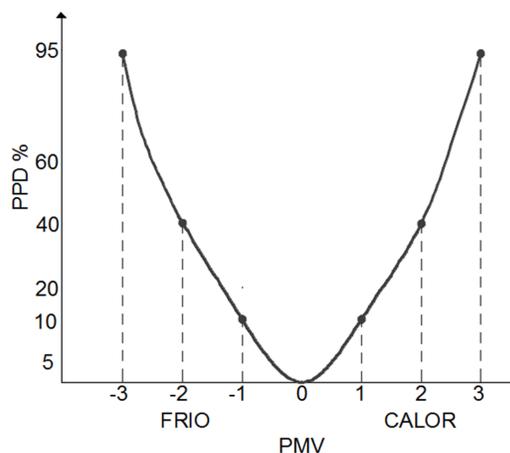
O conforto térmico é um conjunto de sensações humanas, e o seu estudo visa analisar e estabelecer as condições necessárias para um ambiente adequado às atividades e ocupação humana. São três fatores para o estudo do conforto térmico: a satisfação do homem em se sentir termicamente confortável, a performance humana com a tendência ao desconforto causado pelo frio e calor e por fim a

conservação da energia onde as pessoas passam maior parte do tempo, por meio de ambientes climatizados (LAMBERTS, 2011).

Segundo Frota, Shiffer (2001), para determinar o nível de conforto térmico do usuário existem diferentes variáveis que a influenciam e que podem ser medidas diretamente. Entre essas variáveis se encontram a temperatura do ar, a temperatura radiante, a umidade relativa e a velocidade do ar. Outro fator que pode influenciar no conforto térmico é a vestimenta e a atividade física (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Além disso, para avaliar tais condições, os indivíduos devem estar apropriadamente vestidos, sem problemas de saúde e aclimatação (FROTA, SHIFFER, 2001).

Para a avaliação do conforto térmico no interior de uma edificação, foram criados índices de avaliação de conforto ou desconforto para cada situação. Olé Fanger, (1970), criou equações e métodos para obter o conforto térmico em ambientes climatizados artificialmente. Em relação ao método de avaliação, esse se configura por meio dos Votos Médios Estimados (PMV) e a Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PPD). O PMV é dado em uma escala de sete pontos, na qual representam a sensação térmica médias de um grupo de pessoas: (I) +3 – muito calor; (II) +2 – calor; (III) +1 – calor leve; (IV) 0 – conforto; (V) -1 – frio leve; (VI) -2 – frio; (VII) -3 – muito frio. Já o PPD, calcula a porcentagem de insatisfeitos em um grupo (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997), (Figura 01).

Figura 1 - Gráfico PMV e PPD



Fonte: Adaptação de Lamberts; Dutra; Pereira (1997).

Conforme Lamberts (2011) é impossível que todos os ocupantes do ambiente se sintam confortáveis termicamente, por isso, devem-se buscar condições de conforto para uma maior porcentagem de pessoas, ou seja, para um maior grupo.

Portanto, para avaliação dos índices de conforto devem-se englobar em um único fator todas as variáveis ambientais e humanas. Lamberts (2011), afirma que, Fanger (1970) realizou pesquisa dos índices de conforto, e após estas, normas nacionais e internacionais adotaram esse modelo como a ISO 7730/2005 – Ambientes térmicos moderados – determinação dos índices PMV e PPD e especificação das condições de conforto térmico, ASHRAE 55/2010 – Condições térmicas do ambiente para ocupação humana e a NBR 16401/2008 – Parte 2 – Parâmetros de conforto, (CREMONESI, et al, 2013).

A ISO 7730/2005, especifica as condições térmicas aceitáveis para o conforto e estabelece os limites das zonas de conforto térmico com a temperatura operativa, umidade relativa e velocidade do ar para verão e inverno, conforme descrito na Tabela 2, BUORO (2008).

A temperatura operativa é uniforme de um fechamento imaginário, no qual um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção, do que se ele estivesse num ambiente real (LAMBERTS, 2011).

Tabela 2 - Limites das zonas de conforto conforme ISO 7730/2005

| Parâmetro | Verão | Inverno |
|----------------------------------|--------------|----------------|
| Temperatura operativa T_o (°C) | 23 a 26 | 20 a 24 |
| Umidade Relativa UR (%) | 30 a 70 | 30 a 70 |
| Velocidade do Ar (m/s) | Até 1 | Até 1 |

Fonte: (BUORO, 2008).

A norma ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, é uma organização dos profissionais da área de aquecimento, refrigeração e ar-condicionado, originada nos Estados Unidos, e esta especifica as características de ambientes internos e as variáveis humanas e

ambientais e geram condições térmicas aceitáveis para 80% dos ocupantes (GALLO, RIBEIRO, 2007).

Por fim, a NBR 16401/2008 – Parte 2 determina as condições térmicas aceitáveis em ambientes providos de ar condicionado.

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Nos anos 60, antes da crise energética, a energia elétrica era barata, e os projetistas tinham total liberdade com o projeto, partindo do ponto de vista estético e as medidas de conforto térmico eram os sistemas mecânicos adicionais. Devido à referida crise energética, tornou-se necessário resgatar todas as estratégias de fontes naturais, para que os usuários precisassem de menos energia para se sentirem confortáveis nas edificações (ONU DI, 2016).

Com isso entende-se por eficiência energética em edificações, quando um edifício apresenta as mesmas condições de conforto térmico com um menor consumo de energia. Na arquitetura contemporânea devesse acrescer um vértice de eficiência energética juntamente com a solidez, utilidade e beleza (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

A eficiência energética está atrelada a edificação, e o conforto térmico estão associados aos ocupantes da edificação. Portanto, cabe analisar estes dois parâmetros em conjunto, já que a eficiência energética tem como propósito o conforto dos usuários.

Segundo Cunha, Krebs, Moura (2015) na busca por edificações sustentáveis a redução do consumo energético e o alto grau de conforto são as principais metas para os projetistas. No Brasil, existem duas normas principais para avaliar desempenho térmico de edificações, que são a Norma de Desempenho Térmico de Edificações – NBR 15220 (ABNT, 2005) e a Norma de Desempenho para Edifícios Habitacionais – NBR 15575 (ABNT, 2013).

Conforme Pirró (2015) as normas vigentes estabelecem regras para a avaliação do desempenho térmico para aprimorar a qualidade dos edifícios, porém estas tratam de estratégias de conforto somente para edificações habitacionais.

A NBR 15220 – parte 2 apresenta as propriedades térmicas dos materiais, como densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico e também apresenta a absorvância e emissividade de diferentes tipos de superfície. Já na parte 3, apresenta o Zoneamento Bioclimático brasileiro no qual as cidades estão inseridas, sendo estes dados utilizados para todas as edificações.

Tomando como base o Zoneamento Bioclimático Brasileiro presente na NBR 15220-3, estes documentos trazem recomendações para os valores máximos de transmitâncias térmicas de paredes externas e coberturas, assim como para as cores e a absorvância solar das superfícies opacas, específicas para cada zona bioclimática, visando maior conforto interno e eficiência energética. (Pirró, 2015).

Atualmente para edificações comerciais é utilizado o Regulamento Energético do INMETRO, o RTQ-C. O referido regulamento técnico avalia a qualidade para o Nível de Eficiência de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - RTQ – C, e apresenta os níveis de transmitância térmica para as paredes e coberturas, estando classificada em nível A, B, C e D, (Tabela 3).

A - RTQ – C, também apresenta os limites de cor e absorvância de superfícies para as Zonas Bioclimáticas 2 a 8, em que absorvância solar deve ser menor ou igual a 0,50 do espectro solar.

Tabela 3 - Síntese das exigências para transmitância térmica de paredes externas os diferentes níveis.

| Zonas Bioclimáticas | U_{parede} (W/m ² K) | U_{parede} (W/m ² K) | U_{parede} (W/m ² K) |
|---------------------|---|--|--|
| | Nível A | Nível B | Níveis C e D |
| 1 e 2 | 1,0 | 2,0 | 3,7 |
| 3 a 6 | | 3,7 | |
| 7 a 8 | 2,5 W/m ² K, para $C_t < 80$ kJ/m ² K | | |
| | 3,7 W/m ² K, para $C_t > 80$ kJ/m ² K | | |

Fonte: (Manual para Aplicação do RTQ-C, 2010).

Tabela 4 - Síntese das exigências para transmitância térmica de cobertura para os diferentes níveis de eficiência e Zonas Bioclimáticas

| Zonas Bioclimáticas | U _{cobertura} (W/m ² K) Nível A | | U _{cobertura} (W/m ² K) Nível B | | U _{cobertura} (W/m ² K) Níveis C e D | |
|---------------------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|---|-----------------------------|
| | Ambientes Condicionados | Ambientes não Condicionados | Ambientes Condicionados | Ambientes não Condicionados | Ambientes Condicionados | Ambientes não Condicionados |
| 1 e 2 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | |
| 3 a 8 | 1,0 | 2,0 | 1,5 | 2,0 | | |

Fonte: (Manual para Aplicação do RTQ-C, 2010).

Neste contexto, a transmitância térmica (U) desempenha um papel fundamental na avaliação do desempenho de fechamentos opacos, pois é avaliado o comportamento frente à transmissão de calor. Diante disso, existe a possibilidade de comparação de diversas opções de fechamento (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

3 METODOLOGIA

3.1 LEVANTAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A escolha da edificação em container fundamentou-se na baixa resistência térmica, ou seja, na considerável transferência de calor externo para o ambiente interno, sendo necessário que os containers recebam tratamento térmico e diferentes parâmetros projetuais, para obter um melhor desempenho e como consequência, a redução do consumo de energia elétrica.

Por meio do levantamento “*in loco*”, foram avaliadas as características construtivas do envelope como suas dimensões, materiais dos fechamentos opacos e transparentes e também os ganhos internos como, iluminação, pessoas, equipamentos e climatização artificial.

Nos parâmetros relacionados à iluminação, foram listados para cada zona o número total de lâmpadas e suas respectivas potências para encontrar a densidade da potência.

No que diz respeito aos equipamentos, foram avaliados o calor sensível e latente, sendo que para os equipamentos com a função de aquecimento foram considerados 30% para o calor latente e 70% para o calor sensível. Nos demais equipamentos, foram considerados 100% de calor sensível, e, por sua vez para fração convectiva foram utilizados os fatores de ponderação de cargas de resfriamento fornecidos pelos manuais da ASHRAE.

Para os dados relacionados ao número de pessoas em cada ambiente, foi calculada separadamente por zona a capacidade total de pessoas, conforme resolução técnica do Corpo de Bombeiros, CBMRS n°. 11/2015 – Parte 01 – Saídas de emergência, e finalmente as atividades que estão sendo executadas em cada zona e a vestimenta utilizada pelos usuários.

Para a zona térmica foi dividido internamente a edificação em ambientes adjacentes e/ou com a mesma orientação.

3.2 CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS

A partir das características existentes na edificação denominado modelo 1, modificou-se alguns parâmetros dos fechamentos do modelo 2 ao 10 e esses resultaram em um modelo otimizado denominado modelo 11, conforme as descrições da Tabela 5.

Tabela 5 - Configuração dos modelos

| Modelos | Características |
|---------------------------------|--|
| Modelo 1 (Existente) | - Características existentes na edificação - Container <i>High Cube</i> (HC) 40 pés - 2,44 metros de largura por 12,19 metros comprimento e 2,89 metros de altura |
| Modelo 2 | - Isolamento das paredes: Aumento de 50% da espessura da lã de vidro em relação edificação existente |
| Modelo 3 | - Isolamento paredes: Aumento de 100% da espessura da lã de vidro em relação edificação existente |
| Modelo 4 | - Isolamento cobertura: Aumento de 50% da espessura da lã de vidro em relação edificação existente |
| Modelo 5 | - Isolamento cobertura: Aumento de 100% da espessura da lã de vidro em relação edificação existente; |
| Modelo 6 | - Aumento da espessura dos vidros |
| Modelo 7 | - Vidros duplos |
| Modelo 8 | - Paredes externas com cores claras |
| Modelo 9 | - Coberturas externas com cores claras |
| Modelo 10 | - Proteção solar em todas as janelas |
| Modelo 11 Otimizado | - Melhores resultados de cada parâmetro acima mencionado |

Fonte: Autoria própria

Foram considerados em todos os modelos, os ganhos internos como, a iluminação, os equipamentos, o número de pessoas, bem como a vestimenta e as atividades que estão praticando.

3.3 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS

As propriedades térmicas dos materiais da edificação existente, modelos modificados e modelo otimizado foram baseadas segundo as normas disponibilizadas pela NBR 15220-02 (ABNT, 2005), NBR11358 – Painéis termoisolantes a base de lã de vidro e pela NBR 15220-2 Absortância da cor nas superfícies. Os seguintes itens foram verificados: densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ), calor específico (c) e absortância da cor (α).

3.4 SIMULAÇÃO

Para simulação foi utilizado o *software* Domus – Eletrobrás, o qual foi desenvolvido em parceria com a Pontifícia Universidade Católica do Estado de Paraná (PUC/PR), sendo este, o primeiro *software* nacional adaptado à realidade brasileira em termos de clima e de materiais de construções locais.

O *software* é voltado para simulação higrotérmica e energética de edificações, para utilização racional de energia e obtenção de um melhor equilíbrio da Economia-Energia-Meio-Ambiente. É um *software* validado pelo Método da ASHRAE 140.

A simulação ocorreu no mês de janeiro, período com temperaturas mais elevadas, com máxima de 36.10°C, mínima de 14.20°C e média de 24.95°C.

Inicialmente foi modelada a edificação existente no *software* e inseridos os dados de entrada de climatização e os ganhos internos como iluminação, equipamentos, pessoas, bem como os materiais e, logo após, foi desenvolvida a simulação. A partir da configuração do modelo existente, foi realizada as simulações separadamente de cada modelo modificado, e com os melhores resultados foi desenvolvido o modelo otimizado.

3.5 ANÁLISE DE RESULTADOS: CONFORTO TÉRMICO

O percentual de horas em conforto térmico e desconforto por calor e por frio foram avaliados, pelo *software* Domus – Eletrobrás, considerando temperaturas operativas entre 23°C a 26°C que correspondem aos limites das zonas de conforto

para o verão, estabelecidas pela ISO 7730/1994. No mês de janeiro ocorre o maior desconforto térmico durante o ano, motivo pelo qual foi o período analisado. Além disso, nesse mesmo mês, foram consideradas as janelas abertas, sem o uso da climatização artificial.

O horário utilizado para a avaliação do conforto térmico foi no momento em que o estabelecimento estava em funcionamento.

3.6 ANÁLISE DE RESULTADOS: CONSUMO DE ENERGIA

O consumo de energia foi avaliado por meio do *software* Domus – Eletrobrás, utilizando os modelos existentes, modificados e otimizado. Após foi avaliado as reduções no consumo de energia em relação à edificação existente. O mês utilizado para avaliar o consumo de energia foi semelhante ao usado para o conforto térmico.

Para avaliação do consumo de energia elétrica, as simulações foram realizadas com as janelas fechadas e com os aparelhos de ar condicionado em funcionamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

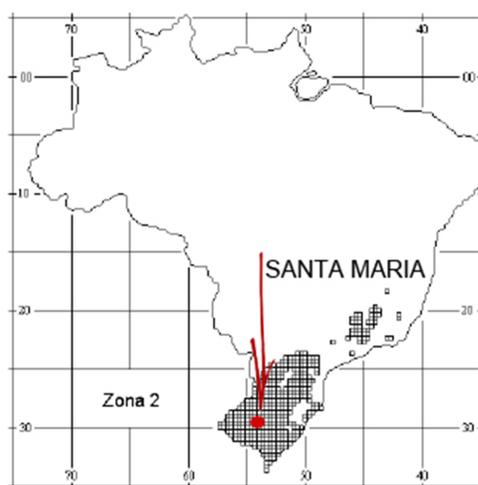
Foram apresentados os resultados do levantamento da edificação existente, a configuração dos modelos modificados e modelo otimizado. Os resultados das simulações de conforto térmico e consumo de energia foram demonstrados por meio de gráficos, e, após a obtenção desses, os mesmos foram compilados em tabelas. Por fim, estas tabelas foram avaliadas em conjunto permitindo a realização de considerações referentes ao conforto térmico e consumo de energia, previamente testados.

4.1 LEVANTAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A edificação em estudo se trata de um restaurante com a envoltória em container, localizada na cidade de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul. Essa está situada a -29,68 de latitude e 53,80 de longitude apresentando um clima subtropical úmido, com invernos frios e verões quentes.

Segundo a NBR 15220-03 (ABNT, 2005), a cidade de Santa Maria está localizada na zona bioclimática 2, Figura 02.

Figura 2 - Zona Bioclimática



Fonte: NBR 15220-03 (ABNT, 2005).

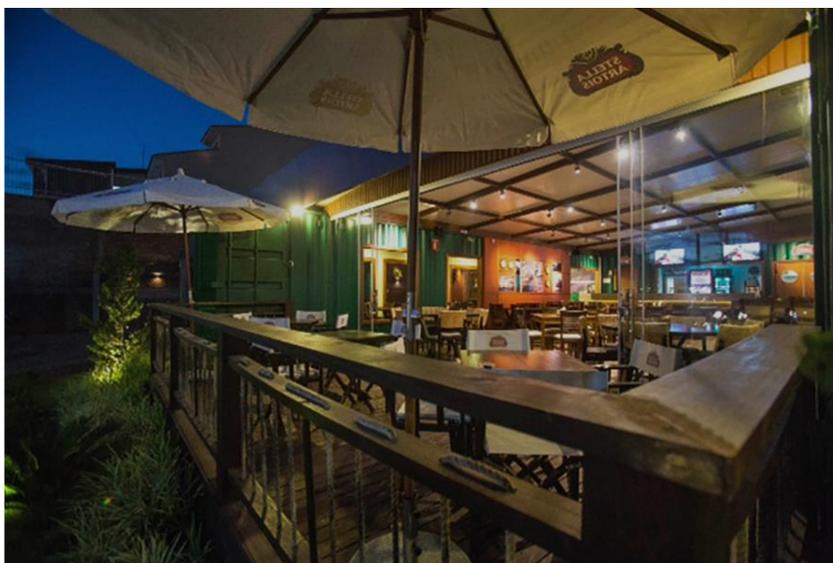
A edificação foi projetada com quatro containers do modelo *High Cube* (HC) 40 pés. Cada container possui as dimensões externas de 2,44 metros de largura por 12,19 metros comprimento e 2,89 metros de altura, apresentando uma área total edificada de 193,78m², Figuras 3, 4 e 5.

Figura 3 - Imagem da edificação



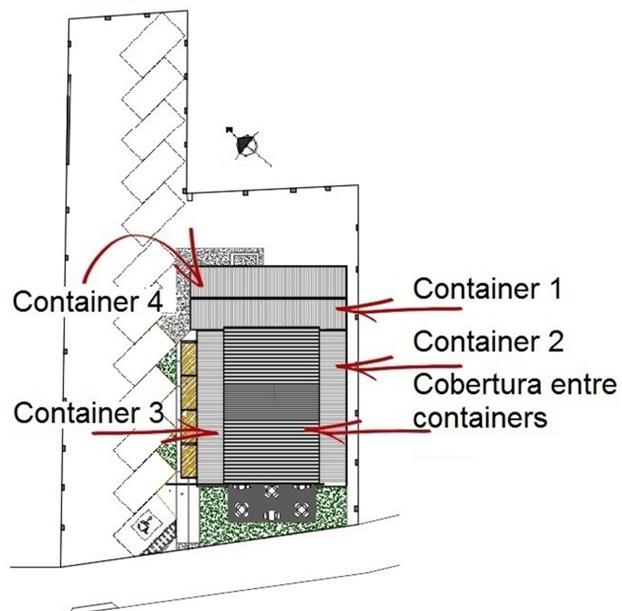
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 4 - Imagem da edificação



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 5 - Planta de Situação da edificação



Fonte: Autoria própria.

Seu fechamento compreende chapa metálica do container, lã de vidro como isolamento térmico e gesso acartonado para o fechamento interno e a pintura externa na cor verde escura, figura 6.

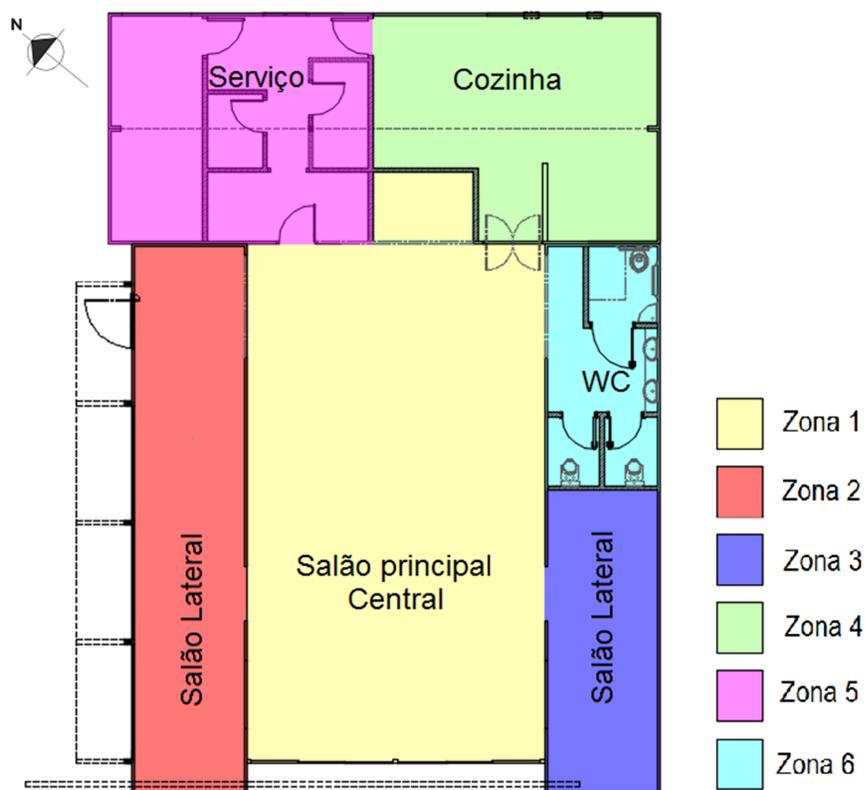
Figura 6 - Revestimentos do container



Fonte: Autoria própria.

Internamente a edificação é constituída por um salão principal central, salões laterais, cozinha, banheiros e serviço. Portanto, a partir da divisão da edificação foram observadas seis zonas térmicas, uma vez que, cada ambiente possui uma função e ganhos internos diferentes. A distribuição das zonas se deu por ordem de modelagem, conforme disposto na figura 7.

Figura 7 - Divisão das zonas térmicas



Fonte: Autoria própria.

As janelas da edificação são constituídas de marco e guarnição de madeira, com cores escuras, vidros claros simples de 3 mm, e um percentual de abertura para ventilação de 50% da área.

A porta de acesso principal do restaurante é em madeira ripada do tipo pivotante e a porta de acesso de serviço é em madeira com folha de abrir.

Na edificação existente foram configurados os parâmetros, de ganhos internos como, iluminação, equipamentos e pessoas, conforme avaliado nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 - Ganhos internos com iluminação

| Zona | Número total de lâmpadas | Densidade da potência de iluminação - DPI (W/m ²) |
|------|--------------------------|---|
| 1 | 18 | 8.61 W/m ² |
| 2 | 10 | 12.25 W/m ² |
| 3 | 10 | 22.26 W/m ² |
| 4 | 10 | 5.76 W/m ² |
| 5 | 14 | 9.73 W/m ² |
| 6 | 5 | 7.55 W/m ² |

Fonte: Autoria própria

Tabela 7 - Ganhos internos com equipamentos

| Zona | Equipamentos | Potência Elétrica (W) | Calor Sensível (W) | Calor Latente (W) |
|------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| 1 | Chopeira | 1.800 | 1.800 | 0 |
| | Expositor Refrigerado | 346.50 | 346.50 | 0 |
| | Aquecedor de água | 2000 | 1.400 | 600 |
| | Computador | 180 | 180 | 0 |
| | Aparelho de som | 150 | 150 | 0 |
| | Televisão | 150 | 150 | 0 |
| 2 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3 | ----- | ----- | ----- | ----- |
| | Forno industrial | 4500 | 3.150 | 1.350 |

(continua)

| | | | | |
|----------|-----------------------|--------|--------|-------|
| 4 | Fogão industrial | 6000 | 4.200 | 1.800 |
| | Fritadeira elétrica | 3500 | 2.450 | 1.050 |
| | Micro-ondas | 1150 | 805 | 345 |
| | Grill | 1200 | 840 | 360 |
| | Coifa | 99 | 99 | 0 |
| | Exaustor de parede | 180 | 180 | 0 |
| | Balcão refrigerado | 124 | 124 | 0 |
| 5 | Freezer | 435 | 435 | 0 |
| | Expositor refrigerado | 346,50 | 346,50 | 0 |
| 6 | Exaustor de parede | 180 | 180 | 0 |

Fonte: A autoria própria

Tabela 8 - Ganhos internos por pessoas

| Zona | Número pessoas/m² | Total de pessoas |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 1 | 1 pessoa por m ² | 28 |
| 2 | 1 pessoa por m ² | 73 |
| 3 | 1 pessoa por m ² | 15 |
| 4 | 1 pessoa por 7m ² | 5 |
| 5 | 1 pessoa por 7m ² | 4 |
| 6 | Ambiente Transitório | Ambiente Transitório |

Fonte: A autoria própria

Na edificação todos os condicionadores de ar são do tipo Split, apresentando um total de quatro aparelhos, sendo três aparelhos de 30.000 Btu, e um de 12.000 Btu.

Todos os aparelhos são regulamentados pelo Inmetro, com eficiência nível A de acordo com o PBE Edifica (Programa Brasileiro de Etiquetagem). O horário em que estes são ligados é das 19h00min às 23h59min, horário de abertura do restaurante.

4.2 CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS

Os modelos configurados a partir do método preconizado estão listados na Tabela 9.

Tabela 9 - Configuração dos modelos

| Modelos | Características |
|---------------------------------|--|
| Modelo 1 (Existente) | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Vidros claros de 3 mm; - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Cores: Paredes externas escuras e internas claras Coberturas externas escuras e internas claras |
| Modelo 2 | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Vidros claros de 3 mm; - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (7,5 cm) e gesso acartonado. - Cores: Paredes externas escuras e internas claras Coberturas externas escuras e internas claras |
| Modelo 3 | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Vidros claro 3 mm; - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (10 cm) e gesso acartonado. - Cores: Paredes externas escuras e internas claras Coberturas externas escuras e internas claras |
| Modelo 4 | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (7,5 cm) e gesso acartonado. - Vidros claro 3 mm; |

(continua)

| | |
|-----------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Cores: Paredes externas escuras e internas claras - Coberturas externas escuras e internas claras |
| Modelo 5 | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (10 cm) e gesso acartonado; - Vidros claro 3 mm; - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Cores: Paredes externas escuras e internas claras Coberturas externas escuras e internas claras. |
| Modelo 6 | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Vidros claro 5 mm; - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Cores: Paredes externas escuras e internas claras Coberturas externas escuras e internas claras |
| Modelo 7 | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Vidros duplos - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Cores: Paredes externas escuras e internas claras Coberturas externas escuras e internas claras |
| Modelo 8 | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Vidros claros 3 mm; - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Cores: Paredes externas e internas claras Coberturas externas escuras e internas claras |

(continua)

| | |
|--------------------------------|---|
| Modelo 9 | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Vidros 3 mm; - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Cores: Paredes externas escuras e internas claras Coberturas externas e internas claras. |
| Modelo 10 | <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Vidros claros de 3 mm; - Paredes externas: Chapa metálica do container, lã de vidro (5 cm) e gesso acartonado; - Cores: Paredes externas escuras e internas claras Coberturas externas escuras e internas claras - Proteção solar em todas as janelas. |
| Modelo 11 Otimizado | <ul style="list-style-type: none"> - Melhores resultados de cada parâmetro acima mencionado |

Fonte: Autoria própria

4.3 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS

Após a verificação das propriedades dos materiais, como a densidade de massa aparente (ρ), a condutividade térmica (λ) e o calor específico (c), segundo as normas definidas, os dados inseridos e verificados no *software* Domus - Eletrobrás resultaram em valores da transmitância térmica e da absorvância, conforme observado nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Transmitância térmica das paredes e cobertura do container

| Modelo | Transmitância térmica Paredes W/m²k | Transmitância térmica Coberturas W/m²k |
|-----------------------|--|---|
| Modelo 1 Existente | 0,73 | 0,73 |
| Modelo 2 | 0,52 | 0,73 |
| Modelo 3 | 0,40 | 0,73 |
| Modelo 4 | 0,73 | 0,53 |
| Modelo 5 | 0,73 | 0,41 |
| Modelo 6 | 0,73 | 0,73 |
| Modelo 7 | 0,73 | 0,73 |
| Modelo 8 | 0,73 | 0,73 |
| Modelo 9 | 0,73 | 0,73 |
| Modelo 10 | 0,73 | 0,73 |
| Modelo 11 - Otimizado | 0,40 | 0,41 |

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11 - Absorbância das paredes e coberturas

| Modelo | Absortância Paredes | Absortância Coberturas |
|----------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Modelo 1 - Existente | 0,70 | 0,70 |
| Modelo 2 | 0,70 | 0,70 |
| Modelo 3 | 0,70 | 0,70 |
| Modelo 4 | 0,70 | 0,70 |
| Modelo 5 | 0,70 | 0,70 |
| Modelo 6 | 0,70 | 0,70 |
| Modelo 7 | 0,70 | 0,70 |

(continua)

| | | |
|-----------------------|------|------|
| Modelo 8 | 0,40 | 0,70 |
| Modelo 9 | 0,70 | 0,40 |
| Modelo 10 | 0,70 | 0,70 |
| Modelo 11 - Otimizado | 0,40 | 0,40 |

Fonte: Autoria própria

4.4 SIMULAÇÃO

O total de simulações foram 22, sendo que 11 foram para a análise de conforto térmico e 11 para a análise de consumo de energia.

4.5 CONFORTO TÉRMICO

Os resultados obtidos por meio das 11 simulações foram comparados e visualizados em sucessivos gráficos e por fim, estes dados foram compilados em tabela comparativa, a qual abrange todos os dados, tendo sido obtido o Modelo 11 Otimizado, constante na última linha da Tabela 12.

Devido ao restaurante ter seu funcionamento de terça-feira a domingo, das 19 horas às 23 horas e 59 minutos, este foi o horário escolhido para análise das simulações de conforto térmico.

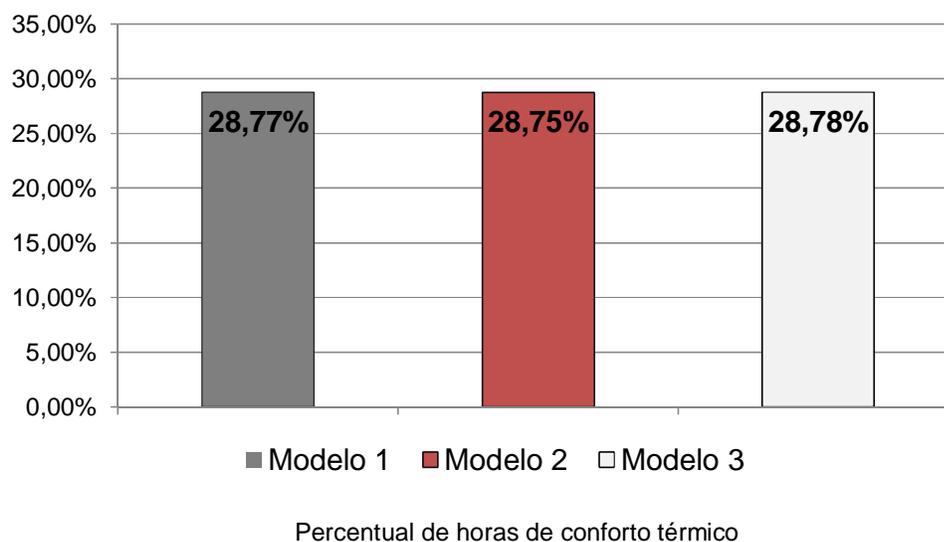
4.5.1 Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1, 2 e 3

O modelo 1 trata da edificação existente e os modelos 2 e 3 do aumento do isolamento térmico da lã de vidro para as paredes do container. No Modelo 2, foi proposto um aumento 50 % da espessura da lã de vidro em relação à espessura apresentada na edificação existente, e a transmitância térmica total da parede passou a ser de 0,52 W/m²k, valores aceitáveis conforme especifica a RTQ-C para nível de eficiência energética A. O Modelo 3 propôs um aumento da espessura da lã de vidro em 100 % em relação ao modelo 1 existente, e a transmitância térmica total

da parede passou a ser de $0,40 \text{ W/m}^2\text{k}$, valores também aceitáveis conforme especifica a RTQ-C para a Zona Bioclimática 2.

Como resultado, destaca-se que os Modelos 2 e 3 não apresentaram contribuições em relação à edificação existente Modelo 1 conforme gráfico 1, tendo havido pequena alteração de conforto térmico em termos da variável estudada (isolamento da lã de vidro). O Modelo 1 existente, foi selecionado para ser aplicado ao Modelo 11.

Gráfico 1 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e os modelos modificados com relação as paredes



Fonte: Autoria própria

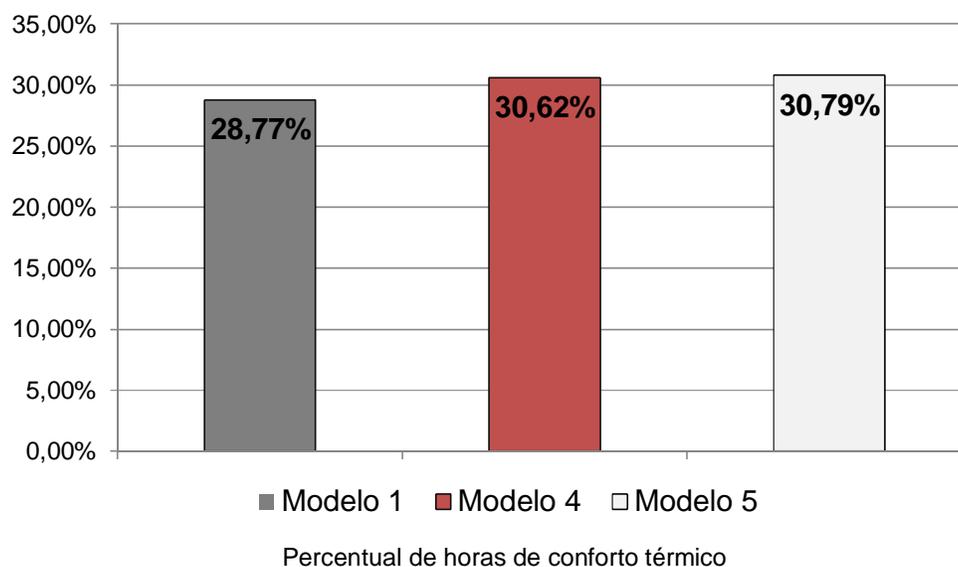
4.5.2 Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1, 4 e 5

O modelo 1 trata da edificação existente e os modelos 4 e 5 do aumento do isolamento térmico da lã de vidro para a cobertura do container. No Modelo 4, propôs-se um aumento de 50 % da espessura da lã de vidro em relação à espessura apresentada na edificação existente, e a transmitância térmica total da cobertura passou a ser de $0,53 \text{ W/m}^2\text{k}$, valores aceitáveis para ambientes não condicionados e acima dos valores máximos para condicionados artificialmente. O Modelo 5, propôs um aumento da espessura da lã de vidro 100 % em relação ao modelo existente e a

transmitância térmica total da cobertura passou a ser de 0,41 W/m²k, valores aceitáveis conforme especifica a RTQ-C para a Zona Bioclimática 2.

Como resultado, foi possível verificar que o Modelo 5 aumentou a porcentagem de conforto da edificação em 2,02 % em relação à edificação existente conforme gráfico 2, enquanto que no Modelo 4 essa porcentagem de aumento ficou em apenas 1,85 %. Assim, o Modelo 5 (Aumento de 100% na espessura da lâ de vidro restou escolhido para ser aplicado ao Modelo 11.

Gráfico 2 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e os modelos modificados com relação às coberturas



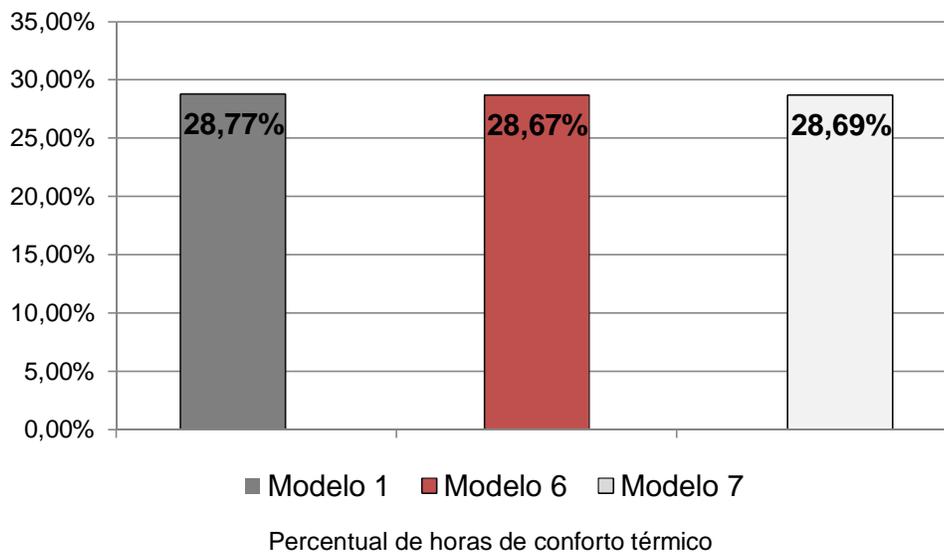
Fonte: Autoria própria

4.5.3 Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1, 6 e 7

O modelo 1 trata da edificação existente e os modelos 6 e 7 mencionam os tipos de vidros propostos para a edificação, em que foram analisadas duas espessuras. No Modelo 6, vidro simples de 5 mm e no Modelo 7, vidro duplo.

A partir dos dados obtidos na simulação, foi demonstrado que o Modelo Existente, composto por vidro simples de 3 mm, deve ser mantido, uma vez que esse apresentou maior conforto térmico para a edificação em relação aos modelos propostos, conforme comparação do gráfico.

Gráfico 3 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e os modelos modificados com relação aos vidros



Fonte: Autoria própria

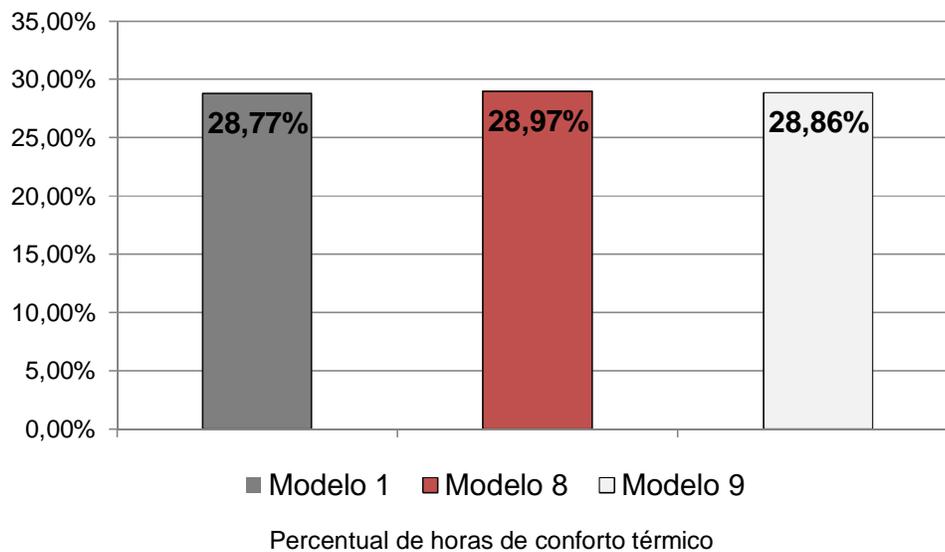
4.5.4 Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1, 8 e 9

O modelo 1 trata da edificação existente e os modelos 8 e 9 sugerem alteração das cores, o que alterará a absorvância de superfícies da edificação. A fim de comparar os modelos apresentados, foi simulada separadamente a cor das paredes e da cobertura. O Modelo 8, apresenta cores claras para as paredes e o Modelo 9, indica cores claras para a cobertura, visto que a absorvância de ambos é igual a 0,40 e está dentro dos limites estabelecidos pela RTQ-C.

As paredes claras do Modelo 8 apresentaram 0,2% a mais nas horas de conforto térmico do que o modelo 1, o qual possui absorvância de 0,70. E por fim no Modelo 9, que abrange a cobertura, houve acréscimo de 0,09% nas horas de conforto térmico, conforme gráfico 4.

Por questões de estética, os Modelos 8 e 9, foram selecionados para o Modelo 11.

Gráfico 4 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e os modelos modificados com relação às cores

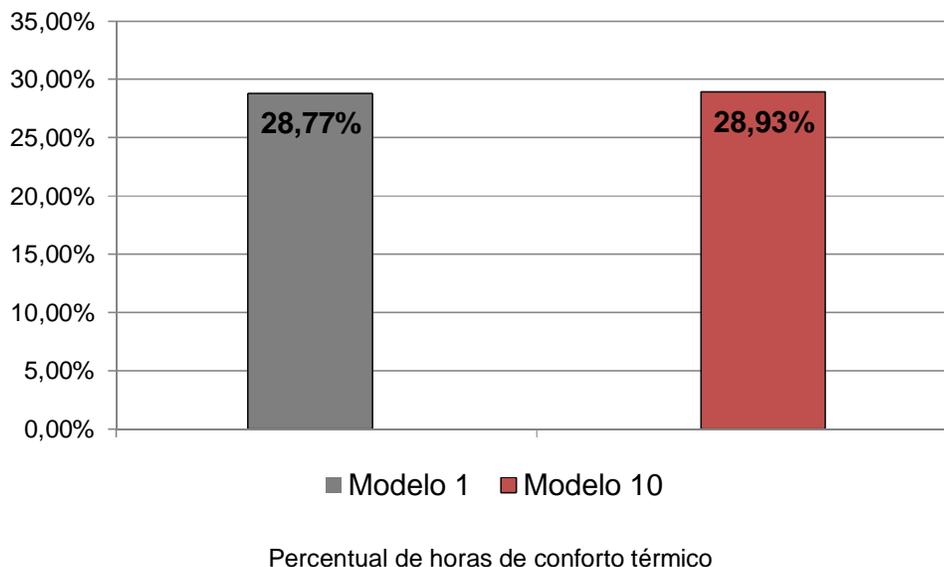


Fonte: Autoria própria.

4.5.5 Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1 e 10

O modelo 1 trata da edificação existente e o modelo 10 se caracteriza pelo sombreamento das aberturas. Essas tiveram a proteção solar horizontal em todas as janelas. A diferença entre o modelo 1 e o Modelo 10 foi de 0,16 % com a adição da proteção solar, conforme gráfico 5, portanto foi escolhido para o Modelo 11

Gráfico 5 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente e modelo modificado proteção solar

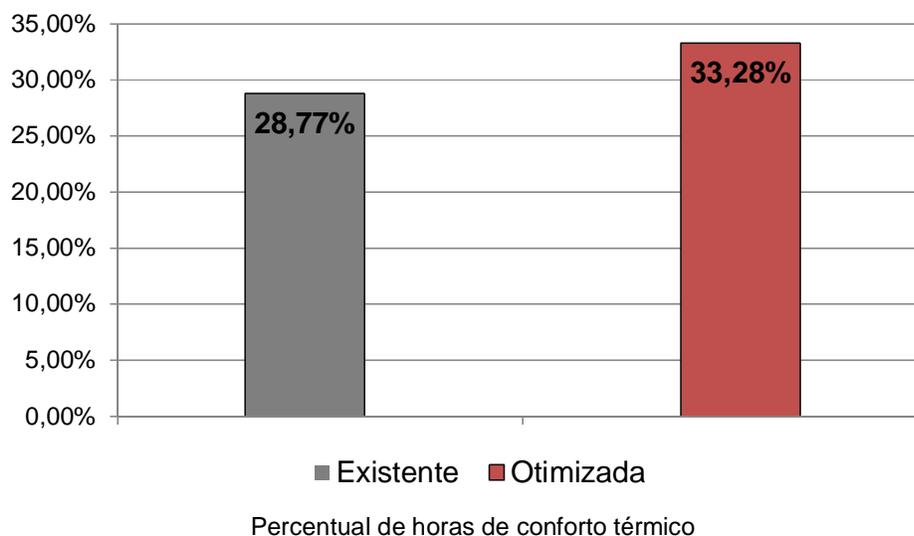


Fonte: Autoria própria.

4.5.6 Comparação das horas de conforto térmico dos modelos 1 e 11

Consiste na comparação da edificação existente com a modificada. Para se obter o Modelo 11, foram escolhidos os melhores resultados das simulações para o conforto térmico. Para as paredes foi aplicado o Modelo 1, para a cobertura foi escolhido o Modelo 5, quanto aos vidros, foi mantido os existentes. Além disso, houve aplicação integral dos resultados obtidos com os Modelos 8 e 9, e por fim, aplicou-se os resultados de proteção solar encontrados no Modelo 10. Como resultado chegou-se a um aumento nas horas de conforto de 4,5 % em relação à existente, conforme mostra o gráfico 6, e a partir do gráfico foi gerada a tabela 12, que mostra mais claramente a comparação de todos os modelos.

Gráfico 6 - Comparação das horas de conforto térmico entre a edificação existente o modelo otimizado



Fonte: Autoria própria.

Tabela 12 - Resultados de conforto térmico para o mês de janeiro

| Modificações do Modelo | | % de horas de conforto | % de horas de desconforto | |
|-------------------------|-----------|------------------------|---------------------------|------|
| | | | Calor | Frio |
| Modelo existente | Modelo 1 | 28,77 | 70,99 | 0,24 |
| Isolamento de paredes | Modelo 2 | 28,75 | 70,86 | 0,39 |
| | Modelo 3 | 28,78 | 70,84 | 0,39 |
| Isolamento de cobertura | Modelo 4 | 30,62 | 69,35 | 0,03 |
| | Modelo 5 | 30,79 | 69,08 | 0,13 |
| Vidros | Modelo 6 | 28,67 | 70,94 | 0,39 |
| | Modelo 7 | 28,69 | 70,92 | 0,39 |
| Cor | Modelo 8 | 28,97 | 70,57 | 0,46 |
| | Modelo 9 | 28,86 | 70,73 | 0,41 |
| Proteção solar | Modelo 10 | 28,93 | 70,97 | 0,10 |
| Modelo Otimizado | Modelo 11 | 33,28 | 66,29 | 0,43 |

Fonte: Autoria própria.

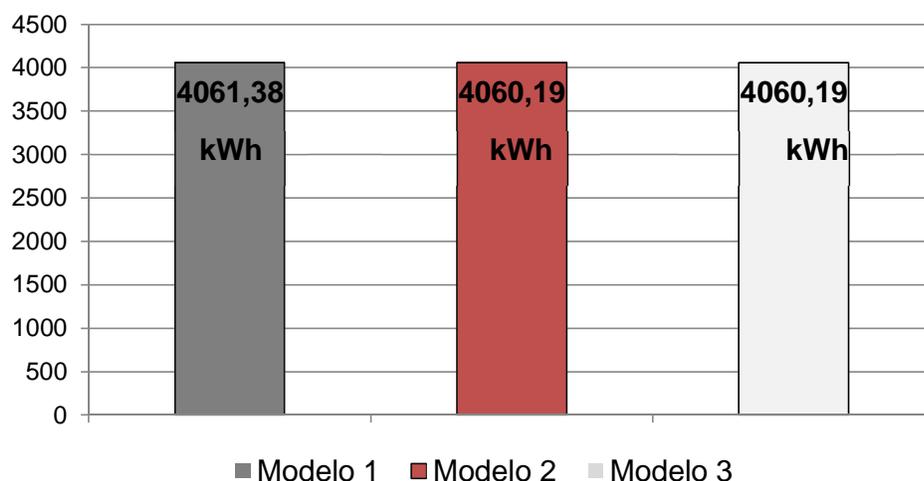
4.6 CONSUMO DE ENERGIA

Os resultados obtidos por meio das 11 simulações, as quais respeitam os mesmos dados aplicados nas análises de conforto térmico, também foram comparados e visualizados em sucessivos gráficos e por fim, estes acabaram compilados em tabela comparativa, a qual abrange todos os dados gerados por estas simulações, tendo sido obtido o Modelo 11 Otimizado, constante na última linha da Tabela 13.

4.6.1 Comparação do consumo de energia dos modelos 1, 2 e 3

O modelo 1 trata da edificação existente e os modelos 2 e 3 se referem ao aumento dos isolamentos das paredes. Foram propostos no Modelo 2, o aumento de 50 % da espessura da lâ de vidro em relação à espessura apresentada na edificação existente, e no Modelo 3 se propôs um aumento da espessura da lâ de vidro em 100 %. Porém, esses aumentos de espessuras dos isolantes nos Modelos 2 e 3 apresentaram uma redução mínima no consumo de kWh em relação ao Modelo 1, com economia de apenas 0,03 kWh, conforme gráfico 7.

Gráfico 7 - Comparação das paredes

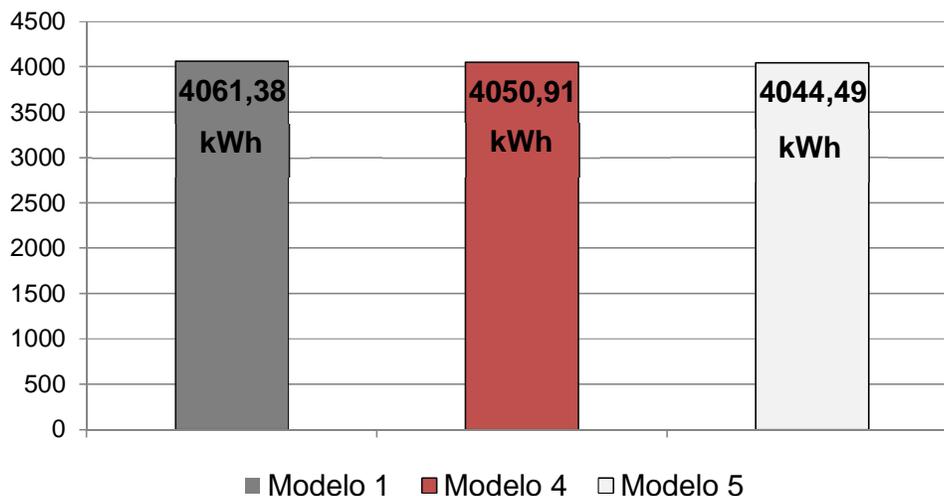


Fonte: Autoria própria.

4.6.2 Comparação do consumo de energia dos modelos 1, 4 e 5

O modelo 1 trata da edificação existente e os modelos 4 e 5 se referem ao aumento dos isolamentos da cobertura, tendo sido considerado um aumento de 50 % no Modelo 4 e de 100 % no Modelo 5 em relação ao Modelo Existente. Como resultado, houve uma pequena redução do consumo em kWh, onde o Modelo 4 apresentou uma economia comparada com o existente de 0,26 % ou 10,47 kWh e o Modelo 5 apresentou redução de 0,42 % ou 16,89 kWh, conforme demonstrado no gráfico 8. Assim, para o Modelo 11 foi considerado o Modelo 5.

Gráfico 8 - Comparação da cobertura.

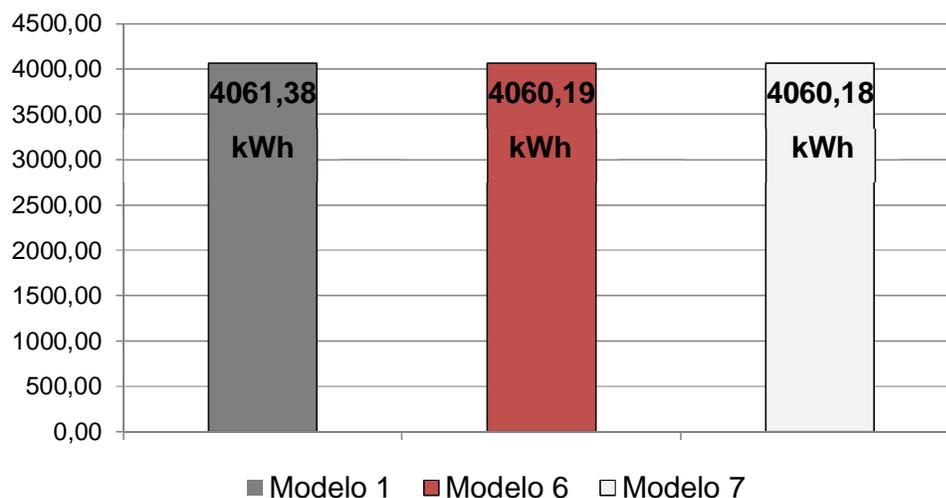


Fonte: Autoria própria.

4.6.3 Comparação do consumo de energia dos modelos 1, 6 e 7

O modelo 1 trata da edificação existente e os modelos 6 e 7 se referem ao aumento da espessura dos vidros. Esses apresentaram uma redução no consumo (kWh) em torno de 0,03 % em comparação com o Modelo 1, conforme demonstrado no gráfico 9.

Gráfico 9 - Comparação dos vidros

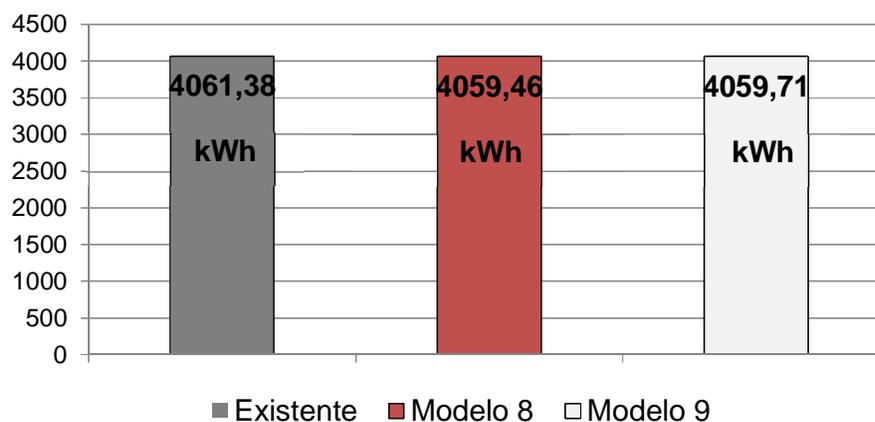


Fonte: Autoria própria.

4.6.4 Comparação do consumo de energia dos modelos 1, 8 e 9

O modelo 1 trata da edificação existente e os modelos 8 e 9 se trataram das cores da edificação, sendo que esses modelos são complementares e apresentaram uma redução não significativa do consumo em kWh consumido, em torno de 0,04 % ou 1,92 kWh no Modelo 8 e de 0,04 % ou 1,59 kWh no Modelo 9 em comparação com o Modelo 1, conforme gráfico 10.

Gráfico 10 - Comparação das cores

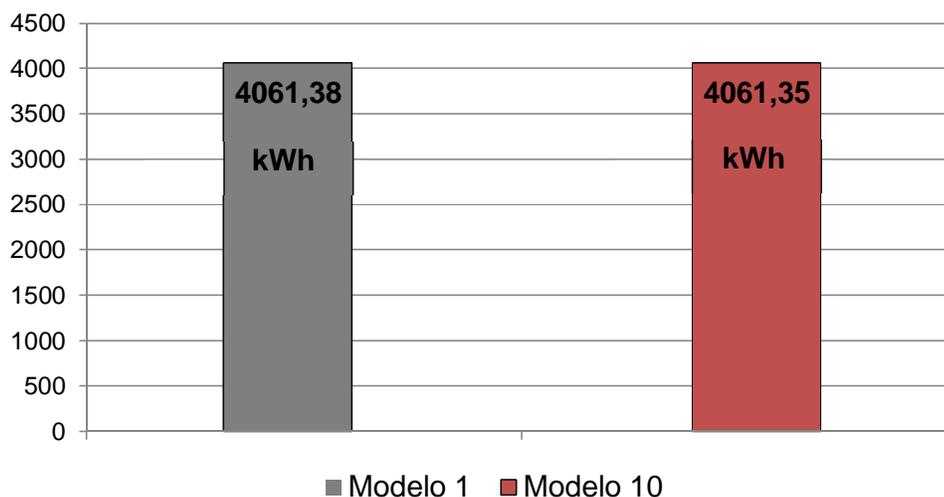


Fonte: Autoria própria.

4.6.5 Comparação do consumo de energia dos modelos 1 e 10

O modelo 1 trata da edificação existente e o modelo 10 faz referência à proteção solar da edificação. Com a aplicação das melhorias sugeridas pela Tabela 9, esta apresentou uma redução de consumo em kWh, em torno de 0,025 %, em comparação com o Modelo 1, demonstrado no gráfico 11.

Gráfico 11 - Comparação da proteção solar



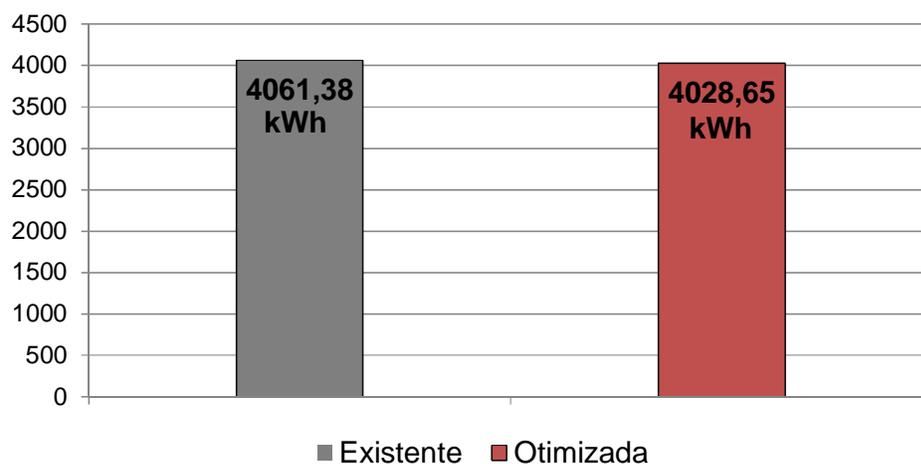
Fonte: Autoria própria.

4.6.6 Comparação do consumo de energia dos modelos 1 e 11

Consiste na comparação da edificação existente modelo 1 com o modelo 11 para análise do consumo energético. Este modelo possui as mesmas características utilizadas para as simulações de conforto térmico.

Como resultado, o Modelo 11 apresentou uma redução de 32,73 kWh ou 0,8 % no consumo energético, conforme mostra o gráfico 12, e a partir de todos os gráficos apresentados para os modelos 1 ao 11, foi gerada a tabela 13, que mostra mais claramente os dados obtidos.

Gráfico 12 - Comparação dos modelos



Fonte: Autoria própria

Tabela 13 - Resultados do consumo de energia para o mês de janeiro

| Modelos Modificados | | kWh |
|-------------------------|-----------|---------|
| Modelo existente | Modelo 1 | 4061,38 |
| Isolamento de paredes | Modelo 2 | 4060,19 |
| | Modelo 3 | 4060,19 |
| Isolamento de cobertura | Modelo 4 | 4050,91 |
| | Modelo 5 | 4044,49 |
| Vidros | Modelo 6 | 4060,19 |
| | Modelo 7 | 4060,18 |
| Cor | Modelo 8 | 4059,46 |
| | Modelo 9 | 4059,71 |
| Proteção solar | Modelo 10 | 4061,35 |
| Modelo Otimizado | Modelo 11 | 4028,65 |

Fonte: Autoria própria

4.7 DISCUSSÃO

Analisando os resultados nesse estudo, percebe-se que o Modelo Existente por ser uma edificação já projetada por um escritório de arquitetura, apresentou pouca diferença nas horas de conforto térmico em relação aos modelos modificados e otimizado para o mês de janeiro. Além disso, foi possível notar que com a otimização da edificação, houve um aumento das horas de conforto térmico em 4,5 %. Os modelos que apresentaram maiores horas de conforto térmico foram o aumento do isolamento da cobertura, cores claras e proteção solar nas aberturas.

O não aumento do conforto térmico com o aumento do isolamento das paredes e dos vidros pode ser relacionado ao fato de que no verão recebem menos radiação solar, devido ao ângulo solar e com isto, o efeito do isolamento é reduzido em relação à cobertura. Já no inverno recebem maior radiação em função do ângulo mais baixo do sol, e o isolamento térmico prejudica a entrada de calor pelas mesmas (CUNHA; SILVA; OLIVEIRA, 2010).

O Modelo 5, que trata do isolamento da cobertura, apresentou maiores horas de conforto em relação ao Modelo 4 e ao Modelo existente. Esse resultado pode ser explicado, pois quanto menor o valor da transmitância térmica, maior será o poder de isolamento da edificação (BRASIL, 2010), mostrando que para o mês de janeiro é satisfatório.

Para edificações térreas, a cobertura é responsável por boa parte das trocas térmicas, porque no verão é a cobertura que recebe maior quantidade de radiação solar e com o aumento do isolamento resta impedida a entrada do calor mantendo a temperatura interna menor (CUNHA; SILVA; OLIVEIRA, 2010).

A alteração das cores escuras para cores claras nas paredes e coberturas apresentou um resultado satisfatório, devido à cor clara refletir os raios solares, reduzindo, assim, a temperatura interna para o período do verão (GOULART, 2008).

Na RTQ-C consta que a absorvância para revestimentos externos de paredes e coberturas deve ser menor ou igual a 0,50 do espectro solar, a fim de garantir envoltórias mais eficientes (BRASIL, 2010). A cor clara, informada nos Modelos 8 e 9, apresentaram resultados inseridos neste limite, sendo que a absorvância térmica encontrada foi de 0,40 para o Modelo 8 e de 0,40 para o Modelo 9.

A proteção solar foi outro parâmetro que apresentou resultados significativos diante da edificação existente, mas não determinantes para o aumento do conforto térmico da edificação. Segundo Lamberts (2015), a proteção solar é um dos fatores que mais geram economia de energia elétrica, o que não se aplicou nesse estudo, visto que a variação diante de outras configurações foi mínima.

Para Krelling e Hackenberg (2015), utilizando o mesmo *software* de simulação, a inserção de proteção solar exerceu pequena influência sobre o consumo energético. Esse resultado foi explicado em decorrência da falta de sensibilidade do programa na percepção da insolação das fachadas. Porém, mesmo com dados muitas vezes inconsistentes é de extrema importância à simulação computacional na hora do desenvolvimento do projeto arquitetônico, pois esse permite novas soluções agregando qualidade e eficiência energética.

5 CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos mediante aos parâmetros avaliados da edificação existente em container, foram observados resultados satisfatórios, porém não significativos, em relação ao conforto térmico e consumo de energia, uma vez a edificação existente já apresentava um partido arquitetônico adequado. De maneira geral, aos modelos modificados da parede e vidros, não apresentaram aumento do conforto e redução do consumo energético. Diferentemente desses, a cobertura demonstrou melhor resultado, com valores melhores de conforto e redução do consumo de energia em relação à edificação existente. No que se refere às cores, a cor clara na cobertura apresentou melhor conforto térmico em relação às paredes da mesma cor.

A partir do manual da RQT-C, pode-se observar no presente estudo, que tanto a edificação existente como os modelos modificados e otimizado, estavam dentro dos limites exigidos. Em relação à absorvância térmica, as edificações modificada e otimizada apresentaram valores aceitáveis, ao contrário da edificação existente que apresentou valores fora dos limites.

Dessa forma, ressalta-se a importância do projeto arquitetônico e a simulação computacional previamente a construção da edificação, pois permitem que os parâmetros da mesma sejam modificados e previamente testados, melhorando o seu desempenho termoenergético. Ademais, a utilização de simuladores computacionais, como o *software* Domus- Eletrobrás, demonstram ser um método importante para as avaliações termo/energéticas, pois permitem alcançar informações relevantes para a análise destas edificações, bem como a utilização das normas da RTQ – C, evidenciam ser um instrumento fundamental para a análise da transmitância térmica de paredes e coberturas da edificação, uma vez que facilita a tomada de decisões no lançamento do projeto.

Portanto, espera-se que os containers sejam cada vez mais utilizados, bem como que sejam realizados outros estudos a respeito do seu comportamento térmico/energético, avaliando os custos das modificações, inclusive a economia de energia das decisões. Além disso, em estudos futuros, poderão ser considerados

outros parâmetros não mencionados neste trabalho, como a obtenção da etiqueta RTQ-C (anexo A).

REFERÊNCIAS

ANDRADE. O. F. **Histórico de Construção**. Las Palmas, 2008. Disponível em: http://editorial.dca.ulpgc.es/construccion/construccion/1_historia/index.htm. Acesso em 5 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 11358**: Painéis termoisolantes a base de lã de vidro. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Portaria (2010). **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010. 89 p.

BRAUN, R. **Novos paradigmas ambientais: desenvolvimento ao ponto sustentável**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2005. 65 p.

BUORO, A. **Conforto térmico e eficiência energética em hotéis econômicos**. São Paulo, 2008.

BUORO, B.A.; GUEDES. R. Reuso de containers marítimos na construção civil. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, Vol. 5 n.18, p.109, ago.2015. Disponível em: <http://www.sp.senac.br/blogs/revistainiciacao/wpcontent/uploads/2015/12/128_IC_correções-do-autor.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2017.

CARBONARI, T.L. **Reutilização de contêineres ISO na arquitetura: aspectos projetuais, construtivos e normativos do desempenho térmico em edificações no sul do brasil**. 2015. 196 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CECONPORT - Centro de Conhecimento Portuário e Retroportuária. **História do contêiner**. Santos, 2015 Disponível em: http://www.ceconport.com.br/site/images/historia_do_container_vistoria.pdf . Acesso em: 4 mai. 2017.

CONSELHO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÃO – CIB. **Agenda 21 para a construção sustentável**. São Paulo, 2000.

CORBAS, D. **Entrevista Jornal da Band**. 2012. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=ZjUK3cvJPCU>>. Acesso em: - 3 abr. 2017.

COSTA. F; PRADO. A. avaliação de desempenho, conforto térmico e ibutg em contêineres metálicos para canteiros de obras. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2014, Maceió/AL. p.13.

CREMONESI, et al. **Avaliação das condições de conforto ambiental e eficiência energética dos edifícios e suas inter-relações**. São Paulo, 2013.

CUNHA. G. E; KREBS. F. L; MOURA. W. P. Habitação em container: um estudo paramétrico para a zona bioclimática 3: **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**: Revista eletrônica, Palhoça - v.4, n. 12, Dez. 2015. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3347>. Acesso em: 5 mai. 2017.

CUNHA. G. E. SILVA. A; OLIVEIRA. L. Análise das condições de conforto térmico em habitações de Interesse social na região sul do RS: **Infohab**: Revista eletrônica, Chapecó, Out. 2010. Disponível em: http://www.infohab.org.br/acervos/sobreautor/codigoAutor/86568/codigo_biblio/104552/cod/1. Acesso em: 25 mai. 2017.

FATHY. H. **Natural Energy and Vernacular Architecture**. Estados Unidos, 1986. 195 p.

FROTA, A.; SHIFFER, S. **Manual do conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GALLO, E.; RIBEIRO. F. **Índices de conforto térmico ISSO 7730 em automação predial**. 2007. 112 f. Monografia (Trabalho de graduação) – Universidade de Brasília, 2007.

GOULART. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano**: Disciplina Desempenho Térmico de Edificações: Apostila, 2008, 32 p.

GRUPOIRS. Containers. Florianópolis. Disponível em: <https://www.grupoirs.com.br/containers/container-high-cube-ou-container-hc/>. Acesso: 4 abr. 2017.

KRELLING. F.A.; HACKENBERG. M. A. Influência de parâmetros construtivos na eficiência energética de uma edificação – análise através de simulação computacional: **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**: Revista eletrônica, Palhoça, v.4, n. 12, Dez. 2015. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3348. Acesso em: 7 jun. 2017.

LAMBERTS. R; DUTRA. L; PEREIRA. R.O.F. **Eficiência energética na arquitetura**. 1ª. ed. São Paulo, 1997. 192 p.

LAMBERTS. R. **Conforto e stress térmico**. Florianópolis. 2011. 87 p.

LAMBERTS. R; DUTRA. L; PEREIRA. R.O.F. **Eficiência energética na arquitetura.** 3ª. Ed. São Paulo, 2014. 382 p.

MATOS. E.M.J.; BRASILEIRO. L.L; reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil: **SciELO:** Revista eletrônica, São Paulo - vol.61, n.358, pp.178-189, Jul. 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S036669132015000200178&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 5 mai. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. In: Construção sustentável. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidadessustentaveis/urbanismosustentavel/construcoesustentavel>. Acesso em: Abr. 2017.

MUSSNICH. B.L. Retrofit em containers marítimos para reuso na arquitetura e sua viabilidade: **Especialize:** Revista eletrônica IPOG, Goiânia – v. 1, n 22, edição 10 dez. 2015. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n10-2015/retrofit-em-containers-maritimos-para-reuso-na-arquitetura-e-sua-viabilidade/>. Acesso em: 3 abr. 2017.

NASCIMENTO, A. energia solar fotovoltaica: **estudo de viabilidade no nordeste brasileiro.** João Pessoa, 2015.

ONU DI. **Programa De Capacitação Em Energias Renováveis:** Apostila. Observatório de Energias Renováveis para América Latina e Caribe, 2016, 95 p.

PIRRÓ. L. Análise da envoltória como estratégia para a sustentabilidade dos edifícios. **Revista Belas Artes:** Revista eletrônica, São Paulo - v 7, n.19, mai. 2015. Disponível em: <http://www.belasartes.br/revistabelasartes/?pagina=player&slug=analise-da-envoltoria-como-estrategia-para-a-sustentabilidade-dos-edificios>. Acesso em: 6 Abr. 2017.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução técnica (2015). **Saídas de emergência, nº11 – parte 1.** Porto Alegre: Comando do corpo de bombeiros militar do RS, 2015. 35 p.

SILVA. F. F. A. **Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a resolução Conama nº. 307/02 – estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte.** 2007. 117 p. Dissertação (Programa de pós-graduação em saneamento, Meio ambiente e recursos hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

SIMAS. L. S. L Construção sustentável – uma nova modalidade para Administrar os recursos naturais para a construção de uma Casa ecológica: **Cairu em revista – Sociedade, Educação Gestão e Sustentabilidade:** Revista Eletrônica, Salvador – 2012. Disponível em: <http://www.cairu.br/revista/artigos1.html>. Acesso em: 4 mai. 2017

ANEXO A – MÉTODO PRESCRITIVO - ETIQUETA RTQ-C

Figura 8 - Etiqueta RTQ-C para o modelo existente, com envoltória C.

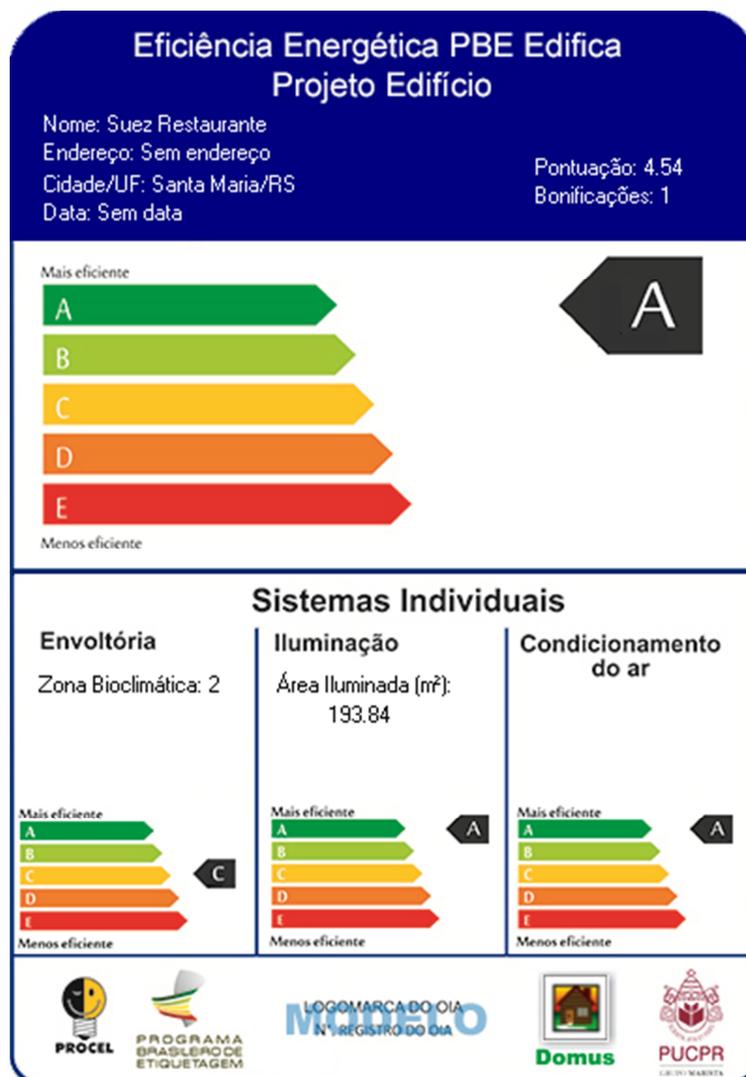


Figura 9 - Etiqueta RTQ-C para o modelo otimizado, com envoltória A.

