

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

VITOR JOTTA ARIZA FERREIRA

ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DE BRISES COMO ELEMENTOS BIOMIMÉTICOS
NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO PROJETADA

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Niterói
2022

VITOR JOTTA ARIZA FERREIRA

ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DE BRISES COMO ELEMENTOS BIOMIMÉTICOS
NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO PROJETADA

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador:
Prof.^a Izabella Christynne Ribeiro Pinto Valadão

Niterói
2022

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

F383a Ferreira, Vitor Jotta Ariza
ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DE BRISES COMO ELEMENTOS
BIOMIMÉTICOS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO PROJETADA
/ Vitor Jotta Ariza Ferreira ; Izabella Christynne Ribeiro
Pinto Valadão, orientadora. Niterói, 2022.
82 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2022.

1. Biomimética. 2. Eficiência Energética. 3. Produção
intelectual. I. Valadão, Izabella Christynne Ribeiro Pinto,
orientadora. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia. III. Título.

CDD -

VITOR JOTTA ARIZA FERREIRA

ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DE BRISES COMO ELEMENTOS BIOMIMÉTICOS
NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EDIFICAÇÃO PROJETADA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Bacharelado em
Engenharia Civil, como requisito parcial
para conclusão do curso.

Aprovada em _____ de _____ de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Izabella Christynne Ribeiro Pinto Valadão (Orientador) - UFF

Prof. Renata Gonçalves Faisca - UFF

Prof. Gilberto Figueiredo Pinto Filho - UFF

Niterói
2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter conseguido chegar nesta etapa da minha vida, aos meus pais Márcio e Mirtes e ao meu irmão Danilo por todo apoio até aqui.

Aos meus amigos, tanto aos do meio acadêmico quanto aos que conheci por outros meios, por terem me apoiado e me ajudado a continuar no caminho, sempre acreditando no meu potencial e me incentivando.

Agradeço também aos professores que me auxiliaram e me passaram conhecimento, sendo de grande importância na minha formação. Agradeço a professora Izabella Christynne por ter acreditado no desenvolvimento deste trabalho e me orientado para realizá-lo da melhor forma possível.

RESUMO

O setor de construção civil possui grande responsabilidade ambiental visto que atua de forma direta na geração de impactos negativos ao meio ambiente, como o alto consumo de materiais, de energia e de geração de resíduos. Dessa forma, faz-se necessária a minimização desses impactos. A biomimética é a utilização de elementos da natureza como inspiração para a solução de problemas em diversas áreas, sendo um campo com alta interdisciplinaridade. Ela pode ser utilizada de forma a proporcionar maior sustentabilidade aos projetos elaborados com base em sua metodologia, já sendo utilizada em diversas edificações ao redor do mundo. A partir dos conhecimentos de biomimética obtidos através de pesquisas, foi elaborada edificação utilizando elementos inspirados na natureza com a utilização dos Programas e Softwares: Analysis-SOL-AR, SketchUp, EnergyPlus e Revit 2021. Portanto, neste trabalho são realizadas análises da utilização de brises como elementos biomiméticos inspirados na capacidade de auto sombreamento de algumas espécies de cactos. Os resultados obtidos a partir da análise térmica e energética apresentam redução na temperatura máxima interna de 5,8% e redução de 9,1% no consumo energético anual. Já a análise lumínica apresentou iluminância na área interna superior ao desempenho mínimo de 60 lux estabelecido por norma.

Palavras-chave: Biomimética, Auto Sombreamento e Eficiência Energética.

ABSTRACT

The civil construction sector has great environmental responsibility as it acts directly in the generation of negative impacts on the environment, such as the high consumption of materials, energy and waste generation. Thus, it is necessary to minimize these impacts. Biomimetics is the use of elements from nature as inspiration for solving problems in different areas, being a field with high interdisciplinarity. It can be used in order to provide greater sustainability to projects prepared based on its methodology, already being used in several buildings around the world. From the knowledge of biomimetics obtained through research, a building was elaborated using elements inspired by nature with the use of Programs and Software: Analysis-SOL-AR, SketchUp, EnergyPlus and Revit 2021. Therefore, this work analyzes and provides the results of using brises as biomimetic elements inspired by the automatic shading capacity of some cacti species. The results obtained from the thermal and energy analysis show a reduction in the maximum internal temperature of 5.8% and a reduction of 9.1% in the annual energy consumption. On the other hand, the luminous analysis showed illuminance in the internal area superior to the minimum performance of 60 lux established by standard.

Keywords: Biomimetic, Self-Shading and Energy Efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Selos e certificações ambientais para avaliação de edificações sustentáveis em distintos países.....	18
Figura 2 – Oito áreas analisadas pelo LEED.....	20
Figura 3 – Abordagens “de cima para baixo” e “de baixo para cima”.....	26
Figura 4 – Cão da pradaria e o sistema de ventilação em suas tocas.	28
Figura 5 – Ventilação natural das suítes: (a) passagem de ar e (b) imagem do projeto.	29
Figura 6 – Fechamento das suítes: (a) foto real de espécie de cactos, (b) representação do sistema de fechamento e (c) imagem do projeto.	30
Figura 7 – Comparação da área sombreada de superfície esférica e superfície de um cacto...	31
Figura 8 – Inspiração no bico do tucano-toco.	31
Figura 9 – Sistema utilizado para resfriamento da cozinha.....	32
Figura 10 – Inspiração para sistema de drenagem: (a) vegetação de manguezais e (b) sistema de drenagem.....	32
Figura 11– Analogia da edificação com os elementos naturais na qual foi baseada.....	34
Figura 12 – Council House: (a) foto real do cupinzeiro e (b) sistema de troca de calor.....	35
Figura 13 – Painéis de madeira automatizados	35
Figura 14 – Inspiração em troncos e cascas.	36
Figura 15 – “Torres-chuveiro”.	37
Figura 16 – Escritórios: (a) fluxo de ar e (b) foto real do ambiente.....	38
Figura 17 – Painel utilizado para resfriamento das salas.....	39
Figura 18 – Funcionamento da edificação.....	40
Figura 19 – <i>Gherkin Tower</i> : (a) esponja da espécie <i>Euplectalla aspergillum</i> e (b) estrutura da edificação.....	41
Figura 20 – Construção do edifício.	42
Figura 21 – Passagem do vento pela edificação.....	43
Figura 22 – Sistema de cunhas com rotação de 5°.	43
Figura 23 – Sistema de ventilação do <i>Gherkin Tower</i> : (a) e (c) foto dos átrios e (b) modelo esquemático da ventilação natural pelos átrios.....	44

Figura 25 – “Manchas” de temperatura da cidade Rio de Janeiro a partir do Programa Analysis-SOL-AR: (a) até 21 de junho, (b) após 21 de junho e (c) legenda. (Fonte: Próprio autor).....	48
Figura 26 – Ângulos das proteções solares: (a) ângulos α e γ de brises horizontais, (b) ângulos β de brises verticais e (c) ângulos γ de brises verticais.	49
Figura 27 – Campos para entrada dos ângulos e configuração para criação de “máscara” de sombreamento no Analysis-SOL-AR. (Fonte: Próprio autor).....	50
Figura 28 – Interface do Software SketchUp e extensão Euclid. (Fonte: Próprio autor).....	50
Figura 29 – Interface do Programa EnergyPlus. (Fonte: Próprio autor)	51
Figura 30 – Modelo de parede utilizado para o cálculo da resistência e transmitância térmica(Fonte: Próprio autor)	52
Figura 31 – Posicionamento da edificação através da ferramenta “Localização” do Revit 2021(Fonte: Próprio autor).....	54
Figura 32 – Janela de configuração da ferramenta Renderização no Cloud do Revit 2021. (Fonte: Próprio autor).	55
Figura 33 – Modelo da edificação projetada: (a) pavimento térreo e (b) pé-direito dos ambientes em metros.	56
Figura 34 – Modelo de proteção solar utilizado no projeto.....	58
Figura 35 – Modelo de edificação projeto.....	58
Figura 36 – “Máscaras” de sombreamento para as aberturas de iluminação em vermelho: (a) “máscara” de sombreamento para abertura a 15° , (b) “máscara” de sombreamento para abertura a 45° , (c) “máscara” de sombreamento para abertura a 75° e (d) “máscara” de sombreamento para abertura a 255°	59
Figura 37 – Modelo da edificação: (a) visualização das aberturas da área principal e (b) visualização das aberturas do banheiro.	61
Figura 38 – Brises utilizados na edificação: (a) brises verticais e (b) brises verticais e horizontais.	62
Figura 39 – Interface de edição do EnergyPlus.....	63
Figura 40 – Composições dos elementos da edificação: (a) paredes e (b) telhado.	66
Figura 41 – Gráficos de temperaturas internas para o dia 26 de dezembro: (a) sem brises e (b) com brises.	69
Figura 42 – Posicionamento das câmeras na parte interna da edificação: (a) câmera 1, (b) câmera 2 e(c) câmera 3.	71

Figura 43 – Legenda de Iluminância para as Figuras 41, 42 e 43.	72
Figura 44 – Iluminância na parte interna da edificação obtida pela câmera 1: (a) 23 de abril às 9:30, (b) 23 de abril às 15:30, (c) 23 de outubro às 9:30 e (d) 23 de outubro às 15:30.....	73
Figura 45 – Iluminância na parte interna da edificação obtida pela câmera 2: (a) 23 de abril às 9:30, (b) 23 de abril às 15:30, (c) 23 de outubro às 9:30 e (d) 23 de outubro às 15:30.....	74
Figura 46 – Iluminância na parte interna da edificação obtida pela câmera 3: (a) 23 de abril às 9:30, (b) 23 de abril às 15:30, (c) 23 de outubro às 9:30 e (d) 23 de outubro às 15:30.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Benefícios do LEED.....	19
Quadro 2 – Benefícios da certificação AQUA-HQE.....	21
Quadro 3 – Assuntos abordados em cada parte da NBR 15575.....	23
Quadro 4 – Assuntos abordados em cada parte da NBR 15220.....	24
Quadro 5 – Padrões de ocupação diária e de utilização de iluminação artificial de acordo com a NBR 15757-1:2021.....	64
Quadro 6 – Taxa metabólica para usuários considerando uso misto.....	65
Quadro 7 – Densidade de potência instalada para o sistema de iluminação.	65
Quadro 8 – Densidade de cargas internas para equipamentos.....	65
Quadro 9 – Especificações de materiais presentes na NBR 15220-3:2005.....	65
Quadro 11 – Temperaturas internas nas zonas da edificação.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	International Standards Organization
GBC	Green Building Council
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo geral	16
1.3.2. Objetivos específicos	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Sustentabilidade na construção civil	17
2.1.1 LEED	19
2.1.2 AQUA-HQE	20
2.1.3 PROCEL Edifica	21
2.2 Normas	22
2.2.1 NBR 15575:2021 – Desempenho de edificações habitacionais	22
2.2.2 NBR 15220:2005 – Desempenho térmico de edificações	23
2.2.3 ISO 18458:2015 – Biomimética – Terminologia, conceitos e metodologia	24
2.3 Biomimética e suas aplicações	25
2.3.1 Princípios fundamentais	26
2.3.2 Biomimética na engenharia civil	28
2.3.2.1 <i>Votu Hotel</i>	28
2.3.2.2 <i>Council House 2</i>	33
2.3.2.3 <i>Gherkin Tower</i>	41
3. METODOLOGIA	45
3.1 Análise e tratamento de dados	45
3.2 Programas para análise	46
3.2.1 Analysis-SOL-AR	46
3.2.2 SketchUp	50
3.2.3 EnergyPlus	51
3.2.4 Revit 2021	54

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 “Máscaras” de sombreamento com a utilização de brises	56
4.2 Modelagem da edificação	60
4.3 Análise energética e térmica	63
4.4 Análise lumínica.....	70
5. CONCLUSÃO	76
6. BIBLIOGRAFIA.....	78

1. INTRODUÇÃO

No decorrer da história a natureza foi utilizada como fonte de inspiração por arquitetos e designers, como na Grécia Antiga na qual os organismos eram analisados para serem criados modelos em harmonia e proporção entre as partes (AZIZ, EL SHERIF, 2015). Entretanto, com o decorrer dos anos a sociedade foi se afastando dessa forma de interação e foi acostumada a ideia de dominar a natureza. Com a Revolução Científica, segundo Francis Bacon, foi ensinado a “torturar” a natureza, esse ideal somado às outras revoluções posteriores fez com que a sociedade alcançasse certa autonomia, se distanciando da natureza (BENYUS, 2009).

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2019) a população mundial cresceu de 0,8 bilhões para aproximadamente 4,2 bilhões, de 1950 a 2018, com proporção urbana de 55%. Dessa forma, em 2007, a população passou a se encontrar majoritariamente em áreas urbanas. Estimativas apontam que em 2041 a população urbana será de aproximadamente 6 bilhões, enquanto isso a população rural tende a decrescer a partir de 2021.

Com o crescimento populacional e a humanidade gerando impactos ambientais cada vez maiores, a natureza e seus organismos se tornaram novamente fonte de inspiração para um mundo mais sustentável, visto que esta permanece viva sem prejudicar o futuro. Além disso, esses organismos vivos evoluíram durante 3.8 bilhões de anos, se adaptando para sobreviver em harmonia com o ambiente (BENYUS, 2009).

A sociedade busca constantemente métodos e tecnologias de forma a minimizar os impactos ambientais gerados pelos seres humanos. A exemplo, em setembro de 2015, os Chefes de Estado e de Governo e Altos Representantes definiram a Agenda 2030 com o intuito de alcançar o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Foram estabelecidos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que contém 17 objetivos de desenvolvimento e 169 metas, com foco de implementação até o ano de 2030 (ONU, 2015).

Segundo FERREIRA (2018), a indústria de construção civil é responsável por um alto consumo de recursos naturais e causa um impacto ambiental expressivo, sendo que o setor brasileiro gera impactos negativos em nove dos ODS, sendo eles: igualdade de gênero; água potável e saneamento; energia acessível e limpa; redução das desigualdades; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsáveis; ação contra a mudança global do clima; vida terrestre e paz; justiça e instituições eficazes. Com o constante crescimento populacional, as áreas urbanas e suas construções possuem grande influência no desenvolvimento sustentável, crescendo a demanda por edificações mais sustentáveis.

O setor de engenharia civil é responsável por grande impacto, sendo esse em diversas áreas como a geração de resíduos, com 70% dos resíduos sólidos urbanos provenientes de construção e demolição (BOHANA, JESUS, *et al.*, 2019), e o alto consumo de energia, com o segmento de edificações responsável pelo consumo de aproximadamente 50% da energia elétrica utilizada no país (ELETROBRAS, 2018).

Ademais, de acordo com (“Fauna e Flora”, [S.d.]) apresentado pelo Ministério do Meio Ambiente, o Brasil é o país com maior diversidade de espécies do mundo, com 20% do total do planeta, contando com mais de 116839 espécies de animais e 46355 espécies vegetais que são conhecidas, o que o possibilitaria grande quantidade de organismos para estudo e aplicação da biomimética.

A biomimética é aplicada a engenharia civil sendo analisadas as estruturas, formas, princípios, métodos e/ou comportamentos apresentados na natureza com o intuito de aplicá-los em sistemas, produtos técnicos, soluções e/ou criar inovações que resultem na solução de problemas da área (MOHD SANI, MUFTAH, *et al.*, 2013).

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a interferência de brises inseridos como elementos biomiméticos na eficiência energética da edificação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento de edificações e projetos com soluções construtivas sustentáveis utilizando a biomimética e apresentar os mecanismos utilizados e suas inspirações na natureza, demonstrando as semelhanças e o funcionamento.
- Identificar projetos inspirados na biomimética, ao redor do mundo.
- Demonstrar o ganho ambiental das edificações que utilizam a biomimética e
- Realizar estudo de caso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sustentabilidade na construção civil

A construção civil, que engloba atividades como construção de edificações residenciais, não residenciais, rodovias e pontes, é um setor responsável por grande impacto ambiental (AKAN, DHAVALE, *et al.*, 2017). Segundo John (2000), citado por BARDELLA, PEREIRA, *et al.* (2007), para que seja possível o desenvolvimento sustentável, é necessário que haja alterações significativas em toda a cadeia produtiva do setor, visto que ele é encarregado por grande consumo de matérias primas, de energia e gera grandes quantidades de resíduos. Ademais, de acordo com HONG, SHEN, *et al.* (2015), ele atua como principal responsável pelas emissões de gases do efeito estufa, sendo um grande responsável pelo aquecimento global. De acordo com a UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2020), as emissões de CO₂ devido à construção e operação de edificações, em 2019, foram de 38% do total global emitido. Além disso, segundo Iyer-Raniga e Huovila (2020), citados pela UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2020), a construção e demolição são responsáveis por cerca de 25 a 30% do total de resíduos gerados na União Europeia.

Em 2015, com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável, foi definida a Agenda 2030 por diversos representantes de países distintos. Com ela também foram definidos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável e apresentadas 169 metas, visando implementação até o ano de 2030 (ONU, 2015). Com base nesses objetivos e análise dos impactos gerados pelo setor de construção civil brasileiro, de acordo com FERREIRA (2018), foram constatados impactos negativos em nove dos ODS.

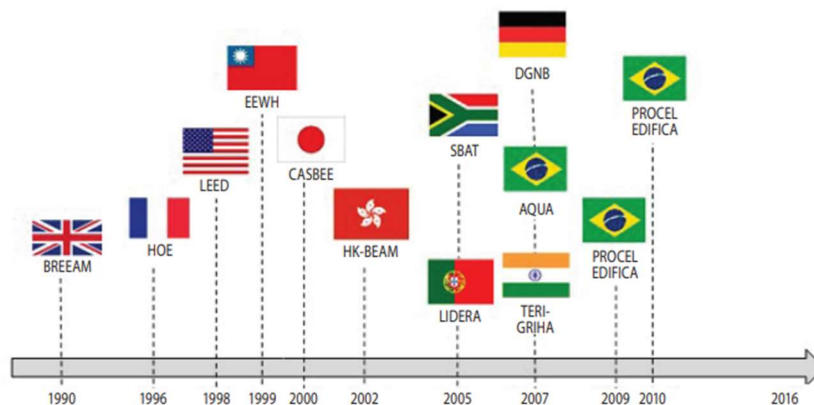
De acordo com OGUNTONA e AIGBAVBOA (2017), com base no Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, alguns dos impactos negativos ambientais e sociais gerados pela indústria da construção civil são: uso de energia e emissões associadas do GEEs abrangidos pela UNFCCC/Protocolo de Quioto; outras emissões internas e externas; poluição sonora; mudança no uso da terra, incluindo limpeza da flora existente; extração e consumo de matéria-prima; degradação estética; uso da água e geração de efluentes; aumento das necessidades de transporte; vários efeitos do transporte de materiais de construção local e globalmente; geração de resíduos; oportunidades de corrupção; perturbação de comunidades, inclusive por meio de design de materiais inadequados; riscos à saúde em locais de trabalho e ocupantes de edifícios.

O conceito de sustentabilidade é muitas vezes associado exclusivamente apenas ao fator ambiental (GOMES, 2018), entretanto, de forma a tornar um projeto de construção sustentável, também se fazem necessárias considerações sociais, não apenas com relação ao próprio usuário, mas também com o seu entorno. Assim, devem ser analisados os impactos que serão gerados à comunidade, à segurança, à saúde e à educação, de forma a obter construções com melhor desempenho e proporcionar melhor qualidade de vida aos afetados por ela (VALDES-VASQUEZ, KLOTZ, 2013).

De acordo com (GOMES, 2018), a sustentabilidade na construção civil depende de três fatores que atuam como um tripé, sendo eles aspectos sociais, econômicos e ambientais. Na visão social, o objetivo é promover ações sustentáveis, possibilitando relações de trabalho saudáveis e legítimas e o desenvolvimento pessoal das partes relacionadas. A visão econômica visa competitividade justa com os concorrentes de mercado e o desenvolvimento econômico sem desequilíbrio dos ecossistemas. Já a visão ambiental busca reduzir ao máximo os impactos ambientais proporcionados de forma direta ou indireta.

Consoante aos grandes impactos ambientais gerados pelo setor, a construção civil busca atualmente ter maior responsabilidade ambiental procurando a redução de seus impactos e a preservação de recursos naturais, de forma a não atender apenas os aspectos legais como também assumir uma parcela devida da responsabilidade (OLIVEIRA, SPOSTO, *et al.*, 2012). Dessa forma, visando reduzir as ações e impactos gerados pela cadeia produtiva do setor, tem se tornado comum a criação e adesão a selos e certificações ambientais (CONTO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017). Na Figura 1 é possível verificar alguns dos principais sistemas de certificação e selos desenvolvidos em países distintos até o ano de 2016.

Figura 1 – Selos e certificações ambientais para avaliação de edificações sustentáveis em distintos países.



(Fonte: CONTO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017)

As certificações no geral utilizam pré-requisitos para analisar o processo construtivo adotado e suas conformidades. Elas comprovam o compromisso com a sustentabilidade do empreendimento com relação aos três fatores fundamentais: ambiental, econômico e social (GOMES, 2018). Serão apresentados alguns desses modelos de certificação nos itens a seguir.

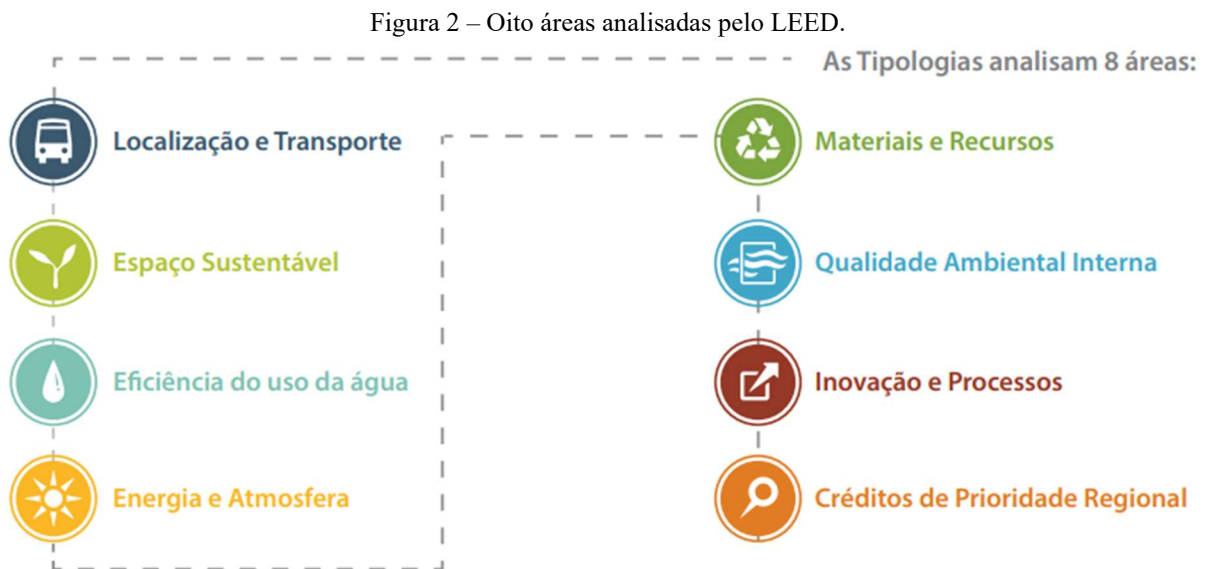
2.1.1 LEED

O sistema de certificação e orientação ambiental *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), que em português significa Liderança em Energia e Design Ambiental, possui alcance internacional e é utilizado em mais de 160 países (GBC, 2021). A certificação foi criada em 2000 pelo Conselho de Construção Sustentável dos Estados Unidos da América (GOMES, 2018) e chegou ao Brasil em 2007 pelo GBC Brasil (INOVATECH, 2018). Ela possui 4 tipologias, sendo consideradas as necessidades de cada uma de acordo com o tipo de empreendimento. São elas: novas construções e grandes reformas; escritórios comerciais e lojas de varejo; empreendimentos existentes e bairros. A certificação LEED promove uma série de benefícios, no Quadro 1 são apresentados alguns deles (GBC, 2021).

Quadro 1 - Benefícios do LEED.

Benefícios do LEED	
Econômicos	<ul style="list-style-type: none"> Diminuição dos custos operacionais. Diminuição dos riscos regulatórios. Valorização do imóvel para revenda ou arrendamento. Aumento na velocidade de ocupação. Aumento na retenção. Modernização e menor obsolescência da edificação.
Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> Uso racional e redução da extração . Redução do consumo de água e energia. Implantação consciente e ordenada. Mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental. Redução, tratamento e reuso dos resíduos da construção e operação.
Sociais	<ul style="list-style-type: none"> Inclusão social e aumento do senso de comunidade. Capacitação profissional. Aumento da satisfação e bem estar dos usuários. Estímulo a políticas públicas de fomento a Construção Sustentável. Conscientização dos trabalhadores. Melhora na segurança e priorização da saúde dos trabalhadores e ocupantes.

Para estar passível de receber a certificação é necessário que o empreendimento cumpra uma série de pré-requisitos estabelecidos, além disso a avaliação conta com um sistema de pontos de acordo com ações sugeridas pelo LEED que focam na performance de desempenho. Os empreendimentos são avaliados em 8 áreas, sendo elas: localização e transporte; espaço sustentável; eficiência do uso da água; energia e atmosfera; materiais e recursos; qualidade ambiental interna; inovação e processos; e créditos de prioridade regional (Figura 2). Com a utilização de um sistema de pontuação é possível classificar as edificações como certificado prata, ouro ou platina (GBC, 2021).



(Fonte: GBC, 2021)

2.1.2 AQUA-HQE

A certificação Alta Qualidade Ambiental (AQUA) foi desenvolvida com base na certificação francesa *Démarche Haute Qualité Environmentale* (HQE), sendo aplicada no Brasil pela Fundação Vanzolini (CONTO, OLIVEIRA, *et al.*, 2017). Mesmo com a utilização de referenciais estrangeiros, a Fundação Vanzolini em conjunto com a Escola Politécnica da USP, adaptaram as informações em 2007 de forma a se adequar ao cenário e regulamentações brasileiras (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2020).

O AQUA-HQE possui reconhecimento internacional e mais de 230 mil projetos já são certificados com o selo. Dentre esses projetos, 356 estão localizados no Brasil, somando mais de 14 milhões de m² construídos e certificados (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2020). O nível de

desempenho dos empreendimentos é baseado em quatro itens: referenciais de energia e economias; saúde; meio ambiente; segurança e conforto (GOMES, 2018).

Para análise da certificação, são analisados dois ciclos: ciclo construção, direcionado a construções novas, e ciclo operação, direcionado para edificações existentes. No seu processo de análise são realizadas auditorias periódicas para verificar e avaliar não conformidades de projeto de acordo com os referenciais técnicos, sendo eles o Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e a Qualidade Ambiental do Edifício (QAE), sendo os edifícios em operação avaliados também com relação a Gestão Ambiental do Empreendimento (GAE). O Quadro 2 apresenta os benefícios provenientes da certificação AQUA-HQE (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2020).

Quadro 2 – Benefícios da certificação AQUA-HQE.

Benefícios do AQUA-HQE	
Empreendedor	Provar a alta qualidade ambiental da edificação. Diferenciar portfólio no mercado. Aumentar a velocidade de vendas. Manter o valor do patrimônio. Melhorar a imagem da empresa. Melhorar o relacionamento com os órgãos ambientais e comunidades. Economia de recursos nas obras e na operação.
Usuários	Economia de água e energia. Menores custos de condomínio. Melhores condições de conservação e manutenção da edificação. Melhores condições de conforto e saúde nos ambientes e nos espaços. Melhor qualidade de funcionamento dos sistemas da edificação. Maior valor patrimonial. Melhor qualidade de vida.
Sociedade e Ambiente	Menor demanda sobre a infraestrutura urbana. Menor demanda de recursos hídricos e energéticos. Redução das emissões de gases de efeito estufa e poluentes. Menor impacto à vizinhança. Redução de resíduos e valorização. Gestão de riscos naturais e tecnológicos sobre solo, água e ar.

2.1.3 PROCEL Edifica

O PROCEL foi criado pela Eletrobrás e possui diversos selos voltados para edificações comerciais, saneamento, iluminação pública, indústrias e prédios públicos (GOMES, 2018). O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, PROCEL Edifica, instituído pela

Eletrobrás em 2003, atuando de forma conjunta com diversas partes interessadas como o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades e as universidades, além de promover o uso da energia elétrica de forma racional, também incentiva o uso eficiente de recursos naturais nas edificações, com intuito de reduzir os impactos e desperdícios sobre o meio ambiente (PROCEL INFO, 2006).

Em sua análise é levada em consideração a utilização racional de energia elétrica e recursos desde a fundação (PROCEL INFO, 2006). O selo objetiva redução de 50% do consumo em edificações novas e 30% em reformas, e trabalha por meio de 6 vertentes: capacitação, tecnologia, disseminação, regulamentação, habitação e eficiência energética e planejamento.

A certificação categoriza as edificações de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) a partir de pontuação final obtida pela atribuição de pesos aos sistemas individuais, essa classificação é apresentada na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Ademais, a certificação pode ser atribuída a edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados (JORNADA, 2013). Para a avaliação são utilizadas diversas equações, tabelas e parâmetros limites, sendo atribuída pontuação que indica o nível de eficiência parcial ou total da edificação, sendo algumas das áreas analisadas a iluminação, a ventilação natural e a utilização racional da água (GOMES, 2018).

2.2 Normas

2.2.1 NBR 15575:2021 – Desempenho de edificações habitacionais

A NBR 15575 (ABNT, 2021) faz referência ao desempenho de edificações habitacionais e se encontra dividida em 6 partes, que apresentam respectivamente os requisitos gerais; para os sistemas estruturais; para os sistemas de pisos; para os sistemas de vedações verticais internas e externas; para os sistemas de cobertura; e para os sistemas hidrossanitários (ABNT, 2021).

Todas as partes da norma apresentam os critérios de desempenho que devem ser atendidos de forma individual e isoladamente, sendo eles térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo. O Quadro 3 apresenta os assuntos abordados em cada parte da norma de forma mais detalhada (ABNT, 2021).

Quadro 3 – Assuntos abordados em cada parte da NBR 15575.

Parte	Assunto
1	Requisitos dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos.
2	Requisitos para os sistemas estruturais aplicáveis a edificações habitacionais com relação ao desempenho estrutural, analisado do ponto de vista dos estados-limites último e de serviço pelo método semiprobabilístico de projeto estrutural.
3	Desempenho do sistema de pisos, destinado a área de uso privativo ou de uso comum, com a inclusão dos elementos e componentes, de acordo com os critérios estabelecidos na Norma.
4	Trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas das edificações habitacionais, que, além de volumetria e da compartimentação dos espaços da edificação, integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho da edificação habitacional.
5	Se refere aos requisitos dos usuários e aos requisitos referentes aos sistemas de coberturas, que exercem funções importantes nas edificações habitacionais, interferindo diretamente na durabilidade dos demais elementos que a compõem, e impedem a infiltração de umidade oriunda das intempéries para ambientes
6	Requisitos para os sistemas hidrossanitários, responsáveis pelas condições de saúde e higiene requeridas para a habitação. As instalações hidrossanitárias devem ser incorporadas à construção, de forma a garantir a segurança dos usuários, sem riscos de queimaduras ou outros acidentes, além de harmonizar-se com a deformabilidade das estruturas, interações com o solo e características físico-químicas dos demais materiais de construção.

(Fonte: Adaptado de ABNT, 2021)

2.2.2 NBR 15220:2005 – Desempenho térmico de edificações

A NBR 15220 trata do desempenho térmico em edificações apresentando definições, simbologias, unidades, métodos de cálculo, diretrizes construtivas e métodos de medição de resistência térmica e condutividade térmica (ABNT, 2005a). Esta norma foi elaborada no Comitê Brasileiro de Construção Civil e se encontra dividida em cinco partes, que abordam os temas de forma separada. É importante ressaltar que no período em que este trabalho foi realizado a NBR 15220-3:2005 possuía projeto de revisão em andamento. O Quadro 4 apresenta os objetivos de cada parte da norma.

Quadro 4 - Assuntos abordados em cada parte da NBR 15220.

Parte	Assunto
1	Estabelece definições, símbolos e unidades de termos relacionados ao desempenho térmico de edificações.
2	Estabelece procedimento de cálculo de propriedades térmicas de elementos e componentes de edificações.
3	Estabelece zoneamento bioclimático brasileiro, apresentando recomendações e estratégias construtivas à habitações unifamiliares de interesse social.
4	Estabelece método absoluto de medição da resistência térmica e da contutividade térmica de materiais sólidos a partir do princípio da placa quente protegida.
5	Estabelece método de utilização de técnicas fluximétricas para medição de resistencia térmica em regime estacionário, permitindo o calculo da condutividade térmica.

(Fonte: Adaptado de ABNT, 2005a)

2.2.3 ISO 18458:2015 – Biomimética – Terminologia, conceitos e metodologia

A ISO 18458 (2015), denominada Biomimética – Terminologia, conceitos e metodologia, traduzido do inglês *Biomimetics – Terminology, concepts and methodology*, apresenta o conceito de biomimética e suas terminologias para propósitos científicos, industriais e educacionais. Além disso, também fornece estrutura para aplicações biomiméticas, expondo o processo de aplicação do método desde a elaboração de novas ideias até o fornecimento de produtos. Dessa forma, são fornecidas orientações e suporte para profissionais que possuem o intuito de aprender e aplicar os métodos biomiméticos em seus projetos (ISO, 2015).

A norma também evidencia a capacidade da aplicação como estratégia para sustentabilidade e demonstra de forma geral as diversas áreas de atuação do conceito e suas distinções quando comparados a metodologias clássicas de desenvolvimento e pesquisa. Fornecendo parâmetros com relação à elaboração de produtos, ela afirma que sistemas técnicos desenvolvidos de acordo com o descrito em seu conteúdo podem ser classificados como sistemas biomiméticos (ISO, 2015).

2.3 Biomimética e suas aplicações

Em 1982 foi apresentado pela primeira vez o termo *biomimicry*, criado pela cientista Janine Benyus, sendo publicado em seu livro em 1997 (AZIZ, EL SHERIF, 2015). Segundo (BENYUS, 2009), o termo possui origem do grego, no qual *bios* e *mimesis* significam, respectivamente, vida e imitação. Definindo essa reprodução da natureza de três formas:

- Natureza como modelo: são estudados os modelos naturais para serem utilizados como inspiração ou serem imitados de forma a solucionar problemas da humanidade;
- Natureza como medida: utiliza a natureza como base para estimar a capacidade de inovações, visto que aquela é eficiente;
- Natureza como mentora: analisa a natureza com o intuito de avaliá-la e utilizá-la como fonte de aprendizado.

De acordo com a norma internacional (ISO, 2015), existem diferenças entre os conceitos de *biomimicry*, biomimética e biônica. As definições apresentadas no item 2 da norma são:

- *Biomimicry* ou biomimetismo: Filosofia e abordagens de design interdisciplinar tendo a natureza como um modelo para enfrentar os desafios do desenvolvimento sustentável (social, ambiental e social);
- Biomimética: Cooperação interdisciplinar de biologia e tecnologia ou outros campos de inovação com o objetivo de resolver problemas práticos por meio dos sistemas de análise de funções, sua abstração em modelos e a transferência para a aplicação desses modelos à solução;
- Biônica: Disciplina técnica que visa replicar, aumentar ou substituir funções biológicas por seus equivalentes eletrônicos e/ou mecânicos.

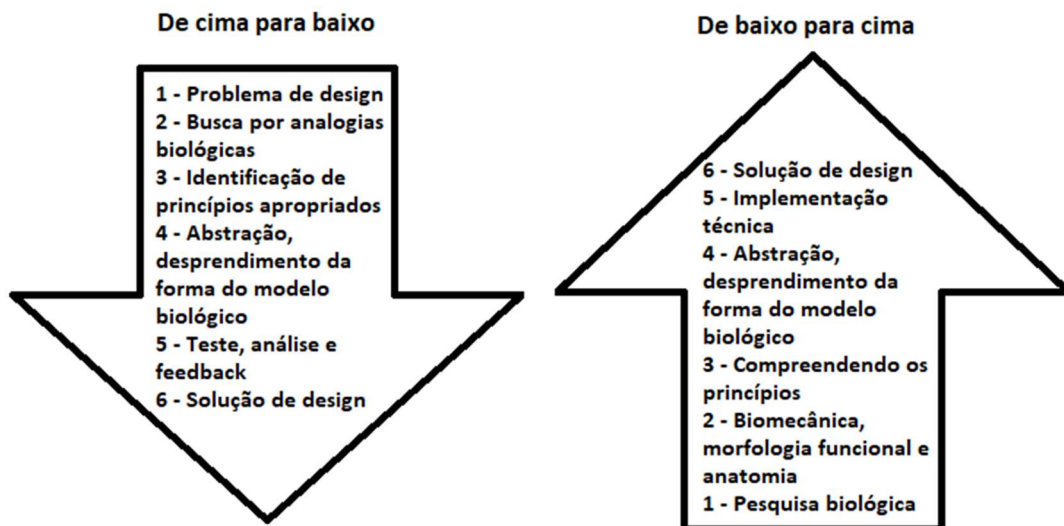
Entretanto, no Brasil o termo biomimetismo e biomimética são constantemente utilizados como sinônimos. Dessa forma, neste trabalho os termos serão utilizados com o mesmo significado. Além disso, o termo biomorfismo também é erroneamente apresentado como biomimética, visto que no biomorfismo apenas a aparência se assemelha a elementos da natureza, enquanto na biomimética os designs são focados na função desses elementos (BIOMIMICRY INSTITUTE, 2021).

Segundo (OXMAN, 2010), o campo da biomimética é datado de 1991 formulado por um grupo de pesquisadores do Escritório de Pesquisa Científica da Força Aérea dos Estados Unidos

da América. O objetivo da pesquisa era obter inspiração na natureza com relação a materiais e processos naturais, de forma a serem aplicados no design de materiais para aplicações práticas.

O processo de inovação com base na biomimética é pautado na conexão entre sistemas biológicos e problemas específicos, formulando técnicas de implementação de acordo com o campo biológico (ISO, 2015). De acordo com o apresentado por (PETERS, 2011) no Grêmio de Biomimética, existem duas abordagens: desafio para a biologia e biologia para projetar. Segundo AZIZ e EL SHERIF (2015) essas abordagens são conhecidas também como “abordagem de cima para baixo” e “abordagem de baixo para cima”, do inglês *Top-Down approach* e *Bottom-Up approach*. Na primeira, segundo o autor, a natureza e os organismos são utilizados como objetos de estudo para solucionar problemas de projeto já identificados, realizando a conexão desses problemas com organismos e criaturas que já os solucionaram. Já na segunda, há conhecimento prévio das soluções biológicas que são aplicadas para solucionar problemas, como apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Abordagens “de cima para baixo” e “de baixo para cima”.



(Fonte: Adaptado de AZIZ e EL SHERIF, 2015)

2.3.1 Princípios fundamentais

Mesmo com o desenvolvimento da tecnologia e diversas inovações em diferentes setores, quando comparadas a elementos naturais são verificadas soluções similares com impactos

muito menores. De acordo com (BENYUS, 2009), a partir de estudos de ecologistas com relação à natureza é possível formular nove princípios fundamentais, sendo eles:

- “A natureza funciona com a luz do sol”;
- “A natureza usa apenas a energia que necessita”;
- “A natureza adapta à forma à função”;
- “A natureza recicla tudo”;
- “A natureza recompensa a cooperação”;
- “A natureza se baseia na diversidade”;
- “A natureza exige experiência local”;
- “A natureza reprime os excessos por dentro”;
- “A natureza explora o poder dos limites”.

Ainda com base no trabalho de (BENYUS, 2009), foram formuladas as perguntas: “Vai encaixar?”, “Vai durar” e “Existe um precedente na natureza para isso?” para melhor analisar as inovações inspiradas na natureza. Sendo a resposta afirmativa para todas as perguntas anteriores, as respostas para as perguntas seguintes, baseadas nos nove princípios, também serão afirmativas.

- “Funciona com a luz solar?”;
- “Utiliza apenas a energia que precisa?”;
- “Encaixa a forma à função?”;
- “Recicla tudo?”;
- “Recompensa a cooperação?”;
- “Se baseia na diversidade?”;
- “Utiliza experiência local?”;
- “Restringe o excesso de dentro?”;
- “Atinge o poder dos limites?”;
- “É bonito?”.

De acordo com Dyson (2007), citado por AZIZ e EL SHERIF (2015), a biologia provavelmente será a maior parte da ciência no século 21. Dessa forma, com a biomimética sendo uma área interdisciplinar onde várias áreas encontram a biologia, como a medicina, a computação e a ciência dos materiais (BENYUS, 2009), é possível notar a utilização desses conceitos em diversos projetos.

2.3.2 Biomimética na engenharia civil

2.3.2.1 *Votu Hotel*

Ainda não construído, o Projeto do Votu Hotel prevê sua construção na Praia dos Aldeões, na península de Maraú, Bahia, Brasil. O projeto teve como desafio inicial as temperaturas, índice pluviométrico e salinidade elevados, em função do local em que foi idealizada a sua construção. Com o intuito de solucionar os problemas encontrados mantendo e apoiando as espécies nativas da região, os arquitetos da GCP Arquitetura & Urbanismo, juntamente com a bióloga especialista em biomimética Alessandra Araujo, buscaram soluções na natureza e estudaram técnicas utilizadas por alguns animais e plantas (GCP, [S.d.]).

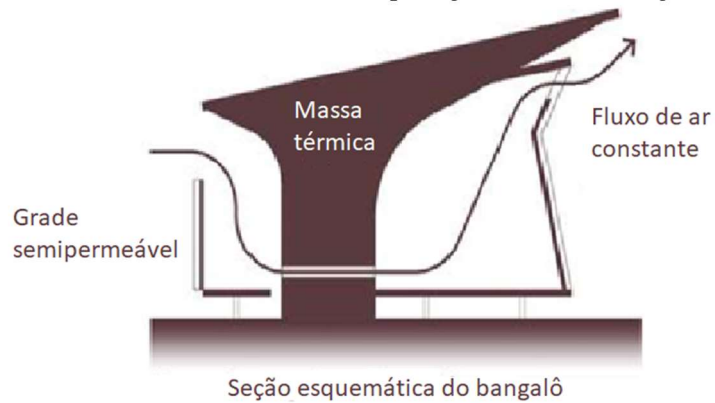
Para fornecer conforto térmico às suítes, projetadas para serem edificações individuais, foi utilizado um mecanismo inspirado na toca do cão da pradaria, um roedor natural da América do Norte. De acordo com o site (WOOLLEY-BARKER, 2017), esses animais utilizam tocas subterrâneas para se proteger das extremas temperaturas que podem ser submetidos, além da aplicação do princípio de Bernoulli para ventilação, por meio de entrada e saída do solo com diâmetros distintos (Figura 4).



(Fonte: Adaptado de WOOLLEY-BARKER, 2017)

Dessa forma, a empresa otimizou a localização das suítes por meio de modelagem computacional e implantou uma grade semipermeável no local onde havia ventos predominantes para desacelerá-los e puxá-los para dutos de ventilação. De forma a melhorar ainda mais o conforto térmico, foi projetada laje jardim de forma a aumentar a massa térmica da acomodação (DELAQUA, 2018), como apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Ventilação natural das suítes: (a) passagem de ar e (b) imagem do projeto.



(a)



(b)

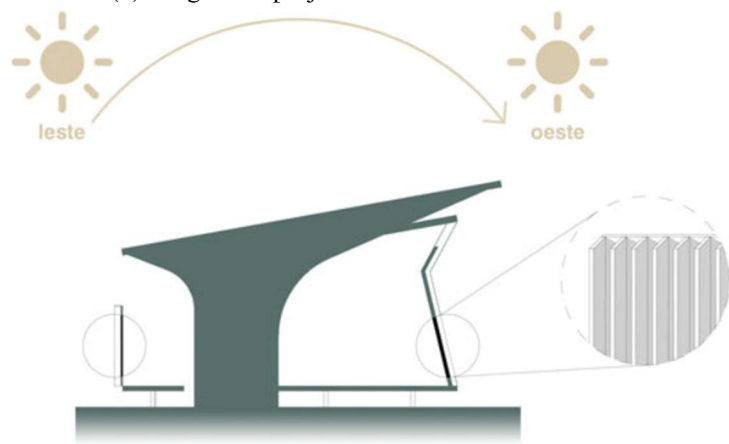
(Fontes: (a) Adaptado de WOOLLEY-BARKER (2017) e (b) GCP ([S.d.]))

Para redução da incidência solar, foi analisada a capacidade de auto sombreamento de alguns cactos (Figura 6 - a), que devido a dobras profundas provocam o resfriamento do ar na face sombreada, o que gera um gradiente que facilita a circulação e diminui a absorção de calor, utilizando a inspiração para o fechamento dos bangalôs. De acordo com (WOOLLEY-BARKER, 2017), para recriar esse mecanismo, foram utilizadas na fachada ripas de madeira na posição vertical que criam esse auto sombreamento como apresentado na Figura 6 – b e Figura 6 – c.

Figura 6 – Fechamento das suítes: (a) foto real de espécie de cactos, (b) representação do sistema de fechamento e (c) imagem do projeto.



(a)



(b)

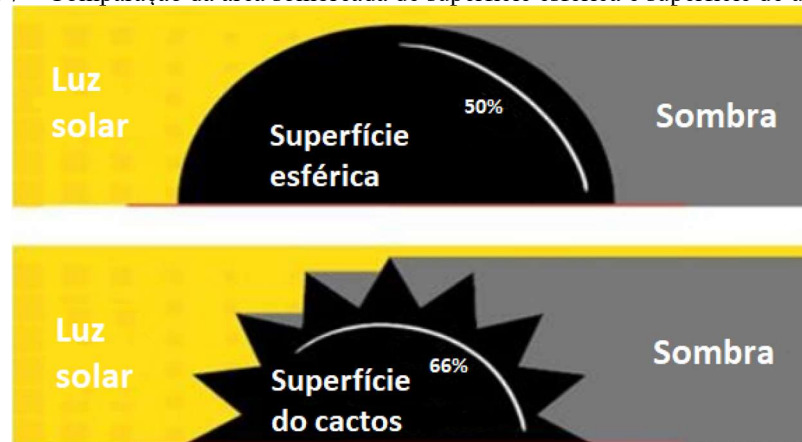


(c)

(Fonte: Adaptado de GCP ([S.d.]))

Estudos apontam que suas superfícies dos cactos promovem 16% a mais de sombreamento quando comparadas a superfícies esféricas (SHAHDA, 2020), como apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Comparação da área sombreada de superfície esférica e superfície de um cacto.



(Fonte: Adaptado de NEVES, 2009)

Já para solucionar o problema de temperatura na cozinha, o objeto de estudo foi o tucano-toco, um pássaro local da região nordeste. Foi verificado que o bico dessa ave possui uma grande vascularização e que funciona como um eficiente radiador térmico (WOOLLEY-BARKER, 2017), de forma a se adaptar às grandes alterações de temperatura no decorrer do dia, como apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Inspiração no bico do tucano-toco.



(Fonte: GCP, 2021)

Com base nos estudos apresentados por WOOLLEY-BARKER (2017), foi projetado um ar condicionado natural, sem mecanização forçada. Ele é formado por bobinas de cobre, por onde o ar quente passa. Estas bobinas são enterradas no solo do telhado verde criado no local, promovendo assim, a troca de calor e a refrigeração. Após passar por esse sistema, o ar retorna para a cozinha já com temperatura mais baixa (Figura 9).

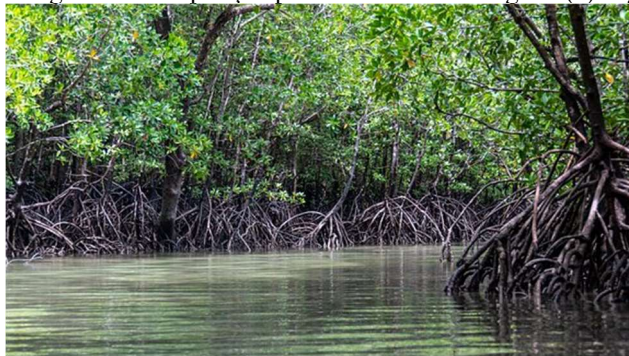
Figura 9 – Sistema utilizado para resfriamento da cozinha



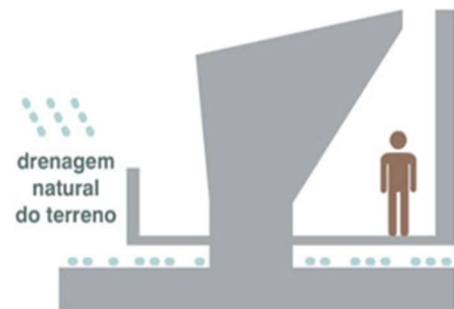
(Fonte: GCP, [S.d.])

Em função de sua localização geográfica e do ecossistema local, as edificações foram projetadas para serem assentadas sobre palafitas, preservando assim, a topografia natural, permitindo o escoamento das águas da chuva e do fluxo das águas provenientes do movimento das marés (Figura 10– b), inspirados nas características dos manguezais (Figura 10– a) e restingas (WOOLLEY-BARKER, 2017).

Figura 10 – Inspiração para sistema de drenagem: (a) vegetação de manguezais e (b) sistema de drenagem.



(a)



(b)

(Fontes: (a) MELO (2020) e GCP ([S.d.]))

Além disso, é utilizada mata de bambu como filtro para essas correntes, de forma a reduzir a passagem de salinidade, bactérias e/ou poluentes. O projeto ainda conta com sistema de tratamento de efluentes, sendo a água cinza direcionada para o Círculo de Bananeiras e as

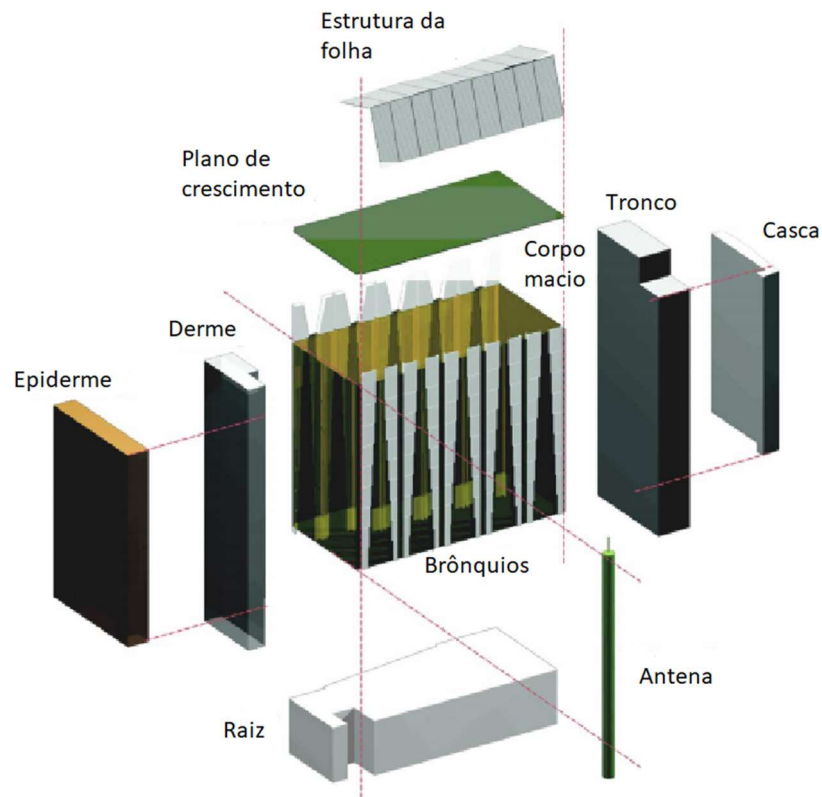
águas negras para um biodigestor e biofiltro, que são convertidas em compostos para fertilização de um pomar de frutas para utilização dos hóspedes (WOOLLEY-BARKER, 2017).

2.3.2.2 *Council House 2*

O edifício *Council House 2* (CH2), inaugurado em 2006, fica localizado na cidade de Melbourne, Austrália, e faz parte das propriedades da Câmara Municipal de Melbourne, contando com 540 que trabalham no local (FOSS, 2012). Projetado pelos arquitetos Mick Pearce e da *DesignInc* em colaboração com a cidade, foi a primeira edificação do país a ser classificada com seis estrelas pela *Green Building Council* da Austrália (VOGEL, NARDIN, *et al.*, 2019), equivalente ao *Leed Platinum* na América. Segundo Morris-Nunn (FOSS, 2012), o design busca desenvolver “respostas arquitetônicas apropriadas que são diretas e honestas expressões da biodinâmica que a natureza usa em seu próprio design” (PEARCE, 2016a).

Em sua elaboração, visando incorporar conceitos de eficiência energética e sustentabilidade, foram utilizadas inspirações da natureza para criar uma edificação com conforto térmico, eficiência energética e luz natural (WEBB, 2005). Seu design foi baseado em organismos vivos e seus diferentes sistemas que operam em conjunto e em equilíbrio (Figura 11), visando uma edificação que se comportasse de forma semelhante a sistemas naturais (SYMEONIDOU, EFSTATHIADIS, 2019).

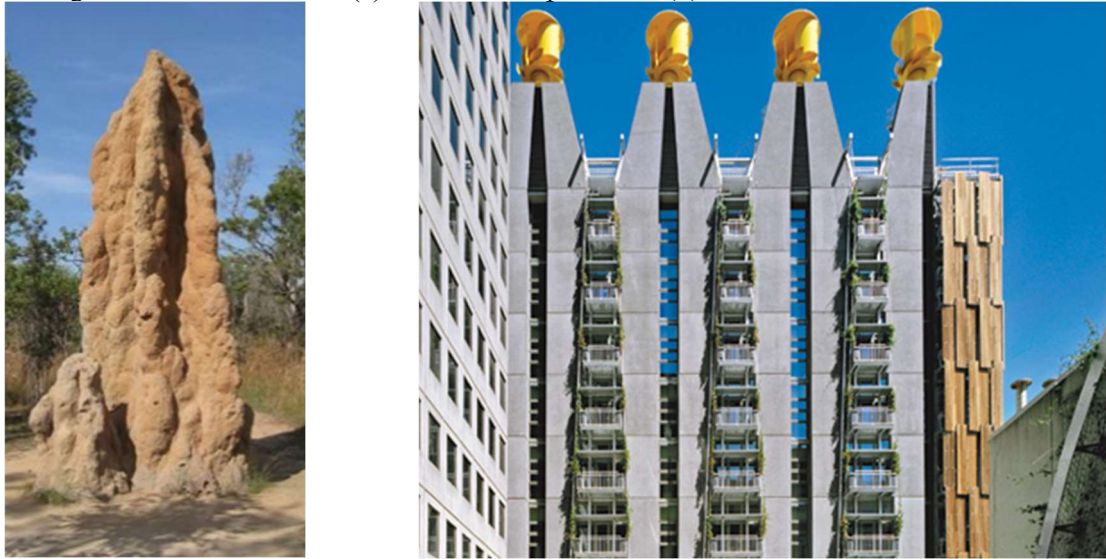
Figura 11– Analogia da edificação com os elementos naturais na qual foi baseada.



(Fonte: WEBB, 2005)

Outra inspiração na natureza utilizada no CH2 foram termiteiros (Figura 12 - a) que possuem sistema de ventilação passiva e regulação de temperatura (SILVA, OLIVERIA, *et al.*, 2019). Foi utilizada essa inspiração para promover um ambiente termicamente estável.

Figura 12 – Council House: (a) foto real do cupinzeiro e (b) sistema de troca de calor



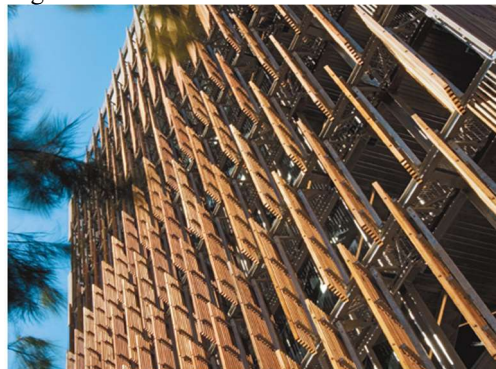
(a)

(b)

(Fontes: (a) Adaptado de KENNEDY (2016) e (b) FOSS (2012))

Segundo WEBB (2005), utilizando a epiderme e derme como objeto de estudo (Figura 11), com o intuito de garantir conforto térmico e lumínico, a construção possui fachada com uma “segunda pele” formada de aço e painéis de madeira reciclada (Figura 13) que se movimentam de forma automatizada no decorrer do dia para proporcionar maior entrada de luz natural e controle de ventilação (VOGEL, NARDIN, *et al.*, 2019).

Figura 13 – Painéis de madeira automatizados

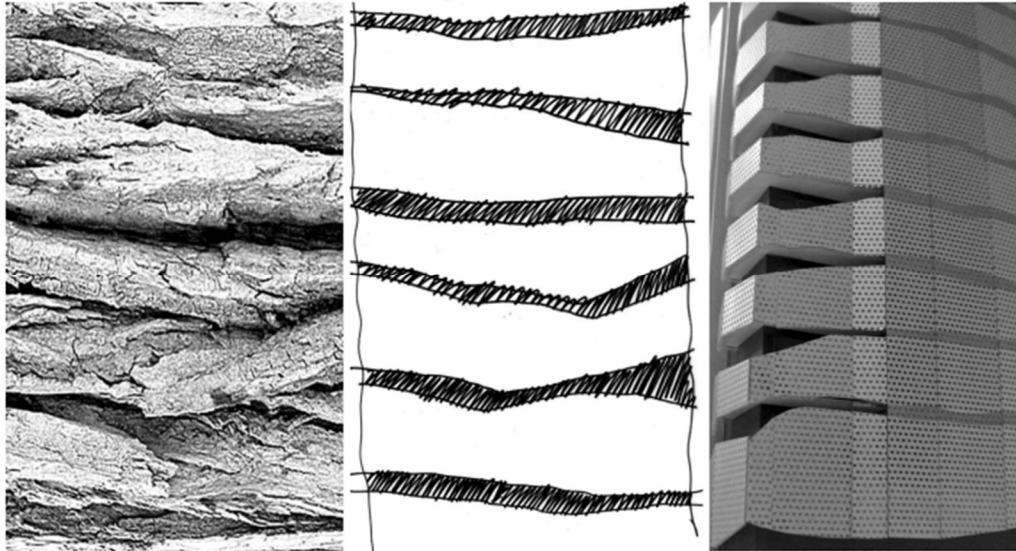


(Fonte: FOSS, 2012)

Os conceitos de tronco e casca foram aplicados na fachada que contém as áreas de serviço e os banheiros, como demonstrado na Figura 14. Com o objetivo de criar uma camada

filtrante para a luz e o ar que entram na edificação, foram utilizadas duas camadas sobrepostas de metal perfurado com paredes de policarbonato e metais fixados, de forma a criar filtrar o ar e a luz para as áreas úmidas (WEBB, 2005).

Figura 14 – Inspiração em troncos e cascas.



(Fonte: WEBB, 2005)

A estrutura de folha apresentada na Figura 11, foi utilizada como inspiração para criação de área de produção de energia. Dessa forma, foi criada na parte superior da edificação área onde foram implementadas matriz fotovoltaica de 3,5 kW, painéis solares de água quente que aquecem 60% da água quente do edifício e central elétrica a gás que gera 30% da energia necessária para a edificação (FOSS, 2012).

Para proporcionar um ambiente com conforto térmico, a parte superior do edifício é aberta por um período de cinco horas, permitindo que o ar fresco noturno entre nos ambientes e resfrie as áreas internas pela troca de calor. Os ambientes são novamente aquecidos durante o dia, quando o prédio é exposto a temperaturas maiores. Essa estratégia de controle da temperatura reduz a necessidade de resfriamento em 20% por meio de aparelhos de refrigeração (SYMEONIDOU, EFSTATHIADIS, 2019).

Outra tecnologia empregada foi o sistema com cinco “torres-chuveiro”, apresentados na Figura 15, de quinze metros na fachada do prédio que utilizam a queda d’água para resfriar o ar por meio da evaporação, sistema similar ao utilizado por algumas espécies de térmitas

próximas a aquíferos, sendo possível a redução da temperatura do ambiente em até 14°C, que resfria os espaços comerciais inferiores (SILVA, OLIVERIA, *et al.*, 2019). A água é direcionada para o porão, onde é armazenada e submetida a resfriamento por meio de aparelho de mudança de fase, sendo posteriormente bombeada por tubos de cobre para os níveis do edifício (PEARCE, 2016a).

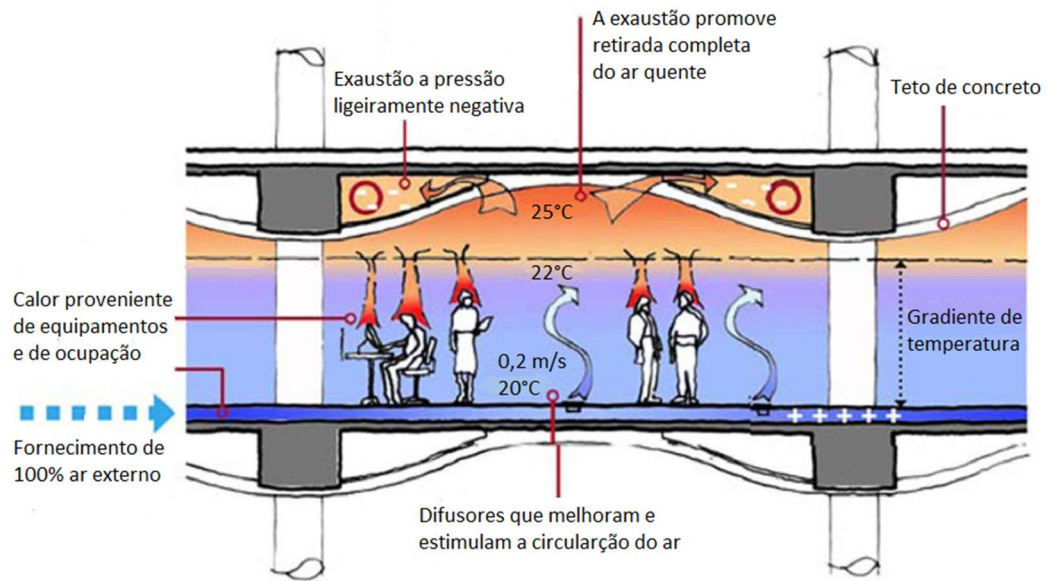
Figura 15 – “Torres-chuveiro”.



(Fonte: FOSS, 2012)

Na construção foi utilizado o princípio de convecção térmica dos gases, no qual o ar frio se direciona para a parte inferior e o ar quente para superior (Figura 16). O teto dos andares possui aberturas pelas quais o ar quente passa através de pisos ociosos até o eixo vertical para ser liberado pelas torres. A edificação também conta com tubulações controláveis responsáveis pela liberação de ar frio no piso dos ambientes para proporcionar o resfriamento (PEARCE, 2016a).

Figura 16 – Escritórios: (a) fluxo de ar e (b) foto real do ambiente.



(a)



(b)

(Fonte: Adaptado de PEARCE, 2016)

A edificação conta com de painéis posicionados na parte superior das salas que auxiliam no controle de temperatura da edificação. Esses painéis promovem o resfriamento da sala através de fluxo de água fria por seus componentes, permitindo a troca de calor com o ambiente e reduzindo sua temperatura (FOSS, 2012). A Figura 17 apresenta detalhe do modelo de painel utilizado.

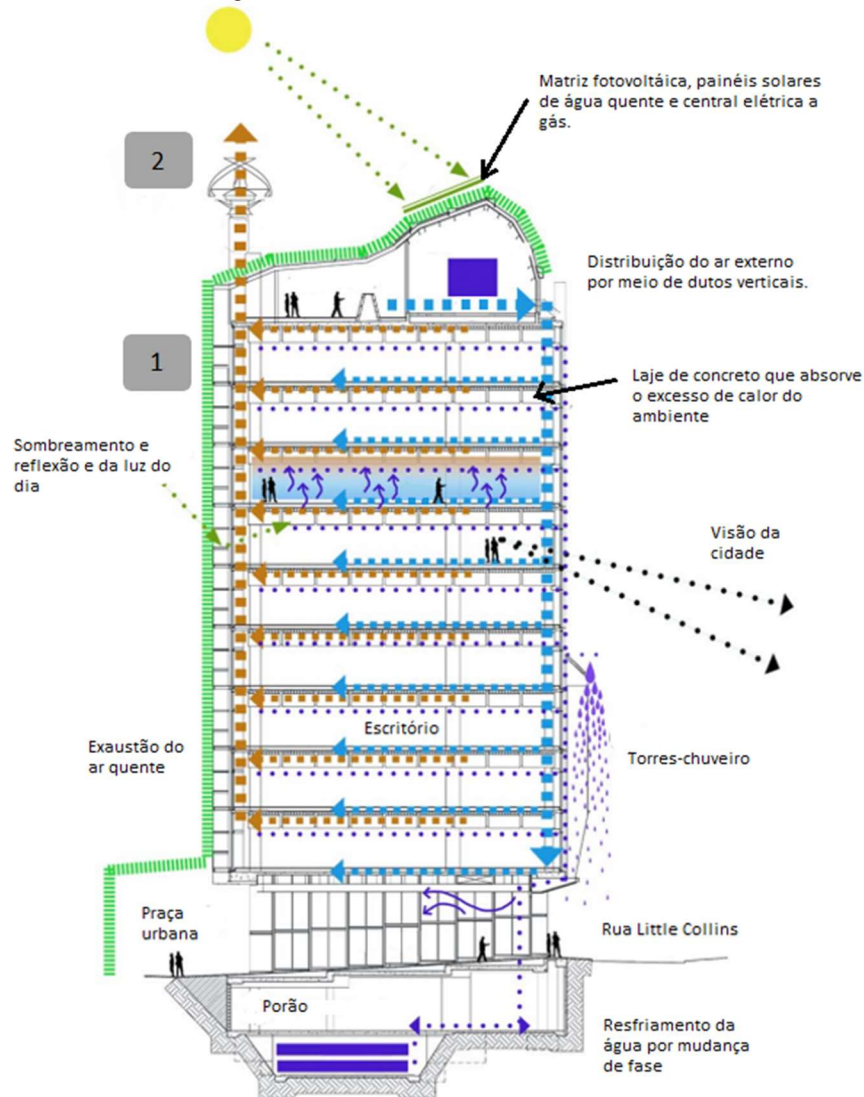
Figura 17 – Painel utilizado para resfriamento das salas.



(Fonte: FOSS, 2012)

O CH2 também conta com jardins verticais em sua fachada voltada para o norte, com o objetivo de ajudar no sombreamento e na qualidade do ar (WEBB, 2005), como apresentado na Figura 18 – 1, e seis turbinas eólicas (FOSS, 2012), como mostra a Figura 18 – 2.

Figura 18 – Funcionamento da edificação.



(Fonte: Adaptado de WEBB, 2005)

Com a posterior realização de relatório de pós ocupação por Paevere após um ano de utilização do prédio, foram obtidos alguns resultados em relação à eficiência da tecnologia utilizada. Quanto à qualidade do ar, foi verificado um nível excelente, proveniente da utilização de ar 100% fresco e a utilização de materiais de baixa toxicidade. Já a iluminação foi classificada como satisfação média pelas pessoas que a utilizam. Na análise do conforto térmico, foi verificada insatisfação abaixo de 10% e fluxo de ar percebido como baixo. Além disso, houve redução de emissões de gás carbônico em 87%, do consumo de eletricidade em 82%, de gás em 87% e de água em 72% em comparação com a edificação utilizada

anteriormente (VOGEL, NARDIN, *et al.*, 2019). Ademais, é afirmado pelo proprietário que há melhoria de 10,9% na produtividade, somando mais de 2 milhões de dólares australianos por ano em tempo de equipe (PEARCE, 2016a).

2.3.2.3 Gherkin Tower

O edifício 30 St Mary Axe, conhecido como *Gherkin Tower* (Figura 19 – a), finalizado em 2003 em Londres, Reino Unido, projetado pelo arquiteto Norman Foster e a empresa de engenharia Arup, é considerado o primeiro arranha-céu ecológico da cidade (KÜÇÜK, IBRAHIM ARSLAN, 2020) e possui inspiração na esponja marinha *Euplectalla aspergillum* (NKANDU, ALIBABA, 2018), conhecida como “cesta de flores de Vênus” (Figura 19 - b).

Figura 19 – *Gherkin Tower*: (a) esponja da espécie *Euplectalla aspergillum* e (b) estrutura da edificação.



(a)

(b)

(Fonte: NKANDU, ALIBABA, 2018)

Essa esponja se encontra ancorada no fundo do oceano e possui exoesqueleto em forma de treliças compostas por fibras de vidro (BIRKBAK, GUIZAR-SICAIROS, *et al.*, 2016). Como está fixada em locais com grandes fluxos de água, utiliza sua formação estrutural treliçada e seu formato arredondado para distribuir as tensões geradas e reduzindo as forças às quais é submetida (NKANDU, ALIBABA, 2018). Ademais, segundo (FERNANDES, AIZENBERG, *et al.*, 2021), com a análise da estratégia de reforço utilizada na esponja é

possível alcançar uma resistência à curvatura maior para uma quantidade de material, facilitando a construção de estruturas mais fortes e resilientes de forma inteligente.

A estrutura da edificação foi baseada na pele hexagonal da “cesta de flores de Vênus” (NKANDU, ALIBABA, 2018) e utilizando superfície de dupla curvatura para construir uma estrutura mais leve e com menos materiais por meio do modelo *Diagrid* (KÜÇÜK, IBRAHIM ARSLAN, 2020), como apresentado na Figura 20, composto por aço revestido de alumínio. O método de construção *Diagrid*, segundo Yoram Eilon, é “uma série de triângulos que combinam a gravidade e suporte lateral em um, tornando o edifício mais rígido, eficiente e mais leve que um arranha-céu tradicional”. Essa estrutura livre não possui colunas para sustentação, permitindo assim ambientes ininterruptos (NKANDU, ALIBABA, 2018).

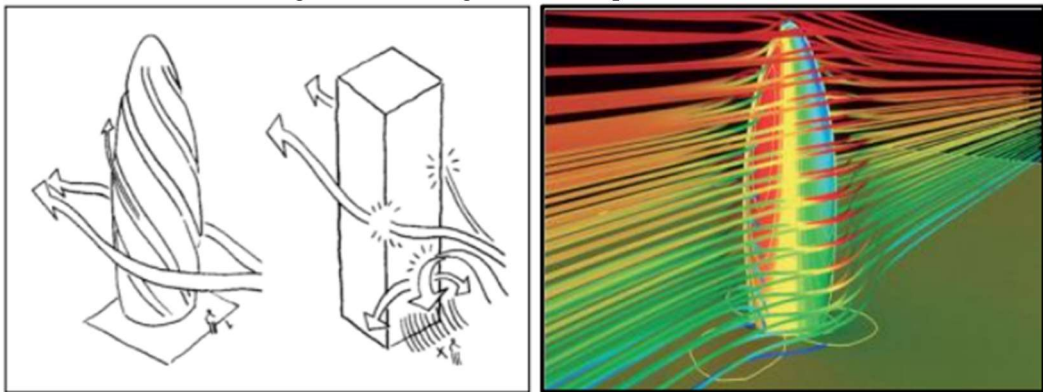
Figura 20 – Construção do edifício.



(Fonte: Munro *apud* KÜÇÜK, IBRAHIM ARSLAN (2020))

Devido ao seu formato arredondado, com curvatura escolhida após diversos testes de simulação de vento, possibilita a melhor passagem do vento ao redor do prédio, reduzindo a carga de vento direcionada para baixo que atingiria os pedestres, diferente dos formatos retangulares mais usuais que promovem maior turbulência do vento no nível do terreno (KÜÇÜK, IBRAHIM ARSLAN, 2020), como apresentado na Figura 21.

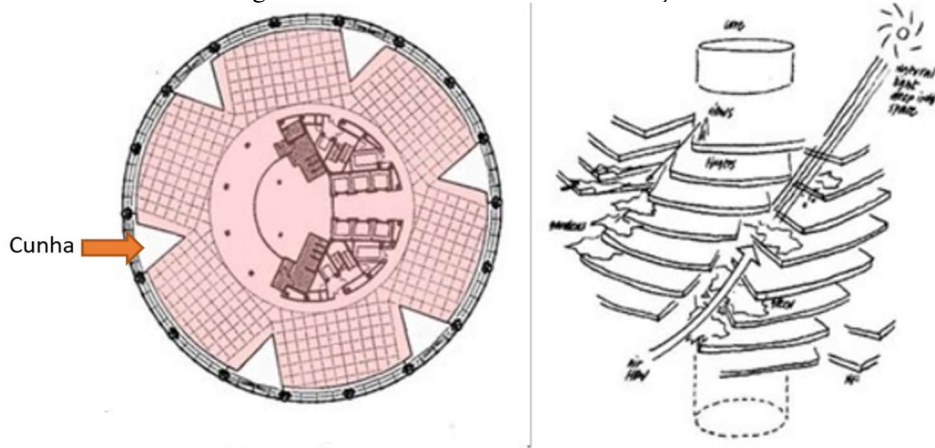
Figura 21 – Passagem do vento pela edificação.



(Fonte: Boake *apud* KÜÇÜK, IBRAHIM ARSLAN (2020))

De forma a melhorar a ventilação e iluminação, o Pavimento Tipo foi idealizado contendo seis “cunhas” que juntamente com um ângulo de rotação de 5° entre cada pavimento possibilitam a passagem de ar e luz entre diferentes andares (NKANDU, ALIBABA, 2018), como demonstrado na Figura 22.

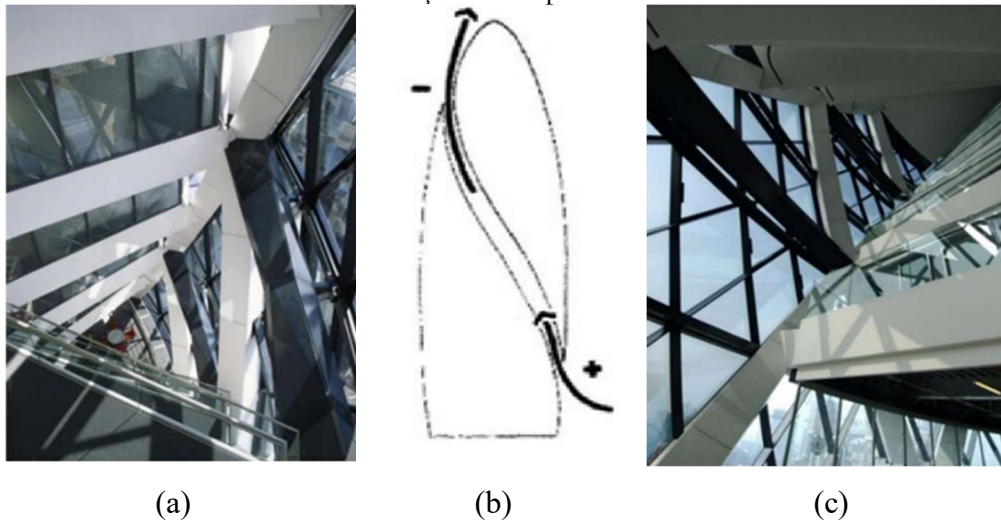
Figura 22 – Sistema de cunhas com rotação de 5°.



(Fonte: Adaptado de Nkandu e Alibaba, 2018)

Devido a abertura das “cunhas” foi possível a criação de seis “átrios” no edifício (Figura 23), que somados com a aerodinâmica e a abertura das janelas, favorecem a ventilação natural, reduzindo o consumo de sistemas de refrigeração (KÜÇÜK, IBRAHIM ARSLAN, 2020). Esse sistema utilizado permite que o ar quente seja transportado para a parte superior da edificação e liberado durante o verão, em contraste, no inverno o sistema de fachada possibilita aquecimento passivo pelo sol (SINGH, NAYYAR, 2015).

Figura 23 – Sistema de ventilação do *Gherkin Tower*: (a) e (c) foto dos átrios e (b) modelo esquemático da ventilação natural pelos átrios.



(Fonte: (a) e (c) KÜÇÜK e IBRAHIM ARSLAN (2020), (b) adaptado de NKANDU e ALIBABA (2018))

Sua fachada foi projetada de forma a se adequar às características do clima, composta por uma dupla camada, sendo a parte externa formada por montantes e janelas triangulares (NKANDU, ALIBABA, 2018), nas quais 792 são automatizadas e projetadas para abrir quando a temperatura externa estiver entre 20 e 26 graus Celsius (KÜÇÜK, IBRAHIM ARSLAN, 2020), e a interior por uma parede de portas de vidro deslizantes, separadas por dispositivos de sombreamento (NKANDU, ALIBABA, 2018).

Devido às estratégias utilizadas para fornecer conforto térmico e lumínico no *Gherkin Tower*, foi construída uma edificação que utiliza cerca de 50% da energia para refrigeração de uma construção tradicional (KÜÇÜK, IBRAHIM ARSLAN, 2020). O edifício também consegue em 40% do ano promover redução no gasto de energia devido aos mecanismos que promovem a ventilação natural do edifício (SINGH, NAYYAR, 2015).

3. METODOLOGIA

3.1 Análise e tratamento de dados

Segundo (GIL, 2002), a pesquisa bibliográfica é realizada por meio de material composto principalmente de livros e artigos científicos. Já metodologia, de acordo com (GONÇALVES, 2020), consiste na demonstração das ações utilizadas para o desenvolver o trabalho de pesquisa, sendo apresentadas de forma minuciosa, detalhada e rigorosa. Neste projeto de conclusão de curso foi realizada pesquisa teórica e bibliográfica, sendo utilizados como base artigos científicos, monografias, livros acadêmicos, publicações e normas de forma a levantar conceitos e aplicações da biomimética com foco na engenharia civil. Além disso, foi realizado projeto e análise de edificação unifamiliar utilizando elementos biomiméticos apresentados nas aplicações exemplificadas.

Após a definição do tema abordado, em conjunto com a professora orientadora, foram definidas a palavras-chave, sendo utilizadas inicialmente “biomimética”, “*biomimicry*”, “engenharia civil”, “construção civil”, “auto sombreamento”, “cactos” e “análise energética”. Com o aproveitamento de parte da bibliografia apresentada no Projeto de Conclusão de Curso I, que utilizou bases como *SCOPUS*, *ScienceOpen* e o *Google Acadêmico*, foi realizada pesquisa complementar necessária ao desenvolvimento das análises e conceitos aplicados ao projeto, em especial VITÓRIA (2021) ex-aluna do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense.

O estudo teve início com o dimensionamento de brises verticais e horizontais utilizando o programa Analysis-SOL-AR, modelagem de projeto 3D com o Software SketchUp e posterior análise utilizando o programa EnergyPlus. O projeto desenvolvido analisa a eficiência energética da edificação, a qual foi inspirada em elementos da natureza (cactos), do corpo humano (derme e epiderme) e o princípio de convecção dos gases presentes em diversas estruturas naturais, como apresentado no exemplo já citado do Council House 2, de autoria dos arquitetos Mick Pearce e da *DesignInc.* (Item 2.3.2.2). As brises verticais reproduzem a capacidade de auto sombreamento em algumas espécies de cactos, como apresentado no Projeto do Votu Hotel, de autoria de GCP Arquitetura & Urbanismo, juntamente com a bióloga especialista em biomimética Alessandra Araújo (Item 2.3.2.1).

Para a geometria foi utilizado um formato de dodecágono, com o objetivo de se assemelhar a geometria real mais circular presente em cactos. A geometria escolhida também

permite uma melhor passagem do vento ao redor da edificação, como apresentado no Gherkin Tower de autoria do arquiteto Norman Foster e a empresa de engenharia Arup (Item 2.3.2.3).

Este trabalho foi realizado no período de quatro meses, sendo iniciado em outubro de 2021 e finalizado em janeiro de 2022. Foram utilizados softwares e programas para a realização das análises e materiais disponibilizados por bibliotecas digitais e repositórios digitais de universidades ou diretamente de empresas, normas e órgãos. No primeiro mês foi realizada pesquisa para embasamento teórico; no segundo mês foram iniciadas as modelagens e entradas de dados nos programas; no terceiro mês os resultados foram obtidos e comprados; e no quarto mês os tópicos foram finalizados.

3.2 Programas para análise

3.2.1 Analysis-SOL-AR

Para o dimensionamento das proteções solares foi utilizado o Programa Analysis-SOL-AR, que permite a simulação de “máscaras” de sombreamento a partir da carta solar da localização escolhida. Para gerar as “manchas” de temperatura, o Programa permite duas entradas de dados: o nome da cidade (Rio de Janeiro) ou a latitude da edificação. De forma a obter os resultados, deve ser selecionado o campo referente a temperaturas, como apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Preenchimento do Programa para obtenção das “manchas” de sombreamento. (Fonte: Próprio autor)

Trajetória Solar
Cidade : Rio_de_Janeiro
Latitude : -22.83

Transferidor Orientação : 0.00
Ângulo de Referência: Interna

Alfa Beta Gama Máscara

Ângulo Alfa 1 : 0.00
 Ângulo Alfa 2 : 0.00

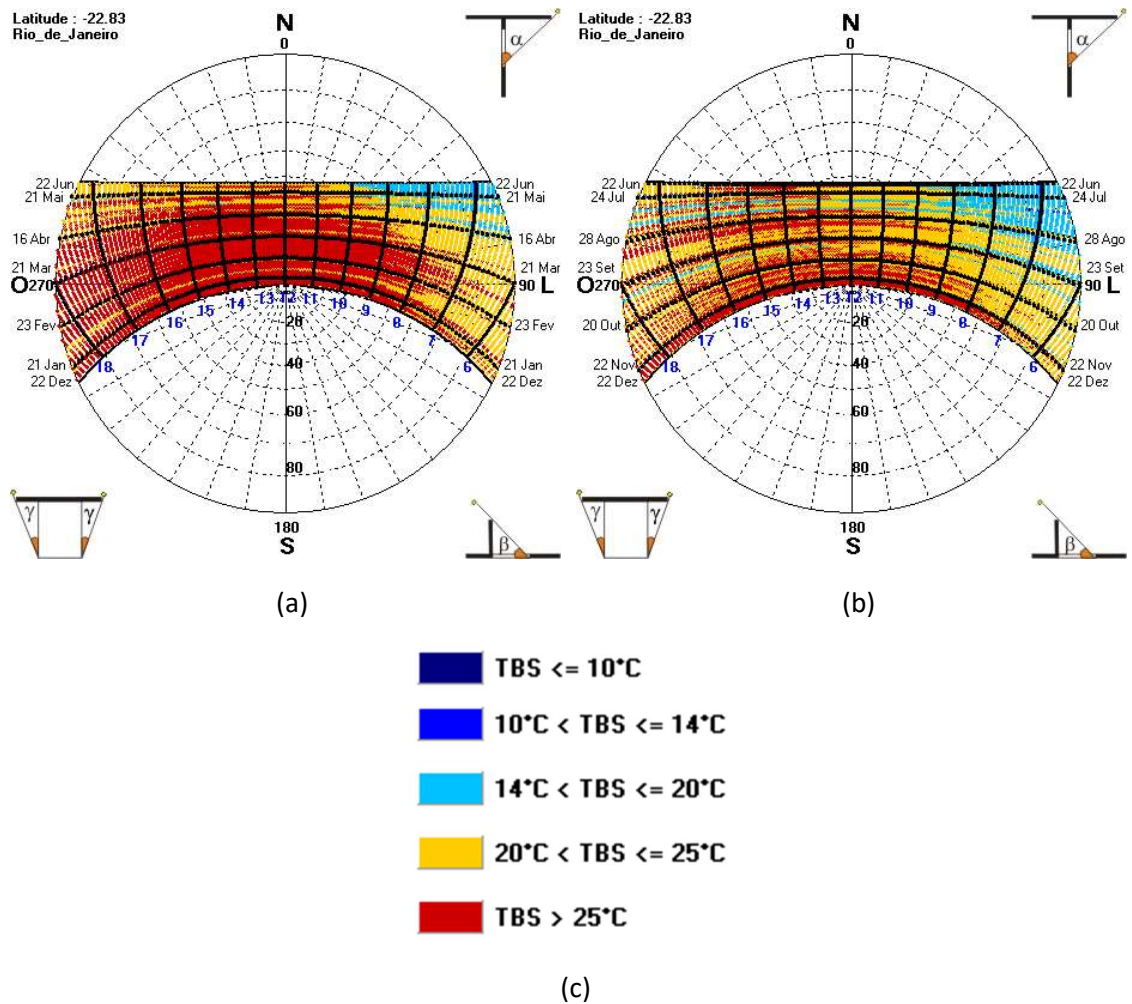
Temperaturas
Legenda : até 21 de Junho

Atualizar Carta Solar

Rosa dos Ventos
Velocidades predominantes

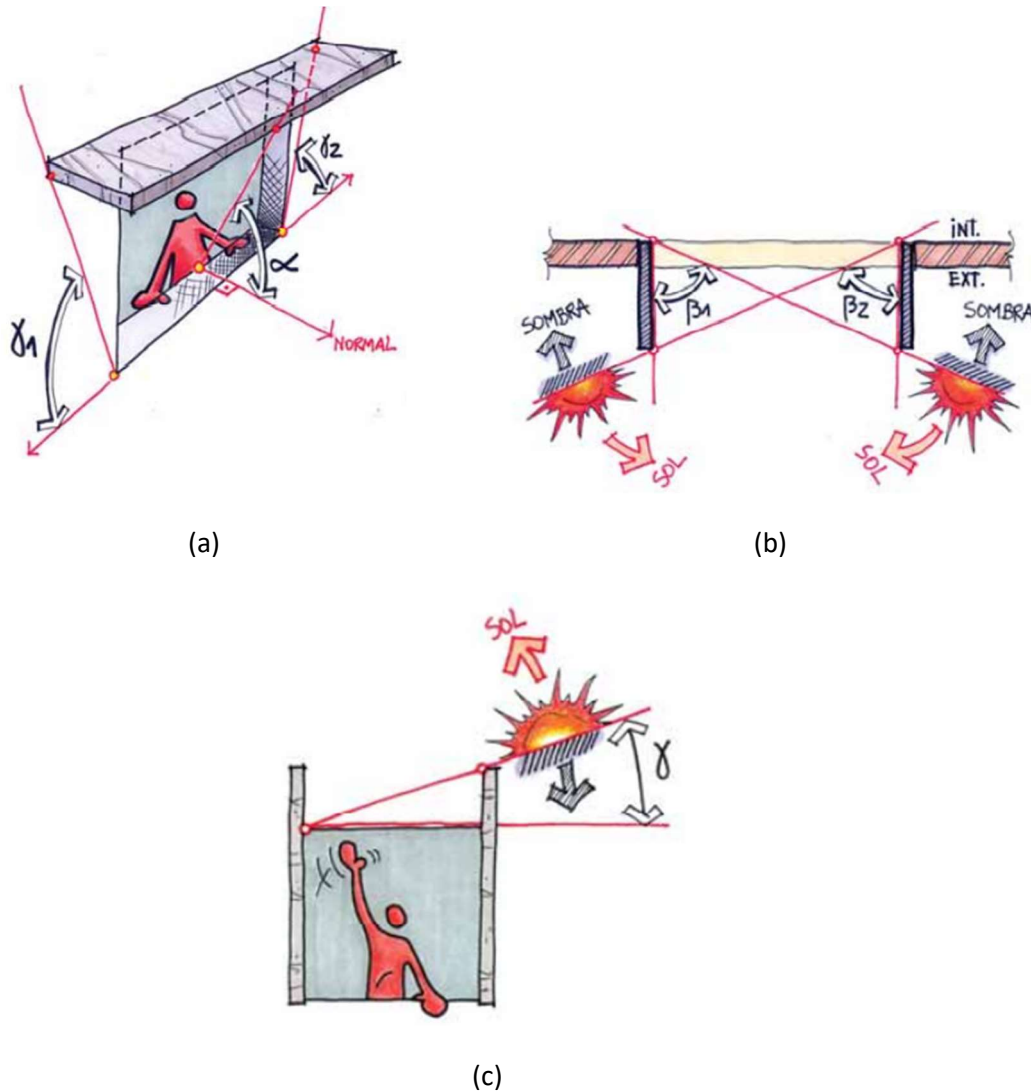
Após selecionada a cidade, o Programa fornece duas opções de “manchas” de temperatura sobre a carta solar para dois intervalos distintos, sendo um entre 21 de dezembro e 21 de junho, e outro entre 21 de junho a 21 de dezembro, além de apresentar legenda para melhor compreensão (Figura 25). Dessa forma é possível realizar a análise dos períodos críticos nos quais se faz necessária a utilização de elementos de proteção solar sobre a edificação, preferencialmente quando a temperatura exceder 20° C.

Figura 25 – “Manchas” de temperatura da cidade Rio de Janeiro a partir do Programa Analysis-SOL-AR: (a) até 21 de junho, (b) após 21 de junho e (c) legenda. (Fonte: Próprio autor)



De acordo com Lamberts, Dutra, *et al.* (2014), as proteções solares devem possuir ângulos α , β e γ que criam uma “máscara” de sombreamento que é sobreposta à carta solar. Esses ângulos são podem ser obtidos conforme a Figura 26 e, para proporcionar uma proteção eficiente, devem bloquear as áreas vermelhas das “manchas” de temperatura.

Figura 26 – Ângulos das proteções solares: (a) ângulos α e γ de brises horizontais, (b) ângulos β de brises verticais e (c) ângulos γ de brises verticais.



(Fonte: LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014)

Para a criação da “máscara” de sombreamento no Programa, é necessária a entrada das informações referentes aos ângulos α , β e γ . Além disso, deve ser selecionada a opção “Máscara” e habilitada as opções “Desenhar reta” e “Preencher” de forma a possibilitar o clique na área criada a partir dos ângulos utilizados e preenchê-la. Os campos citados e a configuração para criação da “máscara” são apresentados na Figura 27.

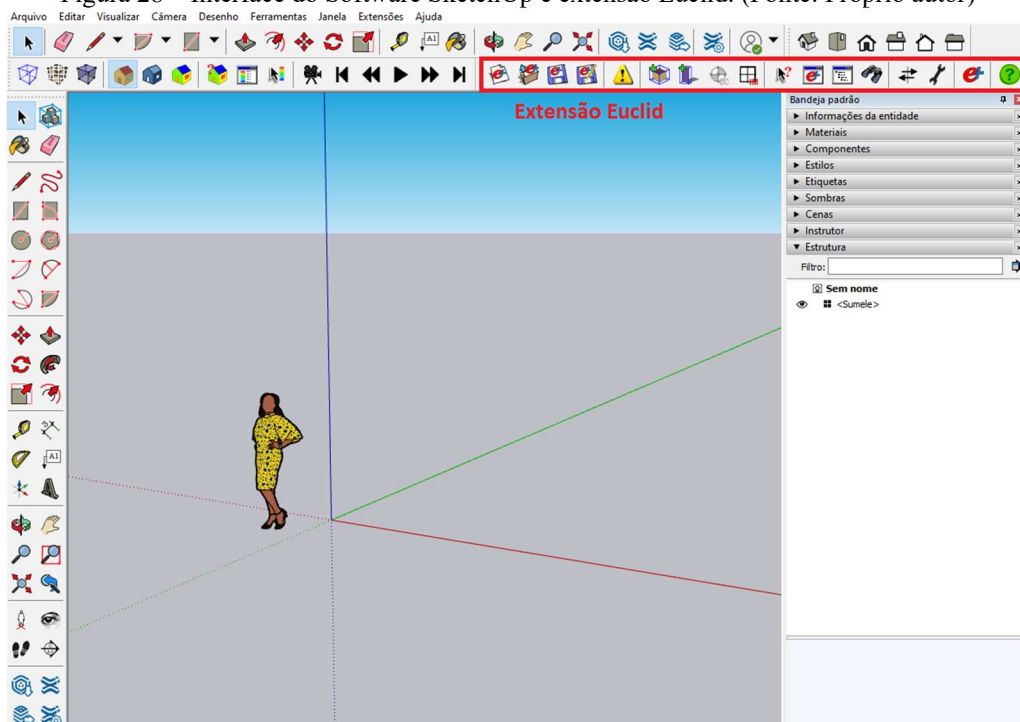
Figura 27 – Campos para entrada dos ângulos e configuração para criação de “máscara” de sombreamento no Analysis-SOL-AR. (Fonte: Próprio autor)



3.2.2 SketchUp

Para a realização da análise energética e térmica no EnergyPlus, foi utilizada uma edificação elaborada a partir do SketchUp, um Software que permite a criação de modelos tridimensionais de fácil utilização (RAMOS, 2021), além disso, proporciona a integração do modelo gerado com o Programa EnergyPlus. O Software SketchUp utiliza a extensão Euclid, a qual permite a criação de zonas e grupos de sombreamento compatíveis com o Programa EnergyPlus. Na Figura 28 é apresentada a interface do Software e a extensão utilizada.

Figura 28 – Interface do Software SketchUp e extensão Euclid. (Fonte: Próprio autor)



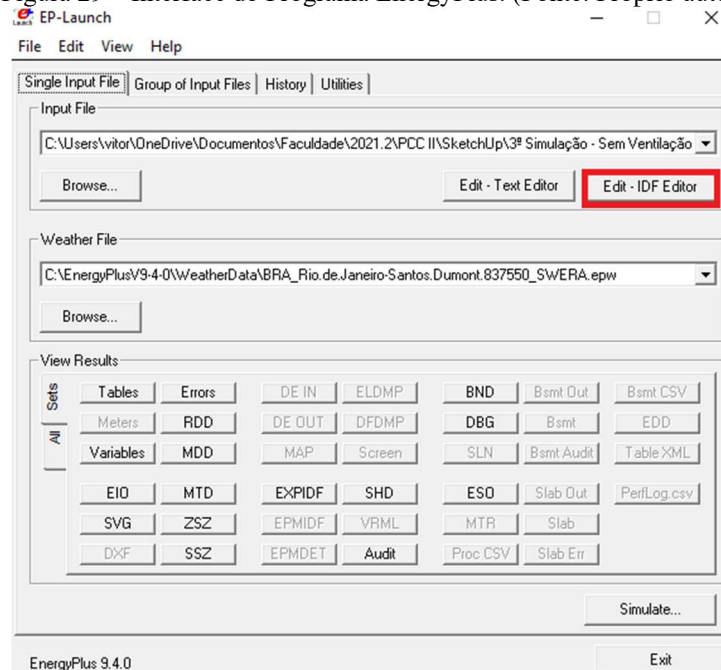
3.2.3 EnergyPlus

Para a realização da análise energética e térmica da edificação foi utilizado o Programa EnergyPlus versão 9.4.0, um Programa de simulação computacional elaborado pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* como iniciativa do Departamento de Energia Norte-Americano, para proporcionar o cálculo da carga térmica da edificação e prever o consumo energético do sistema de climatização (PEREIRA, MELO, *et al.*, 2020).

A interface de edição apresenta diversos parâmetros que podem ser preenchidos de acordo com as necessidades do projeto, como localização, período de análise, rotina da edificação e materiais utilizados.

Para a melhor realização da análise, faz-se necessária alteração de diversos parâmetros pelo Programa, utilizando-se o comando “*Edit – IDF Editor*” que possibilita acesso à janela para configuração dos parâmetros. A Figura 29 apresenta a interface inicial do Programa e o comando utilizado para edição do arquivo IDF.

Figura 29 – Interface do Programa EnergyPlus. (Fonte: Próprio autor)

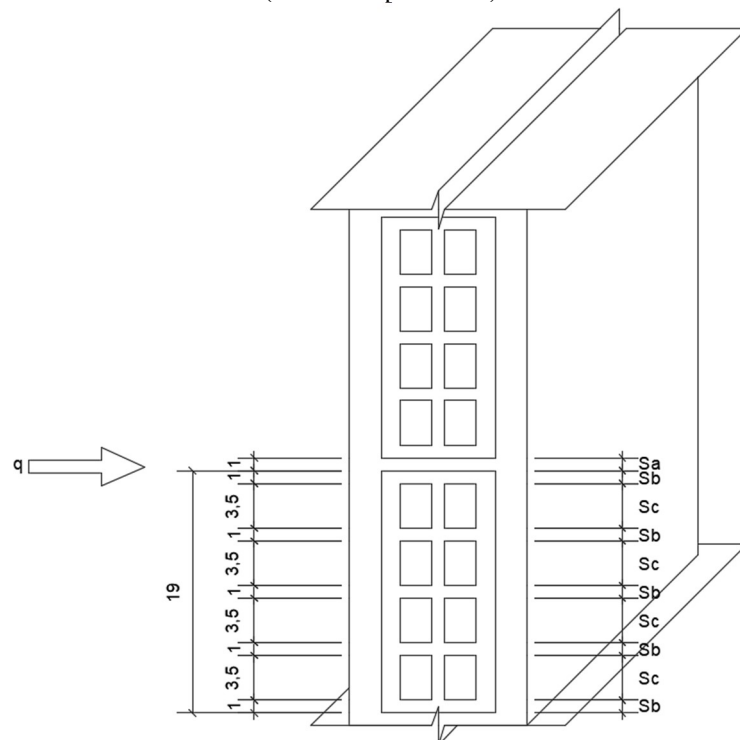


Após o correto preenchimento do Programa EnergyPlus, é necessário utilizar a interface apresentada na Figura 29, para a realização da simulação, usando o botão “*Simulate...*”. Caso

problemas sejam encontrados na análise, o Programa fornece relatório com os erros, usando o botão “Errors”, o que facilita a solução dos problemas para uma simulação mais eficiente. Os resultados são apresentados por relatórios e tabelas que demonstram os dados requisitados ao Programa.

De forma a verificar a análise realizada pelos EnergyPlus utilizando os dados apresentados na NBR 15220-2:2005 (ABNT, 2005a) e averiguar a compatibilidade com os limites apresentados para transmitância térmica (U) pela NBR 15220-3:2005 (ABNT, 2005b) e com o sugerido pela plataforma nacional “Plataforma ProjetEEE- Projetando Edificações Energeticamente Eficientes” (2021), foi realizado cálculo da resistência e transmitância térmica. Os cálculos apresentados foram baseados no exemplo de cálculo apresentado pela norma e considerado o modelo de tijolo da Figura 30.

Figura 30 – Modelo de parede utilizado para o cálculo da resistência e transmitância térmica.
(Fonte: Próprio autor)



Para o cálculo da resistência térmica total (R_T) é necessário calcular a resistência térmica da Seção A, Seção B e Seção C que compõe a parede. A Seção A é formada por reboco + argamassa + reboco e tem sua resistência térmica (R_a) calculada através da Equação 1.

$$R_a = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} \quad \text{Eq. 1}$$

A Seção B é formada por reboco + tijolo + reboco e tem sua resistência térmica (R_b) calculada através da Equação 2.

$$R_b = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} \quad \text{Eq. 2}$$

A Seção C é formada por reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco e tem sua resistência térmica (R_c) calculada através da Equação 3, onde o valor da resistência térmica do ar é obtido a partir da Tabela B.1 da NBR 15220-2:2005 (ABNT, 2005a).

$$R_c = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} \quad \text{Eq. 3}$$

Com resistência das seções A, B e C calculadas, foi realizado cálculo da resistência da parede (R_{parede}) utilizando a Equação 4.

$$R_{parede} = \frac{A_a + 5A_b + 4A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{5A_b}{R_b} + \frac{4A_c}{R_c}} \quad \text{Eq. 4}$$

Com a resistência da parede calculada, é possível realizar o cálculo da resistência térmica total (R_T) através da Equação 5, na qual os valores de resistência superficial interna (R_{si}) e resistência superficial externa (R_{se}) são obtidos a partir da Tabela A.1 da NBR 15220-2:2005 (ABNT, 2005a) de acordo com a direção do fluxo de calor.

$$R_T = R_{si} + R_{parede} + R_{se} \quad \text{Eq. 5}$$

Após o cálculo da resistência total (R_T) é possível calcular a transmitância térmica (U) a partir da Equação 6.

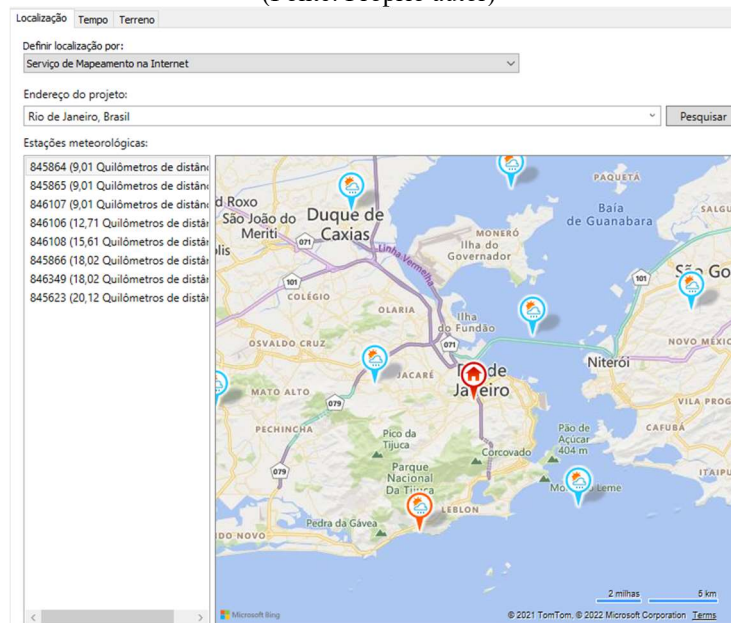
$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{Eq. 6}$$

3.2.4 Revit 2021

Para a análise lumínica do interior da edificação foi utilizado o Software Revit 2021, que de acordo com NETTO (2018) é uma ferramenta que permite a criação de modelos 3D utilizando a metodologia BIM (Building Information Modeling). Além disso, por ser um modelo virtual, o Software também possibilita a utilização de informações reais para diversas análises do projeto.

Inicialmente foi realizada a modelagem da edificação utilizando as ferramentas presentes na aba “Arquitetura” do Programa, permitindo assim a melhor visualização e compreensão da estrutura. Posteriormente, para realização da análise de forma mais precisa, foi utilizada a ferramenta “Localização” para posicionar a edificação no local desejado. Como a análise presente neste trabalho foi realizada para a cidade do Rio de Janeiro, este foi o local selecionado no Software, como apresentado na Figura 31.

Figura 31 – Posicionamento da edificação através da ferramenta “Localização” do Revit 2021.
(Fonte: Próprio autor)



Para a análise de iluminância foi utilizada a ferramenta “Renderização no Cloud” que apresenta janela de configuração do tipo de saída da renderização. Dessa forma, foi selecionada a opção de saída “Iluminância” a qual habilita a alteração dos parâmetros Local/hora, Modelo de céu e Legenda, que foram preenchidos de acordo com a NBR 15575-1:2021 (ABNT, 2021).

A Figura 32 apresenta a janela de configuração da renderização e os parâmetros anteriormente citados.

Figura 32 – Janela de configuração da ferramenta Renderização no Cloud do Revit 2021. (Fonte: Próprio autor).

AUTODESK RENDERING

Selecionar vistas 3D para renderizar no Cloud

Vista 3D: Câmera 1

Tipo de saída: Iluminância

Tamanho da imagem: Médio (1 Megapixel)

Local/hora | Modelo do céu | Legenda

A análise usará a localização do modelo

Data: 2022-01-03 Hora: 16:30:47

Usar dados da vista

1 são necessários créditos **Renderizar**

Após selecionar a opção “renderizar” é possível optar pelo recebimento de e-mail confirmando a conclusão da análise ou acessar a galeria de renderizações online, chamada “AUTODESK RENDERING”, que apresenta as análises completadas e em andamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

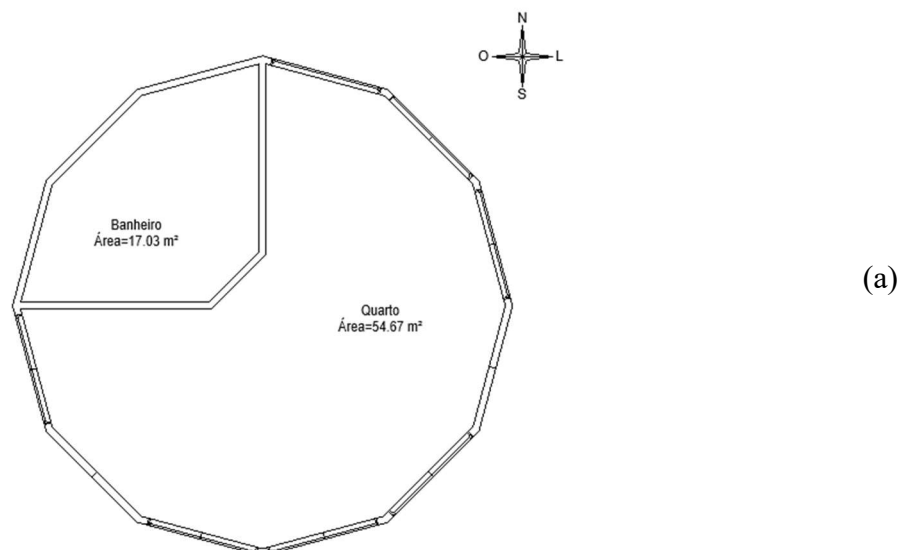
Nos itens a seguir são apresentados os resultados obtidos por meio da utilização dos Softwares e Programas já mencionados com o intuito de analisar a eficácia dos brises como objeto de mimetismo de estruturas presentes em alguns cactos, obtendo assim melhor conforto térmico e eficiência energética.

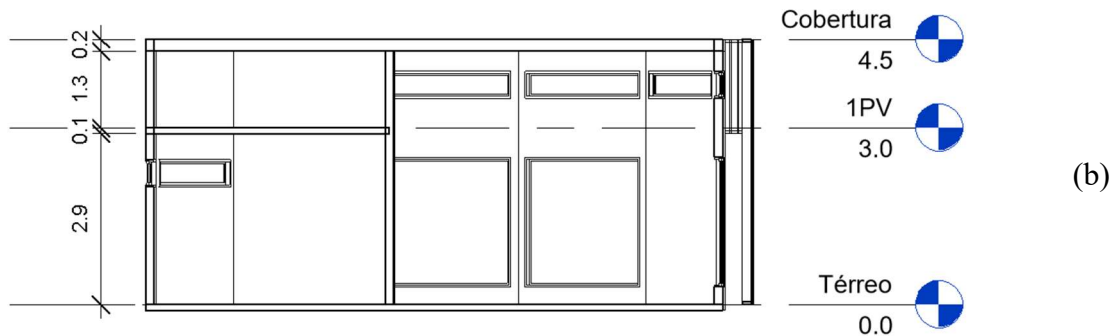
Foi utilizado o Programa Analysis-SOL-AR para obtenção de “máscaras” de sombreamento para as proteções solares dimensionadas, o Software SketchUp para a modelagem da edificação, o Programa EnergyPlus para a análise térmica e energética e o Software Revit 2021 para a análise lumínica.

4.1 “Máscaras” de sombreamento com a utilização de brises

O projeto arquitetônico analisado foi idealizado pelo próprio autor a partir do estudo de diversas edificações que utilizaram a metodologia da biomimética para suas elaborações. O projeto contém 3 áreas: área principal (destinada ao quarto e possível copa) com 54,7 m², do banheiro com 17,0m² e área destinada a caixa d’água com 17,0 m². A edificação conta também com pé-direito de 4,3m para a área principal, 2,9m para o banheiro e 1,3m para a área destinada a caixa d’água. A Figura 33 apresenta o pavimento térreo com suas respectivas áreas e o pé-direito de cada área da edificação.

Figura 33 – Modelo da edificação projetada: (a) pavimento térreo e (b) pé-direito dos ambientes em metros.





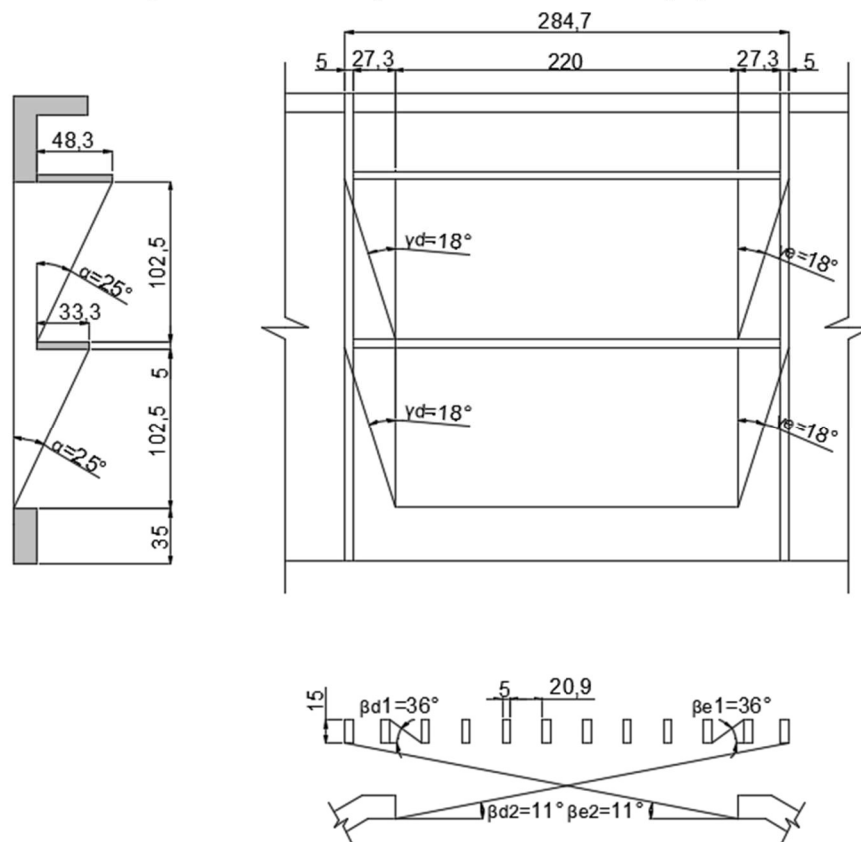
A edificação também conta com 19 janelas que possuem o objetivo de permitir maior ventilação e iluminação natural, foram utilizados dois modelos: 12 janelas com 46x230 cm e 7 janelas com 220x230 cm. Área principal possui um total 44,9m² de elementos transparentes, dessa forma o percentual de elementos transparentes é de 82,1%.

A “máscara” de sombreamento foi criada com a utilização do Programa Analysis-SOL-AR e entrada dos dados como localização e ângulos α , β e γ para as principais entradas de iluminação da edificação.

Como o principal objetivo dos elementos de proteção solar é o sombreamento nos períodos em que as temperaturas são mais elevadas, foram priorizados os horários entre 9 e 17 horas para o período de 21 de dezembro a 21 de junho, como apresentado na “mancha” de temperatura da Figura 25 - a. Dessa maneira, o dimensionamento dos brises foi realizado visando a redução da incidência solar nesse período.

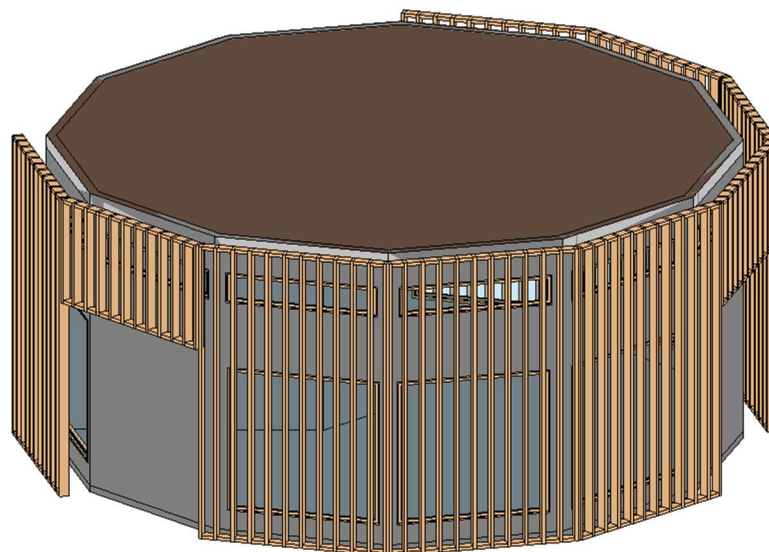
De forma a obter maior eficiência, foram utilizados brises verticais e horizontais nas janelas a 15°, 45° e 75°, conforme o modelo de proteção solar apresentado na Figura 34.

Figura 34 – Modelo de proteção solar utilizado no projeto.



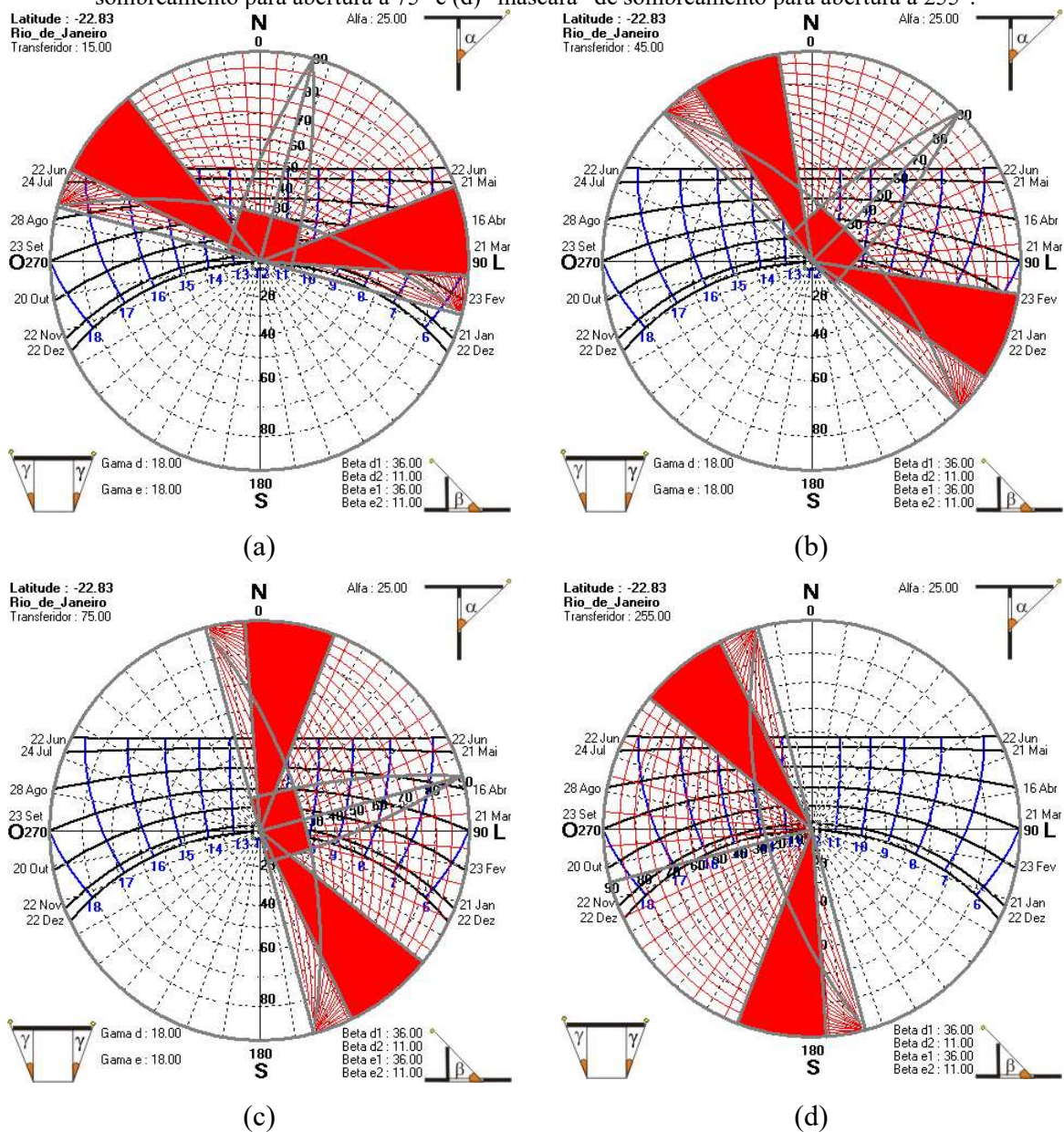
Com a adição dos elementos de sombreamento ao projeto arquitetônico da edificação foi possível a geração de modelo 3D completo da estrutura analisada, conforme apresentado na Figura 35.

Figura 35 – Modelo de edificação projeto.



Com a entrada dos dados referentes ao projeto e aos brises dimensionados foram elaboradas “máscaras” de sombreamento para as quatro principais aberturas da edificação, que possuem maior incidência solar durante o ano. Assim foram analisadas as aberturas voltadas a 15° , 45° , 75° e 255° , como apresentado na Figura 36.

Figura 36 – “Máscaras” de sombreamento para as aberturas de iluminação em vermelho: (a) “máscara” de sombreamento para abertura a 15° , (b) “máscara” de sombreamento para abertura a 45° , (c) “máscara” de sombreamento para abertura a 75° e (d) “máscara” de sombreamento para abertura a 255° .



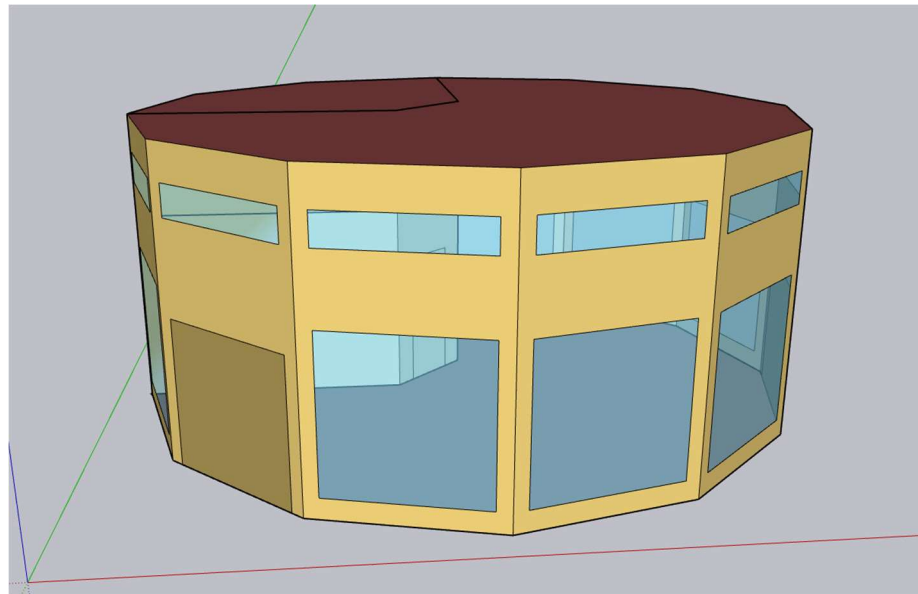
Conforme apresentado nas “máscaras” de sombreamento e no dimensionamento dos brises, foi necessária a utilização de proteções solares horizontais nas fachadas voltadas a norte

e nordeste de forma a proporcionar um melhor resultado. Além disso, é possível verificar que os elementos de sombreamento posicionados a 15°, 45° e 75° geram sombreamentos eficientes para a edificação nos períodos analisados, já os posicionados a 255° não apresentam “máscaras” muito eficazes, dessa forma a abertura poderia ser retirada ou alterados os elementos de sombreamento.

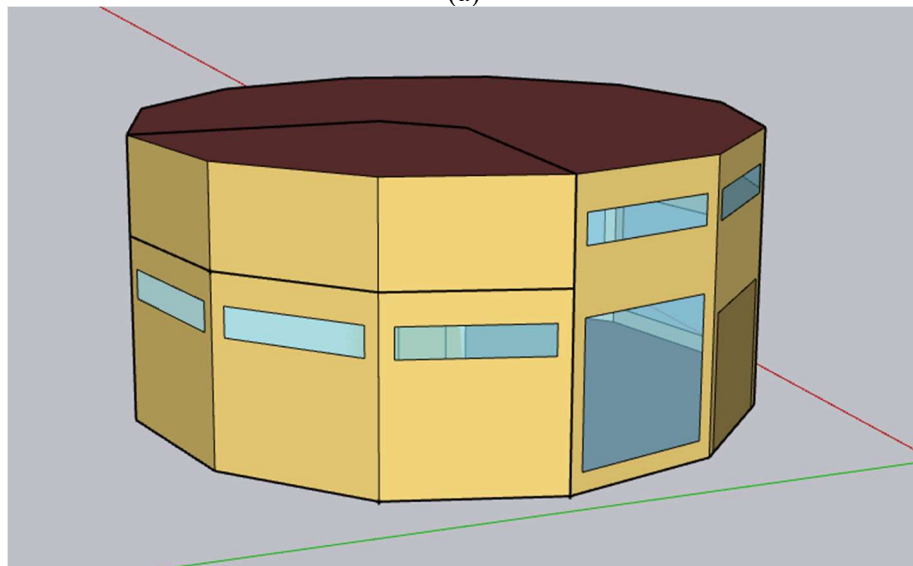
4.2 Modelagem da edificação

Com a utilização do Software SketchUp foi realizada modelagem da edificação a ser analisada. Seu modelo possui formato de dodecágono de forma a se assemelhar ao formato mais arredondado de um cacto, e foi dividido em três zonas térmicas, sendo elas a área referente ao quarto com possível copa (área principal), a área do banheiro e a área acima do banheiro, na qual seria posicionada a caixa d’água. Além disso, buscando uma melhor iluminação e ventilação natural, foram posicionadas 19 janelas e três portas utilizando a ferramenta “Retângulo” para a edição das zonas, na qual o Programa reconhece aberturas em contato com o solo como portas e afastadas como janelas. A Figura 37 apresenta o modelo da edificação.

Figura 37 – Modelo da edificação: (a) visualização das aberturas da área principal e (b) visualização das aberturas do banheiro.



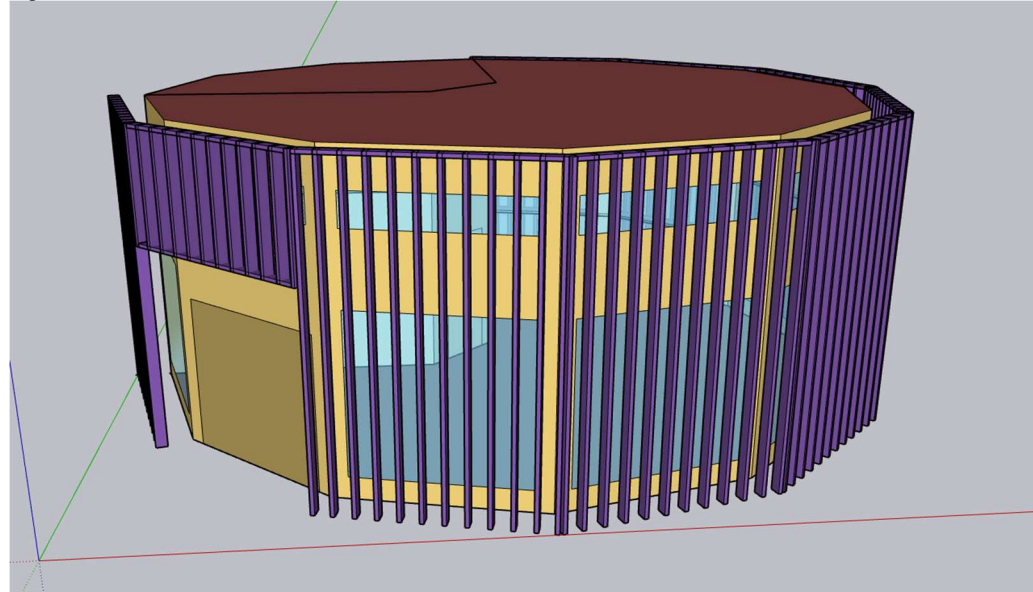
(a)



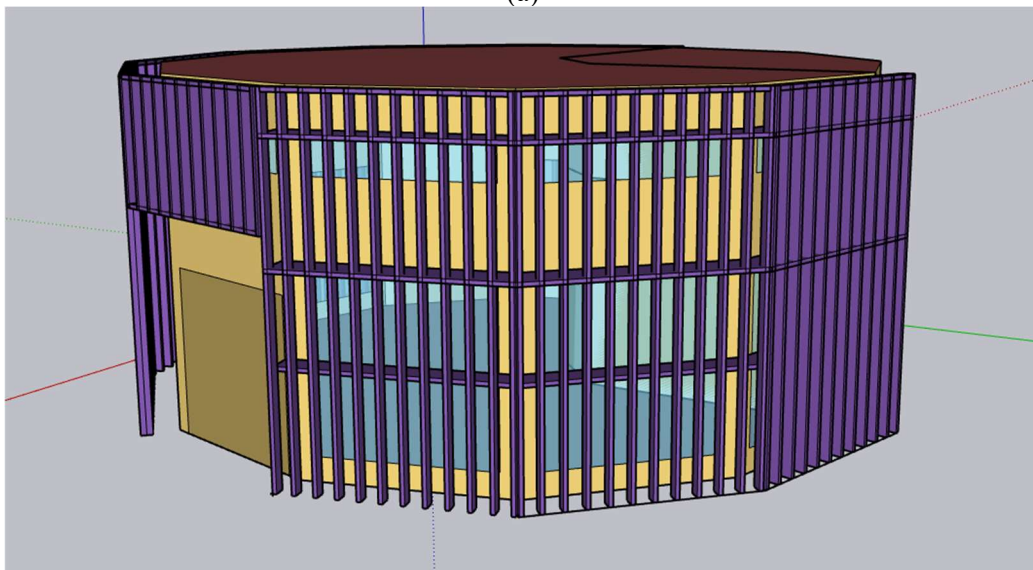
(b)

Após a modelagem da edificação, foram adicionados os elementos de sombreamento dimensionados e apresentados na Figura 34. Esses elementos foram utilizados apenas nas fachadas da área principal, devido a utilização de janelas de grande porte, visando a menor incidência solar e maior conforto térmico. Para a inserção desses elementos, foram criados dois grupos de sombreamento, referentes aos brises verticais e aos horizontais, a Figura 38 apresenta os dois modelos utilizados.

Figura 38 – Brises utilizados na edificação: (a) brises verticais e (b) brises verticais e horizontais.



(a)



(b)

A modelagem da edificação foi realizada utilizando o Software SketchUp, entretanto a adição dos elementos de sombreamento, na primeira versão, apresentava erros após grande quantidade de entrada de dados. Dessa forma, foi necessária a divisão desses elementos em arquivos distintos para posterior análise no EnergyPlus. Após a finalização da modelagem, foi salvo arquivo no formato *Intermediate Data Format* (IDF) pela opção “*Save EnergyPlus Input File*” presente na extensão Euclid, permitindo o acesso às informações do arquivo pelo EnergyPlus.

4.3 Análise energética e térmica

A análise realizada seguiu parte do procedimento de simulação computacional apresentado pela NBR 15575-1:2021 (ABNT, 2021), não sendo realizada análise de modelo de referência especificado pela norma. Para a realização dessa análise por meio do Programa EnergyPlus, foi utilizado arquivo IDF gerado no SketchUp que já inclui as superfícies modeladas. Esse arquivo foi utilizado devido à complexidade de modelagem no Programa EnergyPlus que possui sistema por coordenadas.

A edificação foi analisada para a cidade do Rio de Janeiro, dessa forma, foram utilizados dados meteorológicos do aeroporto Santos Dumont retirados do próprio site do EnergyPlus, que fornece arquivos para diferentes regiões. A Figura 39 apresenta a interface de edição do Programa, bem como alguns dos dados climáticos utilizados.

Figura 39 – Interface de edição do EnergyPlus.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		SANTOS_DUMON	SANTOS_DUMON	SANTOS_DUMON	SANTOS_DUMON	SANTOS_DUMON
Month		7	7	7	7	7
Day of Month		21	21	21	21	21
Day Type		WinterDesignDay	WinterDesignDay	WinterDesignDay	WinterDesignDay	WinterDesignDay
Maximum Dry-Bulb Temperature	C	16,2	17	19,8	19,6	22,8
Daily Dry-Bulb Temperature Range	deltaC	0	0	0	0	0
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type		DefaultMultipliers	DefaultMultipliers	DefaultMultipliers	DefaultMultipliers	DefaultMultipliers
Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule Name						
Humidity Condition Type		Wetbulb	Wetbulb	Dewpoint	Dewpoint	Wetbulb
Wetbulb or DewPoint at Maximum Dry-Bulb	C	16,2	17	11,9	13	22,8
Humidity Condition Day Schedule Name						
Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb	kgWater/kgDryA					
Enthalpy at Maximum Dry-Bulb	J/kg					
Daily Wet-Bulb Temperature Range	deltaC					
Barometric Pressure	Pa	101289	101289	101289	101289	101289
Wind Speed	m/s	2,5	2,5	2,5	2,5	9,2
Wind Direction	deg	320	320	320	320	320
Rain Indicator		No	No	No	No	No
Snow Indicator		No	No	No	No	No
Daylight Saving Time Indicator		No	No	No	No	No
Solar Model Indicator		ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky	ASHRAEClearSky

A análise foi realizada para o período de um ano, na qual foi considerado padrão de ocupação diário e utilização de iluminação artificial, ambos de uso misto para dois habitantes. De acordo com a NBR 15575-1:2021 (ABNT, 2021), o uso misto é caracterizado pela utilização do ambiente como sala e dormitório, visto que a edificação foi projetada com um ambiente

interligado que poderia ser utilizado dessa forma além de uma possível copa, optou-se por essa configuração. O Quadro 5 apresenta os padrões utilizados e foi criado com base nas tabelas 13 e 15 da NBR 15757-1:2021 (ABNT, 2021).

Quadro 5 – Padrões de ocupação diária e de utilização de iluminação artificial de acordo com a NBR 15757-1:2021.

Horário	Uso Misto (%)	
	Ocupação	Iluminação
00:00 - 00:59	100	0
01:00 - 01:59	100	0
02:00 - 02:59	100	0
03:00 - 03:59	100	0
04:00 - 04:59	100	0
05:00 - 05:59	100	0
06:00 - 06:59	100	100
07:00 - 07:59	100	100
08:00 - 08:59	0	0
09:00 - 09:59	0	0
10:00 - 10:59	0	0
11:00 - 11:59	0	0
12:00 - 12:59	0	0
13:00 - 13:59	0	0
14:00 - 14:59	50	0
15:00 - 15:59	50	0
16:00 - 16:59	50	100
17:00 - 17:59	50	100
18:00 - 18:59	100	100
19:00 - 19:59	100	100
20:00 - 20:59	100	100
21:00 - 21:59	100	100
22:00 - 22:59	100	100
23:00 - 23:59	100	100

Também foram utilizados valores de taxa metabólica para os usuários, densidade de potência instalada para o sistema de iluminação e densidade de cargas internas para equipamentos, como apresentado na Quadro 6, Quadro 7 e Quadro 8, que foram elaboradas com base na NBR 15757-1:2021.

Quadro 6 – Taxa metabólica para usuários considerando uso misto

Ambiente	Período de uso	Atividade realizada	Calor produzido por área de superfície corporal (W/m ²)	Calor produzido por uma pessoa com 1,80 m ² (W)
Uso misto	00:00 - 7:59 e 22:00 - 23:59	Dormindo ou descansando	45	81
	14:00-21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108

Quadro 7 – Densidade de potência instalada para o sistema de iluminação.

Ambiente	DPI (W/m ²)
Uso misto	5

Quadro 8 – Densidade de cargas internas para equipamentos.

Ambiente	Período de uso	Potência (W)
Uso misto	14:00 - 21:59	120

Outra entrada de informações de extrema importância para a análise está relacionada aos tipos de materiais utilizados e suas características. Assim, os materiais utilizados foram escolhidos de forma a atender as especificações presentes na NBR 15220-3:2005 (ABNT, 2005b) para a zona bioclimática 8 (Quadro 9), na qual se encontra a cidade do Rio de Janeiro.

Quadro 9 – Especificações de materiais presentes na NBR 15220-3:2005.

Local	Tipo	Transmitância térmica - U (W/m ² .K)	Atraso térmico - ϕ (h)	Fator solar - FS_o (%)
Paredes	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
Cobertura	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$

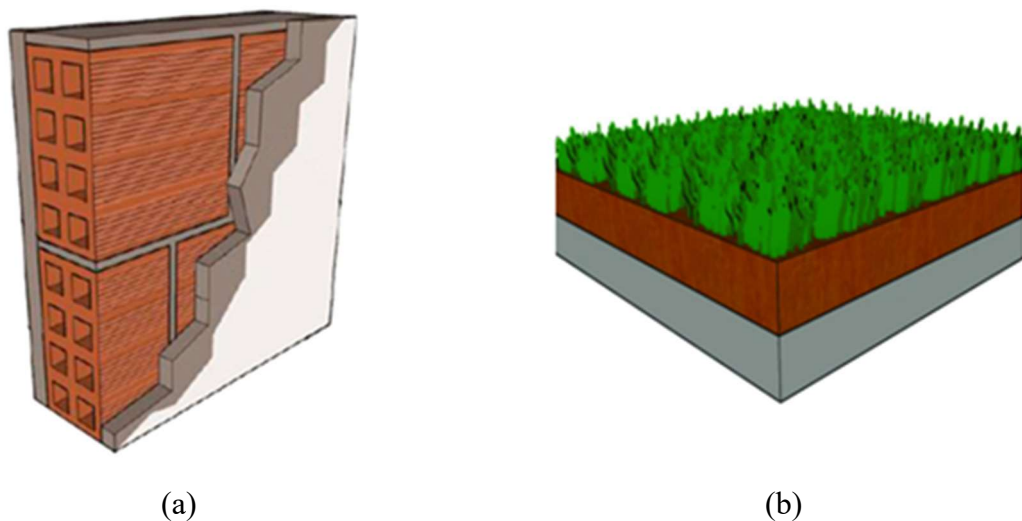
Dessa forma, foi utilizada a “Plataforma ProjetEEE- Projetando Edificações Energeticamente Eficientes” (2021) para a escolha dos materiais e a NBR 15220-2:2005 (ABNT, 2005b) para as características dos materiais escolhidos (Quadro 10).

Quadro 10 – Materiais e suas características de acordo com a NBR 15220-2:2005.

Material	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor Específico (kJ/kg.K)	Absortância para radiação solar	Emissividade para radiações a temperaturas comuns
Tijolo	0,90	1600	0,92	0,80	0,95
Argamassa	1,15	1950	1,00	0,40	0,90
Concreto	1,75	2300	1,00	0,90	0,80
Vidro incolor	1,00	2500	0,84	0,25	0,84
Madeira	0,15	600	1,34	-	-

Foram consideradas duas composições, uma para parede e outra para laje, conforme apresentado na Figura 40. As paredes são compostas por camada de argamassa interna e externa de 2,5 cm e bloco cerâmico de 9 x 19 x 19 cm, com transmitância térmica igual a 2,37 W/m².K e atraso térmico de 3,3 h. A cobertura de telhado vegetado expansivo, também conhecido como telhado verde, é composta por laje maciça de 10 cm e camada de terra argilosa seca com 10 cm de espessura, sua transmitância térmica é igual a 2,18 W/m².K e atraso térmico de 6,1 h. Observa-se que a consideração de telhado verde se encontra acima do recomendado por norma (Quadro 9), entretanto foi mantida essa configuração para análise em virtude do modelo criado sem inclinações no telhado.

Figura 40 – Composições dos elementos da edificação: (a) paredes e (b) telhado.



(Fonte: “Plataforma ProjetEEE- Projetando Edificações Energeticamente Eficientes”, 2021)

Para a verificação da compatibilidade dos valores de transmitância térmica (U) com os valores apresentados na NBR 15220-2:2005 (ABNT, 2005b), foi realizado cálculo da resistência térmica total (R_T) e transmitância térmica da parede. Dessa forma, foram calculadas a resistências térmicas das seções A, B e C. Utilizando-se a Equação 1, o valor de resistência térmica da Seção A é:

$$R_a = 0,1217 (m^2 \cdot K)/W$$

Utilizando-se a Equação 2, o valor de resistência térmica da Seção B é:

$$R_b = 0,1435 (m^2 \cdot K)/W$$

Através da Equação 3, utilizando a resistência da câmara de ar igual a 0,16, o valor de resistência térmica da Seção C é:

$$R_c = 0,4079 (m^2 \cdot K)/W$$

Com os valores de resistência térmica das seções que compõe a parede calculados, foi possível o cálculo da resistência térmica da parede a partir da Equação 4.

$$R_{parede} = 0,2442 (m^2 \cdot K)/W$$

Para o cálculo da resistência térmica total, foram utilizados os valores de resistência térmica interna e resistência térmica externa de 0,13 e 0,04, de acordo com a NBR 15220-2:200 (ABNT, 2005b). Utilizando-se a Equação 5, o valor de resistência térmica total é:

$$R_T = 0,4142 (m^2 \cdot K)/W$$

A partir da resistência térmica total, foi calculada a transmitância térmica da parede por meio da Equação 6, obtendo o resultado:

$$U = 2,41 W/(m^2 \cdot K) < 3,60 W/(m^2 \cdot K)$$

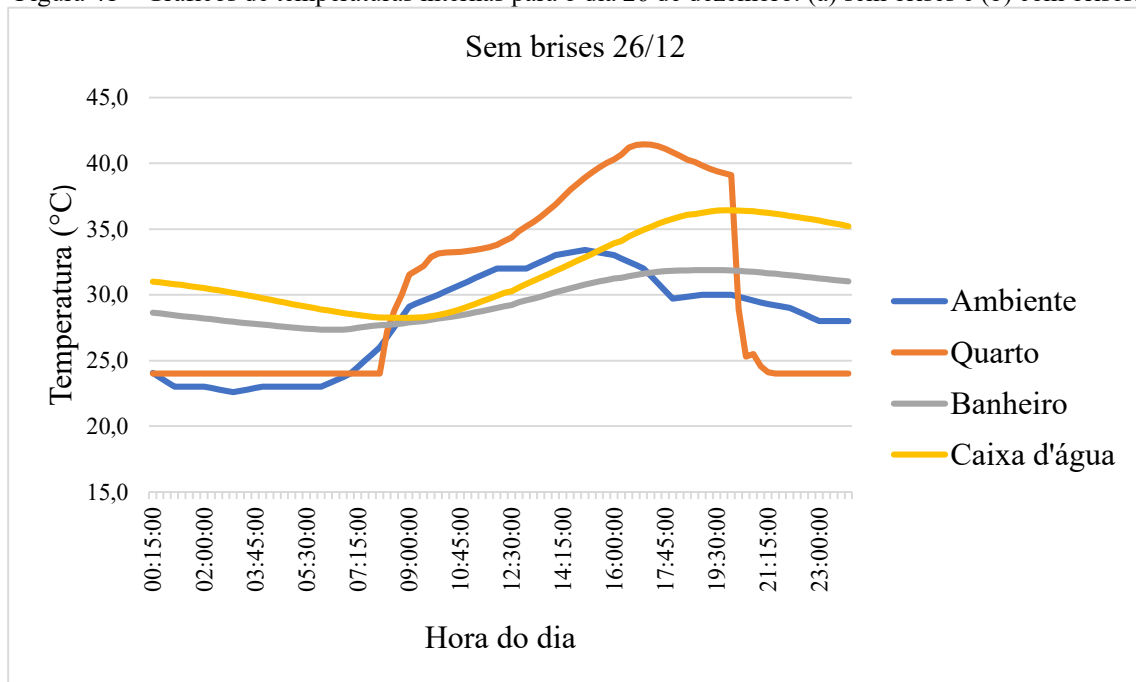
O valor calculado utilizando o modelo de parede apresentado na Figura 30 encontra-se dentro dos limites estabelecidos pela norma e próximo ao valor sugerido pela “Plataforma ProjeEEE- Projetando Edificações Energeticamente Eficientes” (2021). Entretanto, quando realizada a análise pelo Aplicativo foi constatada uma transmitância térmica de $2,21 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, ainda dentro limite da norma, mas distinto do resultado encontrado. Essa discrepância possivelmente está relacionada ao método de cálculo utilizado pelo Programa, provavelmente considerando o cálculo de resistência para as camadas como resistências em série. Entretanto, devido a não homogeneidade das camadas, é necessário o cálculo da resistência em paralelo.

Com essa divergência encontrada, foi alterada a propriedade no Programa de forma a convergir a transmitância térmica com a calculada de acordo com a norma. Foram então adotadas 3 camadas no Programa: argamassa, tijolo e argamassa; nas quais foram utilizadas as propriedades apresentadas na norma, excludente a condutividade térmica do tijolo, que foi alterada de forma a convergir a transmitância térmica.

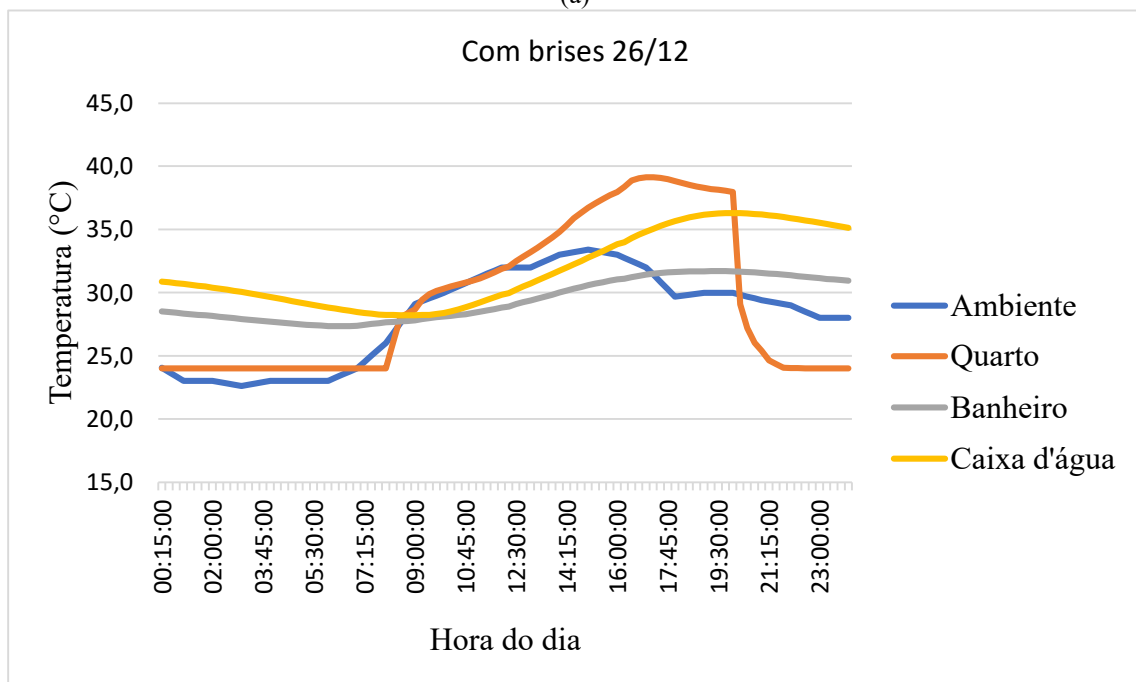
De acordo com as análises realizadas pelo Programa EnergyPlus, a utilização de brises gerou uma redução de 9,1% no consumo anual de energia elétrica, sendo utilizados 4181 kWh na edificação sem brises e 3814 kWh com brises. Além disso, quando comparadas as temperaturas internas em cada zona, foi possível verificar redução de $2,3 \text{ }^\circ\text{C}$ na temperatura máxima anual na área principal, visto que os brises foram posicionados em sua fachada. As temperaturas máximas dessa área foram de $41,5 \text{ }^\circ\text{C}$, sem brises, e $39,1 \text{ }^\circ\text{C}$, com brises, totalizando uma redução de aproximadamente 5,8% na temperatura.

A temperatura máxima para a área principal, de acordo com os resultados apresentados pelo Programa, foi verificada no dia 26 de dezembro. Sendo assim, foram elaborados os gráficos das temperaturas internas da edificação, para comparação, conforme apresentado na Figura 41.

Figura 41 – Gráficos de temperaturas internas para o dia 26 de dezembro: (a) sem brises e (b) com brises.



(a)



(b)

Também foi verificado que as alterações nas temperaturas máximas para as demais zonas da edificação não sofreram grandes alterações, sendo essas de no máximo 0,22 °C, visto que os brises não foram posicionados em suas fachadas. Além disso, a utilização de brises não acarretou em grandes alterações nas temperaturas mínimas. O Quadro 11 apresenta as temperaturas máximas e mínimas em cada zona e um comparativo entre elas.

Quadro 11 – Temperaturas internas nas zonas da edificação.

Zona	Data e hora	Temperatura (°C)					
		Máximas			Mínimas		
		Sem brises	Com brises	Diferença	Sem brises	Com brises	Diferença
Quarto	12/26 17:00:00	41,5	39,1	2,33	17,5	17,4	0,04
Banheiro	02/22 17:15:00	33,0	32,8	0,23	19,5	19,5	0,00
Caixa d'água	02/22 19:00:00	36,9	36,8	0,09	17,2	17,2	0,02

4.4 Análise lumínica

Por meio da utilização do Software Revit 2021, foi possível gerar imagens para análise da iluminação natural interna da edificação, de forma a verificar se a utilização de elementos de proteção solar permitiria a entrada de luz de acordo com a NBR 15575-1:2021 (ABNT, 2021). Foram utilizados os parâmetros descritos pela norma para a realização de simulação de iluminação natural, sendo eles:

- Considerar latitude e a longitude do local da obra, supondo dias com nebulosidade média (apresentados pelo Programa como “céu intermediário”);
- Não consideração de iluminação artificial e presença de obstruções opacas;
- Simulação para o centro de ambientes a uma altura de 0,75m acima do nível do piso;
- Análises realizadas para os períodos matutino (às 9:30h) e vespertino (às 15:30h) para os dias 23 de abril e 23 de outubro.

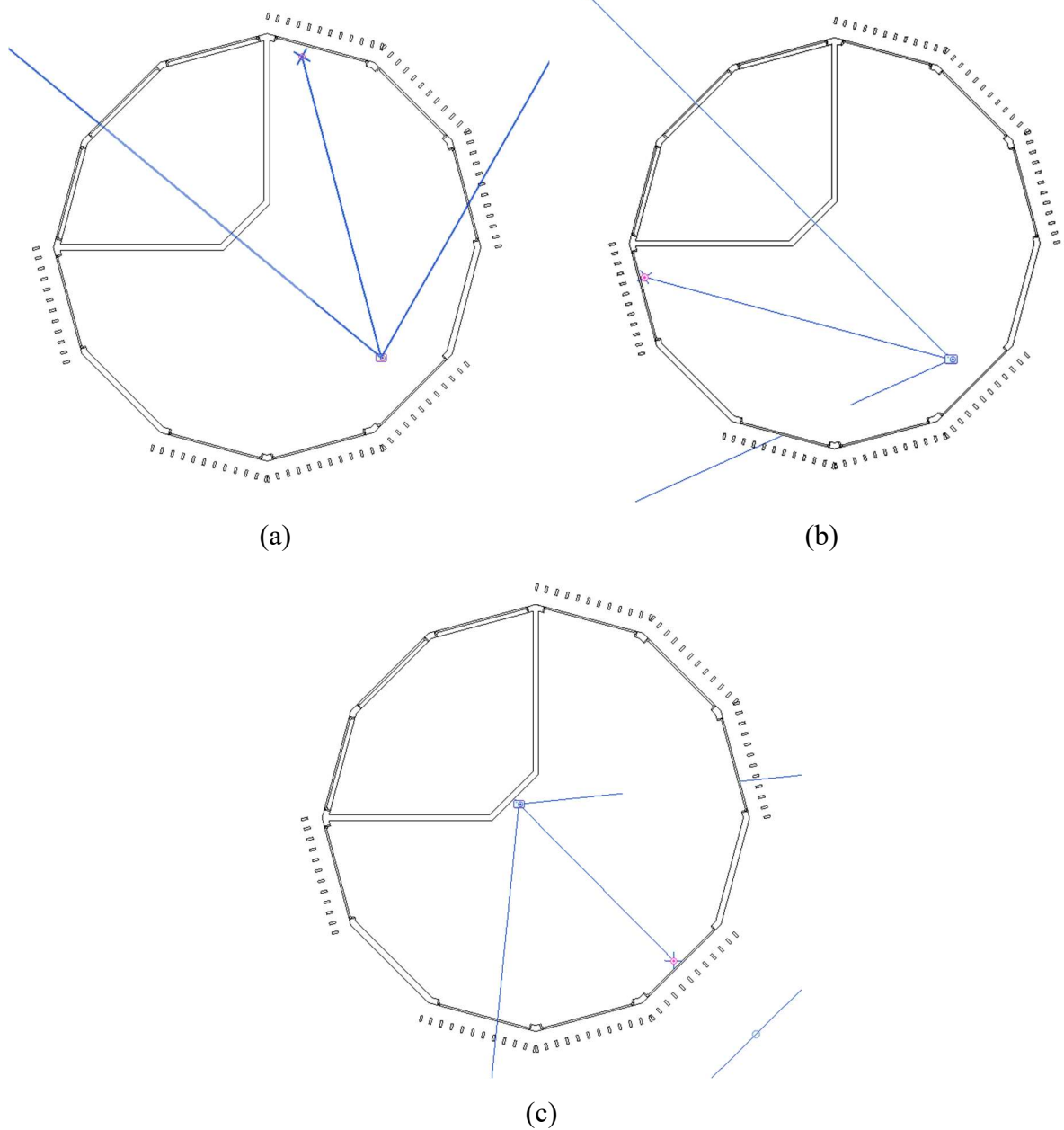
A visualização do ambiente após a renderização das imagens apresentava a iluminância na altura do piso. Dessa forma, para possibilitar a análise a uma altura de 0,75m do piso, foi adicionado elemento semelhante a uma laje pelo Software na altura desejada e alterada a sua composição de concreto para ar. Essa alteração permitiu a devida análise na altura especificada pela norma.

A NBR 15575-1:2021 (ABNT, 2021) apresenta níveis de iluminação geral para iluminação natural de acordo com a dependência. Assim, espaços destinados a sala de estar, dormitórios, copa/cozinha e áreas de serviço devem possuir iluminância geral para o nível mínimo de desempenho maior ou igual a 60 lux. Ela ainda apresenta algumas áreas nas quais

não há requerimento desse valor mínimo, como banheiros. Dessa forma, o estudo apresenta apenas os valores referentes a área principal.

De forma a analisar a iluminância em toda a área principal da edificação, foram posicionadas 3 câmeras internas a uma altura de 2,85m do piso, permitindo uma verificação integral da área. A Figura 42 apresenta o posicionamento das câmeras no interior da edificação.

Figura 42 – Posicionamento das câmeras na parte interna da edificação: (a) câmera 1, (b) câmera 2 e (c) câmera 3.



Para essa avaliação foi utilizada a ferramenta de renderização no cloud do Revit 2021, sendo posicionadas três câmeras distintas no interior da edificação de forma a possibilitar análise integral do ambiente. Cada câmera forneceu quatro imagens, totalizando 12 imagens com faixa de cor representando a quantidade de iluminância da região. A Figura 43 apresenta a legenda de iluminância utilizada nas Figura 44, Figura 45 e Figura 46.

Figura 43 – Legenda de Iluminância para as Figuras 41, 42 e 43.



As Figura 44, Figura 45 e Figura 46 apresentam a iluminância na parte interna da edificação, nas câmeras 1, 2 e 3 respectivamente, para os dias 23 de abril às 9:30 (a), 23 de abril às 15:30 (b), 23 de outubro às 9:30 (c) e 23 de outubro às 15:30 (d).

Figura 44 – Iluminância na parte interna da edificação obtida pela câmera 1: (a) 23 de abril às 9:30, (b) 23 de abril às 15:30, (c) 23 de outubro às 9:30 e (d) 23 de outubro às 15:30.

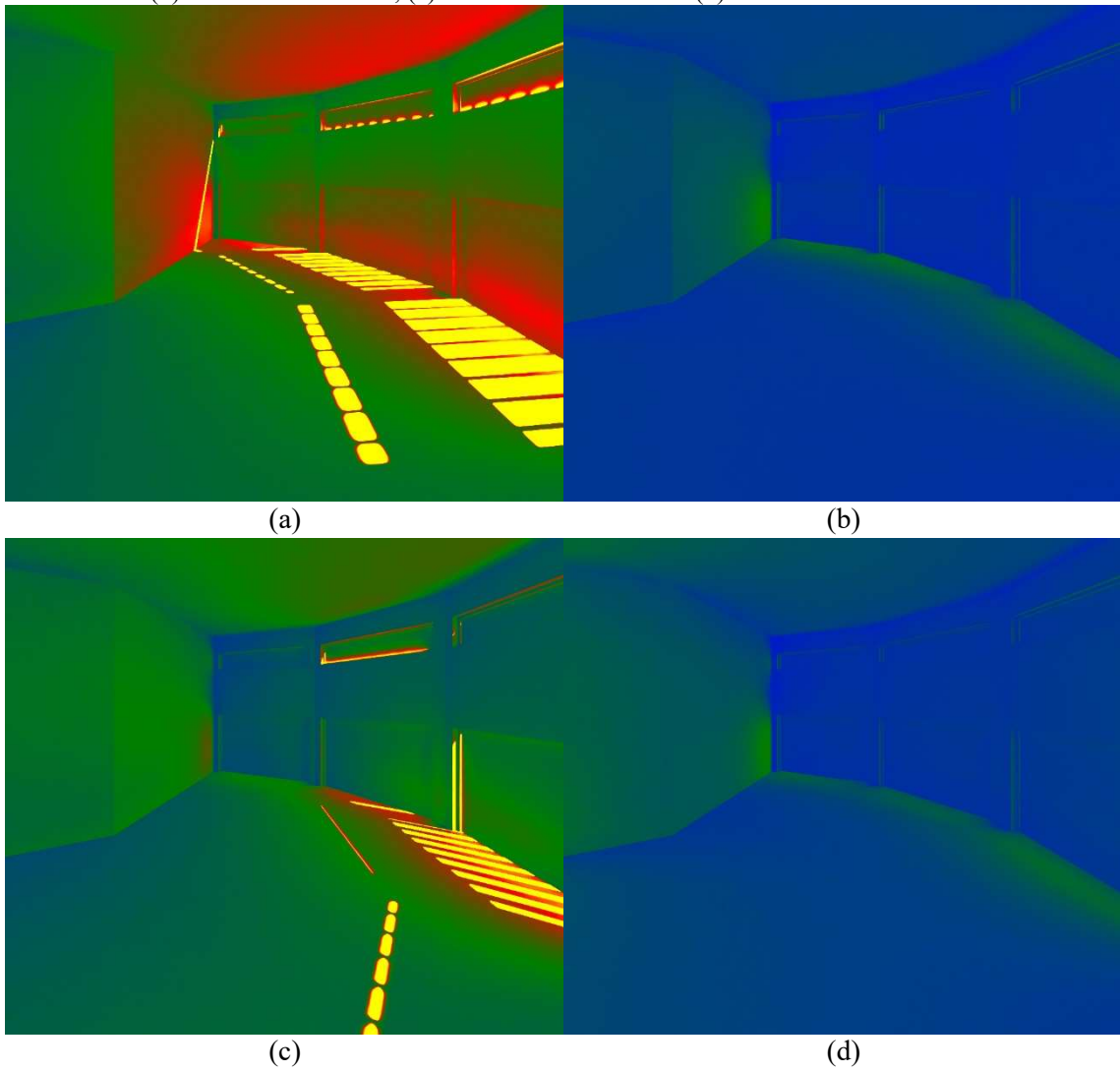


Figura 45 – Iluminância na parte interna da edificação obtida pela câmera 2: (a) 23 de abril às 9:30, (b) 23 de abril às 15:30, (c) 23 de outubro às 9:30 e (d) 23 de outubro às 15:30.

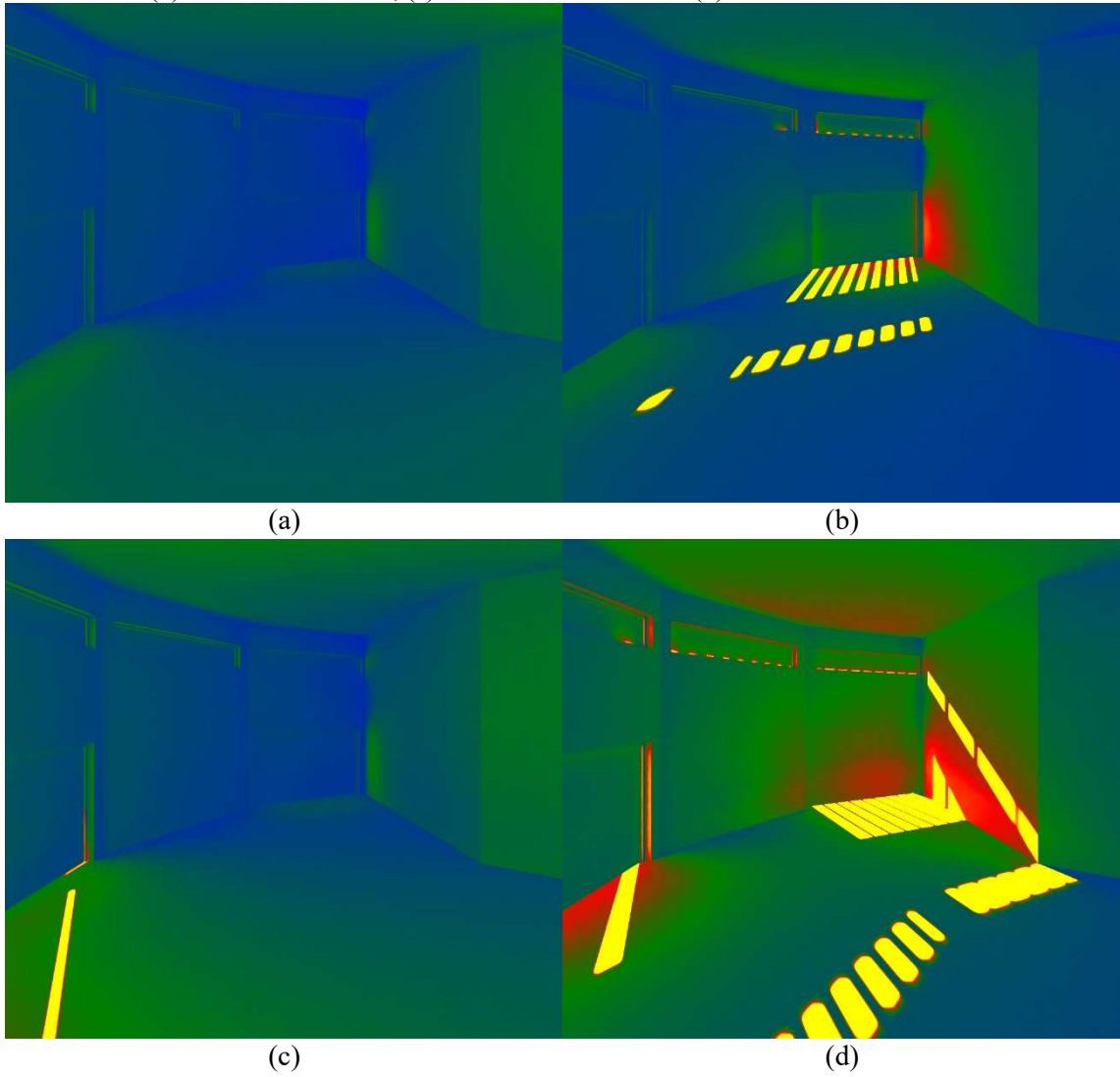
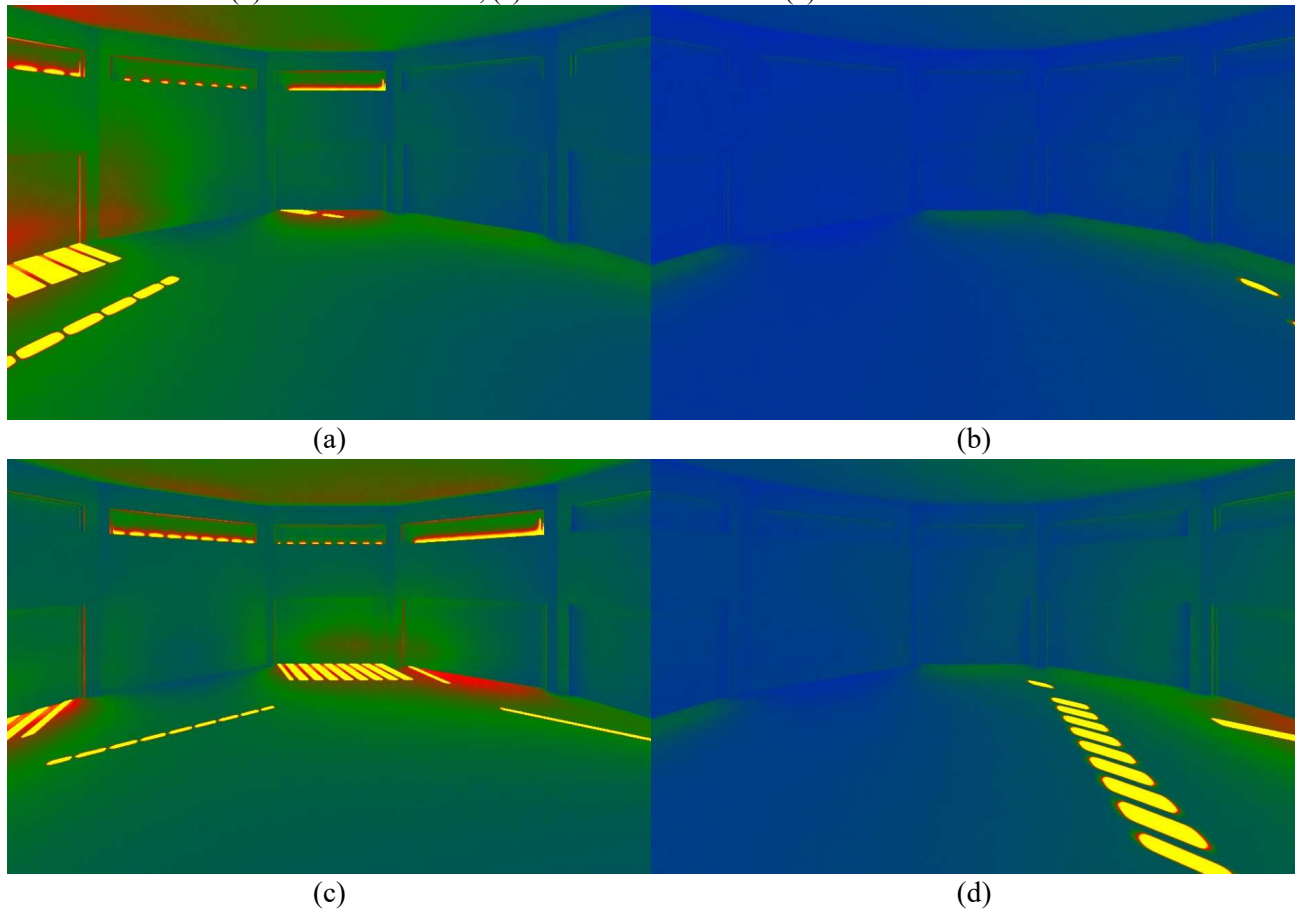


Figura 46 – Iluminância na parte interna da edificação obtida pela câmera 3: (a) 23 de abril às 9:30, (b) 23 de abril às 15:30, (c) 23 de outubro às 9:30 e (d) 23 de outubro às 15:30.



As imagens obtidas demonstram que a iluminância dentro do espaço analisado está acima do nível mínimo de desempenho exigido de 60 lux, para o tipo de ambiente. Além disso, com posteriores testes, nos quais os limites máximos de iluminância das renderizações foram fixados em 60 lux, foi identificado que nenhuma área apresenta luminância inferior a requisitada pela NBR 15575-1:2021 (ABNT, 2021). As renderizações realizadas para esta constatação não estão presentes neste trabalho visto a falta de representatividade no modelo, visto que é apresentada apenas uma superfície de cor única, não sendo favorável a análise.

5. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresenta uma abordagem para a análise térmica e lumínica em projeto de edificação utilizando inspirações em elementos naturais, de acordo com a biomimética. Com base nos exemplos de edificações levantados, foi projetada edificação geometria de dodecágono e com brises verticais e horizontais em sua fachada como elemento biomimético inspirado na capacidade de auto sombreamento presente em algumas espécies de cactos.

De acordo com a análise das “máscaras” de sombreamento dos brises dimensionados para a edificação, através do Programa Analysis-SOL-AR, foi constatado que a utilização apenas de brises verticais não seria muito eficiente para a localização escolhida. Dessa forma optou-se pela associação de brises verticais e horizontais nas fachadas com maior insolação, adquirindo resultado mais satisfatório.

Quanto à análise térmica da edificação, de acordo com os resultados apresentados pelo Programa EnergyPlus, os elementos de proteção solar permitiram redução da temperatura interna máxima da edificação de 5,8%. Ademais, a utilização desse método proporcionaria redução de 9,1% no consumo anual de energia elétrica, apontando a eficiência do método utilizado.

Quanto à análise lumínica de acordo com a NBR 15575-1:2021, foi constatada que iluminância na parte interna da edificação se encontra acima do nível de desempenho mínimo de 60 lux estabelecido pela norma. Com essa análise é possível concluir que a utilização de protetores solares nas fachadas da edificação não compromete a eficiência lumínica do modelo proposto.

Com a análise dos resultados obtidos através dos programas utilizados, foi possível concluir que a utilização de brises como alternativa biomimética, baseada na capacidade de auto sombreamento de algumas espécies de cactos, se apresenta eficiente para o controle térmico da edificação sem comprometer a eficiência lumínica da mesma. Entretanto, resalto que o dimensionamento dos brises foi realizado para o modelo proposto, necessitando novas análises para utilização em outros projetos.

Para estudos futuros, é sugerida a análise da ventilação natural na edificação mediante a utilização do princípio de convecção dos gases presentes em diversas estruturas naturais. Acredita-se que a utilização dessa metodologia reduziria ainda mais o consumo energético, tornando a edificação mais eficiente. Ademais, recomenda-se a análise da edificação reduzindo a porcentagem de elementos transparentes, visto que foram verificadas temperaturas elevadas

na área principal. Essa alteração não seria prejudicial para a iluminação natural na parte interna da edificação, já que os valores de iluminância se encontram muito acima do limite mínimo estabelecido por norma.

Também é importante destacar a necessidade de tradução da ISO 18458:2015 e desenvolvimento de regulamentação nacional abordando os conceitos de biomimética e apresentando metodologias de aplicação do conceito.

6. BIBLIOGRAFIA

ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l: s.n.]. , 2005a

ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l: s.n.]. , 2005b

ABNT. **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.** . [S.l: s.n.]. , 2021

AKAN, M. Ö. A., DHAVALÉ, D. G., SARKIS, J. "Greenhouse gas emissions in the construction industry: An analysis and evaluation of a concrete supply chain", **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1195–1207, nov. 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.225. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617316815>.

AZIZ, M. S., EL SHERIF, A. Y. "Biomimicry as an approach for bio-inspired structure with the aid of computation", **Alexandria Engineering Journal**, v. 55, n. 1, p. 707–714, 2015. DOI: 10.1016/j.aej.2015.10.015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2015.10.015>.

BARDELLA, P. S., PEREIRA, V. M., CAMARINI, G. "Sustentabilidade na construção". 2007. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2007. p. 817–820.

BENYUS, J. M. **Biomimicry**. 1 Ed ed. New York, HarperCollins e-books, 2009.

BIOMIMICRY INSTITUTE. **What is biomimicry?** 2021. Disponível em: <https://biomimicry.org/what-is-biomimicry/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

BIRKBAK, M. E., GUIZAR-SICAIROS, M., HOLLER, M., *et al.* "Internal structure of sponge glass fiber revealed by ptychographic nanotomography", **Journal of Structural Biology**, v. 194, n. 1, p. 124–128, abr. 2016. DOI: 10.1016/j.jsb.2016.02.006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsb.2016.02.006>.

BOHANA, M. C. R., JESUS, G. de, MARCHI, C. M. D. F. **Resíduos de construção civil: Desafios e soluções propostos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** . [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://ri.ucs.br:8080/jspui/handle/prefix/1411>. , 2019

CONTO, V. de, OLIVEIRA, M. L. de, RUPPENTHAL, J. E. "Environmental certifications: contribution to sustainability in construction in Brazil", **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 12, n. 4, p. 100–127, 1 nov. 2017. DOI: 10.15675/gepros.v12i4.1749. Disponível em: <http://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1749/806>.

DELAQUA, V. **Aprendendo com a natureza: conheça o projeto do Votu Hotel.** 2018. Archdaily. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/887431/aprendendo-com-a-natureza-conheca-o-projeto-do-votu-hotel>. Acesso em: 29 ago. 2021.

ELETOBRAS. **Segundo Plano Anual De Aplicação de Recursos do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL. Sítio contendo informações sobre este programa, inclusive o Selo Procel de Economia de Energia.** [S.l: s.n.], 2018. Disponível em: http://www.metodoeventos.com.br/5eficienciaenergetica/downloads/11-06-08/emerson_salvador.pdf.

Fauna e Flora. [S.d.]. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/fauna-e-flora>. Acesso em: 29 ago. 2021.

FERNANDES, M. C., AIZENBERG, J., WEAVER, J. C., *et al.* "Mechanically robust lattices inspired by deep-sea glass sponges", **Nature Materials**, v. 20, n. 2, p. 237–241, 21 fev. 2021. DOI: 10.1038/s41563-020-0798-1. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/s41563-020-0798-1>.

FERREIRA, T. C. **Impactos e desafios da construção civil brasileira para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** 2018. 181 f. Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96132/tde-22102018-093936/publico/TamirisCFerreira_Corrigida.pdf.

FOSS, J. **COUNCIL HOUSE 2 > COUNCIL HOUSE 1.** 2012. THRIVE DESIGN STUDIO. Disponível em: <https://www.urbanthriving.com/news/council-house-2-council-house-1/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **AQUA-HQE.** 2020. Fundação Vanzolini. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/produto/aqua-hqe/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

GBC. **Compreenda o LEED.** 2021. Green Building Council Brasil. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

GCP. **HOSPITALIDADE VOTU HOTEL.** [S.d.]. Disponível em: <http://www.gcp.arq.br/projetos/votu-hotel/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

GIL, C. A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** São Paulo, EDITORA ATLAS, 2002. v. 7.

GOMES, F. B. **Sustentabilidade na construção civil e as certificações : análise de aplicações em edificações do selo leed™ no Distrito Federal.** 2018. 32 f. Centro Universitário de Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/12321>.

GONÇALVES, J. R. **Manual de Projeto de Pesquisa.** 2 Ed ed. Brasília, Processus, 2020.

HONG, J., SHEN, G. Q., FENG, Y., *et al.* "Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: a case study in China", **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 249–259, set. 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614012037>.

I

NOVATECH. **Certificação LEED.** 2018. Disponível em: <https://inovatech Engenharia.com.br/atuacao/certificacoes/leed/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

ISO. **Biomimetics - Terminology, concepts and methodology**. . Vernier, [s.n.]. , 2015

JORNADA, J. "Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.", **Diário Oficial da União**, p. 96, 2013. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf.

KENNEDY, E. B. "Biomimetic Buildings : The Emerging Future of Architecture", **Giber**, v. 10, n. 1, p. 1–12, 2016. .

KÜÇÜK, M., IBRAHIM ARSLAN, H. "Investigation of Diagrid Structures Over Gherkin Tower". 2020. **Anais [...]** [S.l.], Alanya Hamdullah Emin Paşa Üniversitesi, 2020. p. 2–22. DOI: 10.38027/N12020ICCAUA316291. Disponível em: <http://www.iccaua.com/page/iccaua2020>.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA**. 3ª Edição ed. Rio de Janeiro, ELETROBRAS/PROCEL, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf.

MELO, A. de. **Manguezais e restingas na mira de Salles: o que são e qual sua importância**. 2020. Guia do Estudante. Disponível em: <https://guiadoestudante.abril.com.br/atualidades/manguezais-e-restingas/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

MOHD SANI, M. S. H., MUFTAH, F., SIANG, T. C. "Biomimicry engineering: New area of tranformation inspired by the nature". abr. 2013. **Anais [...]** [S.l.], IEEE, abr. 2013. p. 477–482. DOI: 10.1109/BEIAC.2013.6560173. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6560173/>.

NETTO, C. **AUTODESK REVIT ARCHITECTURE 2018 – CONCEITOS E APLICAÇÕES**. 1ª Edição ed. São Paulo, Saraiva Educação SA, 2018. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=4rdiDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT7&dq=AUTODESK+REVIT+ARCHITECTURE+2018+-+CONCEITOS+E+APLICAÇÕES&ots=b5FJTnO5Ys&sig=IfWj436fG91C6uSMVIIRHICQG6Y#v=onepage&q=AUTODESK+REVIT+ARCHITECTURE+2018+-+CONCEITOS+E+APLICAÇÕES&>.

NEVES, H. **Performance in Life**. 2009. Disponível em: <http://zuzullo.blogspot.com/2009/01/performance-in-architecture.html>.

NKANDU, M. I., ALIBABA, H. Z. "Biomimicry as an Alternative Approach to Sustainability", **Architecture Research**, v. 8, n. 1- 11., p. 12, 2018. DOI: 10.5923/j.arch.20180801.01. .

OGUNTONA, O. A., AIGBAVBOA, C. O. "Biomimetic reinvention of the construction industry: energy management and sustainability", **Energy Procedia**, v. 142, p. 2721–2727, dez. 2017. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.216. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.216>.

OLIVEIRA, J. A. da C., SPOSTO, R. M., BLUMENSCHNEIN, R. N. "Ferramenta para avaliação da sustentabilidade ambiental na fase de execução de edifícios no Distrito Federal", **Revista GEPROS**, v. 7, n. 2, p. 11–21, 2012. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/527/421>.

ONU. **Transformando Nosso Mundo. AmbientalMENTEsustentable**. [S.l: s.n.], 1 jan. 2015. Disponível em: <https://revistas.udc.es/index.php/RAS/article/view/ams.2018.25.1.4655>.

ONU. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Department of Economic and Social Affairs**. New York, [s.n.], 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>.

OXMAN, N. **Material-based design computation/**. 2010. 330 f. Massachusetts Institute of Technology, 2010.

PEARCE, M. **COUNCIL HOUSE 2 MELBOURNE**. 2016a. Disponível em: <https://www.mickpearce.com/CH2.html>. Acesso em: 29 ago. 2021.

PEARCE, M. **EASTGATE**. 2016b. Disponível em: <https://www.mickpearce.com/Eastgate.html>. Acesso em: 29 ago. 2021.

PEREIRA, H. A. da C., MELO, A. P., SORGATO, M., *et al.* **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus - Versão 9.0.1**. Florianópolis, [s.n.], 2020. Disponível em: <http://journal.sapub.org/arch>.

PETERS, T. "Nature as Measure: The Biomimicry Guild", **Architectural Design**, v. 81, n. 6, p. 44–47, nov. 2011. DOI: 10.1002/ad.1318. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ad.1318>.

Plataforma ProjeteEE- Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/projeteee>.

PROCEL INFO. **PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética nas Edificações**. 2006. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>.

RAMOS, A. **SketchUp – Uma ferramenta útil para o ensino da matemática aplicada em projetos**. 2021. 178 f. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/33452>.

SHAHDA, M. M. "Self-Shading Walls to Improve Environmental Performance in Desert Buildings", **Architecture Research**, v. 2020, n. 1, p. 1–14, 2020. DOI: 10.5923/j.arch.20201001.01. Disponível em: <http://journal.sapub.org/arch>.

SILVA, Z. M. da C., OLIVERIA, A. M. da S., GONZAGA, L. G. das M. "A Busca Por Princípios Biomiméticos Em Cupins Do Cerrado Para Aplicação Em Edificações De Baixo Consumo Energético", **Revista Uniabeu**, v. 12, n. 32, p. 126–142, 2019. .

SINGH, A., NAYYAR, N. "Biomimicry-An Alternative Solution to Sustainable Buildings", **Journal of Civil Engineering and Environmental Technology**, v. 2, n. 14, p. 96–101, 2015. Disponível em: https://www.krishisanskriti.org/vol_image/22Oct2015091001zzz29 Ankita Singh_civi 96-101.pdf.

SYMEONIDOU, I., EFSTATHIADIS, A. "Biomimetic Principles for Energy Efficiency in Buildings", **EinB2019- 8th International Conference “ENERGY in BUILDINGS”**, n. September 2019, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336799864_Biomimetic_Principles_for_Energy_Efficiency_in_Buildings.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **2020 Global Status Report for Buildings and Construction; Efficient and Resilient Buildings and Construction, Nairobi**. Nairobi, [s.n.], 2020. Disponível em: [https://abdn.pure.elsevier.com/en/en/researchoutput/ren21\(5d1212f6-d863-45f7-8979-5f68a61e380e\).html](https://abdn.pure.elsevier.com/en/en/researchoutput/ren21(5d1212f6-d863-45f7-8979-5f68a61e380e).html).

VALDES-VASQUEZ, R., KLOTZ, L. E. "Social Sustainability Considerations during Planning and Design: Framework of Processes for Construction Projects", **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 1, p. 80–89, jan. 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000566. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000566>.

VITÓRIA, V. **ANÁLISE ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL PADRÃO NZEB: ESTUDO DE CASO NO RIO DE JANEIRO PROJETO**. 2021. 58 f. Universidade Federal Fluminense, 2021. Disponível em: <http://tec.uff.br/wp-content/uploads/sites/271/2021/05/PCC-2-VALERIA-HENRIQUE-VITORIA-versao-final.pdf>.

VOGEL, T., NARDIN, A. C. F. De, OLIVEIRA, P. V. da S. de, *et al.*, "A BIOMIMÉTICA COMO INSPIRAÇÃO PARA FACHADAS BRASILEIRAS DINÂMICAS E EFICIENTES". **Fronteiras para a Sustentabilidade**, Florianópolis, Atena Editora, 2019. p. 113–125. DOI: 10.22533/at.ed.54619011011. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/arquivos/ebooks/fronteiras-para-a-sustentabilidade>.

WEBB, S. **The Integrated Design Process of CH2. BDP Environment Design Guide**. [S.l: s.n.], 2005.

WOOLLEY-BARKER, T. **Biomimicry helps nature-lovers and fragile wildlife co-exist at the Votu Hotel in Brazil**. 2017. INHABITAT. Disponível em: <https://inhabitat.com/biomimicry-helps-nature-lovers-and-fragile-wildlife-co-exist-at-the-votu-hotel-in-brazil/>. Acesso em: 29 ago. 2021.