

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE
ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E DO MEIO AMBIENTE**

GABRIEL SGURA

**CONSTRUÇÃO DE MAQUETE ELETRÔNICA DO
RESTAURANTE DA BASE DA MARINHA EM PONTA
D'AREIA, NITERÓI/RJ**

**UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE**



**NITERÓI
2018**

GABRIEL SGURA

**CONSTRUÇÃO DE MAQUETE ELETRÔNICA DO RESTAURANTE DA BASE DA
MARINHA EM PONTA D'AREIA, NITERÓI/RJ**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Recursos Hídricos e do Meio ambiente, da
Universidade Federal Fluminense, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador (a):

Prof. Dr. Marcos Alexandre Teixeira

NITERÓI

2018

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e
Instituto de Computação da UFF**

----- Sgura, Gabriel
Construção de maquete eletrônica do restaurante da base da
marinha em ponta d'areia, Niterói/RJ / Gabriel Sgura; Marcos
Alexandre Teixeira, orientador, Niterói, 2018.
43 fl. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente) - Universidade Federal
Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2018.

1. Conforto ambiental. 2. Modelo arquitetônico. 3.
Produção intelectual. I. Título II. Teixeira, Marcos
Alexandre, orientador. III. Universidade Federal Fluminense.
Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Agrícola e
do Meio Ambiente.

CDD

Bibliotecária responsável: Fabiana Menezes Santos da Silva - CRB7/5274

GABRIEL SGURA

**CONSTRUÇÃO DE MAQUETE ELETRÔNICA DO RESTAURANTE DA BASE DA
MARINHA EM PONTA D'AREIA, NITERÓI/RJ**

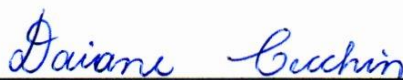
Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Recursos Hídricos e do Meio ambiente, da
Universidade Federal Fluminense, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em 10 de Julho de 2018.

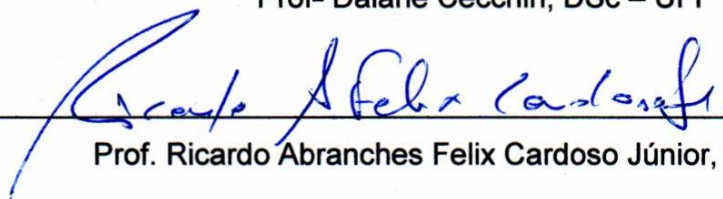
BANCA EXAMINADORA



Prof. Marcos Alexandre Teixeira, DSCc. - UFF.



Profª Daiane Cecchin, DSc – UFF



Prof. Ricardo Abranches Felix Cardoso Júnior, DSc – UFF

NITERÓI

2018

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos que acordam cedo para mudar o mundo.

AGRADECIMENTOS

À minha família, que longe ou perto, sempre esteve ao meu lado.

Aos meus amigos da UFF, que me ensinaram a tomar decisões e me impulsionaram pelo caminho.

Aos meus amigos das quartas, que me ensinaram o real poder da construção de hábitos.

Aos meus amigos da escola, que me ensinaram que às vezes é importante voltar a ser criança.

Aos meus amigos do trabalho, que me ensinaram que não há limites para o que podemos alcançar.

Aos professores, que me ensinaram a desconstruir informação, e construir conhecimento.

Ao trabalho, que me ensinou que a vida real é dura, mas vale a pena.

"I could either watch it happen or be a part of it."

Elon Musk

RESUMO

Energia é um dos recursos primários para o desenvolvimento humano, e tendo em vista sua disponibilidade e custo, estudos de eficiência energética visam a otimização o uso desse recurso. Dentro do leque de metodologias empregadas para otimizar o uso de energia, uma delas é a redução do consumo. Considerando que o mesmo pode ser derivado da climatização de ambientes, a aplicação de metodologias de climatização passiva é valiosa na redução de custos para esse fim. O presente trabalho teve como objetivo estudar programas de modelagem de edificações, focados no estudo de envoltório e eficiência energética, e construir uma maquete eletrônica que permita avaliar diferentes adaptações construtivas. O programa Domus (Procel Edifica) da PUC PR foi escolhido e nele foi construída a réplica do restaurante dos cabos, marinheiros e sargentos da Base de Hidrografia da Marinha de Niterói. Como resultado, foi emitida a etiqueta de eficiência energética da edificação, e o modelo ficou preparado para que alterações fossem aplicadas e estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética, Envoltório, Modelagem.

ABSTRACT

Energy is one of the primary resources for human development, and considering its availability and cost, energy efficiency studies have value in optimizing the use of this resource. Within the range of methodologies used to optimize the use of energy, one of them is the reduction of consumption. Considering that consumption can be derived from ambient air conditioning, the application of passive thermal conditioning methodologies is valuable in reducing costs for this purpose. The present work had as objective to study software for modeling of buildings, focused on the study of envelope and energy efficiency, and to construct an electronic model that allows the evaluation of different constructive adaptations. The Domus program (Procel Edifica) of the university PUC PR was chosen and the replica of the restaurant of the Hydrographic Base of the Navy of Niterói was built. As a result, the building's energy efficiency label was issued, and the model was prepared for changes to be applied and studied.

KEY WORDS: Energy Efficiency, Envelope, Model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Carta Bioclimática de Givoni para Edificações com Ventilação (GIVONI, 1992)	16
Figura 2 - Zoneamento bioclimático de Niterói, RJ no ZBBR	17
Figura 3 - Edificação na interface gráfica do Domus.....	30
Figura 4 - Parâmetros das paredes internas	33
Figura 5 - Parâmetros das paredes internas	33
Figura 6 - Parâmetros das fachadas	34
Figura 7 - Parâmetros das Lajes	35
Figura 8 - Configurações de localização e posição solar	35
Figura 9 - Caminho do Sol (Fonte: Autor)	36
Figura 10 - ENCE do Restaurante da BHMN	37

LISTA DE QUADROS OU TABELAS

Tabela 1 - Tabela de Equipamentos	21
Tabela 2 - Matriz de Decisão.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

BHMN – Base de Hidrografia da Marinha em Niterói

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

NREL – *National Renewable Energy Laboratory*

TESS – *Thermal Energy System Specialists*

TRNSYS – *Transient System Simulation Tool*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1	ENVOLTÓRIO DE EDIFICAÇÕES.....	15
3.2	AMBIÊNCIA E CONFORTO TÉRMICO	15
3.3	MODELAGEM E REQUISITOS	18
3.4	ETIQUETAGEM E METODOLOGIAS	19
3.4.1	<i>Etiqueta Nacional de Conservação de Energia</i>	<i>19</i>
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1	ESTUDO DE CASO – O RESTAURANTE DA BHMN	20
4.2	COLETA DE DADOS.....	20
4.2.1	<i>Dados de campo</i>	<i>20</i>
4.3	METODOLOGIAS DE MODELAGEM DISPONÍVEIS	22
4.3.1	<i>EnergyPlus</i>	<i>22</i>
4.3.2	<i>TRNSYS</i>	<i>24</i>
4.3.3	<i>OpenStudio.....</i>	<i>25</i>
4.3.4	<i>Design Builder</i>	<i>26</i>
4.3.5	<i>AutoDesk Revit (Ecotect)</i>	<i>26</i>
4.3.6	<i>Domus – Procel Edifica</i>	<i>27</i>
4.4	IDENTIFICAÇÃO DO MÉTODO ESCOLHIDO.....	28
4.4.1	<i>Indicadores de decisão.....</i>	<i>28</i>
4.4.2	<i>Matriz de Decisão.....</i>	<i>29</i>
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	IDENTIFICAÇÃO DO MÉTODO ESCOLHIDO.....	30
	CONSTRUÇÃO DO MODELO (DOMUS – PROCEL EDIFICA)	30
5.2		30
5.2.1	<i>Passo a Passo</i>	<i>30</i>
5.2.2	<i>Resultados da modelagem</i>	<i>37</i>
6	CONCLUSÕES	38
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
8	ANEXO – PLANTA BAIXA.....	42

1 INTRODUÇÃO

Na formação de um engenheiro para o mercado, nem sempre se pode esperar encontrar – dentro do âmbito acadêmico – oportunidades do estudante se depara com casos de campo para que – com a devida orientação – possa se dedicar a elaborar um diagnóstico e propor linhas de ação para reverter eventuais desvios encontrados.

Este certamente não é o caso, nascido de uma interação entre a Universidade Federal Fluminense e a Marinha do Brasil, em especial o comando da Base de Hidrografia da Marinha em Niterói (BHMN, no bairro ponta da areia, também em Niterói), no âmbito da disciplina TER00076 – Alternativas Energéticas, em que os alunos foram desafiados a tomarem para si o desafio de interagirem com uma edificação real, em operação diária, foco de uma possível reforma; um convite feito pelo comando da Base e aceito pelo autor deste trabalho.

Assim, o esse trabalho se viabiliza a partir de uma necessidade real, motivada por um imperativo de melhoria nas condições de uso da edificação e diminuição dos gastos com energia e climatização, assim como estreitar as relações entre duas instituições Federais: uma universidade e a marinha do Brasil.

Desta forma, o presente estudo se coloca como uma colaboração entre o corpo de Engenharia da Base de Hidrografia e a UFF no sentido de avaliar as condições presentes do prédio da cozinha e restaurantes dos praças e suboficiais (ano base 2017), e – com base nesta análise – propôs eventuais ações de melhoria no conforto térmico e diminuição nos gastos energéticos.

A dissertação se insere numa sequência de estudos onde outros grupos de alunos da mesma disciplina focaram seus esforços em avaliar: sistema fotovoltaico para atender as demandas de energia elétrica, coletores solares para fornecer água quente para a cozinha (cocção e limpeza) e efficientização energética dos equipamentos elétricos.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

Realizar a construção da maquete eletrônica do restaurante da base da marinha em Ponta d'Areia, Niterói/RJ para fins de estudo de envoltória e ambiência.

2.2 *Objetivos específicos*

- ✓ Identificar parâmetros, dados realização de medições como requisitos técnicos necessários para a construção do modelo;
- ✓ Identificar quais são as metodologias de modelagem disponíveis e sua aplicabilidade ao caso de estudo;
- ✓ Identificar pontos positivos e negativos das metodologias e sua aplicabilidade ao estudo de caso; e
- ✓ Construção do modelo, na forma de maquete eletrônica, da edificação do estudo de caso.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 *Envoltório de Edificações*

É possível encontrar no Balanço Energético Nacional, a segmentação de consumidores da energia elétrica no Brasil. No estudo conduzido em 2017, referente ao ano de 2016, fica constatado que o maior consumo de energia elétrica é realizado pelas edificações. O número no documento citado chega a 51,1%. Ou seja, mais da metade da eletricidade consumida no país é utilizada nos edifícios (MME, 2017).

Isso é relevante em relação a envoltório principalmente pelo fato de grande parte da energia em edificações, especialmente no Brasil e dentro do contexto urbano, ser utilizada para fins de ambiência. Segundo o IPCC, mais de 30% da energia em edificações é utilizada para aquecer ou resfriar o interior. O mesmo relatório, que cita recomendações para a redução de consumo de energia, diz que existem maneiras de reduzir entre 50% e 75% o consumo energético em edifícios existentes. Isso se faz por meio de diferentes opções tecnológicas, arquitetônicas e de mudanças comportamentais de uso (IPCC, 2014).

O envoltório de uma edificação pode ser definido como os planos que separam o ambiente interior do ambiente exterior de um edifício (MME, 2010). Com isso, como citado pelo IPCC, é possível reduzir o consumo de energia elétrica de edificações executando alterações nesses planos. Ou seja, alterando condições arquitetônicas, é possível alcançar níveis de ambiência desejáveis com menor consumo de energia.

3.2 *Ambiência e Conforto Térmico*

Condições ambientais devem estar de acordo com alguns limites para garantir que haja conforto em um determinado espaço. Em relação ao conforto térmico, os parâmetros de temperatura, velocidade do ar e umidade relativa devem ser controlados. No Brasil, a NR 17 define que a temperatura deve estar em uma faixa entre 20° C e 23° C, a velocidade do ar não pode ser superior a 0,75 m/s e a umidade relativa do ar deve ser superior a 40% para ambientes de trabalho (MTE, 2007).

Uma metodologia que pode ser utilizada para entender como as condições ambientais estão divergentes do ideal para o conforto térmico é a Carta Bioclimática

de Givoni, na figura a seguir. A Carta construída em cima de um diagrama psicrométrico, e define uma área de conforto térmico de acordo com as normas da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*). Sabendo a área de conforto térmico e as condições atuais do ambiente, é possível determinar quais ações podem ser tomadas para atingir o conforto (GIVONI, 1992).

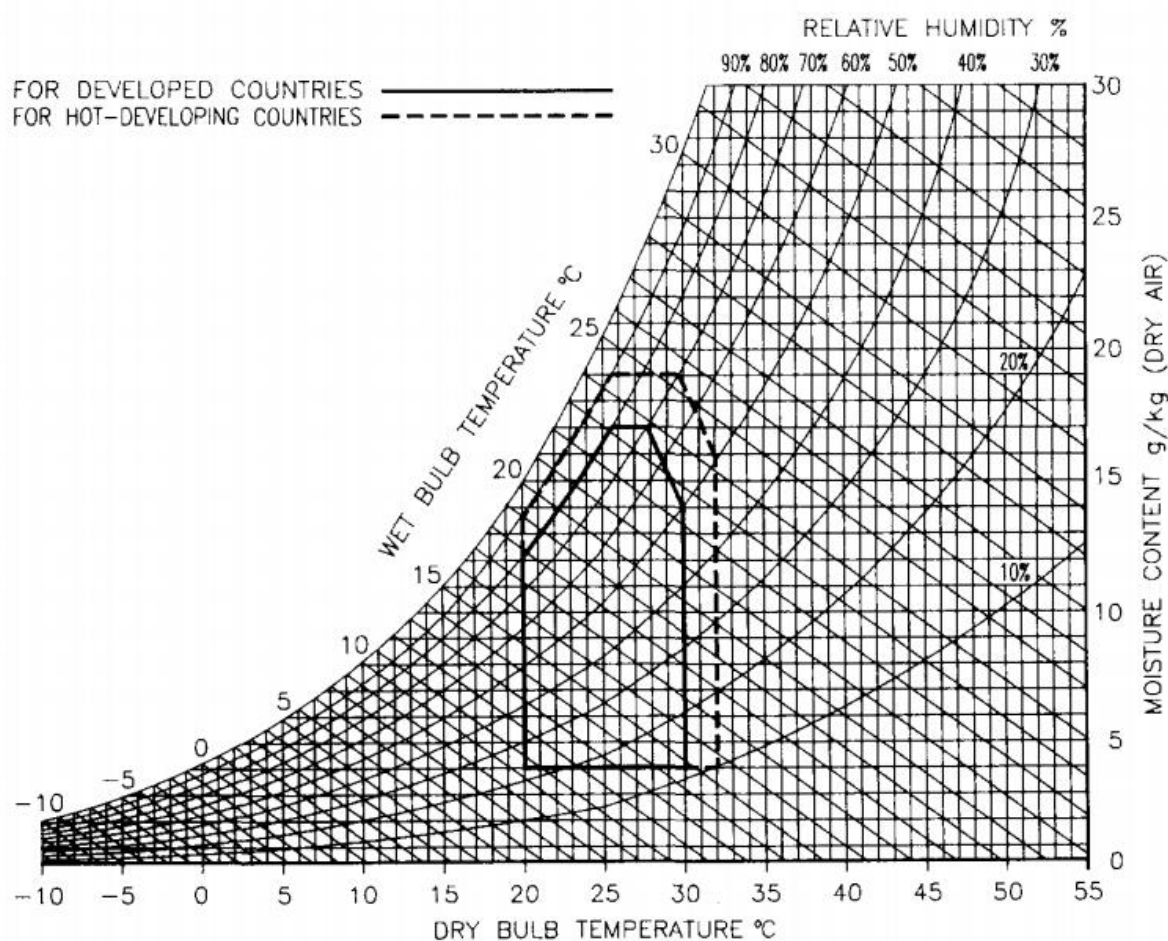


Figura 1 - Carta Bioclimática de Givoni para Edificações com Ventilação (GIVONI, 1992)

No Brasil, a NBR 15220-3 de 2005 descreve recomendações construtivas para o atingimento do conforto térmico de acordo com zonas bioclimáticas. Na norma técnica, o território nacional é dividido em 8 zonas bioclimáticas, de acordo com suas condições climáticas. Essas zonas apresentam diferentes condições e representam pontos diversos no diagrama psicrométrico. A norma utiliza a zona de conforto do diagrama e a distribuição das condições médias de cada dia do ano em cada uma das

localidades, na forma de pontos na carta psicométrica, em contraste com as zonas de conforto para fazer suas recomendações arquitetônicas (ABNT, 2005).

As recomendações contemplam diferentes estratégias tais como: aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas, tipos de vedações externas, e estratégias de condicionamento térmico passivo. Por exemplo, a cidade de Niterói, no estado do Rio de Janeiro, se encontra na zona bioclimática 5. Nessa zona, a norma recomenda aberturas para ventilação médias e sombreadas. As paredes devem ser leves e refletoras, com leve isolamento. Como estratégia de condicionamento térmico passivo, no verão é recomendado utilizar a ventilação cruzada. No inverno devem ser utilizadas vedações internas pesadas (ABNT, 2005).

Essa classificação e as recomendações construtivas podem ser consultadas pelo software ZBBR, da Universidade Federal de São Carlos, mostrado na figura a seguir. É possível selecionar a cidade de estudo dentre as 330 cidades que a NBR 15220-3 de 2005 contempla (RORIZ, 2004).

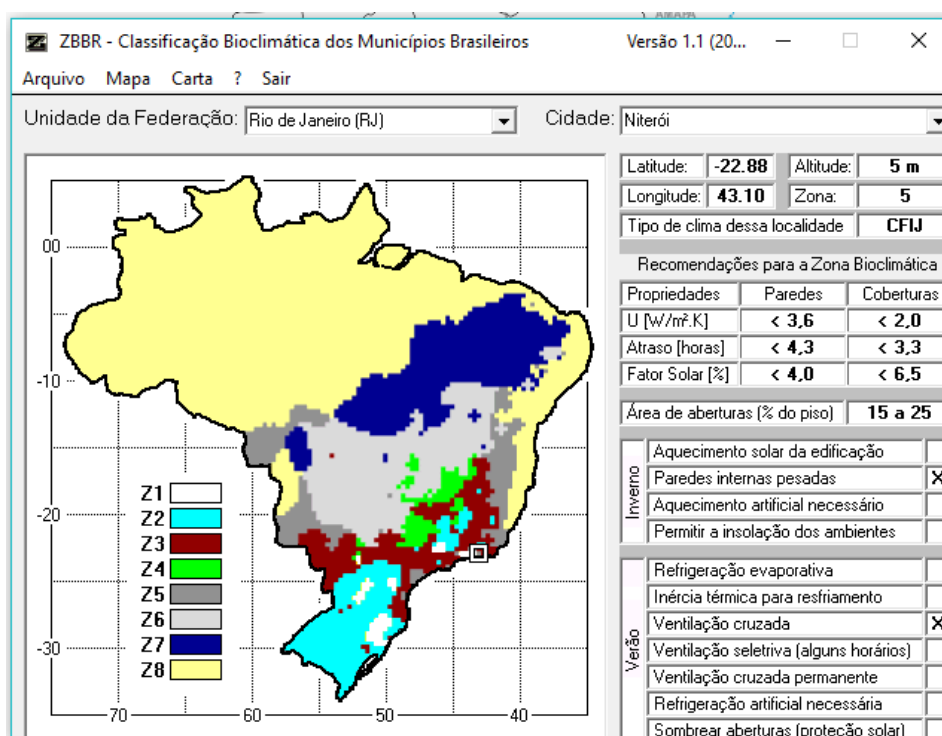


Figura 2 - Zoneamento bioclimático de Niterói, RJ no ZBBR

Na interface do software, é possível visualizar as recomendações construtivas da norma, assim como a zona bioclimática e a localização da cidade em questão. Além disso, é possível ver o diagrama com o mapa do território brasileiro e suas segmentações.

3.3 Modelagem e requisitos

Para entender o desempenho do envoltório de uma edificação em relação à sua capacidade de garantir conforto térmico, pode-se utilizar diversos softwares de modelagem e simulação¹. Segundo os manuais de uso de diversos softwares de modelagem, a exemplo de: *OpenStudio*, *EnergyPlus*, *Domus*, existem informações que precisam ser inseridas no sistema para executar uma modelagem; uma que é comum entre todos, diz respeito à construção física da edificação. Nela, deve ser levado em consideração as dimensões da edificação, janelas e portas. Além disso, a espessura e materiais das estruturas. Essa parte é importante porque tem como resultado zonas de condições térmicas que interagem entre si. A partir delas, os programas conseguem simular as trocas de calor para calcular o conforto térmico nas diferentes zonas (DOMUS, 2013).

Depois, dados de ganhos térmicos internos devem ser inseridos, tais como equipamentos em uso, sistemas de refrigeração (como aparelhos de ar condicionado), pessoas e iluminação.

Equipamentos e iluminação possuem uma carga térmica específica. Esses dados são importantes porque eles ditam exatamente quais são os ganhos térmicos que a edificação possui.

Pessoas e horários de funcionamento são dados que permitem estimar tanto a carga térmica que as pessoas geram no ambiente, como as aberturas de portas, que ocasionam trocas térmicas mais intensas entre ambientes.

Refrigeração, assim como equipamentos, é importante para os cálculos de trocas térmicas, a única diferença entre os dois é que um gera calor, e outro retira calor do ambiente.

Após o cômputo dos dados internos, devem ser configurados parâmetros referentes ao ambiente externo. Esses são referentes ao azimuth do prédio (posicionamento referente ao Sol), geolocalização, assim como dados climáticos. Esses são importantes para as simulações entre a edificação e ambiente externo (DOMUS, 2013).

3.4 Etiquetagem e metodologias

A etiquetagem, ou certificação energética de edificações, segundo Carlo, em 2010, já é uma tendência mundial, a exemplo do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) em Portugal; nos Estados Unidos, já existem há 30 anos, as normas da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), e a Austrália utiliza o *Building Code of Australia* (Carlo, 2010).

No Brasil, foi desenvolvido o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) em 2009. O RTQ-C inclui dois métodos de avaliação distintos tendo como objetivo a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). O RTQ-C propõe um método de avaliação comparativo, já que basicamente utiliza um edifício de controle com características semelhantes para que seja possível chegar no resultado do edifício estudado (Carlo, 2010).

3.4.1 Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia é uma classificação do nível da eficiência energética baseada em três sistemas. Para obter a etiqueta a edificação deve estar classificada em pelo menos um dos sistemas (sem dependência entre elas), indo progressivamente até possuir apenas as três classificações. Os sistemas possuem um nível de eficiência variando de E (menos eficiente) a A (mais eficiente). Eles são, Envoltório, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar. A ventilação natural pode substituir o condicionamento de ar, contanto que mantenha os padrões mínimos de conforto térmico (MME, 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Estudo de Caso – O Restaurante da BHMN

A Base de hidrografia da marinha é localizada no Município de Niterói, no estado do Rio de Janeiro. Segundo a Marinha do Brasil essa base tem o propósito de executar atividades logísticas e administrativas em apoio à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e às organizações a ela subordinadas, que possui capacidade para instalar, manter e executar reparos em equipamento eletrônicos, além de executar serviços de impressão e distribuição de documentos topográficos e de auxílio à navegação.

O restaurante presente na base é a edificação escolhida para o estudo. São dois andares, o inferior destinado à armazenagem de alimentos, preparo dos mesmos e limpeza de utensílios, o superior é destinado aos refeitórios, divididos em dois ambientes: um para os praças e outro para os sub-oficiais.

Nas visitas realizadas à base, os oficiais demonstraram o desejo de reduzir custos com usos de energia no restaurante, assim como garantir o conforto térmico nos refeitórios. Atualmente, segundo os oficiais, os refeitórios apresentam condições não ótimas de conforto, e de acordo com os relatos, o maior incômodo é a elevada temperatura.

A modelagem do edifício pode ajudar a entender de fato quais são os pontos focais de melhoria no restaurante para combater esses dois problemas chave, da energia, e do conforto.

4.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi executada de duas maneiras. Uma parte dos dados foi coletado nas visitas ao restaurante, e outra, a partir de bibliografias citadas.

4.2.1 Dados de campo

4.2.1.1 Construção

No ANEXO – Planta baixa, pode ser visto uma vista da planta baixa do restaurante, nela é possível encontrar as dimensões da edificação, tipos de uso de cada cômodo, espessura da alvenaria e dimensões das aberturas.

Vale ressaltar que foram feitas duas idas a capo para coleta de informações, identificação dos equipamentos e entrevista com o

4.2.1.2 Equipamentos

A tabela 1 mostra a lista de equipamentos presentes no restaurante.

Tabela 1 - Tabela de Equipamentos

Equipamento	Quantidade	Potência [W]
Lâmpadas Fluorescentes T8 (120 cm)	248	36
Lâmpadas Fluorescentes	6	40
Ar condicionado de janela 60.000 btus	1	-
Ar condicionado de janela 7.500 btus	3	-
Ar condicionado Split 60.000 btus	4	-
Ar condicionado Split 12.000 btus	4	-

Não existem dados de potência de outros equipamentos, como fogões e frigoríficos. Por esse motivo, para que não fosse desconsiderada por completo a influência desses equipamentos no sistema, foi encontrado no artigo de Burato, 2016, dados de consumo para as câmaras frias. Segundo a planta baixa, são três câmaras frias. A potência de uma câmara fria foi adotada como de 1.400W (Burato, 2016).

4.2.1.3 Uso da Edificação

São servidas aproximadamente 2.800 refeições diariamente, e considera-se que no horário do almoço, das 12h00 às 13h00, existem 1.400 pessoas presentes, e no horário do jantar, das 18h00 às 19h00, também 1.400 pessoas presentes.

Além disso, temos o horário de trabalho no restaurante, para a preparação dos alimentos, que vai das 04h00 às 10h00. Nesse período é considerado o uso das

cozinhas por 20 pessoas. Além disso, há geração de vapor, por 4 painelas, a aproximadamente 60°C, no mesmo intervalo de tempo.

4.2.1.4 Geolocalização

A geolocalização foi obtida por meio do Google Earth. O restaurante está em uma latitude de -22,90 S e uma longitude de -43,13 O. Suas fachadas maiores estão voltadas para leste e oeste.

4.2.1.5 Dados Climáticos

Os dados climáticos são obtidos a partir de um arquivo climático, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), que é vinculado ao Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. O arquivo climático para esse trabalho é o de Niterói, com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

4.3 Metodologias de modelagem disponíveis

Para entender o desempenho do envoltório de uma edificação em relação à sua capacidade de garantir conforto térmico, pode-se utilizar diversos softwares de modelagem e simulação. Estão listados aqui alguns softwares. Os detalhes referentes aos softwares podem auxiliar na escolha de um software de modelagem mais apropriado para cada caso. Os pontos positivos e negativos aqui citados estão relacionados a facilidades e limitações dos softwares respectivamente.

4.3.1 EnergyPlus

O *EnergyPlus* é um software derivado dos programas BLAST e DOE – 2. O BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e o DOE – 2 são ferramentas que foram desenvolvidas na década de 1970 e 1980, com o objetivo de realizar simulações para análises de energia. O público alvo do software são técnicos

com o objetivo de dimensionar sistemas de condicionamento de ar e ventilação, desenvolver estudos de envoltório e otimizar o desempenho energético de edificações. O desenvolvimento desses dois programas está inserido em um contexto de aumento da preocupação acerca do uso de energia elétrica em um momento de crise energética nos Estados Unidos.

Como os programas que o originaram, o *EnergyPlus* é um software para a simulação de cargas energéticas e análises térmicas. Com base na construção de uma maquete eletrônica de um edifício, considerando as camadas de seu envoltório e equipamentos em seu interior, o *EnergyPlus* realiza o cálculo das cargas de aquecimento e resfriamento que seriam necessárias para manter certas condições térmicas nos ambientes (U.S. Department of Energy, 2018).

4.3.1.1 Pontos Positivos

O forte do *EnergyPlus* está em sua capacidade computacional de processamento de dados. Sendo o foco do *software* a simulação em si, com base nos *inputs* do usuário, ele acaba sendo bem versátil nos resultados. Por ser *Open Source*, o que significa que os usuários podem contribuir e modificar o código do programa, essa versatilidade se estende ainda mais.

Outro ponto forte do *software*, resultando da gama de resultados que ele gera, é a quantidade de relatórios que ele disponibiliza, dependendo do nível de informação que foi inserida. Os relatórios que ele emite podem ser utilizados para calcular custos do consumo de energia de uma edificação, assim como há um relatório específico para a obtenção da certificação LEED (U.S. Department of Energy, 2018).

4.3.1.2 Pontos Negativos

O *EnergyPlus* não possui interface gráfica, por isso deve ser utilizado em conjunto com outros softwares para que as simulações sejam efetuadas. Por esse motivo, algumas instituições utilizam o *EnergyPlus* como o simulador base de seus próprios programas de modelagem, porém o complementam com uma interface gráfica.

Outro lado negativo do *EnergyPlus*, que só não é favorável pelo fato do presente trabalho ter sido desenvolvido no Brasil, é que ele está nativamente programado de acordo com as normas da ASHRAE (U.S. Department of Energy, 2018).

4.3.2 TRNSYS

O TRNSYS (*Transient System Simulation Tool*) é um *software* comercial utilizado para a simulação de sistemas transientes. Ele foi desenvolvido pela empresa de consultoria de engenharia TESS (*Thermal Energy System Specialists*), localizada no estado de Wisconsin nos Estados Unidos.

O programa em si é composto de duas partes. A primeira é o simulador, que entende os arquivos de entrada e faz diversos tipos de processamento para chegar aos resultados desejados. A segunda parte é uma biblioteca de modelos e componentes, que podem ser utilizados na construção dos ambientes.

Os dados de saída do *software* não só contemplam simulações de edificações, mas como de qualquer sistema de energia. Os dados relativos ao TRNSYS foram retirados do seu site (www.trnsys.com).

4.3.2.1 Pontos Positivos

O lado positivo do TRNSYS é principalmente sua vasta biblioteca de componentes que podem ser utilizados para agilizar a construção de ambientes. O usuário tem total liberdade para editar esses componentes para que retratem a realidade da edificação, caso não seja possível encontrar um componente pronto.

Outros sistemas podem ser simulados pelo programa, isso é um diferencial. É possível simular edificações assim como sistemas de geração de energia geotérmica, eólica, fotovoltaica e termelétricas.

Outro lado positivo é a possibilidade de utilizar os resultados para obter a certificação LEED.

4.3.2.2 Pontos Negativos

O principal lado negativo do TRNSYS é que ele é um *software* comercial, e por mais que haja uma versão para demonstração, sua utilização em projetos é restrita e requer pagamento. A demonstração é limitada a poucos ambientes na modelagem.

4.3.3 OpenStudio

O *OpenStudio* é um conjunto de *softwares*, que foram desenvolvidos em um trabalho conjunto do NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) com o *U.S. Department of Energy*. Seus usos são majoritariamente a modelagem de sistemas energéticos em edificações, contemplando variáveis ambientais, envoltório, sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação, entre outras.

Ele pode ser utilizado por arquitetos, designers e engenheiros em sua interface gráfica, mas não é restrito a isso. Seu código aberto permite que desenvolvedores e pesquisadores utilizem suas aplicações para melhorar o sistema como um todo e conduzir estudos mais específicos (NREL, 2018).

4.3.3.1 Pontos Positivos

O principal ponto positivo do *OpenStudio* é que ele pode ser utilizado com diversos níveis de complexidade. É possível para um arquiteto se preocupar, por exemplo, apenas com os aspectos físicos de uma edificação. Ao mesmo tempo, investidores podem ter noção dos custos de construção e manutenção de edificações de acordo com sua vida útil.

Isso é possível porque essa solução apresenta programas para cada parte do trabalho, ou seja, é uma solução completa, com interface gráfica, API (*Application Programming Interface*), simulação e relatórios (NREL, 2018).

4.3.3.2 Pontos Negativos

O maior ponto negativo da ferramenta é, assim como o *EnergyPlus*, que suas configurações nativas são referentes aos Estados Unidos.

4.3.4 Design Builder

O *Design Builder* é um *software* comercial desenvolvido pela empresa de mesmo nome, *Design Builder Software* (DBS), localizada na Inglaterra. A empresa atende a projetos principalmente, mas não exclusivamente, nos países do Reino Unido, Irlanda, França e Portugal (DesignBuilder, 2018).

O programa é focado na modelagem energética de edificações. Ele é organizado em módulos de uso, e cada nível de licença possui certos módulos. Por exemplo, o modo “*Architectural*” é menos completo do que o “*Engineering*”, que possui todos os módulos. Basicamente, existem os módulos básicos, que contemplam a construção e visualização de edificações, e os módulos avançados, que executam as simulações e emitem relatórios (DesignBuilder, 2018).

4.3.4.1 Pontos Positivos

O maior ponto positivo do *software* está presente em sua versão mais recente, na qual é possível executar a construção da edificação, a simulação da eficiência energética, emissão de relatórios para obter certificações e contabilização de custos de construção. Basicamente o programa apresenta uma solução completa para a análise energética de uma edificação (DesignBuilder, 2018).

4.3.4.2 Pontos Negativos

O principal ponto negativo do *Design Builder* é ser pago, e quanto mais funcionalidades se deseja utilizar, maior sua precificação.

4.3.5 AutoDesk Revit (Ecotect)

O *Ecotect* foi desenvolvido pela *AutoDesk*, empresa responsável pelo AutoCAD, um programa de desenho muito utilizado na engenharia. O *software* foi descontinuado em 2015 e suas funcionalidades foram englobadas no *Revit*, também da AutoDesk. A empresa tomou essa decisão para deixar seus programas mais

integrados, para que os usuários tenham acesso a mais funcionalidades no mesmo *software*.

O *Revit* possui uma interface para a construção de edificações e depois de receber as funcionalidades passou a fazer análises de energia também. Nele, é possível simular irradiação solar, performance térmica, dados climáticos e analisar o desempenho energético de uma construção como um todo (AutoDesk, 2016).

4.3.5.1 Pontos Positivos

O maior forte do *Revit* é que ele é compatível com os programas da Autodesk, que são bastante utilizados e reconhecidos na engenharia. Por esse motivo, é mais fácil integrar ele com projetos de engenharia já desenvolvidos nesses programas.

4.3.5.2 Pontos Negativos

Os pontos negativos são basicamente devidos suas funcionalidades de análise de energia serem relativamente novas, o *Revit* ainda não possui algumas que seus concorrentes já desenvolveram. Por exemplo, ainda não há a funcionalidade de emitir relatórios próprios para a obtenção de certificados.

4.3.6 Domus – Procel Edifica

O Domus é um *software* brasileiro desenvolvido na PUC-PR, o qual foi concebido na necessidade de ter um programa voltado especificamente para a realidade brasileira. Apesar do desenvolvimento de outras ferramentas de modelagem nos Estados Unidos e na Europa, logo a partir da década de 1970, ainda não havia um programa com interface em português e adaptado, por exemplo à etiquetagem de eficiência energética em edificações brasileiras (DOMUS, 2013).

4.3.6.1 Pontos Positivos

O principal a se destacar do Domus é o fato dele ter sido desenvolvido para o usuário brasileiro. Com isso, o *software* não só já vem preparado para efetuar a

Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), mas também é o *software* de uso oficial da Eletrobrás.

O programa já tem em seu banco de dados arquivos climáticos brasileiros e zonas bioclimáticas. Além disso, em seus procedimentos, já está de acordo com os Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais (RTQ-C) e com a NBR 14220-3/2005.

4.3.6.2 Pontos Negativos

O lado negativo do Domus é que sua interface gráfica é limitada, por exemplo, não é possível incluir telhados, apenas lajes.

Em comparação com outros *softwares*, também não há o cálculo automático dos custos de construção.

4.4 Identificação do Método Escolhido

Para definir qual metodologia de modelagem é mais apropriada para o presente trabalho, foi utilizada a metodologia da matriz de decisão. Para executar essa decisão, primeiro é necessário decidir quais indicadores serão analisados para cada opção, depois definir o peso de cada indicador, e por fim, comparar o vetor de indicadores de cada opção em uma chamada matriz de decisão (Stein, 2010).

4.4.1 Indicadores de decisão

Os indicadores que foram escolhidos foram todos binários, nenhum numérico. Os valores possíveis são “Sim” e “Não”. Esses valores indicam a presença ou ausência de alguma funcionalidade no software analisado. Por isso, ao invés de atribuir pesos para chegar em um resultado numérico, os indicadores são classificados em limitantes ou não limitantes. Isso significa que, para um indicador limitante, se seu valor for “Não”, ele já descarta o *software* da escolha final.

Os indicadores utilizados são:

- Interface gráfica – limitante;
- Configurações de envoltório – limitante;

- Configurações de parâmetros internos e externos – limitante;
- Geração automática de custos de energia/ construção – não limitante;
- Geração automática de certificação/ etiquetagem – limitante; e
- Gratuidade – limitante.

4.4.2 Matriz de Decisão

A partir do levantamento feito, foi possível gerar uma tabela com todos os vetores, compostos pelas opções e os valores dos seus indicadores (tabela 2).

Tabela 2 - Matriz de Decisão

Software	EnergyPlus	TRNSYS	OpenStudio	DesignBuilder	Revit	Domus
Interface Gráfica	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Envoltório	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Parâmetros Internos/Externos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Custos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Certificação	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Gratuito	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim

A matriz de decisão indica que, pelos fatores limitantes, sobram duas opções para a decisão final, o *OpenStudio* e o *Domus*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Identificação do Método Escolhido

A partir da matriz de decisão construída no capítulo anterior, dois *softwares* ficam disponíveis para a escolha, o *OpenStudio* e o Domus. Considerando as facilidades que o Domus apresenta para um estudo especificamente no Brasil, ele foi escolhido como ferramenta de modelagem para esse trabalho.

5.2 Construção do Modelo (DOMUS – Procel Edifica)

5.2.1 Passo a Passo

5.2.1.1 Edificação

Na edificação, é feita a construção do seu espaço físico. O resultado da construção da maquete eletrônica pode ser visualizado na interface gráfica, apresentada na Figura 3.

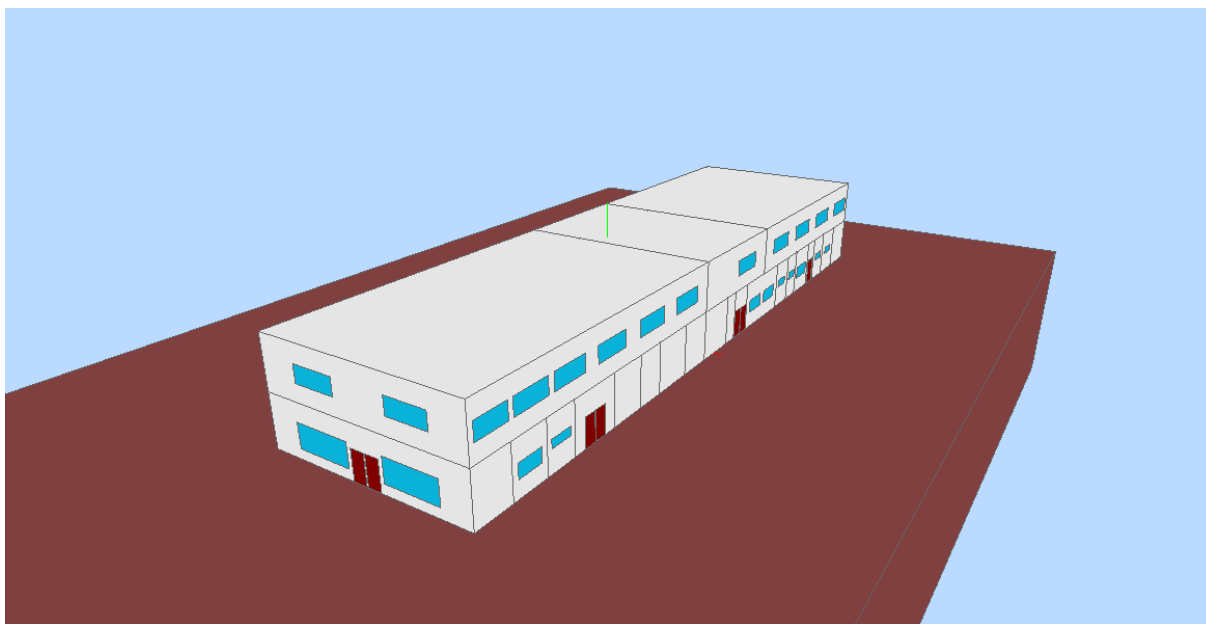


Figura 3 - Edificação na interface gráfica do Domus

5.2.1.1.1 Zonas

Para fins de especificação de parâmetros para a simulação, cada “espaço” da edificação é uma zona. Como resultado da construção da edificação no DOMUS, foram geradas 35 zonas, detalhadas a seguir:

1. Cafeteria/ Outros preparos (01CAF) - Atividade: Cozinhas;
2. Sala de Estar (02EST) - Atividade: Circulação, Ambiente transitório;
3. WC Masculino (03WCM) - Atividade: Banheiros
4. WC Feminino (04WCF) - Atividade: Banheiros;
5. Paio! Mantimentos (05PAI) - Atividade: Armazém (material pequeno/ leve);
6. Material de Limpeza/Descartáveis (06MAT) - Atividade: Armazém (material pequeno/ leve);
7. Pré-Preparo Sobremesas (07COZ) - Atividade: Cozinhas;
8. Pré-Preparo Legumes (08COZ) - Atividade: Cozinhas;
9. Pré-Preparo Carnes (09COZ) - Atividade: Cozinhas;
10. Hall Serviço (10HAL) - Atividade: Circulação;
11. Sala Fiel (11SAL) - Atividade: Restaurante;
12. WC Masculino (12WCM) - Atividade: Banheiros;
13. Sala de Estar (13SAL) - Atividade: Circulação;
14. Vestiário (14VES) - Atividade: Vestiário;
15. WC Feminino (15WCF) - Atividade: Banheiros;
16. WC Feminino (16WCF) - Atividade: Banheiros;
17. WC Masculino (17WCM) - Atividade: Banheiros;
18. Higienização (18HIG) - Atividade: Cozinhas;
19. Guarda de Utensílios (19GUA) - Atividade: Armazém (material pequeno/ leve);
20. Despensa Diária (20DES) - Atividade: Armazém (material pequeno/ leve);
21. Sala Enc. Municiamento (21SAL) - Atividade: Escritório;
22. Lavabo (22LAV) - Atividade: Banheiros;
23. Câmara de Descongelamento (23CAM) - Atividade: Armazém (material pequeno/ leve);
24. Recepção/ Circulação (24REC) - Atividade: Circulação;
25. Cocção/ Hall Central (25COZ) - Atividade: Cozinha;
26. Elevador (26ELE) - Atividade: Escadas;
27. Ante Câmara (27CAM) - Atividade: Depósitos;
28. Câmara de Lixo (28CAM) - Atividade: Depósitos;

- 29. Câmara Hortifruti (29CAM) - Atividade: Armazém (material pequeno/leve);
- 30. Câmara Carnes (30CAM) - Atividade: Armazém (material pequeno/leve);
- 31. Câmara Laticínios (31CAM) - Atividade: Armazém (material pequeno/leve);
- 32. Hall (32HAL) - Atividade: Circulação;
- 33. Refeitório Sargentos (33REF) - Atividade: Refeitório;
- 34. Hall/Circulação (34HAL) - Atividade: Circulação; e
- 35. Refeitório Cabos e Marinheiros (35REF) - Atividade: Refeitório.

5.2.1.1.2 Envoltória

A partir das zonas, os planos que as dividem são editados, para que tenham as propriedades térmicas corretas, de acordo com sua composição. Os planos podem ser paredes, fachadas ou lajes.

5.2.1.1.2.1 Paredes

Paredes são os planos verticais que separam as zonas internamente. No modelo, as paredes internas foram configuradas com 15 centímetros de espessura, compostas por 2,5 cm de reboco, 10 cm de tijolos e mais 2,5 cm de reboco. As figuras a seguir mostram a configuração dos parâmetros feita a partir das opções que o Domus disponibiliza, como apresentado na Figura 4 e Figura 5.

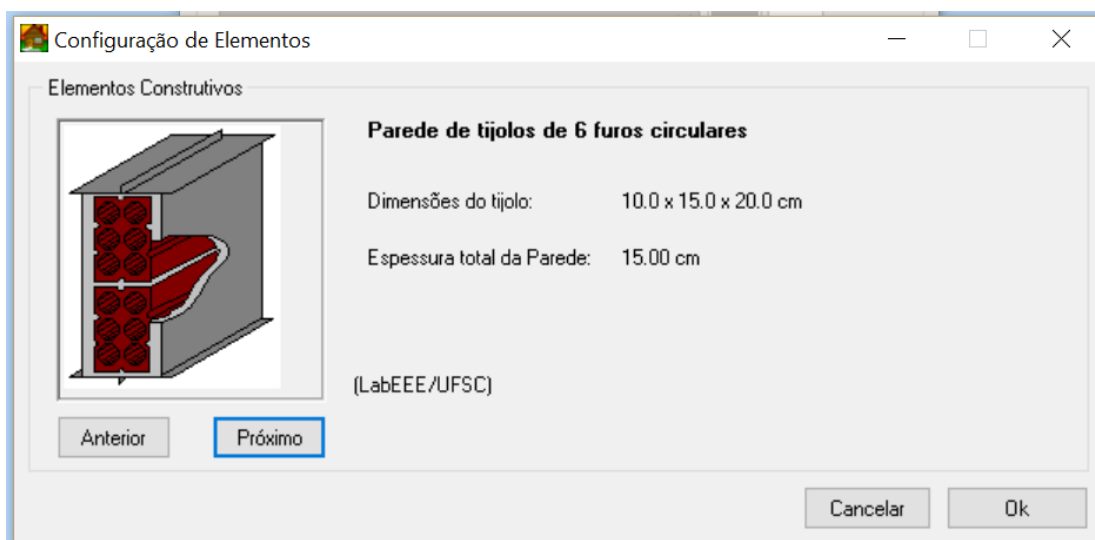


Figura 4 - Parâmetros das paredes internas

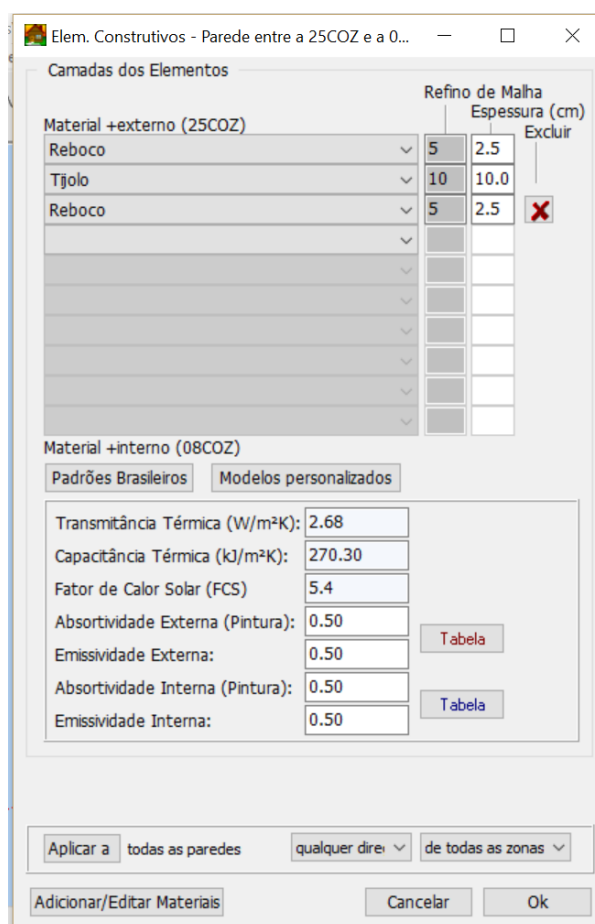


Figura 5 - Parâmetros das paredes internas

5.2.1.1.2.2 Fachadas

Fachadas são os planos verticais que separam as zonas do exterior. No modelo, as fachadas foram configuradas com 20 centímetros de espessura,

compostas por 2,5 cm de reboco, 15 cm de tijolos e mais 2,5 cm de reboco. Pode-se observar na figura 6, a configuração dos parâmetros feita a partir das opções que o Domus disponibiliza.

Elem. Construtivos - Fachada da 03WCM

Camadas dos Elementos

Material +externo	Refino de Malha	Espessura (cm)	Excluir
Reboco	5	2.5	☐
Tijolo	15	15.0	☐
Reboco	5	2.5	☒

Material +interno (03WCM)

Padrões Brasileiros Modelos personalizados

Transmitância Térmica (W/m²K):	2.27
Capacitância Térmica (kJ/m²K):	357.70
Fator de Calor Solar (FCS)	3.6
Absortividade Externa (Pintura):	0.40
Emissividade Externa:	0.90
Absortividade Interna (Pintura):	0.50
Emissividade Interna:	0.50

Orientação com o norte (0° - norte, 90° - leste, 180° sul, 270° oeste): 90.00

Aplicar a: todas as fachadas nesta direção desta zona

Adicionar/Editar Materiais Cancelar Ok

Figura 6 - Parâmetros das fachadas

5.2.1.1.2.3Lajes

As lajes são os planos horizontais que separam as zonas de outras, ou do exterior. Para elas, foi considerado 20 cm de concreto. É possível observar na figura 7 a configuração disponibilizada pelo Domus que foi escolhida.



Figura 7 - Parâmetros das Lajes

5.2.1.1.3 Sombras e Posição Solar

Configurando a localização do restaurante a partir das coordenadas do *Google Earth*, o Domus apresenta opções customizáveis para exibir a posição solar e as sombras que ela gera ao longo do dia na edificação. Além das sombras no momento do dia escolhido, o programa mostra o caminho do sol. Nas figuras 8 e 9, é possível ver a configuração da localização e o caminho do sol.

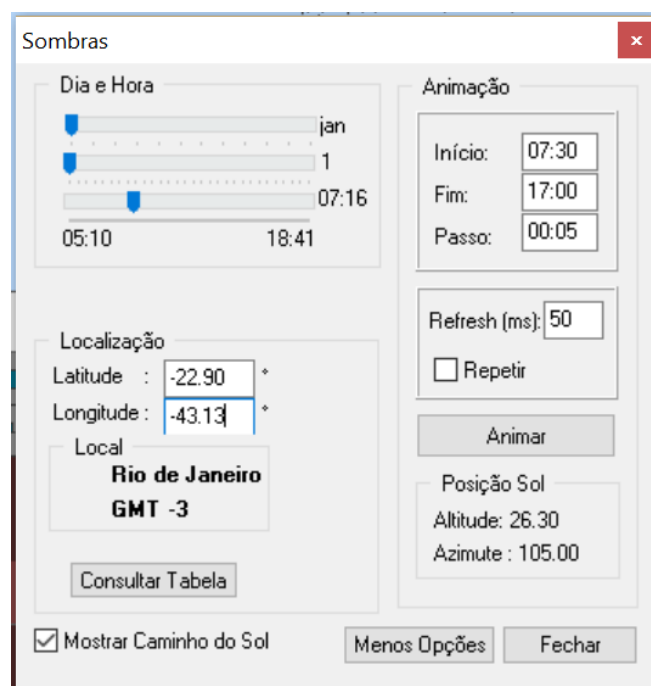


Figura 8 - Configurações de localização e posição solar

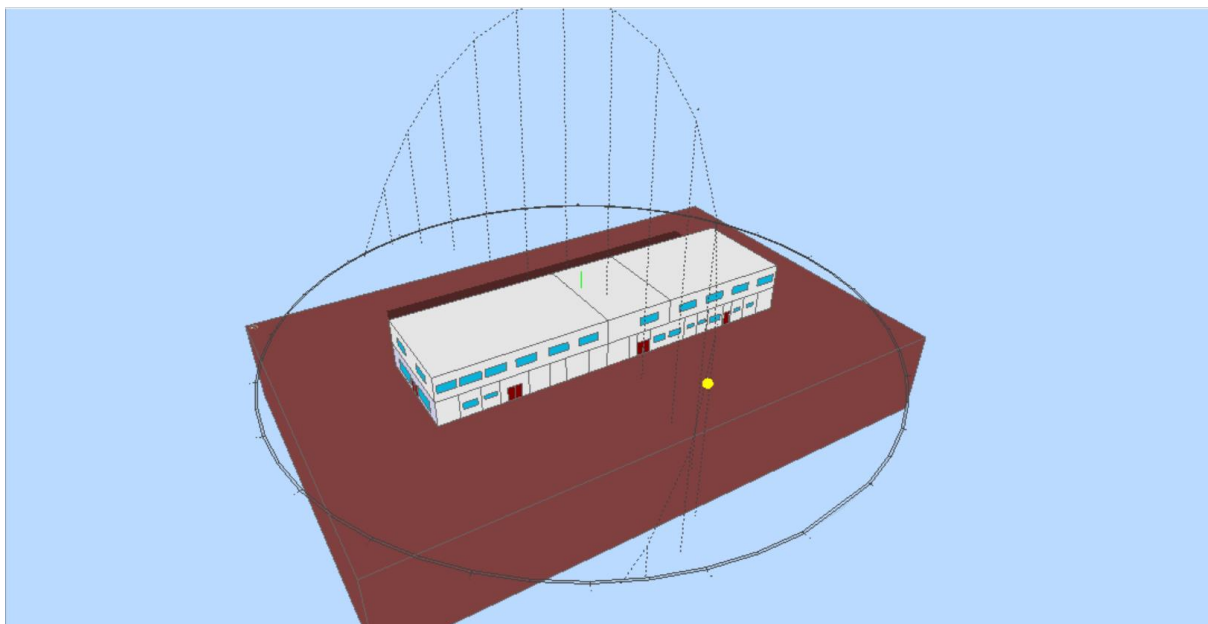


Figura 9 - Caminho do Sol (Fonte: Autor)

5.2.1.2 Dados de Entrada

5.2.1.2.1 Ganhos Internos

Os ganhos internos são baseados nos dados coletados nas visitas de campo. Com base nesses dados, estão configurados no modelo os equipamentos, a geração de vapor, a iluminação, as pessoas e os seus respectivos horários de funcionamento.

5.2.1.2.2 Climatização

Na climatização estão configurados os equipamentos de ar condicionado.

5.2.1.3 Parâmetros

5.2.1.3.1 Configurações Gerais

As configurações gerais utilizam os padrões do Domus, sendo necessário configurar apenas o arquivo climático, o albedo e as características circundantes. O primeiro foi feito a com o arquivo obtido no site do LabEEE, já os outros com base no manual do Domus.

5.2.2 Resultados da modelagem

Como resultado da construção da maquete, temos o ferramental necessário para poder passar a avaliar a performance da edificação. Neste sentido, uma primeira saída é sua qualificação frente ao sistema de etiquetagem do PBE, gerado pelo Domus. Este resultado pode ser visto na Figura 10.

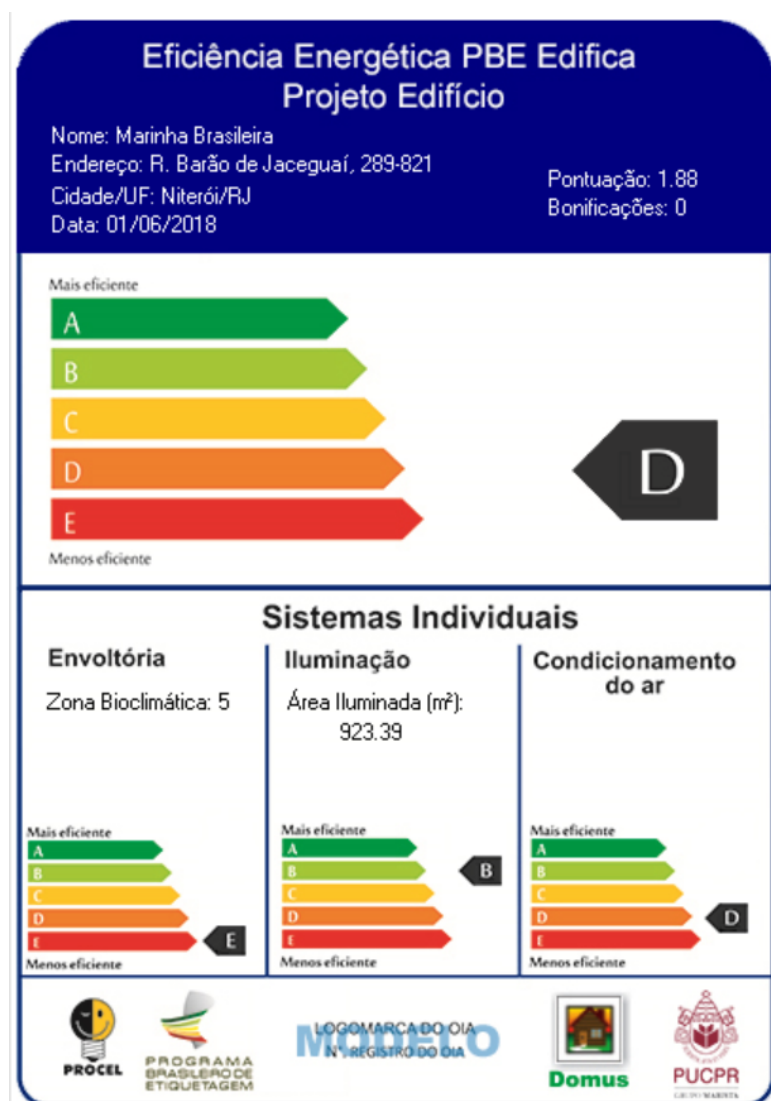


Figura 10 - ENCE do Restaurante da BHMN

6 CONCLUSÕES

Os principais objetivos foram concluídos com sucesso. O primeiro objetivo era escolher um software para a modelagem. Foi possível identificar, a partir do estudo com base nos programas disponíveis um que mais tendesse às necessidades de modelagem da edificação, o DOMUS (Procel Edifica).

Após a identificação do programa a ser utilizado, foi possível montar uma maquete eletrônica que pode ser utilizada para avaliar o conforto térmico da edificação. Será possível, com a maquete, propor e aplicar mudanças e adaptações à edificação e seu entorno, e medir seus respectivos impactos no conforto térmico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI/ASHRAE 55 (1992). “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta. USA. ASHRAE (2001) “Fundamentals Handbook”. American Society of Heating, Ventilating and AirConditioning Engineers. Atlanta. USA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2006.

AUTODESK. Ecotect Analysis Discontinuation FAQ. 2016. Disponível em: <knowledge.autodesk.com>. Acesso em: 29 maio 2018.

BURATO, Julia G. ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UM MERCADO NA REGIÃO DE PEDRAS GRANDES, SC. Dissertação (Dissertação em Engenharia Civil) – UFSC. Santa Catarina, 2016.

CARLO, Joyce C., LAMBERTS, Roberto. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CARLO, Joyce C., LAMBERTS, Roberto. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr./jun. 2010.

DesignBuilder. Designbuilder software product overview. 2018. Disponível em: <designbuilder.co.uk>. Acesso em: 29 maio 2018.

DOMUS – PROCEL EDIFICA. Software de simulação termoenergética de edificações. Manual do usuário. Curitiba: PUCPR, 2013. Disponível em: <domus.pucpr.br>. Acesso em: 29 maio 2018.

GIVONI, B. (1992). Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Buildings, 18 (1), 11-23.

GOOGLE. Google Earth, 2018. Disponível em: <google.com/earth>. Acesso em: 01 maio 2018.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 29 maio 2018.

LabEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Arquivo climático de Niterói, 2016. Disponível em: <labeee.ufsc.br>. Acesso em: 01 junho 2018.

MME. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2017. Brasília, DF, 2008. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 29 maio 2018.

MME. Ministério de Minas e Energia. RTQ-C. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Portaria: nº 372/2010. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.procel.gov.br>>. Acesso em: 29 maio 2018.

MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 17 - Ergonomia. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2007. Disponível em: <trabalho.gov.br>. Acesso em: 29 maio 2018.

NREL. National Renewable Energy Laboratory. OpenStudio User Documentation: Getting Started. 2018. Disponível em: <<http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation>>. Acesso em: 29 maio 2018.

RORIZ, M., ZBBR. Versão 1.1. Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em construção Civil. 2004.

STEIN, J. D., A teoria da decisão: como os princípios matemáticos podem ajuda-lo a tomar decisões certas (tradução Marcio de Paula S. Hack). Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

U.S. Department of Energy. EnergyPlus Version 8.9.0 Documentation: Getting Started. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <energyplus.net>. Acesso em: 29 maio 2018.

U.S. Department of Energy. EnergyPlus Version 8.9.0 Documentation: Output Details and Examples. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <energyplus.net>. Acesso em: 29 maio 2018.

USGBC. U.S. Green Building Council. LEED v4 for building design and construction. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <usgbc.org>. Acesso em: 30 maio 2018.

8 ANEXO – Planta baixa

