

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Thiago Madeira Pedroso

**Análise do Comportamento Termoenergético de uma Edificação Residencial
Multifamiliar**

Araranguá
2020

Thiago Madeira Pedroso

**Análise do Comportamento Termoenergético de uma Edificação Residencial
Multifamiliar**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Energia do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Energia.
Orientador: Prof. Giuliano Arns Rampinelli, Dr.

Araranguá

2020

Thiago Madeira Pedroso

**Análise do Comportamento Termoenergético de uma Edificação Residencial
Multifamiliar**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia,
foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes
membros:

Giuliano Arns Rampinelli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

César Cataldo Scharlau, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Thayane Lodete Bilésimo, Me.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado
adequado para obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.

Prof. Luciano Lopes Pfitscher, Dr.
Coordenador do Curso

Prof. Giuliano Arns Rampinelli, Dr.
Orientador

Thiago Madeira Pedroso
Autor

Araranguá, 03 de dezembro de 2020.

RESUMO

O avanço tecnológico mundial e o aumento do consumo de produtos eletrônicos devido ao crescimento populacional e a urbanização tem resultado num crescimento expressivo no consumo de energia. Dentre as estratégias que têm sido desenvolvidas e aplicadas para minimizar os impactos desse crescimento e permitir um desenvolvimento sustentável estão a geração de energia distribuída e a eficiência energética, que pode ser aplicada em edificações já construídas ou em fase de projeto. A grande maioria das edificações no Brasil não foram projetadas levando em consideração o clima no qual estão inseridas, sendo necessário o uso de condicionamento de ar artificial para manter o conforto térmico. Atualmente, os sistemas de climatização são um dos maiores consumidores de energia nas unidades residenciais e comerciais. Este trabalho apresenta uma análise de desempenho termoenergético de uma edificação residencial multifamiliar a ser construída em Braço do Norte, sul de Santa Catarina. A análise de desempenho termoenergético da edificação foi realizada a partir de dados provenientes de uma simulação no *software DesignBuilder*. A edificação foi simulada para dois cenários, sendo o primeiro seguindo os padrões e características estabelecidos no projeto desenvolvido pela empresa Maya Empreendimentos Ltda. e o segundo aplicando estratégias de eficiência energética. As principais estratégias aplicadas foram os brises, isolamento térmico nas paredes externas, substituição dos sistemas de condicionamento de ar e alteração das cores das fachadas. O trabalho apresenta uma análise comparativa de desempenho entre o cenário 1 e 2 para os solstícios de inverno e verão e, também, para o ano todo. Os resultados da simulação comprovaram que as estratégias de eficiência energética melhoram o desempenho térmico e energético da edificação. Houve uma redução significativa no uso de energia para a climatização, o consumo foi 19% menor para o resfriamento dos ambientes e 31% menor para aquecimento.

Palavras-chave: Simulação Termoenergética. Eficiência Energética em Edificações. *Software DesignBuilder*.

ABSTRACT

The worldwide technological advance and the increase in the consumption of electronic products due to population development and urbanization has resulted in a significant growth in energy consumption. Among the strategies that have been developed and applied to minimize the impacts of this growth and allow a sustainable development they are the generation of distributed energy and energy efficiency, which can be applied in buildings already built or in the design phase. The vast majority of buildings in Brazil were not designed taking into account the climate in which they are located, requiring the use of artificial air conditioning to maintain thermal comfort. Currently, HVAC systems are one of the biggest consumers of energy in residential and commercial units. This work presents an analysis of the thermoenergetic performance of a multifamily residential building to be built in Braço do Norte, south of Santa Catarina. The analysis of the thermoenergetic performance of the building was performed using data from a simulation in the DesignBuilder software. The building was simulated for two scenarios, the first following the standards and characteristics established in the project developed by the company Maya Empreendimentos Ltda. and the second applying energy efficiency strategies. The main strategies applied were the windshields, thermal insulation on the external walls, replacing the air conditioning systems and changing the colors of the facades. The work presents a comparative analysis of performance between scenarios 1 and 2 for winter and summer solstices and also for the whole year. The simulation results proved that energy efficiency strategies have an impact on the thermal and energy performance of the building. There was a significant reduction in the use of energy for air conditioning, consumption was 19% lower for cooling the environments and 31% less for heating.

Keywords: Thermoenergetic Simulation. Energy Efficiency in Buildings. Software DesignBuilder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Projeção do consumo de energia mundial	10
Figura 2 – Consumo de energia do setor de edificações	12
Figura 3 – Uso de eletricidade por setor, mundo.....	13
Figura 4 – Solstício de inverno e verão e equinócio de outono e primavera.	21
Figura 5 – Trajetória solar no solstício de inverno e verão e equinócio de outono e primavera.	21
Figura 6 – Zoneamento bioclimático brasileiro	25
Figura 7 – Dimensões Avaliadas da Certificação	28
Figura 8 – Escala de Pontuação de Certificação.....	28
Figura 9 – Projeto da Edificação	33
Figura 10 – Planta baixa do primeiro pavimento/térreo	34
Figura 11 – Planta baixa do segundo pavimento	34
Figura 12 – Planta de localização do apto 01.....	35
Figura 13 – Planta baixa humanizada do apto 01	35
Figura 14 – Planta de localização do apto 02.....	35
Figura 15 – Planta baixa humanizada do apto 02	36
Figura 16 – Planta de localização do apto 03.....	36
Figura 17 – Planta baixa humanizada do apto 03	37
Figura 18 – Planta de localização do apto cobertura 01	37
Figura 19 – Planta baixa humanizada do apto cobertura 01	38
Figura 20 – Planta baixa humanizada do andar superior do apto cobertura 01	38
Figura 21 – Planta de localização do apto cobertura 02	38
Figura 22 – Planta baixa humanizada do apto cobertura 02	39
Figura 23 – Planta baixa humanizada do andar superior do apto cobertura 02	39
Figura 24 – Localização do terreno	40
Figura 25 – Modelagem da edificação	41
Figura 26 – Absortância das cores e tipos de tinta.....	43
Figura 27 – Regras para utilização de brises	43
Figura 28 – Edificação com os brises.....	44
Figura 29 – Setpoint de controle de temperatura.	50
Figura 30 – Simulação do Cenário 1 no dia 20 de junho.....	52
Figura 31 – Simulação do Cenário 1 no dia 20 de dezembro	54

Figura 32 – Simulação do Cenário 1 para o ano todo	55
Figura 33 – Simulação do Cenário 2 no dia 20 de junho.....	56
Figura 34 – Simulação do Cenário 2 no dia 20 de dezembro	57
Figura 35 – Simulação do Cenário 2 para o ano todo	59
Figura 36 – Consumo anual de energia para resfriamento por ambiente	60
Figura 37 – Consumo anual de energia para aquecimento por ambiente.....	61
Figura 38 – Consumo mensal de energia para condicionamento de ar nos cenários 1 e 2	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composições e propriedades das paredes	45
Tabela 2 – Valores de transmitância e resistência térmica das paredes.....	45
Tabela 3 – Vidros utilizados nas aberturas do cenário 1	46
Tabela 4 – Ocupação dos cômodos.....	47
Tabela 5 – Perfil de uso da iluminação.	47
Tabela 6 – Potência por m ² , área total e potência instalada dos cômodos	48
Tabela 7 – Perfil de uso dos equipamentos	49
Tabela 8 – Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo split com prazo de adequação até 31/12/2022.....	49
Tabela 9 – Cargas térmicas dos cenários 1 e 2	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	JUSTIFICATIVA	10
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM EDIFICAÇÕES.....	14
2.2	CONFORTO EM EDIFICAÇÕES	16
2.2.1	Conforto acústico	16
2.2.2	Conforto visual	16
2.2.3	Conforto térmico	17
2.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.....	18
2.3.1	Arquitetura bioclimática	19
2.3.2	Orientação solar	20
2.3.3	Fachada ventilada	22
2.3.4	Brises	23
2.3.5	Isolamento térmico	24
2.4	ZONA BIOCLIMÁTICA	25
2.5	PROGRAMA DE EFICIENTIZAÇÃO	26
2.5.1	Certificação <i>BREEAM</i>	26
2.5.2	Certificação <i>AQUA-HQE</i>	27
2.5.3	Certificação <i>LEED</i>	27
2.5.4	PBE-Edifica	29
2.6	DESIGN BUILDER	30
2.7	ESTADO DA ARTE	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	EDIFICAÇÃO.....	33

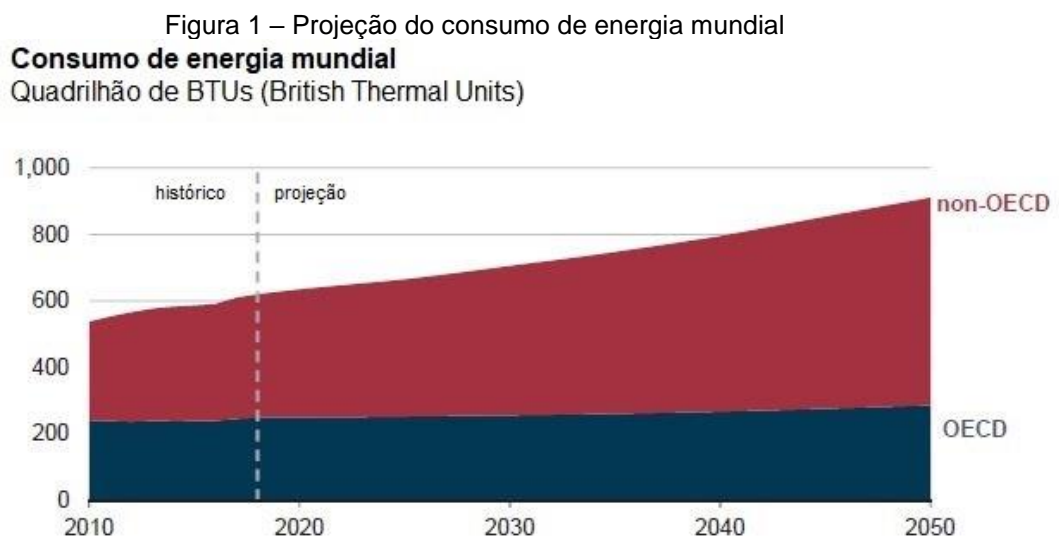
3.2	LOCALIZAÇÃO	39
3.3	MODELAGEM 3D DA EDIFICAÇÃO	40
3.4	CONDIÇÕES AMBIENTAIS	41
3.5	ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	42
3.6	GANHOS DE CALOR.....	46
3.6.1	Perfil de ocupação.....	46
3.6.2	Iluminação.....	47
3.6.3	Equipamentos.....	48
3.7	CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	CENÁRIO 1	51
4.1.1	Solstício de Inverno	51
4.1.2	Solstício de Verão	52
4.1.3	Ano todo.....	54
4.2	CENÁRIO 2	55
4.2.1	Solstício de Inverno	56
4.2.2	Solstício de Verão	57
4.2.3	Ano todo.....	58
4.3	Análise Comparativa	59
5	CONCLUSÕES	62
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020, o consumo de energia elétrica no mundo no ano de 2017 foi de 22.323 TWh, um crescimento de 2,4% comparado ao ano anterior. O Brasil se encontra na 7ª posição do *ranking*, atrás de China, Estados Unidos, Índia, Japão, Rússia e Alemanha, dentre os países que mais consumiram energia, com um total de 516 TWh no período (EPE, 2020).

O *International Energy Outlook 2019 (IEO)* informa que o consumo de energia no mundo aumentará aproximadamente 50% entre 2018 e 2050. Os países não pertencentes a *Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)* são majoritariamente responsáveis por esse aumento. O consumo de energia desses países crescerá 70% entre 2018 e 2050, isso porque estão em fase de intenso crescimento econômico, com um aumento do acesso a comercialização da energia elétrica e um rápido crescimento populacional. Em contraste, o *IEO 2019* prevê um crescimento de 15%, para o mesmo período, dos países pertencentes à OECD. A leve expansão do setor industrial que faz o uso intensivo de energia, o pequeno desenvolvimento populacional e econômico e as melhorias na eficiência energética são os principais fatores que levam o consumo de energia desses países crescerem de maneira mais lenta. A projeção do aumento do consumo de energia no mundo é apresentada na Figura 1 (EIA, 2019).



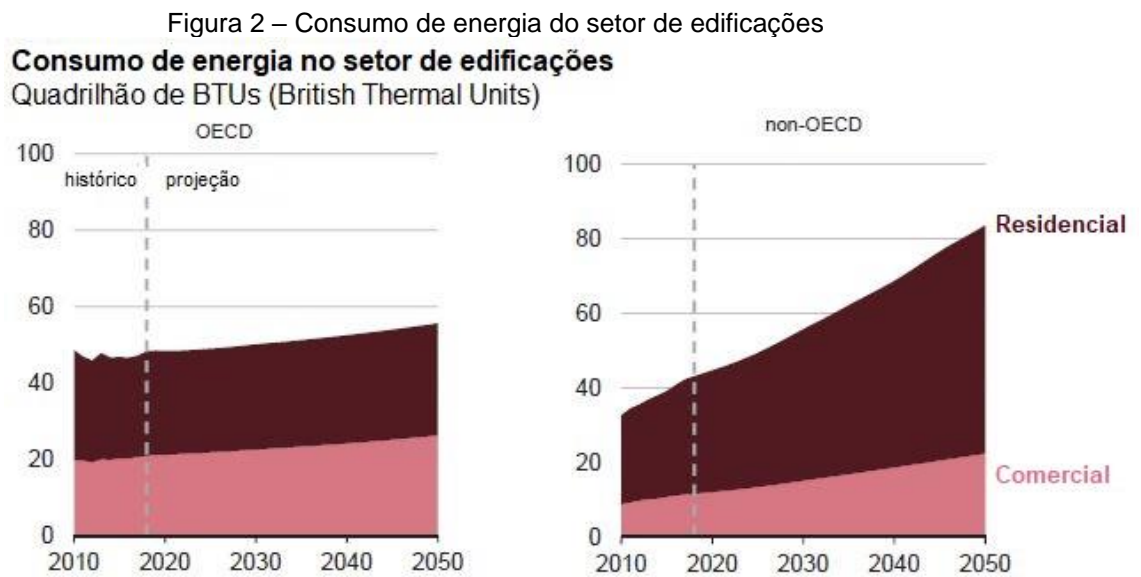
Fonte: EIA, 2019.

O avanço tecnológico mundial aliado ao crescimento populacional e ao aumento do consumo de produtos que têm como princípio básico de funcionamento o uso de energia elétrica, principalmente de países em fase de desenvolvimento, fazem com que a demanda por energia cresça em ritmo acelerado. Além disso, as empresas estão se tornando cada vez mais competitivas e grande parte dessa competitividade está relacionada ao aumento de produtividade com um menor custo. Atualmente, as estratégias adotadas são a substituição de pessoas por máquinas e/ou melhorias nos processos internos. Isso faz com que as corporações também necessitem cada vez mais energia disponível.

No Brasil, as classes de consumo residencial e comercial juntas tiveram uma representatividade de 48,7% dos 467 TWh de energia elétrica consumidos no ano de 2017, com 29,6% e 19,1%, respectivamente. O consumo residencial, portanto, foi de aproximadamente 134 TWh, enquanto o comercial em torno de 88 TWh. Quando observado apenas o consumo cativo no ano de 2019, essas mesmas classes tiveram uma representatividade consideravelmente maior, com 67,4% de participação, sendo o residencial com 44,7% e o comercial com 22,7% (EPE, 2020).

Segundo o *IEO 2019*, a energia consumida pelos edifícios, que inclui os comerciais e residenciais, aumentará cerca de 1,3% ao ano entre 2018 e 2050. A participação do setor de edifícios no consumo mundial de energia irá de cerca de 20% em 2018 para 22% em 2050. Assim como no consumo geral, a maior parte desse aumento vem dos países que não fazem parte da OECD. Esses países estão vivenciando um aumento de renda, urbanização e acesso à eletricidade, situações que demandam mais energia. O consumo de energia desse grupo cresce cerca de 2% ao ano, cinco vezes mais rápido que os países pertencentes à OECD. Ainda, prevê-se que o consumo desses países superará o consumo dos pertencentes à OECD em 2025 (EIA, 2019).

Nos países pertencentes à OECD, que são mais desenvolvidos, o consumo projetado aumenta cerca de 0,4% por ano entre 2018 e 2050, reflexo do lento crescimento da renda pessoal e dos ganhos em eficiência energética devido as melhorias em estruturas, eletrodomésticos e equipamentos. A projeção do aumento do consumo de energia no setor de edificações está apresentada a seguir na Figura 2 (EIA, 2019).



Fonte: EIA, 2019.

É imprescindível traçar estratégias e buscar soluções que amenizem o impacto destes avanços e, mais do que isso, preparem a sociedade para um futuro ainda mais tecnológico e urbanizado. Algumas estratégias difundidas e aplicadas ao redor do mundo vêm se mostrando muito eficazes. Um grande exemplo disso é a geração de energia solar fotovoltaica de forma distribuída, que por ter um custo de implementação pequeno possibilita que pessoas físicas façam o investimento e consigam gerar a sua própria energia sem custos com transporte. E o seu tempo de implementação é curto, possibilitando que o crescimento da matriz energética avance em paralelo com o aumento do consumo, tornando o sistema energético mais estável e confiável.

Todavia, é necessário que toda essa energia gerada seja usada de forma consciente e, principalmente, eficiente. O aumento da geração por si só não é uma solução inteligente para tal cenário. Portanto, o uso dessa energia pelo consumidor final deve ser feito pensando em reduzi-lo ao máximo, para poupar os recursos naturais que são usados para a geração ou para a produção dos equipamentos utilizados para tal.

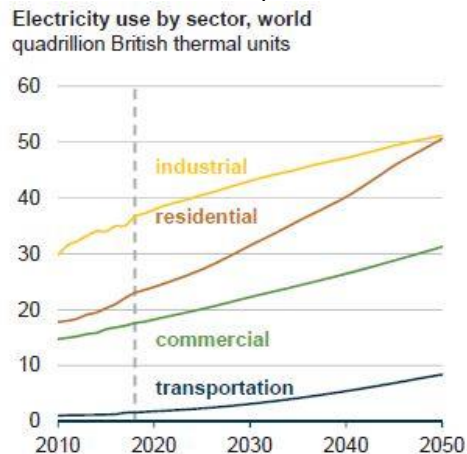
A eficiência energética é uma solução bastante atrativa para esta problemática, principalmente em países tropicais e emergentes como o Brasil. Esse conceito começou sendo aplicado em aparelhos eletrodomésticos, tais como *freezers* e geladeiras, por meio de um sistema de etiquetagem que qualifica o produto de acordo com o consumo de energia do equipamento. Posteriormente, o mesmo conceito foi modificado e ampliado para edificações, onde a análise do consumo de

energia passa a ser mais complexa e leva em consideração os três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. No presente trabalho será tratado do conceito de eficiência energética restrito às edificações.

Devido à representatividade dos edifícios residenciais e comerciais no consumo de energia elétrica, estratégias de eficiência energética aplicadas a estas edificações resultarão numa economia de energia expressiva e, conseqüentemente, de recursos financeiros e naturais. Com a aplicação dessas estratégias, o consumo de energia em novas edificações pode reduzir em até 50%, enquanto em edificações existentes a economia pode chegar a 30% após reformas de adequação (PROCEL, 2020).

Segundo o *IEO 2019*, o consumo de energia elétrica em países não pertencentes à OECD tem seu crescimento mais expressivo no setor de edificações, principalmente residenciais, e duplicará entre 2018 e 2050, à medida que a renda pessoal aumenta e a migração para áreas urbanas continua. A Figura 3 mostra o crescimento desse consumo quando comparado a outros setores (EIA, 2019).

Figura 3 – Uso de eletricidade por setor, mundo



Fonte: EIA, 2019.

A lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e sobre o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética no Brasil, fixa níveis máximos de consumo de energia ou níveis mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país e de edificações nele construídas (BRASIL, 2001). Embora esse marco regulatório seja extremamente importante para o desenvolvimento do país em termos energéticos, é necessário

também aplicações de medidas de eficiência energética para que haja redução do consumo de eletricidade e, por consequência, economia durante a utilização dos imóveis. Para que tais medidas sejam ainda mais eficientes, estas devem ser implementadas na fase de projeto das edificações, possibilitando avaliar as especificações dos materiais que serão empregados e a disposição dos elementos construtivos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Mensurar o impacto da aplicação de medidas de eficiência energética no consumo de energia elétrica e desempenho térmico de uma edificação residencial multifamiliar a ser construída na cidade de Braço do Norte – SC.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Modelar, por meio do *software DesignBuilder*¹, a envoltória da edificação e simular seu consumo energético e desempenho térmico;
- Aprimorar a edificação com estratégias de eficiência energética e simular o consumo energético e desempenho térmico da mesma;
- Comparar os resultados das simulações nos dois diferentes cenários.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM EDIFICAÇÕES

No Brasil, a classe residencial teve 29,6% de participação do consumo total de energia elétrica no ano de 2019, sendo menor apenas que o consumo industrial, que teve 34,8%. Todavia, o consumo livre residencial, no qual a contratação de energia é feita pelo consumidor diretamente com a empresa de geração, é praticamente nulo, fazendo com que sua representatividade aumente substancialmente quando analisamos somente o consumo cativo – onde o contrato

¹ *Software* de modelagem 3D que permite análise termoenergética de edifícios.

de comercialização de energia é feito com a distribuidora. Neste caso, o consumo residencial é responsável por 44,7%, sendo a classe que mais consome energia nesta modalidade (EPE, 2020).

Ainda segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020, o número de consumidores da classe residencial representa 86,3% do todo, seguido pela comercial com 6,9% e pela rural com 5,3%. O setor industrial possui uma representatividade bem pequena, com apenas 0,6% e está em quinto lugar nesse grupo. O consumo médio per capita brasileiro no ano de 2019 foi de 2.596 kWh/hab., sendo Santa Catarina o estado com maior consumo, 3.639 kWh/hab., seguido de São Paulo com 2.893 kWh/hab. e Paraná com 2.820 kWh/hab (EPE,2020).

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD) de 2019, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), grande parte dos brasileiros moram em casas, cerca de 85,6%, o equivalente a 62 milhões de moradias no país. Entretanto, o número de apartamentos também é representativo, são aproximadamente 10 milhões em todo território nacional, o equivalente a 14,2% das residências (IBGE, 2019).

Também segundo dados do IBGE, o número médio de moradores por residência se manteve praticamente constante nos últimos anos. No país, moram, em média, 2,9 pessoas por domicílio (IBGE, 2019).

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020, o consumo médio residencial de energia no país foi de 162,2 kWh/mês em 2019. O estado com a maior média foi o Pará com 281,1 kWh/mês, seguido de Roraima com 238,3 kWh/mês e Acre com 230,5 kWh/mês (EPE,2020). Esse consumo é na maior parte destinado aos sistemas de condicionamento de ar, visto que o aumento do poder aquisitivo possibilita a aquisição desses aparelhos, e equipamentos elétricos, como por exemplo chuveiros e geladeiras. Por isso, o desempenho térmico e, conseqüentemente, energético da edificação são profundamente influenciados pelas decisões tomadas na etapa de projeto (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

É indispensável que estratégias atreladas à eficiência energética sejam discutidas e aplicadas durante a etapa de projeto, adequando a edificação ao clima local e utilizando as vantagens naturais de iluminação, aquecimento e resfriamento dos ambientes. Um projeto bem elaborado pode reduzir consideravelmente o consumo de energia da edificação (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

2.2 CONFORTO EM EDIFICAÇÕES

O conforto em edificações possui três principais diretrizes que são amplamente analisadas em projetos arquitetônicos: conforto acústico, visual e térmico. A seguir exploraremos as três diretrizes e suas principais características.

2.2.1 Conforto acústico

Estudos realizados por Croome (1977) apontam que o desconforto acústico causado pelos ruídos é dependente de vários fatores, são eles: forma espectral da onda sonora (frequência e intensidade); conteúdo espectral (largura da banda, valores de pico, etc.); duração do ruído; número de repetições do evento ruidoso; tarefas individuais envolvidas; suscetibilidade individual; interação com outros fatores ambientais; níveis de sensibilidade física e psicológica individual e experiência anterior com o tipo de ruído.

No ponto de vista psicológico, segundo Levi-Leboyer e Naturel (1991), os fatores que envolvem o desconforto causado por ruído são: tipo de ruído; audibilidade; aceitabilidade ou inaceitabilidade ao ruído; modo de se produzir o ruído (intencional ou não intencional); aspecto temporal da onda sonora; atividade realizada no momento do ruído; reação individual ao ruído e relação com a pessoa que está produzindo o ruído.

2.2.2 Conforto visual

Conforto visual é definido por um conjunto de condições que permitem que o indivíduo realize as atividades previstas naquele ambiente com o máximo de precisão e sutileza visual, menor esforço e com o menor risco de acidentes ou prejuízos à visão. Lamberts, Dutra e Pereira (2014) apontam que uma boa iluminação deve ter intensidade e direcionamento que proporcionem uma boa definição de cores e não gerem ofuscamento. A iluminação dos ambientes, sejam eles internos ou externos, é feita com o objetivo de permitir o desenvolvimento de tarefas visuais tanto de lazer quanto de trabalho.

Segundo a *Commission of the European Communities* existe um comum equívoco de que a iluminância da superfície é o único parâmetro relevante para o conforto visual, todavia é necessária uma percepção mais abrangente que inclui: boa

distribuição espacial da iluminação natural; iluminação suficiente; forma/padrão das sombras; contraste, brilho e proporção de iluminação adequados (BAKER, FANCHIOTTI, STEEMERS, 2013).

2.2.3 Conforto térmico

A sensação de conforto térmico é definida de forma subjetiva pelo estado mental que expressa satisfação com o ambiente em termos de calor (ASHRAE, 2017). Segundo Silveira et al. (2014) a noção de conforto térmico é diretamente relacionada à necessidade de manutenção da temperatura interna do corpo em 37°C, fundamental à saúde e bem-estar.

Em um ambiente frio acontecem perdas de calor do corpo além das necessárias para manutenção da temperatura interna devido às condições ambientais. O corpo reage automaticamente por meio do sistema nervoso simpático buscando aumentar as combustões internas e reduzir as perdas de calor. Essa redução é feita aumentando a resistência térmica da pele através da vasoconstrição, do arrepios ou do tremer. Já o aumento da combustão interna – termogênese - é feito pelo sistema glandular endócrino (FROTA, SCHIFFER, 1995).

Algo semelhante acontece quando as perdas de calor não são suficientes para a manutenção da temperatura interna constante, o organismo também reage através do seu sistema nervoso simpático com mecanismos de troca de calor mais intensos e reduzindo as combustões internas. A perda de calor para o ambiente é potencializada pelas glândulas sudoríparas que produzem o suor e pela vasodilatação, enquanto o sistema glandular endócrino faz a termólise – redução das combustões internas (FROTA, SCHIFFER, 1995).

De acordo com a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* alguns fatores influenciam diretamente sobre o sistema termorregulador e devem ser levados em consideração quando definimos condições aceitáveis de conforto térmico, são eles: taxa metabólica; isolamento das roupas; temperatura do ar; temperatura radiante; velocidade do ar e umidade. Os dois primeiros fatores são características do ocupante, enquanto os restantes são características do local. Este modelo de conforto térmico é comumente utilizado para ambientes condicionados (ASHRAE, 2017).

No presente trabalho será levado em consideração somente o conforto térmico.

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

O consumo energético de uma edificação é contabilizado considerando diversos fatores, como os sistemas de condicionamento de ar, de iluminação artificial, bem como os equipamentos nela instalados e suas formas de uso, ocupação e atividades desenvolvidas no local, dentre outros. Além disso, a envoltória é parte bastante importante no que se diz respeito a consumo de energia, visto que é através dela que acontecem as trocas de calor da edificação. Essas trocas térmicas entre ambientes externos e/ou internos são proporcionais às características térmicas dos materiais e componentes construtivos das paredes e coberturas, as cores da envoltória e a exposição da superfície ao ambiente externo (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

Em regiões de clima quente, as edificações recebem uma carga térmica maior que, juntamente dos sistemas e equipamentos elétricos instalados, precisa ser compensado por um sistema de condicionamento de ar para manter o conforto térmico dos ocupantes. Em regiões de clima frio o caso contrário acontece, devido a pequena carga térmica que a edificação recebe, principalmente no inverno, uma quantidade adicional de calor deve ser injetada no ambiente para que o conforto térmico seja atingido (CARLO, 2008).

No caso das indústrias, o consumo de energia é direcionado em grande parte para máquinas e motores, limitando a economia de energia relacionada às estratégias aplicadas no projeto arquitetônico. De maneira geral, o aproveitamento da luz e ventilação naturais são as duas estratégias mais indicadas para este setor, visto que o funcionamento das indústrias é comumente diurno. Portanto, os setores que mais podem ser positivamente afetados pelas medidas de eficiência energética relacionadas à envoltória são o residencial, comercial e público.

A eficiência energética pode ser entendida, dentro dos projetos arquitetônicos, como a capacidade do edifício proporcionar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com o menor consumo de energia possível. Portanto, uma edificação é mais eficiente energeticamente que outra quando é capaz de proporcionar o mesmo conforto com um menor consumo de energia (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

2.3.1 Arquitetura bioclimática

Segundo Manzano-Agugliaro et al. (2015), o objetivo da arquitetura sempre foi oferecer proteção ao ser humano em relação ao ambiente externo. A arquitetura bioclimática busca estabelecer padrões de conforto térmico considerando as variáveis no exterior da edificação. Para aplicar o conceito de arquitetura bioclimática visando o conforto térmico é necessário considerar o clima que envolve a edificação e, em seguida, os elementos que interferem na dinâmica da envoltória, tais como a temperatura, umidade relativa, radiação solar e coeficiente de reflexão, assim como a velocidade e direção do vento.

Sabendo que esses elementos influenciam diretamente no conforto térmico e, também, na eficiência energética da edificação, deve-se buscar tirar proveito das características ambientais a fim de melhorar os padrões de conforto e de consumo de energia, ou então reduzir os efeitos negativos advindos dessas características. Uma das formas de fazer isso é incorporando estratégias de aquecimento, resfriamento e iluminação naturais. É importante salientar que a relação custo/benefício e a capacidade de execução das soluções devem ser ponderadas (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

Segundo Cunha, Castro, Guimarães e Buzatto (apud. DHERER, JACOSKI, MEDEIROS, 2016) é possível aplicar resultados de um estudo bioclimático nos projetos arquitetônicos através de estratégias que tenham como prioridade artifícios naturais, mitigando o uso de iluminação e climatização artificiais, reduzindo os custos de uso e manutenção do empreendimento durante o seu tempo de vida. Tais estratégias tem fundamental importância principalmente em habitações de cunho social.

Atualmente o que se procura é o estabelecimento de critérios e estratégias de projeto acessíveis a todos e que proporcionem uma arquitetura que se identifique com o lugar e, portanto, que seja muito mais eficiente, tanto do ponto de vista do bem-estar térmico quanto do uso de energia. Neste sentido, a avaliação das condições climáticas é necessária ao estabelecimento de análises comparativas entre as condições ambientais existentes e as necessidades dos indivíduos para a realização de suas atividades cotidianas (MARAGNO, 2002, p. 16).

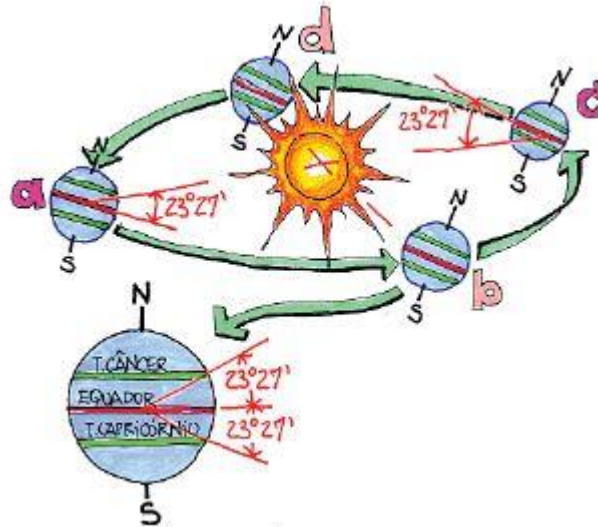
Para Serrador (2008), a arquitetura bioclimática é uma ferramenta bastante importante na consonância da construção com as características do clima. Sendo assim, o impacto ambiental e o consumo energético são reduzidos em todo o processo fazendo uso de materiais locais e de técnicas e formas tradicionais, adaptando-se ao ambiente físico, social-econômico e cultural do local. Todavia, é necessário que o projeto se adeque as condições naturais de insolação, vento, topografia e vegetação, além do clima como um todo, com o objetivo de otimizá-lo para conceder conforto térmico à edificação.

2.3.2 Orientação solar

Sabendo que a radiação solar é a maior fonte de energia do planeta, tanto de luz como de calor, pode-se tirar proveito ou evitá-la em uma edificação. É importante que se faça o estudo da orientação solar com o objetivo de fornecer conforto térmico e visual aos ocupantes e, também, a economia de energia. Na prática é comum a escolha do conforto térmico ou do conforto visual como prioridade, e posteriormente reparar os efeitos negativos da escolha com sistemas artificiais (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

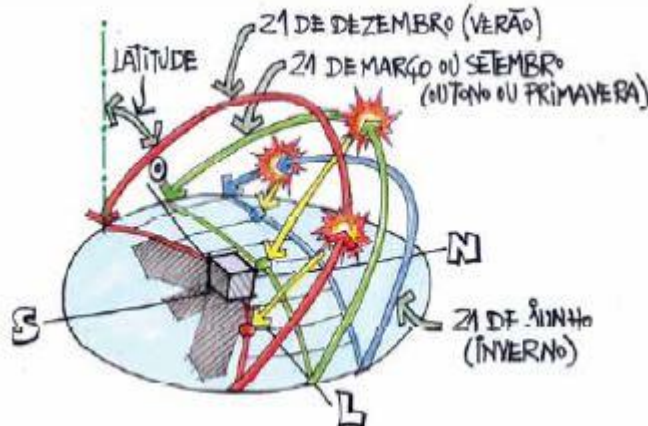
No movimento de translação da terra em torno do sol, o planeta percorre uma trajetória elíptica em um plano inclinado $23^{\circ} 27'$ em relação ao plano do Equador. É essa inclinação que faz com que os hemisférios terrestres recebam diferentes quantidades de radiação solar ao longo do ano. Os principais dias dessa variação são datados pelos solstícios de inverno e verão e pelos equinócios de outono e primavera, caracterizando a transição das estações. A Figura 4 apresenta os solstícios de inverno “a” e verão “c”, e os equinócios de outono “b” e primavera “d”, enquanto a figura 5 mostra a trajetória solar nesses dias (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

Figura 4 – Solstício de inverno e verão e equinócio de outono e primavera.



Fonte: Lamberts, Dutra, Pereira, 2014.

Figura 5 – Trajetória solar no solstício de inverno e verão e equinócio de outono e primavera.



Fonte: Lamberts, Dutra, Perereira, 2014.

A orientação solar tem uma forte influência na quantidade de calor que uma edificação recebe. Quanto maior for a área de fachadas posicionadas desfavoravelmente, maior será a quantidade de calor recebida. A diferença de carga térmica recebida entre uma edificação bem e mal orientada pode chegar a 150%. Portanto, beneficiar-se da orientação implica diretamente a redução no consumo de energia. Segundo Mascaró (1991), a média de consumo de energia por metro quadrado de superfície dos apartamentos bem-orientados é 32% menor quando comparado com os apartamentos com as principais fachadas expostas à maior carga térmica possível. É necessário salientar, entretanto, que a importância da orientação, em função da radiação, está relacionada à latitude do local onde o edifício está

construído. Logo, à medida que a latitude diminui perde-se a influência da orientação e, com isso, as estratégias relacionadas se tornam secundárias.

2.3.3 Fachada ventilada

Com o avanço das tecnologias e, conseqüentemente, a busca por novas técnicas construtivas, surgiu o conceito de fachada ventilada, que é caracterizado por ser um sistema de revestimento sem vedação que fica afastado da parede externa e cria uma camada de ar que fica em constante movimento. Atualmente no Brasil esse método é pouco utilizado, em partes, pela pequena produção das placas que são utilizadas na fachada e também pelo número pequeno de pesquisas relacionadas ao tema (SPEZIA, 2017).

As fachadas ventiladas são aplicadas há mais de 30 anos nos países do hemisfério norte, o que comprova a sua eficiência. No Brasil, os seus efeitos estéticos e seus ganhos no desempenho térmico das edificações tem chamado atenção nos últimos anos. Apesar dos custos de implementação serem relativamente maiores, as fachadas ventiladas oferecem grandes vantagens. Uma delas é a redução no consumo de energia destinada a climatização artificial, testada e aprovada em rigorosos laboratórios europeus e norte-americanos (MOURA, 2009).

Para Reuter (2020) existe um grande potencial construtivo nas fachadas ventiladas, mesmo sua implementação sendo recente no país devido à falta de materiais sobre o tema. O que caracteriza esse tipo de fachada é o espaço formado entre a camada de revestimento e a parede da edificação. Esse espaço é destinado a passagem do ar que, devido ao efeito chaminé – é aquecido pela radiação solar, sofre variação de densidade e sobe –, a parede é permanentemente ventilada. Quando comparada com outros tipos de fachada, essa apresenta diversos benefícios tais como produtividade em sua instalação, facilidade de limpeza, processos de execução rápidos, sustentabilidade além de reduzir, em longo prazo, patologias na fachada.

Além disso, a fachada ventilada permite isolamentos térmico e acústico, e esses dependem do tipo de material que é posto como isolante entre o revestimento e a base suporte. Essa característica é extremamente relevante, pois permite um maior conforto aos residentes ao passo que diminui o consumo de energia. Além do mais, possuem a vantagem da estanqueidade, pois com a utilização do método da

junta fechada, a penetração de água pelo revestimento é praticamente nula. Ainda, diminui a fissuração, já que as junções dos revestimentos são mais flexíveis quando comparado às cerâmicas (SILVA, SANTOS, 2018).

2.3.4 Brises

Desde que se tornou parte da arquitetura modernista nas décadas de 30 e 40, os *brises-soleil* passaram a fazer parte, também, das construções brasileiras. Tal elemento foi concebido pelo arquiteto naturalizado francês Le Corbusier e implementado em edificações icônicas como a Unidade de Habitação de Marseille, na França, e no prédio do Ministério da Educação e Saúde Pública (MESP) no Brasil. Desde então tem sido amplamente usado nas mais variadas formas.

Ao longo do século XX, os brises tiveram um papel importante como elemento de arquitetura, visto que possibilitavam o controle da radiação solar que adentrava nos ambientes. De maneira geral eram horizontais e/ou verticais e feitos em concreto armado. No quesito eficiência energética, sua importância é indiscutível para controlar a quantidade de calor que entra nos ambientes internos da edificação. No Brasil, por ser um país onde grande parte do território é tropical, a possibilidade de controle da radiação solar que atinge os ambientes é extremamente importante. No Sul, por exemplo, devido à intensa radiação nos períodos de verão e no esmorecimento da mesma nos períodos de inverno, a necessidade do controle seletivo se faz presente (CUNHA, 2011).

Para Silva e Amorim (apud. GOMES, 2018), os *brises-soleil* são dispositivos aplicados às fachadas de edifícios e residências com o objetivo de diminuir a quantidade de raios solares que chega aos ambientes internos. Esses protetores solares externos são tidos como os mais eficientes, pois barram o calor antes mesmo que ele atinja a edificação. Essa característica reduz as cargas térmicas, melhora a distribuição de iluminação, além de permitir a ventilação e diminuir, portanto, o consumo energético.

De modo geral os brises são elementos externos à fachada compostos por uma ou mais lâminas e são classificados pela sua tipologia, mobilidade e composição arquitetônica. Dentre as tipologias existem as horizontais, verticais e as combinadas, que é a junção das duas, e cada uma delas protege de maneira mais eficiente determinado ângulo de obstrução: as horizontais são mais adequadas para o sol mais

alto enquanto as verticais são mais indicadas para quando os raios solares estão mais baixos. Todavia, é importante ressaltar que a variação do azimute em relação à orientação da fachada impacta substancialmente. Ainda, quanto a sua mobilidade, os brises podem ser fixos ou móveis. Os móveis são compostos de lâminas pivotantes ou basculantes e acompanham o movimento do sol fornecendo sombra nos momentos desejados, de acordo com as necessidades dos indivíduos, além de permitir abertura e visualização do exterior quando não há radiação incidente (GUTIERREZ, 2004).

Atualmente já estão disponíveis no mercado modelos automáticos, que acompanham a movimentação do sol e sombreiam de forma eficaz. Todavia, os modelos mais simples, baratos e fáceis de serem instalados são os fixos. Esses não dependem de manipulação do usuário e são indicados para fachadas viradas para o norte. Com relação a sua composição, Mindlin (2000) comenta que os brises são projetados em diversos tipos de materiais, podendo ser em concreto armado, alumínio, asbesto, cimento, placa metálica, lã de vidro inserida em placas de vidro, placas de madeira compensada, persianas em caixilhos, dentre outros.

2.3.5 Isolamento térmico

O isolamento térmico aplicado à edifícios contribui não só para reduzir a magnitude do sistema de climatização artificial a ser instalado nos ambientes, mas também para diminuir o consumo de energia durante o ano e os custos da mesma. Além disso, estende os períodos de conforto térmico sem necessidade de condicionadores de ar, principalmente nas estações de transição como a primavera e o outono. A economia gerada com o uso de isolamento térmico varia de acordo com o tipo de edifício, as condições climáticas do local onde a edificação está inserida e o tipo de material isolante usado. Atualmente os proprietários de edifícios não questionam o uso do isolamento, mas sim o tipo, como e quanto deve ser usado (AL-HOMOUD, 2005).

Para Mascarô et al. (1992), o isolamento térmico pode ser utilizado para qualquer tipo de clima, desde que seu objetivo esteja bem definido e escolha-se o material correto. Para climas quente-seco, por exemplo, deve-se usar materiais que causam o efeito de inércia térmica, onde o calor recebido pela fachada é armazenado durante o dia e liberado no período noturno, quando as temperaturas estão mais

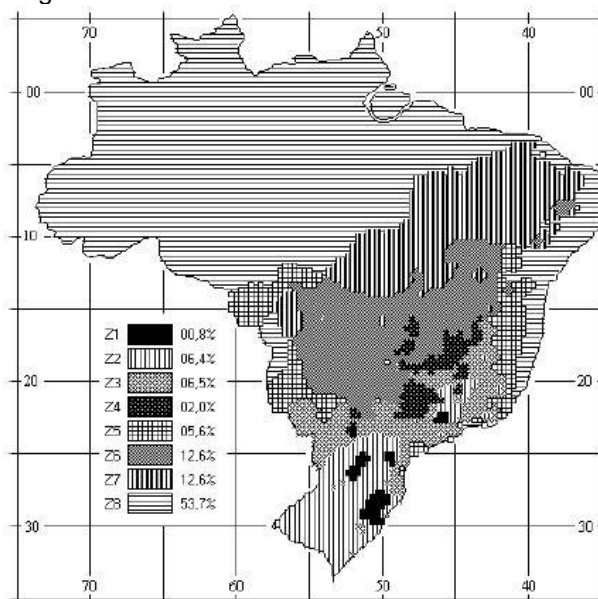
amenas, gerando conforto térmico. Por outro lado, para o clima semi-úmido, indica-se utilizar materiais que tenham maior resistência térmica, que possuam baixa densidade e baixa condutividade térmica. Isso porque a variação de temperatura durante o dia é menor e no período noturno, devido as janelas estarem fechadas, não há circulação de ar, o que faz a inércia térmica se tornar ineficaz.

De acordo com Correia (apud. SPINELLI et al., 2020), a aplicação de isolamento térmico no exterior de fachadas é uma solução construtiva excelente, que pode ser usada a fim de melhorar a eficiência energética das edificações e com isso reduzir o consumo de energia.

2.4 ZONA BIOCLIMÁTICA

Conforme a norma 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) o zoneamento bioclimático do Brasil, que está atualmente em revisão, compreende oito zonas diferentes. Tal divisão se faz necessária devido a extensão territorial do país, que está posicionado entre o trópico de capricórnio e a linha do Equador, e abriga diferentes padrões climáticos. A zona bioclimática é uma região geográfica onde os elementos climáticos que influenciam na relação entre o ambiente construído e o conforto térmico são semelhantes. Por isso, cada zona bioclimática possui diretrizes de padrões construtivos direcionadas às aberturas, paredes e coberturas. A figura 6 apresenta as oito zonas climáticas do país.

Figura 6 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003.

É oportuno observarmos o microclima que envolve a edificação. É nesse nível de escala que características como a vegetação, topografia, tipo de solo e a presença de barreiras artificiais ou naturais passam a influenciar nas condições climáticas. Embora seja um estudo pouco documentado é fundamental para o desenvolvimento do projeto arquitetônico a análise desse clima, visto que as particularidades podem ser decisivas para garantir o bem-estar e a eficiência energética da edificação (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

2.5 PROGRAMA DE EFICIENTIZAÇÃO

As certificações de eficiência energética e sustentabilidade para residências e edifícios surgiram com o intuito de mensurar, avaliar e categorizar as edificações de acordo com o seu consumo de energia e suas características relacionadas à construção. Seu objetivo é medir a performance desses imóveis no fornecimento de conforto térmico, visual e acústico levando em consideração seu consumo energético. Além disso, avaliam os materiais usados e os impactos ambientais durante o período de construção, categorizando a sustentabilidade do empreendimento.

As certificações internacionais que se destacam globalmente são a BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, AQUA-HQE e LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*, enquanto o PBE-Edifica tem grande representatividade dentro do Brasil devido a sua emissão ser feita por uma organização governamental brasileira. Tais certificações são aplicadas de acordo com o tipo de edificação e possuem suas particularidades devido as metodologias e normas técnicas utilizadas.

2.5.1 Certificação **BREEAM**

A certificação pioneira na área foi a BREAAM, que em 2006 foi reconhecida mundialmente. Atualmente presente em 88 países, esta certificação possui cerca de 592.000 certificados e 2.312.055 construções registradas no mundo. Apesar dos números impressionantes, o método é mais amplamente aplicado na Europa, não apresentando números representativos no Brasil e América Latina.

2.5.2 Certificação AQUA-HQE

Outra certificação conhecida mundialmente é a AQUA-HQE, desenvolvida na França no ano de 1996 pela *ASSOHQE – Association pour la Haute Qualité Environnementale*. No Brasil a Fundação Vanzolini concebeu a certificação e lançou oficialmente ao mercado no ano de 2008. Até o início de 2020 eram 605 edificações com o certificado no país e quase 14 milhões de m² de área construída. Sendo 158 edifícios residenciais em construção, 136 edifícios não residenciais em construção e 45 edifícios não residenciais em operação. Ainda, 300 certificados foram emitidos na fase de pré-projeto, 218 na fase de projetos e 152 com o empreendimento já em fase de execução (PORTAL VANZOLINI, 2015).

2.5.3 Certificação LEED

A certificação LEED é a atual líder mundial, com mais de 79 mil projetos e 1,5 bilhão de metros quadrados certificados. Essa certificação foi desenvolvida pelo *USGBC – United States Green Building Council*, órgão não governamental norte-americano de incentivo a sustentabilidade em edifícios.

Segundo o *Green Building Council – Brasil (2020)*, todos os edifícios podem ser aplicados à certificação em qualquer etapa do empreendimento. Todas as tipologias avaliadas possuem práticas obrigatórias e recomendações que somadas, na medida em que são implementadas, agregam pontos à edificação. A pontuação atingida varia de 40 a 110 pontos e classifica a edificação entre os níveis de Certificado: *Silver*, *Gold* e *Platinum*. A seguir as figuras 7 e 8 apresentam as dimensões e a escala de pontuação da certificação.

Figura 7– Dimensões Avaliadas da Certificação

Dimensões Avaliadas	
	Sustainable sites (Espaço Sustentável) – Encoraja estratégias que minimizam o impacto no ecossistema durante a implantação da edificação e aborda questões fundamentais de grandes centros urbanos, como redução do uso do carro e das ilhas de calor.
	Water efficiency (Eficiência do uso da água) – Promove inovações para o uso racional da água, com foco na redução do consumo de água potável e alternativas de tratamento e reuso dos recursos.
	Energy & atmosphere (Energia e Atmosfera) – Promove eficiência energética nas edificações por meio de estratégias simples e inovadoras, como por exemplo simulações energéticas, medições, comissionamento de sistemas e utilização de equipamentos e sistemas eficientes.
	Materials & resources (Materiais e Recursos) - Encoraja o uso de materiais de baixo impacto ambiental (reciclados, regionais, recicláveis, de reuso, etc.) e reduz a geração de resíduos, além de promover o descarte consciente, desviando o volume de resíduos gerados dos aterros sanitários.
	Indoor environmental quality (Qualidade ambiental interna) – Promove a qualidade ambiental interna do ar, essencial para ambientes com alta permanência de pessoas, com foco na escolha de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, controlabilidade de sistemas, conforto térmico e priorização de espaços com vista externa e luz natural.
	Innovation in design or innovation in operations (Inovação e Processos) – Incentiva a busca de conhecimento sobre Green Buildings, assim como, a criação de medidas projetuais não descritas nas categorias do LEED. Pontos de desempenho exemplar estão habilitados para esta categoria.
	Regional priority credits (Créditos de Prioridade Regional) – Incentiva os créditos definidos como prioridade regional para cada país, de acordo com as diferenças ambientais, sociais e econômicas existentes em cada local.. Quatro pontos estão disponíveis para esta categoria.

Fonte: *Green Building Council, 2015.*

Figura 8– Escala de Pontuação de Certificação



Fonte: *Green Building Council, 2017.*

Presente em 160 países e territórios, diariamente são certificados no mundo todo cerca de 170 mil m². Segundo o próprio selo, a certificação fornece uma verificação das características verdes dos edifícios, permitindo que projeto, construção, operação e manutenção dos edifícios seja eficiente no uso de recursos, tenha alto desempenho e traga economia, beneficiando as pessoas, o planeta e o lucro (LEED, 2020).

Ainda segundo o selo, a certificação significa que a edificação é um local melhor e mais produtivo, com menor impacto no meio ambiente e incentivo econômico, visto que os edifícios com sua certificação têm um maior valor agregado, maiores taxas de aluguel e menores custos de serviços públicos. Os projetos certificados pelo LEED são responsáveis por evitar que mais de 80 milhões de toneladas de resíduos sejam destinadas a aterros sanitários (LEED, 2020).

2.5.4 PBE-Edifica

No ano de 1984 diversos Programas de Avaliação de Conformidade começaram a ser discutidos com o objetivo de racionalizar o uso de energia melhorando o desempenho dos equipamentos disponíveis no país. Essas discussões surgiram devido à crise do petróleo que impactou o mundo todo na década de 70. Inicialmente, justificado pela crise, os projetos tiveram foco no setor automotivo, porém posteriormente foram ampliados e redirecionados para diversos setores, tornando-se o PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE-Edifica, 2020).

Existem 38 Programas de Avaliação da Conformidade, que são aplicados em diferentes fases de implementação, alguns se tornaram amplamente difundidos, como é o caso do Selo PROCEL criado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Desde a sua criação, diversas parcerias foram firmadas com pesquisadores de universidades e laboratórios, associações de fabricantes e também com o INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – com a finalidade de transformar o selo em informação ao consumidor na hora da compra. O selo indica quais os equipamentos eletrodomésticos mais eficientes e com o menor consumo de energia, dentre os disponíveis no mercado brasileiro, através de índices pré-estabelecidos de consumo e desempenho para cada categoria (PROCEL, 2006).

Percebendo os efeitos positivos do Selo PROCEL e sabendo do potencial de economia a ser gerada, a Eletrobrás/PROCEL instituiu em 2003 o PROCEL Edifica – Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, atuando juntamente com Ministério de Minas e Energia, Ministério das Cidades, Centros de Pesquisa, Universidades, dentre outras entidades, além do setor de Construção Civil (PBE Edifica, 2020). O PROCEL Edifica busca reduzir o desperdício de recursos naturais e os impactos sobre o meio ambiente através de ações que incentivem a conservação e o uso eficiente desses recursos nas edificações desde a etapa de construção até o seu uso final.

O decreto nº 4059/2001, ao regulamentar a lei nº 10.295/2001, criou o CGIEE – Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética e, especificamente para edificações, o GT-Edificações – Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País, objetivando elaborar procedimentos que pudessem avaliar as edificações construídas no Brasil em termos de eficiência energética, além de regulamentar o setor e fomentar o uso racional de energia elétrica (BRASIL, 2001).

Em 2005 criou-se a ST-Edificações – Secretaria Técnica de Edificações para tratar de questões técnicas vinculadas aos indicadores de eficiência energética. No mesmo ano o INMETRO também integrou ao programa através da criação da CT-Edificações – Comissão Técnica de Edificações, onde as diretrizes do processo de obtenção da ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) são discutidas e definidas (PBE Edifica, 2020).

Essas diretrizes deram origem a dois tipos de requisitos técnicos para avaliar as edificações, que fazem parte do PBE. O primeiro deles é o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), que como o próprio nome sugere, é destinado a edifícios não residenciais. O segundo é o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Além disso, outros documentos foram elaborados a fim de complementar estes regulamentos, tais como os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Manuais para aplicação do RQT-C e RQT-R (PBE Edifica, 2020). Tanto o Regulamento Técnico da Qualidade para os edifícios residenciais quanto para os não residenciais traz os requisitos que classificam, dentro da própria escala, o nível de eficiência energética da edificação.

O RAC tem caráter mais informativo, pois trata dos procedimentos para submissão para avaliação, dos documentos necessários, dos modelos dos formulários, modelo da ENCE, além dos direitos e deveres dos envolvidos, entre outras informações relevantes.

Em 2017 uma proposta de aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos foi sugerida pelo PROCEL Edifica, juntamente do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). A consulta pública foi publicada em 12 de julho de 2018 no Diário Oficial da União e depois de prestar esclarecimentos referentes aos comentários recebidos aguarda articulações entre entidades envolvidas e a consolidação do texto final.

2.6 PROGRAMAS PARA SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO

Segundo o site do LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, nos últimos anos percebe-se uma crescente no número de programas

criados para simular computacionalmente o desempenho termoenergético de edificações. Com a simulação computacional é possível observar os efeitos de cada estratégia aplicada em um caso real. Tais simulações podem ser feitas tanto em fase de projeto quanto durante a construção da edificação, possibilitando que diferentes soluções sejam testadas sem a necessidade de intervir na obra. Portanto, a redução do tempo de simulação devido a melhoria dos *softwares* bem como do desenvolvimento dos computadores, a facilidade de manipular as variáveis e o baixo custo contribuem para que estes programas sejam cada vez mais utilizados (UFSC, 2020).

De acordo com Wallauer (apud. DA SILVA, 2017), o *software EnergyPlus* simula a carga térmica retornando uma análise energética da edificação e tem sua base nos programas BLAST – *Buildings Loads Analysis and Thermodynamics* e DOE-2, desenvolvido pelo *Department of Energy* dos EUA. Segundo Panesi (apud. DA SILVA, 2017) é através de uma análise realista dos fenômenos energéticos que acontecem nas edificações que o *software* permite avaliar o seu desempenho e seus resultados auxiliam os estudos sobre o tema. Nesse sentido, é possível determinar características internas e externas dos ambientes tais como temperatura, a carga térmica relativa e total do edifício e o consumo de energia nas suas variações, como gás, eletricidade, etc.

O *DesignBuilder* é o *software* utilizado nas simulações do presente trabalho, faz uso das simulações do *EnergyPlus*, porém com uma interface muito mais agradável e intuitiva, minimizando o tempo e esforço necessários para simulação, mas mantendo a confiabilidade dos resultados. O *software* é um conjunto integrado de ferramentas aprofundadas para auxiliar no projeto e avaliação de edifícios sustentáveis. Muitos critérios diferentes devem ser equilibrados a fim de fornecer edifícios confortáveis e de alta qualidade, que minimizem os custos iniciais para os clientes, otimizem os custos contínuos e diminuam o impacto ambiental, além de cumprirem as regulamentações de construção. O *software* permite gerar uma ampla gama de resultados e relatórios para comparação de desempenho.

2.7 ESTADO DA ARTE

Guerra (2016) em um estudo denominado “Projeto e Desenvolvimento de uma Planta Piloto com Conceitos de Arquitetura Bioclimática” implementou estratégias de

eficiência energética visando a classificação de nível “A” através do PBE-Edifica em uma edificação na cidade de Araranguá, SC. Como diretrizes, fez uso do manual de RTQ-C, desenvolvido PROCEL. A edificação atingiu o nível de eficiência energética desejado e tal resultado foi verificado através de simulação no *software* DOMUS.

Da Silva (2017) desenvolveu o trabalho “Simulação e Análise Termoenergética de uma Planta Piloto Bioclimática” para estudar a planta piloto projetada pela autora citada anteriormente. A análise foi feita através de dados provenientes de simulação no *software EnergyPlus* e contou com a aplicação de estratégias bioclimáticas, sendo as principais o uso de isolamento térmico nas paredes externas e coberturas, fachada ventilada, telhado vegetado e telhas termoacústicas. A título de comparação, a mesma edificação foi simulada retirando as estratégias de eficiência energética, e o resultado comprovou impactos significativos no desempenho térmico e energético da edificação. Por fim, a simulação da planta piloto foi realizada em diferentes zonas bioclimáticas do país, a fim de verificar o impacto que os climas causam na edificação.

O estudo “Otimização do Desempenho Energético de um Edifício Residencial em Portugal” desenvolvido por Lopes (2010) aplica diferentes soluções construtivas e de sistemas com o objetivo de obter a maior eficiência energética de um edifício, reduzindo as suas necessidades energéticas. Desta forma, analisou alternativas que possam trazer melhorias na envoltória, nos vãos envidraçados, da ventilação e dos equipamentos de climatização. Os resultados obtidos demonstraram que é possível atingir excelentes comportamentos térmicos nas edificações, sem aumentar significativamente os custos.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para as simulações computacionais termoenergéticas da edificação no *software DesignBuilder*. Primeiramente, são apresentadas as características da edificação conforme projeto original que foram usadas na simulação. Em seguida estão explanadas as estratégias de eficiência energética aplicadas para avaliar os impactos na carga térmica da edificação, temperatura interna dos ambientes e, conseqüentemente, na economia de energia.

3.1 EDIFICAÇÃO

A edificação em estudo é um residencial médio-alto padrão multifamiliar de 9 pavimentos com 2.750,81m² de área a ser construída pela empresa Maya Empreendimentos Ltda. A área total está distribuída entre áreas sociais e de lazer, garagens, espaços úteis ao condomínio e apartamentos. A figura 9 apresenta uma renderização do projeto da edificação.

Figura 9 – Projeto da Edificação



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

O primeiro pavimento, localizado no térreo, é composto pelo hall de entrada, depósito, salão de festas e algumas garagens dos apartamentos, além de um lavabo e dos espaços para depósito de lixo e sistema de gás, como mostrado na figura 10.

Figura 10 – Planta baixa do primeiro pavimento/térreo



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

No segundo pavimento se localiza o mezanino do salão de festas, uma academia funcional, um lavabo e as garagens remanescentes, como apresentado na figura 11.

Figura 11 – Planta baixa do segundo pavimento



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Do terceiro ao sétimo pavimento são plantas idênticas, com três apartamentos por andar e uma área de circulação que contempla o acesso aos apartamentos, elevador e também a escada.

O 'APTO 01' tem 103 m² de área privativa com três dormitórios, sendo uma suíte, área social e gourmet, área de serviço e um banheiro social. Suas fachadas são direcionadas para norte e leste. As figuras 12 e 13 mostram a planta de localização no edifício e a planta baixa humanizada do apartamento, respectivamente.

Figura 12 – Planta de localização do apto 01



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Figura 13 – Planta baixa humanizada do apto 01



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

O 'APTO 02' tem 84,83 m² de área privativa com dois dormitórios, sendo uma suíte, área social e gourmet, área de serviço e um banheiro social. Suas fachadas são direcionadas para norte e oeste. As figuras 14 e 15 a seguir mostram a planta de localização no edifício e a planta baixa humanizada do apartamento, respectivamente.

Figura 14 – Planta de localização do apto 02



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Figura 15 – Planta baixa humanizada do apto 02



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Por fim, o 'APTO 03' tem 94,42 m² de área privativa com dois dormitórios, sendo um suíte, área social e gourmet, área de serviço e um banheiro social. Suas fachadas são direcionadas para sul, leste e oeste. As figuras 16 e 17 a seguir mostram a planta de localização no edifício e a planta baixa humanizada do apartamento, respectivamente.

Figura 16 – Planta de localização do apto 03



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Figura 17 – Planta baixa humanizada do apto 03



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Por fim, nos pavimentos oitavo e nono são os dois apartamentos cobertura duplex. Os imóveis apresentam um apartamento completo no primeiro andar e um espaço social privativo no segundo.

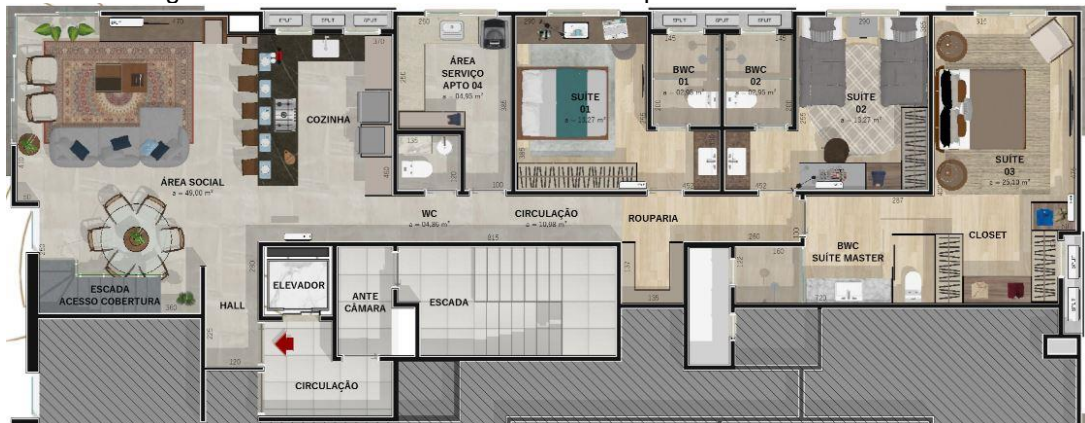
O 'APTO COBERTURA 01' é um apartamento duplex com 198,41 m² de área total composta por área social e gourmet, área de serviço, lavabo, três suítes e uma área privativa no pavimento superior com piscina, banheiro social e espaço gourmet. A figura 18 mostra a planta de localização do apartamento, as figuras 19 e 20 mostram as plantas baixas do primeiro e segundo andar do duplex, respectivamente.

Figura 18 – Planta de localização do apto cobertura 01



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Figura 19 – Planta baixa humanizada do apto cobertura 01



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Figura 20 – Planta baixa humanizada do andar superior do apto cobertura 01



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

O 'APTO COBERTURA 02' é um apartamento duplex com 184,72 m² de área total composta por área social e gourmet, área de serviço, lavabo, três suítes e uma área privativa no pavimento superior com piscina, banheiro social e espaço gourmet. A figura 21 mostra a planta de localização do apartamento, as figuras 22 e 23 mostram as plantas baixas do primeiro e segundo andar do duplex, respectivamente.

Figura 21 – Planta de localização do apto cobertura 02



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Figura 22 – Planta baixa humanizada do apto cobertura 02



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

Figura 23 – Planta baixa humanizada do andar superior do apto cobertura 02



Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

3.2 LOCALIZAÇÃO

O empreendimento, denominado *Sun Guardian* será construído em Braço do Norte, uma pequena cidade interiorana do sul de Santa Catarina, com população estimada de 33.876 pessoas (IBGE, 2019). Será localizado na Rua Nelsom Costa, no bairro São Basílio, lote 01, quadra 06, 88750-000, conforme apresentado na figura 24.

Figura 24 – Localização do terreno

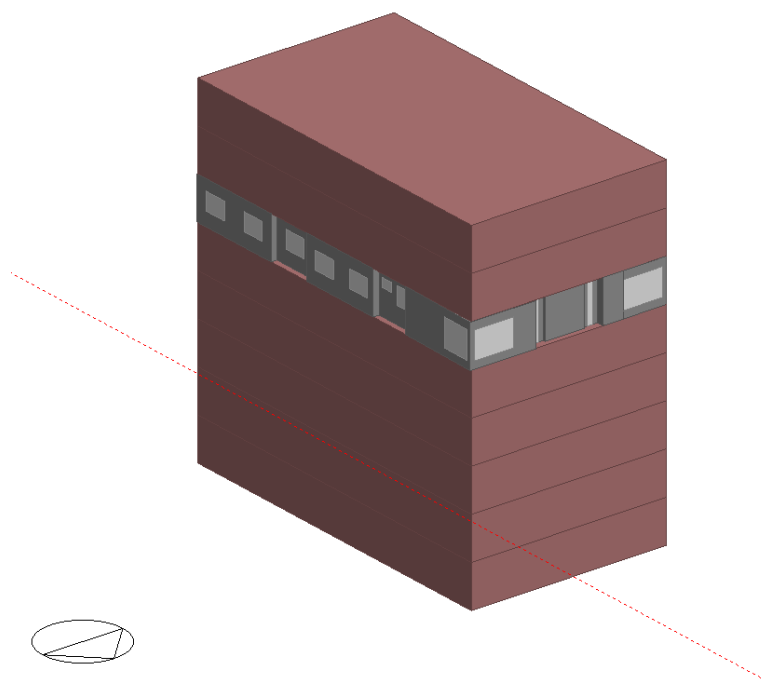


Fonte: Maya Empreendimentos Ltda, 2020.

3.3 MODELAGEM 3D DA EDIFICAÇÃO

Para a modelagem tridimensional da simulação em estudo utilizou-se o software *DesignBuilder* v6.1.7.007, versão de teste gratuita para estudantes. Inicialmente foi modelado o andar de apartamentos padrões, que está presente do 3º ao 7º pavimento, considerando suas características de envoltória, aberturas e paredes internas que dividem os ambientes. O software, por se tratar da versão de teste, limita a quantidade de zonas da simulação em 50. Por esse motivo, foi necessário utilizar a ferramenta “Adicionar Novo Bloco (*Add New Block*)” e selecionar o “Tipo de Bloco (*Block Type*)” em “Bloco de Componente (*Component Block*)”, que cria volumes. Esses volumes permitem a simulação de andares específicos sem precisar da modelagem dos outros pavimentos, mantendo a confiabilidade dos resultados obtidos. A modelagem da edificação como um todo está apresentada na figura 25.

Figura 25 – Modelagem da edificação



Fonte: O autor, 2020.

As simulações foram feitas para 2 cenários distintos. O cenário 1 foi simulado com a edificação sem estratégias de eficiência energética, considerando apenas o projeto arquitetônico original. No cenário 2 foi aplicado estratégias de eficiência energética com o objetivo de reduzir o consumo de energia.

Com o intuito de analisar o impacto das estratégias nos dias quentes e frios bem como da influência da posição das fachadas nos cômodos, foram feitas simulações nos solstícios de inverno (20 de junho) e verão (20 de dezembro), considerando condicionamento de ar na área social e no dormitório suíte em todos os apartamentos do 6º pavimento. Também foi simulado o andar, que leva em consideração os 3 apartamentos tipo e as áreas comuns de circulação, para o ano todo.

3.4 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

As condições climáticas são um dos parâmetros fundamentais para a simulação termoenergética. Na simulação feita com o *DesignBuilder* esses dados devem ser incluídos em um arquivo climático EPW – *EnergyPlus Weather File* do local

onde está situada a edificação. O site oficial do *software* oferece dados climáticos de diversas cidades do mundo.

Segundo Borges (2018) os arquivos climáticos das cidades apresentam dados de temperatura, umidade, radiação solar, entre outras informações, para o período de um ano inteiro e estes valores correspondem a um Ano Meteorológico Típico. Para Luiz et al. (apud BORGES, 2018), o Ano Meteorológico Típico é a determinação estatística dos dados meteorológicos que melhor representam as condições climáticas de um local, durante os meses do ano, tomando como base a climatologia de um período de 30 anos.

Neste trabalho foi utilizado um arquivo .epw da cidade de Urussanga – Santa Catarina, situada a 32 km de distância de Braço do Norte, obtido no site do *EnergyPlus* ([2020]). Os dados climáticos têm como fonte as estações meteorológicas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

3.5 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

O cenário 1 foi simulado como o projeto foi desenvolvido, levando em consideração as características construtivas que englobam a composição dos elementos da envoltória, as espessuras dos vidros, os tipos de materiais das paredes externas e internas e as cores aplicadas. Por se tratar de um cenário caracterizado pelos padrões construtivos mais tradicionais, a parede externa é composta por bloco cerâmico de dimensões 14x19x29 cm, duas camadas de 1,5 cm de argamassa e as pinturas internas e externas. Para as paredes internas considerou-se o padrão de composição com bloco cerâmico de dimensões 9x14x24 cm, camadas internas e externas de argamassa de 1,5 cm e, também, as pinturas de ambos os lados da parede.

Para a pintura das paredes internas optou-se pela cor Branco Gelo que, segundo o Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros, da Portaria nº50/2013 publicada pelo INMETRO (2013), possui uma absorptância – quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente, de 36,2%. Para pintura externa a cor utilizada foi a cinza, que se assemelham às previstas no projeto, e possui absorptância de 86,4%. A figura 26 apresenta a absorptância das cores.

Figura 26 – Absortância das cores e tipos de tinta

Tipo	Número	Cor	Nome	α	Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrílica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	46,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	15,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4		47		Pêssego	39,5
	09		Concreto	74,5		48		Alecrim	64,0
	10		Flamingo	49,5		49		Azul bali	48,9
	11		Jade	52,3		50		Branco Neve	10,2
	12		Marfim	33,6		51		Branco Gelo	29,7
	13		Palha	36,7		52		Camurça	55,8
	14		Pérola	33,0		53		Concreto	71,5
	15		Pêssego	42,8		54		Marfim	26,7
	16		Tabaco	78,1		55		Marrocos	54,7
	17		Terracota	64,6		56		Mel	41,8
Acrílica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7	57		Palha	27,2	
	19		Amarelo Terra	68,6	58		Pérola	22,1	
	20		Azul	79,9	59		Pêssego	35,0	
	21		Branco Gelo	36,2	60		Telha	70,8	
	22		Cinza	86,4	61		Vanila	23,9	
	23		Cinza BR	61,1	62		Amarelo Canário	25,2	
	24		Crepúsculo	66,0	63		Areia	35,7	
	25		Flamingo	47,3	64		Azul Profundo	76,0	
	26		Marfim	33,9	65		Branco Neve	16,2	
	27		Palha	39,6	66		Branco Gelo	28,1	
	28		Pérola	33,9	67		Camurça	53,2	
	29		Preto	97,1	68		Cerâmica	65,3	
	30		Telha	69,6	69		Concreto	71,6	
	31		Terracota	68,4	70		Flamingo	44,4	
	32		Verde Quadra	75,5	71		Marfim	24,5	
	33		Vermelho	64,2	72		Palha	26,4	
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3	73		Pérola	22,9	
	35		Amarelo Terra	61,4	74		Pêssego	29,8	
	36		Areia	39,0	75		Preto	97,4	
	37		Azul angra	32,3	76		Vanila	27,7	
	38		Bianco Sereno	26,6	77		Verde Musgo	79,8	
	39		Branco	11,1	78		Vermelho Cardinal	63,3	

Fonte: INMETRO, 2013.

No cenário 2, a primeira estratégia de eficiência energética aplicada foi a colocação dos brises horizontais fixos. Segundo Bruand (2002), Albernaz e Lima (2000) a necessidade da sua utilização segue as seguintes regras:

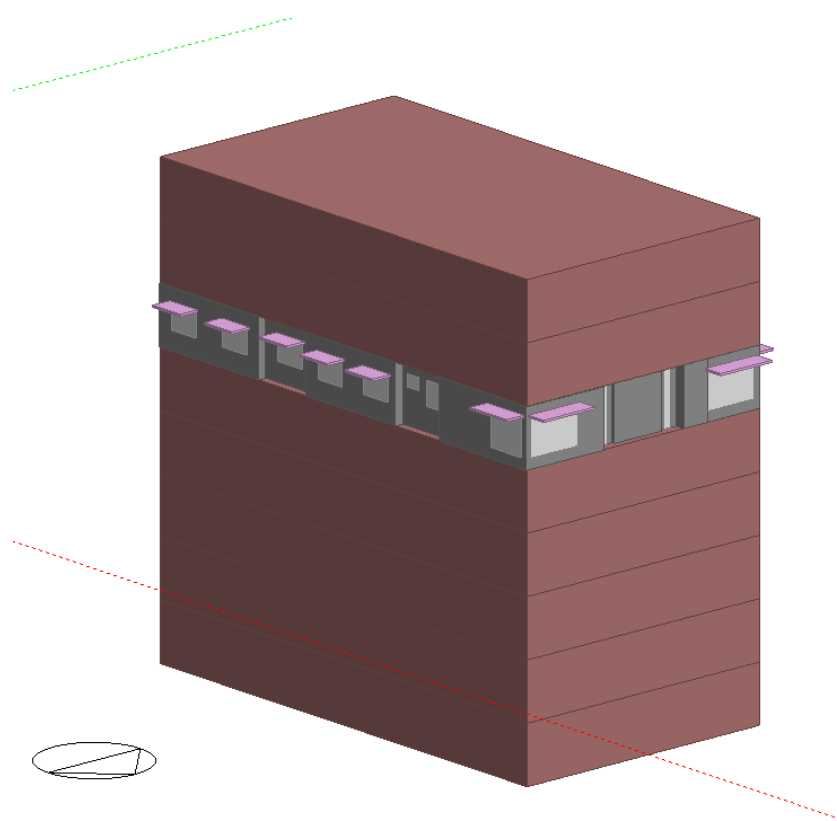
Figura 27 – Regras para utilização de brises

Orientação	Regras para utilização de brises	
	Bruand (2002)	Albernaz & Lima (2000)
Norte	Dispensável no inverno	Indispensável
Leste	Parcialmente dispensável	Parcialmente dispensável
Sul	Desnecessário	Desnecessário
Oeste	Indispensável em qualquer situação	Indispensável

Fonte: O autor, 2020.

Portanto, os brises de dimensões 200x80x5 cm foram colocados na fachada norte, justificado pela forte incidência solar no verão e aberturas relativamente grandes. Também foram colocados nas fachadas leste e oeste, por todos os dormitórios, além das áreas sociais, possuem fachadas nessas direções, com o intuito de diminuir o calor que entra nos cômodos por radiação. A figura 28 mostra a edificação com os brises.

Figura 28 – Edificação com os brises



Fonte: O autor, 2020.

Além disso, as cores das paredes internas e externas foram alteradas para branco, que possui uma absorvância de 11,1%, segundo NBR 15220. Também foi alterada a composição das paredes externas adicionando mais duas camadas, uma de isolamento térmico de poliestireno e outra de gesso cartonado, de 8cm e 1,8cm, respectivamente. A tabela 1 apresenta as composições das paredes e as propriedades dos materiais.

Tabela 1 – Composições e propriedades das paredes

Cenário	Parede	Composição	Densidade (kg/m ³)	Condutividade Térmica (W/(m.K))	Calor Específico (kJ/(kg.K))	Espessura (m)	Cor	Emissividade (Adimensional)
1	Externa	Pintura Externa	-	-	-	-	Acrílica Semi-brilho Cinza	0,864
		Argamassa Externa	1800	1,15	1	0,015		
		Tijolo Cerâmico	1000	0,7	0,92	0,14		
		Argamassa Interna	1800	1,15	1	0,015		
		Pintura Interna	-	-	-	-	Acrílica Semi-brilho Branco	0,362
		Gelo						
	Interna	Pintura Externa	-	-	-	-	Acrílica Semi-brilho Branco	0,362
		Gelo						
		Argamassa Externa	1800	1,15	1	0,015		
		Tijolo Cerâmico	1000	0,7	0,92	0,09		
		Argamassa Interna	1800	1,15	1	0,015		
		Pintura Interna	-	-	-	-	Acrílica Semi-brilho Branco	0,362
2	Externa	Pintura Externa	-	-	-	-	Branco	0,111
		Argamassa Externa	1800	1,15	1	0,015		
		Tijolo Cerâmico	1000	0,7	0,92	0,14		
		Argamassa Interna	1800	1,15	1	0,015		
		Poliestireno	35	0,035	1,42	0,08		
		Gesso	950	0,35	0,84	0,018		
	Interna	Pintura Interna	-	-	-	-	Branco	0,111
		Pintura Externa	-	-	-	-	Acrílica Semi-brilho Branco	0,362
		Gelo						
		Argamassa Externa	1800	1,15	1	0,015		
		Tijolo Cerâmico	1000	0,7	0,92	0,09		
		Argamassa Interna	1800	1,15	1	0,015		
	Interna	Pintura Interna	-	-	-	-	Acrílica Semi-brilho Branco	0,362
		Gelo						

Fonte: O autor, 2020.

Ainda, foram calculados os valores de Transmitância e Resistência Térmica das paredes. Os valores estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Valores de Transmitância e Resistência Térmica das paredes

Cenário		Parede Externa		Parede Interna	
		Transmitância Térmica (W/m ² .K)	Resistência Térmica (m ² .K/W)	Transmitância Térmica (W/m ² .K)	Resistência Térmica (m ² .K/W)
1	1	2,419	0,413	2,924	0,342
	2	0,366	2,733	2,924	0,342

Fonte: O autor, 2020.

Nos dois cenários foram utilizados vidros fumês de 6mm nas grandes aberturas que compõem as fachadas da área social, conforme projeto. Para as outras aberturas, tais como as janelas dos quartos, foram utilizados vidros comuns de 3mm incolor. As propriedades dos vidros estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Vidros utilizados nas aberturas do cenário 1

Descrição	Material	Espessura (mm)	Transmitância Térmica (W/m ² K)
Área Social	Vidro Fumê	6	5.778
Janelas	Vidro Comum	3	5.894

Fonte: O autor, 2020.

3.6 GANHOS DE CALOR

O perfil de ocupação e a utilização da iluminação e dos equipamentos instalados nos cômodos são expressos em fração ao longo do dia em relação ao valor máximo. Devido à edificação ainda estar em fase de projeto, foi necessário utilizar estimativas desses perfis. O próprio *software* possui em seu banco de dados alguns padrões pré-estabelecidos de perfil de ocupação, de potência instalada de equipamentos por metro quadrado e também de iluminação.

3.6.1 Perfil de ocupação

Segundo o IBGE (2019) o número médio de pessoas por residência no Brasil é de 2,9. Para aproximarmos ao máximo a simulação de um cenário real no país, foi considerado uma ocupação de 3 pessoas por apartamento. O dormitório suíte, que será minuciosamente analisado, leva em consideração uma ocupação de 2 pessoas. O perfil de ocupação dos moradores durante o dia na sala de estar e dormitórios são os mesmos para todos os apartamentos.

A edificação é residencial, portanto, os dormitórios são utilizados majoritariamente no período noturno, mas apresentam ocupação das 22:00 até as 09:00. A área social é compreendida pela cozinha e sala de estar, logo, sua ocupação ocorre no período da manhã, entre 07:00 e 10:00, e no período da noite, entre 19:00 e 23:00. O perfil de ocupação em percentual pode ser visualizado na tabela 4.

Tabela 4 – Ocupação dos cômodos

Descrição	Horário	Ocupação
Área social	00:00 às 07:00	0%
	07:00 às 10:00	100%
	10:00 às 19:00	0%
	19:00 às 23:00	20%
	23:00 às 24:00	0%
Dormitório	00:00 às 07:00	100%
	07:00 às 08:00	50%
	08:00 às 09:00	25%
	09:00 às 22:00	0%
	22:00 às 23:00	25%
	23:00 às 24:00	75%

Fonte: O autor, 2020.

3.6.2 Iluminação

Para a iluminação foi escolhido um padrão de densidade de potência de 5 W/m² para os quartos, banheiros e áreas de serviço, enquanto para área social a densidade é de 15 W/m². A tabela 5 apresenta o uso de acordo com os horários.

Tabela 5 – Perfil de uso da iluminação

Ambiente	Horário	Iluminação
Área social	00:00 às 07:00	0%
	07:00 às 10:00	100%
	10:00 às 19:00	0%
	19:00 às 23:00	100%
	23:00 às 24:00	0%
Dormitório	00:00 às 07:00	0%
	07:00 às 10:00	100%
	10:00 às 19:00	0%
	19:00 às 23:00	20%
	23:00 às 24:00	0%

Fonte: O autor, 2020.

3.6.3 Equipamentos

Na área social, que abrange a cozinha e sala de estar, optou-se por usar o padrão de cozinha por apresentar uma densidade de potência instalada maior quando comparado com o padrão de sala.

O *DesignBuilder* permite que seja escolhido uma de densidade de potência padrão para cada ambiente. Visto que os tamanhos das áreas sociais e dos dormitórios são diferentes entre os apartamentos, quando feita a simulação, permite que as comparações de eficiência energética entre os cômodos sejam mais coesas. As potências por m², área total e potência total instalada dos apartamentos 'APTO 01', 'APTO 02' e 'APTO 03' referentes às áreas sociais e aos dormitórios estão apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 – Potência por m², área total e potência instalada dos cômodos.

Apartamento	Área Social			Dormitório		
	Potência por m ² (W/m ²)	Área (m ²)	Potência Instalada (W)	Potência por m ² (W/m ²)	Área (m ²)	Potência Instalada (W)
APTO 01	30,28	35,70	1081,00	3,58	10,39	37,20
APTO 02	30,28	31,91	966,23	3,58	16,38	58,64
APTO 03	30,28	39,54	1197,27	3,58	12,82	45,90

Fonte: O autor, 2020.

O perfil de uso desses equipamentos, em porcentagem, de acordo com os horários está apresentado na tabela 7.

Tabela 7 – Perfil de uso de equipamentos.

Ambiente	Horário	Equipamentos
Área social	00:00 às 07:00	6,6%
	07:00 às 10:00	100,0%
	10:00 às 19:00	6,6%
	19:00 às 23:00	25,3%
	23:00 às 24:00	6,6%
Dormitório	00:00 às 07:00	7,0%
	07:00 às 08:00	53,5%
	08:00 às 09:00	100,0%
	09:00 às 10:00	53,5%
	10:00 às 17:00	7,0%
	17:00 às 18:00	30,2%
	18:00 às 19:00	53,5%
	19:00 às 20:00	76,7%
	20:00 às 22:00	100,0%
	22:00 às 23:00	76,7%
23:00 às 24:00	30,2%	

Fonte: O autor, 2020.

A Portaria nº 234, de 29 de junho de 2020, publicada pelo INMETRO (2020) traz um aperfeiçoamento parcial dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar, dentre elas a reclassificação das categorias de eficiência energética. A nova classificação de eficiência dos condicionadores de ar estabelece o prazo de 31/12/2020 para que os produtos, fabricados ou importados, sejam adequados. A tabela 8 apresenta os Índices de Desempenho de Resfriamento Sazonal necessários para atingir cada uma das classificações, que vão de A (mais alta) até F (mais baixa).

Tabela 8 – Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo split com prazo de adequação até 31/12/2022.

CONDICIONADORES DE AR SPLIT (com prazo de adequação para fabricação e importação até 31/12/2022)	
CLASSES	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal – IDRS (Wh/Wh)
A	≥ 5,50
B	≥ 5,00
C	≥ 4,50
D	≥ 4,00
E	≥ 3,50
F	≥ 3,14

Fonte: INMETRO, 2020.

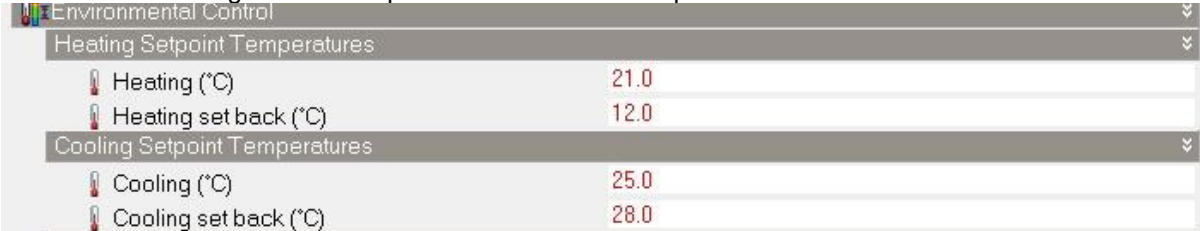
Como esse prazo para adequação está próximo, essa foi a classificação usada como referência para as simulações. O primeiro cenário, por se tratar do menos eficiente em termos de equipamentos, foi simulado considerando o valor de desempenho mínimo para a classe “C”, que é de 4,50. Apesar de não ser uma ótima classificação nos novos padrões de índices, esse valor garante classe “A” na classificação que está em vigor atualmente, além de ser um valor ligeiramente maior do que os modelos mais comuns disponíveis no mercado. Para o segundo cenário foi considerado o valor mínimo de desempenho da classe “A”, de 5,50.

3.7 CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO

Com o objetivo de estudar a performance da edificação e determinar o consumo de energia nos ambientes com ar condicionado, sem a necessidade de dimensionar um sistema, foi utilizado um recurso do *software* que determina a carga térmica levando em consideração a eficiência dos equipamentos do sistema de climatização.

Para utilizar este recurso foi necessário determinar algumas condições de conforto térmico. Na simulação, esse recurso não leva em consideração condições de umidade relativa, somente temperatura. Portanto, foi estabelecido que os condicionadores de ar sejam ligados para resfriamento sempre que a ocupação for diferente de 0 e a temperatura do ar interno for maior do que 25°C e sejam ligados para aquecimento quando a temperatura for menor do que 21°C. Ainda, foi programado para que as janelas sejam abertas, considerando 50% da sua área total, sempre que a ocupação for diferente de 0 e a temperatura do ar interno for maior que 21°C e sejam fechadas quando atingir os 25°C. A figura 29 apresenta as temperaturas de operação dos condicionadores de ar.

Figura 29 – Setpoint de controle de temperatura.



Environmental Control	
Heating Setpoint Temperatures	
Heating (°C)	21.0
Heating set back (°C)	12.0
Cooling Setpoint Temperatures	
Cooling (°C)	25.0
Cooling set back (°C)	28.0

Fonte: O autor, 2020.

É importante salientar que foram escolhidos também pontos de “*set back*” que são as temperaturas tanto para aquecimento quanto resfriamento, que o ar condicionado ligará automaticamente mesmo que o ambiente não esteja ocupado ou que o sistema esteja desligado, não permitindo que a temperatura chegue a valores mais extremos. Portanto, serão ligados quando a temperatura for menor do que 12°C ou maior do que 28°C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os principais resultados obtidos com base na simulação do 6º pavimento da edificação com o *software DesignBuilder*.

4.1 CENÁRIO 1

Esta seção apresenta os resultados da simulação no Cenário 1 que representa a edificação como foi projetada originalmente.

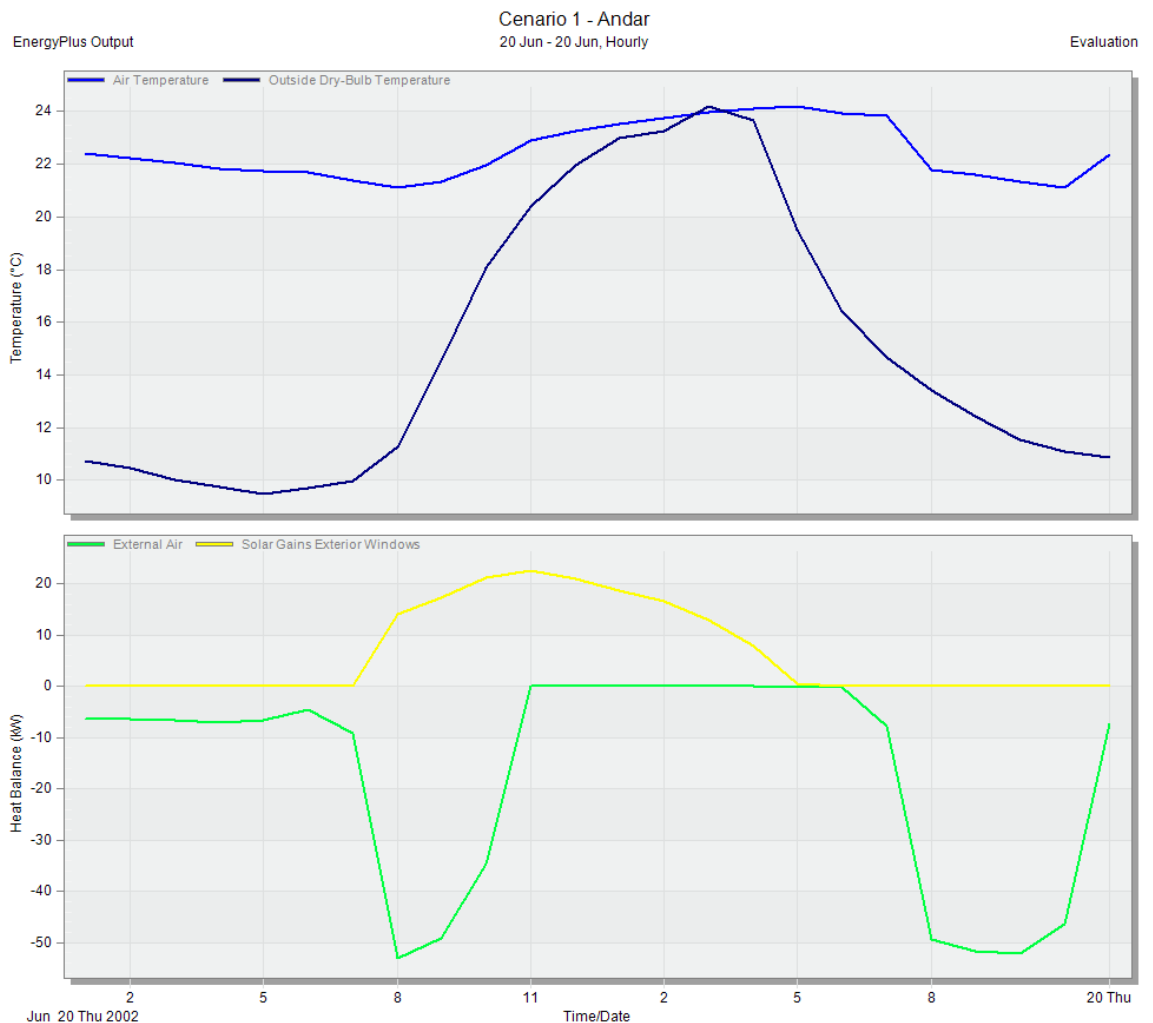
4.1.1 Solstício de Inverno

O solstício de inverno é um fenômeno astronômico que marca o início do inverno e ocorre quando o sol atinge a maior distância angular em relação ao plano que passa pela Linha do Equador. Embora não aconteça exatamente no mesmo dia todos os anos, ocorre normalmente no dia 20 ou 21 de junho no hemisfério sul e 20 ou 21 de dezembro no hemisfério norte. De maneira geral, esses dias servem como representação dos períodos mais frios do ano para cada um dos hemisférios.

A figura 30 apresenta os resultados da simulação do 6º pavimento da edificação no dia 20 de junho e mostra as temperaturas médias internas e externas do ar para o andar, os ganhos de calor por radiação e as perdas pela troca de ar através das aberturas. É possível perceber que a máxima temperatura do ar externo, 24°C, acontece no período da tarde, aproximadamente às 15:00. Além disso, os gráficos mostram que o pico de recebimento de calor por radiação através das janelas acontece às 11:00, quando os raios solares atingem principalmente as fachadas leste e norte, ultrapassando o valor de 20 kW. Na fachada leste estão presentes as aberturas dos dormitórios do ‘APTO 03’ e, também, todas as aberturas do ‘APTO 01’. Já na fachada norte, as grandes aberturas das áreas sociais dos ‘APTO 01’ e ‘APTO 02’ são as responsáveis pelo ganho de calor. Ainda, pode-se perceber uma expressiva

retirada de calor dos ambientes entre 07:00 e 11:00 e entre 19:00 e 23:00, devido as trocas de ar que acontecem nesses horários, já que as janelas estão abertas. Embora o pavimento como um todo tenha ganho de calor considerável, a ventilação natural compensa e a temperatura geral se mantém confortável, variando entre 21°C e 24°C durante o dia.

Figura 30 – Simulação do Cenário 1 no dia 20 de junho



Fonte: O autor, 2020.

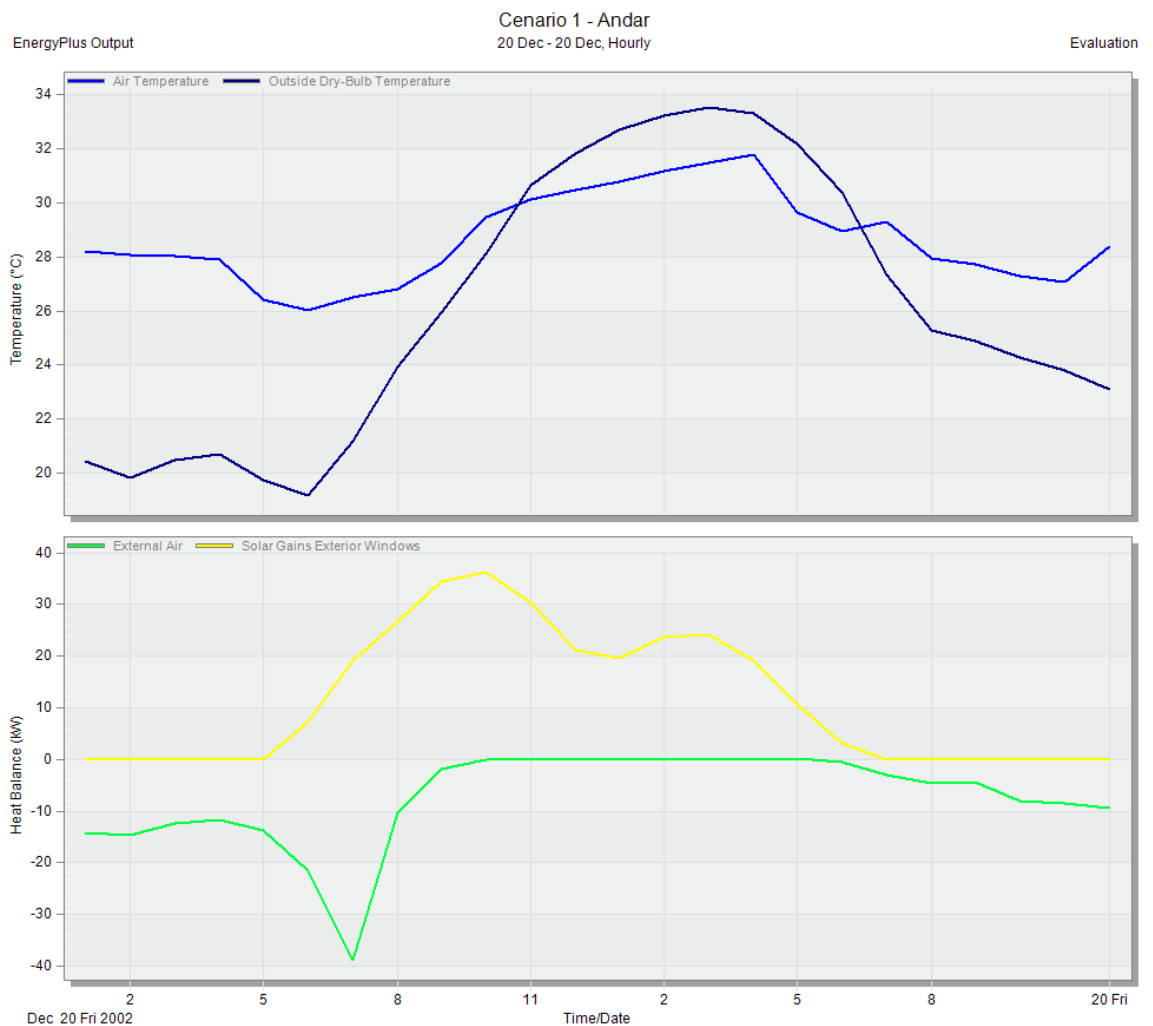
4.1.2 Solstício de Verão

O solstício de verão é o fenômeno astronômico que marca o início do verão e ocorre quando o sol atinge a menor distância angular em relação ao plano que passa pela Linha do Equador. Embora não aconteça exatamente no mesmo dia todos os anos, ocorre normalmente no dia 20 ou 21 de junho no hemisfério norte e 20 ou 21 de

dezembro no hemisfério sul. De maneira geral, esses dias representam os períodos mais quentes do ano para cada um dos hemisférios.

É possível perceber que a máxima temperatura do ar externo, 34°C, acontece no período da tarde, entre 13:00 e 16:00, fazendo com que a temperatura média do 6º pavimento também aumente nesse período, atingindo praticamente 32°C. Além disso, pode-se perceber que os maiores ganhos de calor por radiação através das janelas, que se aproxima dos 35 kW, acontecem entre 08:00 e 12:00, quando os raios solares atingem principalmente as fachadas leste e norte. Ainda, acontece um pico secundário de 25 kW de ganho de calor entre 13:00 e 16:00, quando a radiação atinge basicamente as fachadas oeste e norte. Na fachada oeste estão presentes todas as aberturas do 'APTO 02' e uma parte da abertura da área social do 'APTO 03', que são as maiores responsáveis por esse ganho de calor. No período da manhã, entre 05:00 e 08:00, quando a edificação está ocupada mas a temperatura externa não ultrapassa os 25°C, a ventilação natural faz um papel importante de retirada de calor dos ambientes. O calor que é retirado através das janelas atinge seu pico máximo de 40 kW próximo das 08:00. A figura 31 apresenta os resultados da simulação do 6º pavimento da edificação no dia 20 de dezembro e mostra as temperaturas interna e externa do ar, os ganhos de calor por radiação e as perdas pela troca de ar através das janelas.

Figura 31 – Simulação do Cenário 1 no dia 20 de dezembro



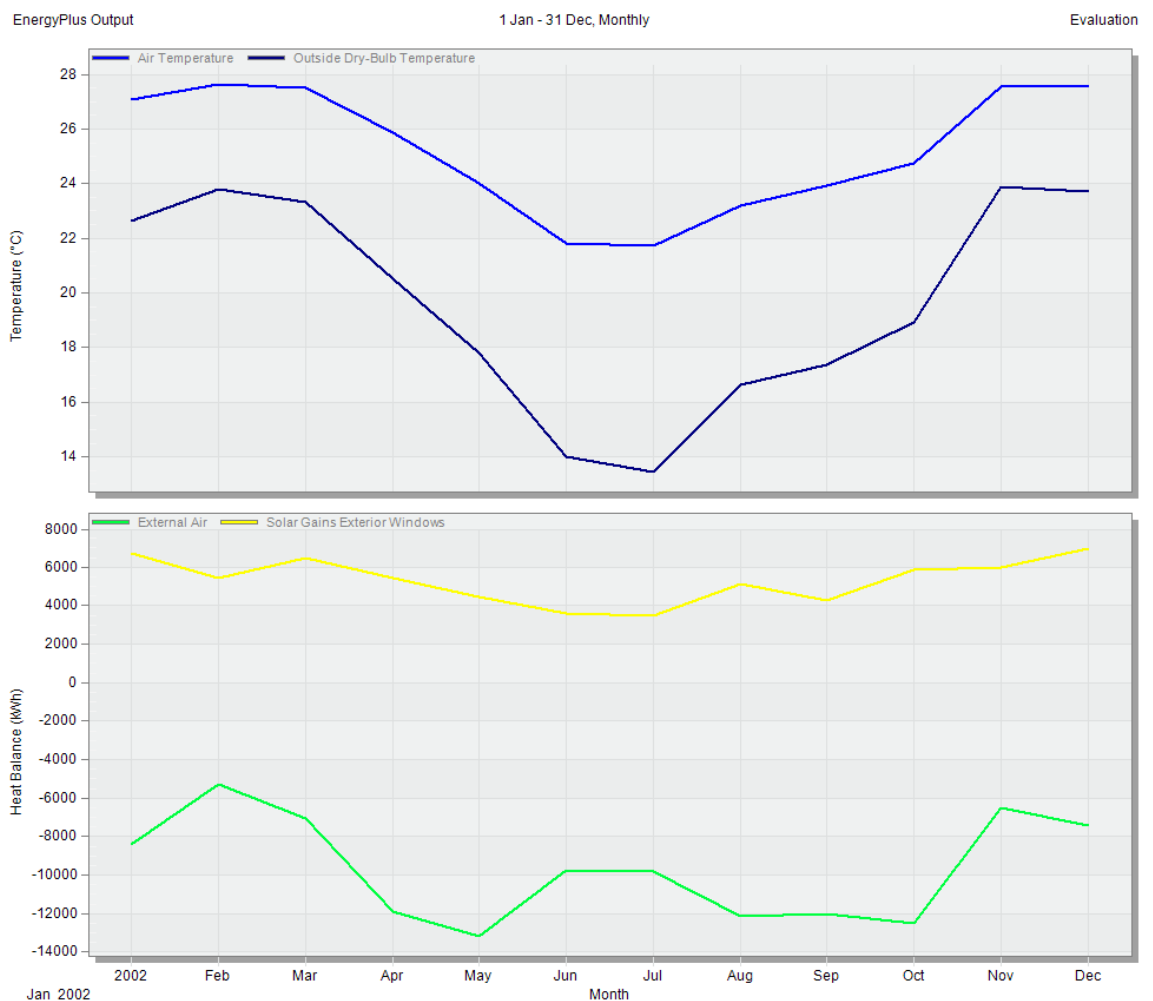
Fonte: O autor, 2020.

4.1.3 Ano todo

A simulação do 6º pavimento para o período de um ano também foi feita. A figura 32 apresenta a temperatura média do ar externo e interno e os ganhos e perdas médios de calor através das janelas de acordo com os meses do ano. É possível perceber que a temperatura média do ar interno se aproxima dos 28°C nos períodos mais quentes, que compreendem novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. Além disso, no período mais frio, que acontece entre maio e agosto, a temperatura média do ar interno fica próxima dos 22°C. Com isso, pode-se perceber que há uma grande amplitude na temperatura durante o ano. As oscilações de ganho de calor através das aberturas são expressivas entre os meses de inverno e verão. Nos meses de junho e julho o ganho de calor fica próximo dos 3500 kWh, enquanto nos meses de dezembro

e janeiro o ganho ultrapassa o valor de 6000 kWh. Devido ao fato de as janelas serem abertas somente quando a temperatura do ar está entre 21°C e 25°C, a ventilação natural tem maior impacto na primavera e no outono. Os picos de retirada de calor acontecem em maio e outubro, com valores médios de 13000 e 12000 kWh, respectivamente.

Figura 32 – Simulação do Cenário 1 para o ano todo



Fonte: O autor, 2020.

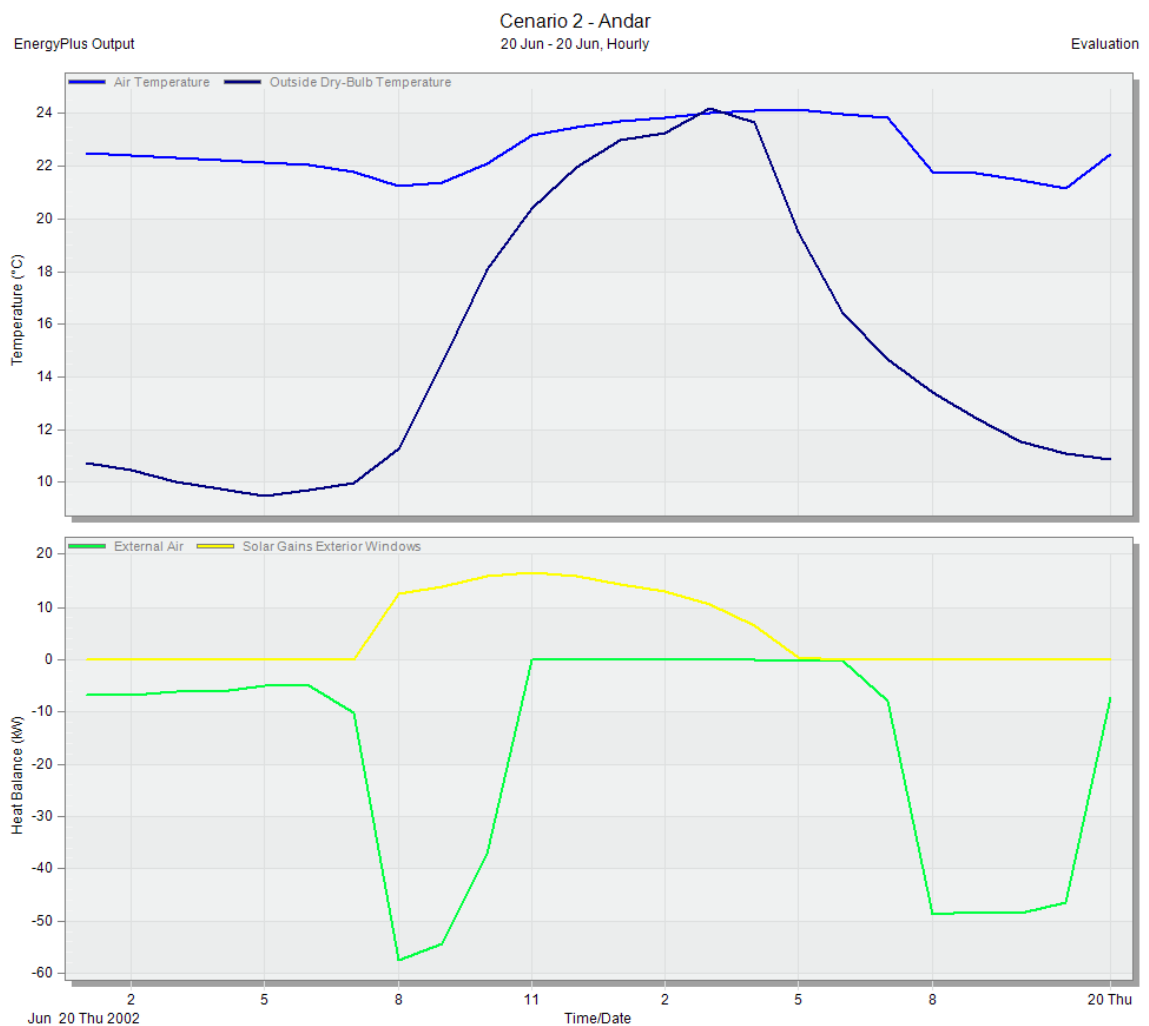
4.2 CENÁRIO 2

Nesta seção serão apresentados os resultados do Cenário 2, que representa a edificação com estratégias de eficiência energética aplicadas.

4.2.1 Solstício de Inverno

A figura 33 apresentada a seguir mostra os resultados da simulação para o solstício de inverno, no dia 20 de junho. Embora a temperatura externa do ar oscile, com valor mínimo de aproximadamente 9°C e máximo de 24°C, a temperatura interna permanece praticamente constante, entre 21°C e 24°C. O ganho de calor através das aberturas reduziu drasticamente quando comparado com o cenário 1 e seu pico também acontece próximo das 11:00 com um valor aproximado de 15 kW. Isso deve-se ao fato da utilização dos brises que barram a entrada de radiação solar direta nos ambientes. Ainda, percebe-se uma maior retirada de calor, com um pico as 08:00 de aproximadamente 55 kW e entre 20:00 e 22:00 próximo dos 50 kW.

Figura 33 – Simulação do Cenário 2 no dia 20 de junho

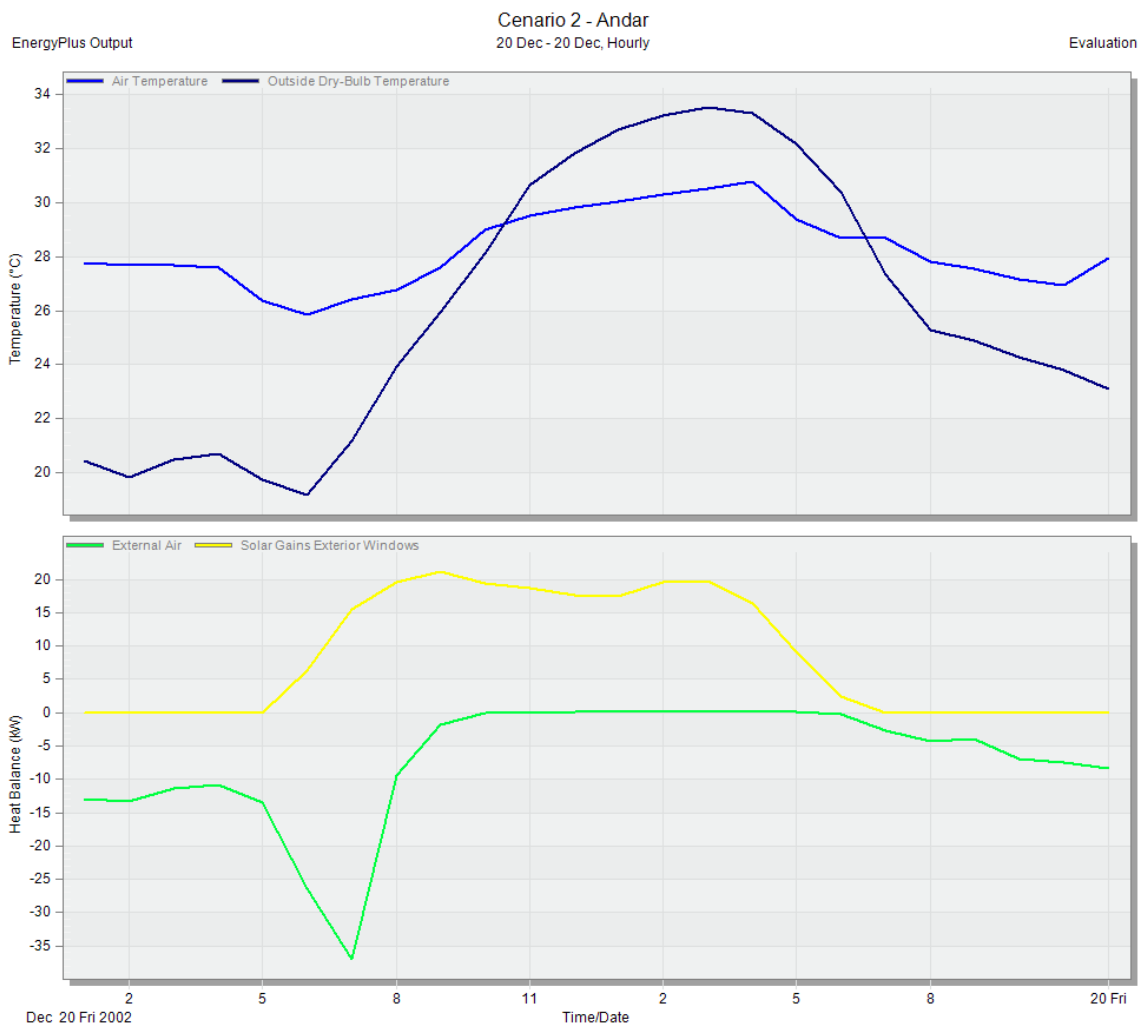


Fonte: O autor, 2020.

4.2.2 Solstício de Verão

Os resultados mostram que para o dia 20 de dezembro a temperatura média do pavimento se manteve alta, devido ao fato de que poucos ambientes foram considerados climatizados e a área de circulação não possui aberturas. Embora a temperatura do ar externo tenha atingido praticamente 34°C, a temperatura interna não ultrapassou os 31°C. É possível perceber também que os ganhos de calor através das aberturas permanecem praticamente constantes entre 08:00 e 16:00. Além disso, a ventilação natural faz a retirada do calor dos ambientes somente no período matutino compreendido entre 05:00 e 08:00, quando a temperatura está mais amena e não ultrapassa os 25°C. A figura 34 mostra os resultados da simulação para o solstício de verão.

Figura 3294 – Simulação do Cenário 2 no dia 20 de dezembro

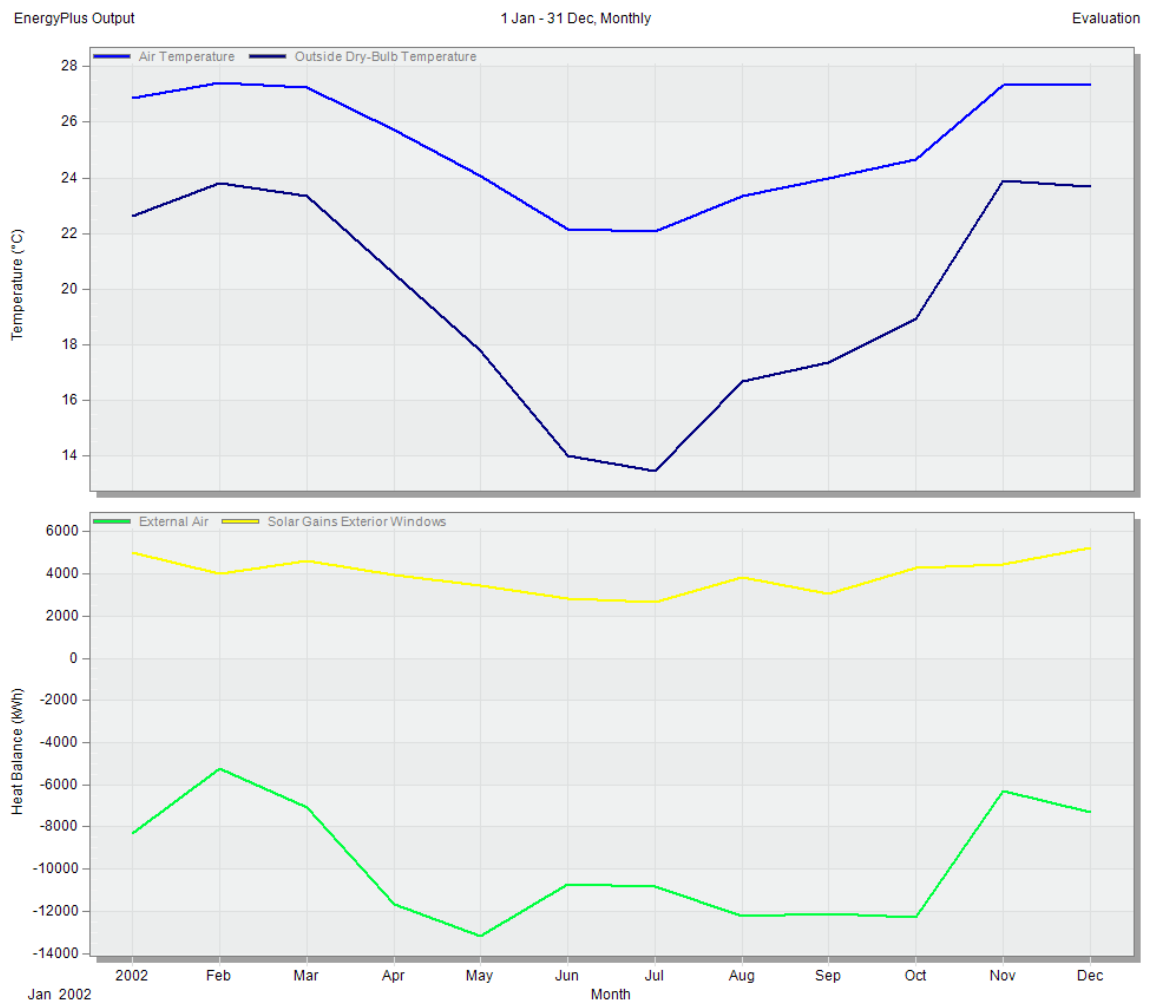


Fonte: O autor, 2020.

4.2.3 Ano todo

A figura 35 traz os resultados da simulação do 6º pavimento para o ano todo, considerando os efeitos das estratégias de eficiência energética. É possível perceber uma diminuição sutil da temperatura média do ar interno nos meses de fevereiro e março quando comparado com o cenário 1, mas as mesmas ainda permanecem altas. Isso ocorre, pois o pavimento completo conta com muitos ambientes não climatizados, inclusive a área de circulação que não possui aberturas, elevando a temperatura média. Todavia, os ganhos de calor através das aberturas reduzem expressivamente, principalmente nos meses de verão, devido à instalação dos brises. Para esse cenário, os valores máximos são de aproximadamente 5000 kWh e mínimos com cerca de 3000 kWh. Além disso, as retiradas de calor dos ambientes pelo efeito da ventilação natural são consideráveis durante o ano todo, mas possuem valores mais expressivos entre os meses de abril e outubro.

Figura 35 – Simulação do Cenário 2 para o ano todo



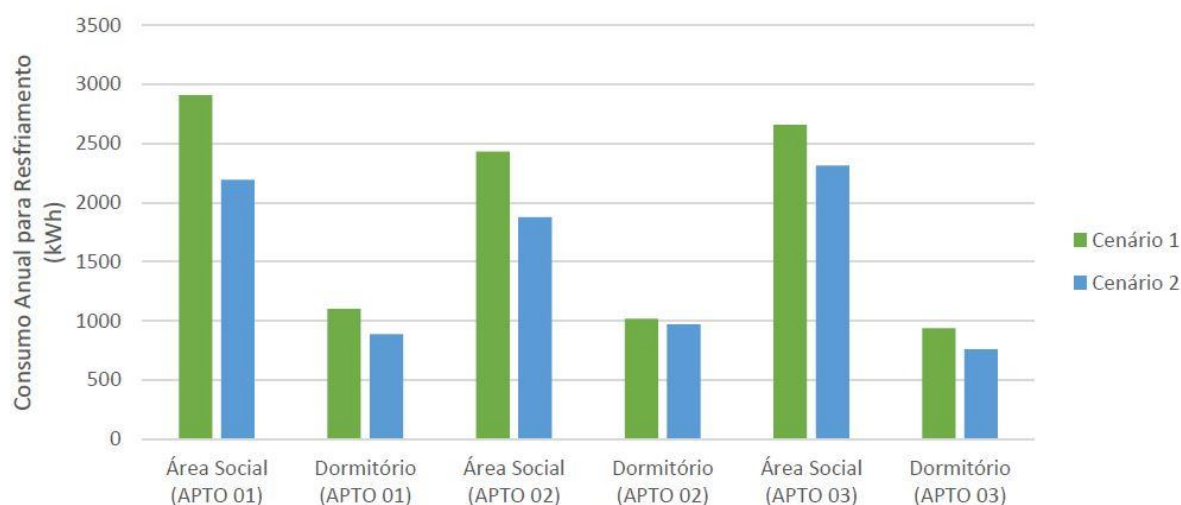
Fonte: O autor, 2020.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA

Nesta seção serão apresentados os comparativos entre resultados do cenário 1 e cenário 2, referente ao consumo de energia para climatização dos ambientes. A figura 36 apresenta o consumo anual para resfriamento de cada um dos cômodos climatizados dos dois cenários. É possível perceber uma redução expressiva nesse consumo, principalmente nas áreas sociais dos APTO 01 e APTO 02, onde a redução é próxima de 30%. Além disso, os dormitórios dos APTO 01 e APTO 03 também tem uma redução significativa de aproximadamente 20%. Isso se deve ao fato desses cômodos terem suas fachadas orientadas para leste e norte onde acontece grandes incidências solares durante o ano todo, o que acarreta nos ganhos de calor pelas aberturas e também pelas paredes. Com a aplicação de brises nas aberturas, adição

de uma camada de isolamento térmico e a substituição da pintura nas paredes externas, os efeitos foram significativos. As diferenças entre cenários para o dormitório do APTO 02 e a área social do APTO 03 são menos expressivas, pois tais cômodos têm suas fachadas direcionadas para oeste e sul e conseqüentemente a quantidade de calor recebida é menor.

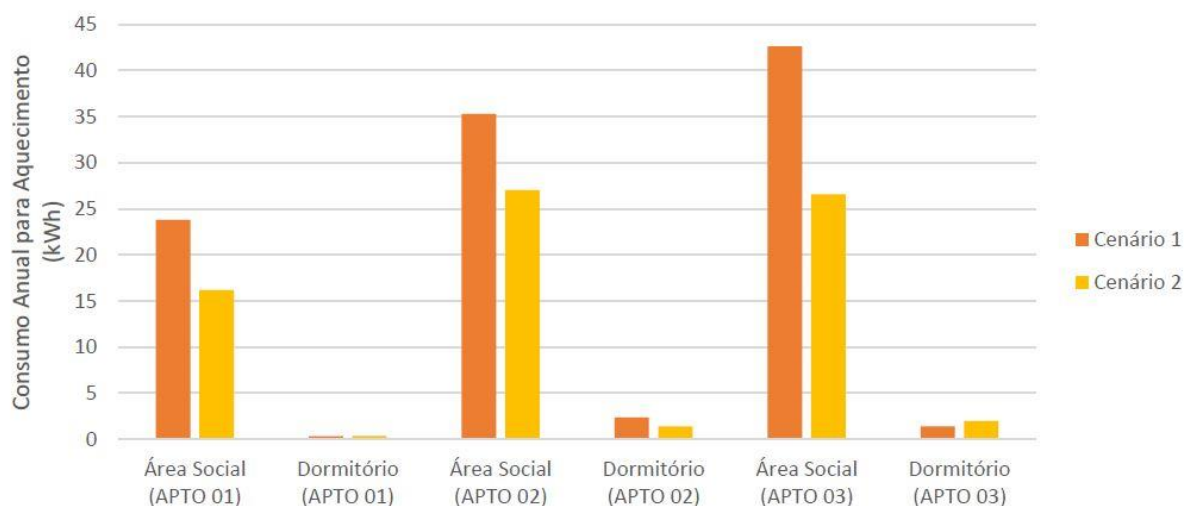
Figura 36 – Consumo anual de energia para resfriamento por ambiente



Fonte: O autor, 2020.

Na figura 37, que apresenta o consumo anual para aquecimento, é possível perceber que os dormitórios dos apartamentos quase não fizeram uso do condicionador de ar e, portanto, a diferença no consumo entre os cenários não é considerável. Todavia, nas áreas sociais dos três apartamentos é possível perceber uma redução interessante no consumo, principalmente no APTO 03, onde é quase 50% menor. Embora o resultado apresentado demonstre um percentual de redução expressivo, o consumo geral de energia para aquecimento foi pequeno para o período de um ano demonstrando que a climatização para aquecimento se faz pouco necessária.

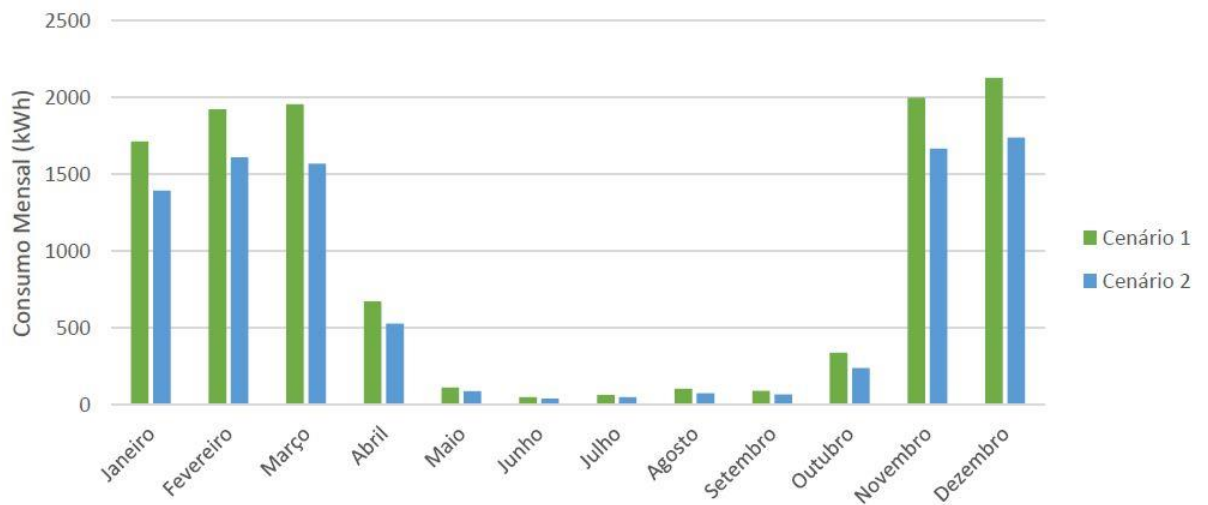
Figura 37 – Consumo anual de energia para aquecimento por ambiente



Fonte: O autor, 2020.

Os meses que apresentaram uma grande redução no consumo foram os de verão (janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro), justificados pelo grande consumo de energia para resfriamento dos ambientes. O mês de maior consumo (dezembro) apresentou cerca de 2200 kWh para o cenário 1, contra, aproximadamente, 1750 kWh para o cenário 2, representando uma redução de 20%. Entre maio e setembro o consumo de energia mensal é baixo, pois as temperaturas são mais baixas e os ambientes se mantêm numa temperatura agradável, sendo quase desnecessário o uso da climatização, como vimos nos gráficos anteriores. Embora haja uma redução no consumo, não é de grande impacto, visto que o consumo é pequeno. O comparativo de consumo mensal para climatização está apresentado na figura 38.

Figura 38 – Consumo mensal de energia para condicionamento de ar nos cenários 1 e 2



Fonte: O autor, 2020.

A tabela 4 traz um compilado das cargas térmicas para aquecimento e resfriamento para o período de um ano dos Cenários 1 e 2. A energia total utilizada para aquecimento é de 105,84 kWh no cenário 1 e de 73,52 kWh para o cenário 2, o que representa uma redução de mais de 30%. Para resfriamento, o cenário 1 teve um consumo de 11060,12 kWh, enquanto no cenário 2 é de 8998,22 kWh, o que resulta numa redução de quase 20% no consumo de energia.

Tabela 9 – Cargas térmicas dos cenários 1 e 2

Simulação	Carga Térmica		Carga Térmica	
	para Aquecimento (kWh)	Diferença Aquecimento	para Resfriamento (kWh)	Diferença Resfriamento
Cenário 1	105,84	-	11060,12	-
Cenário 2	73,52	-31%	8998,22	-19%

Fonte: O autor, 2020.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma análise termoenergética para um edifício residencial. Foram descritos alguns métodos, estratégias de eficiência energética e ferramentas utilizados para simulação. Dentre as ferramentas disponíveis, optou-se por utilizar o *software DesignBuilder*, por apresentar resultados

consistentes e confiáveis, além de ter uma interface mais agradável quando comparado com outros.

A edificação estudada foi um edifício residencial a ser construído na cidade de Braço do Norte/SC. Por se tratar de uma edificação com de grande área, que se aproxima dos 3000 m², o potencial de economia a ser gerado com estratégias de eficiência energética, estudando-as durante a fase de projetos, é bastante significativo. O projeto inicialmente possuía algumas cores nas paredes externas que não são as mais indicadas para climas com períodos quentes quando o objetivo é reduzir o consumo de energia da edificação. Além disso, o estilo arquitetônico contemporâneo da fachada e planta-baixa do prédio contam com grandes aberturas nas áreas sociais, o que possibilita a incidência de radiação, principalmente por duas dessas áreas terem suas fachadas direcionadas para norte, leste e oeste, representando um ganho de calor elevado.

A partir do estudo do projeto original e das características descritas acima, optou-se pela utilização de brises fixos nas aberturas das principais fachadas que recebem calor, isolamento térmico nas paredes externas e, também, alteração das cores utilizadas nessas paredes para o branco. Com o objetivo de tornar os ambientes climatizados ainda mais eficientes, optou-se por substituir os condicionadores de ar de classificação 'C' por outros com um coeficiente de eficiência maior, classificados como 'A' nos padrões mais recentes do Selo PROCEL.

Quando comparados os cenários 1 e 2, observou-se uma redução significativa no uso de energia para climatização. Apesar de apenas dois ambientes por apartamento estarem climatizados – área social e dormitório suíte – o consumo de energia para manter artificialmente o ambiente em conforto térmico, nas condições definidas para esta análise, foi 19% menor para o cenário 2 quando trata-se de resfriamento e 31% menor para aquecimento, resultado da inserção do isolamento térmico, da pintura branca nas paredes externas e da substituição dos condicionadores de ar por equipamentos mais eficientes.

Portanto, através do presente trabalho, conclui-se que as estratégias de eficiência energética aplicadas a edificações residenciais causam um impacto positivo significativo, principalmente quando aplicadas em fase de projeto, onde as possibilidades de estratégias são ainda maiores podendo ser usado, por exemplo, o isolamento térmico. Também é possível concluir que um estudo prévio bioclimático do

local onde será construída a edificação é de suma importância, pois são essas características que influenciarão no consumo de energia desta edificação e, a partir delas, estratégias de eficiência energética podem ser estudadas para posterior aplicação. Ainda, por se tratar do setor onde se prevê o maior crescimento do consumo de energia é estritamente necessário que os setores públicos e privados busquem melhorias, objetivando trazer novas formas construtivas e incentivos legais e/ou fiscais, com intuito de reduzir o consumo de energia das edificações através da melhoria da sua eficiência.

Como continuidade deste trabalho, poderiam ser exploradas outras estratégias de eficiência energética, avaliar o impacto de outros fatores na carga térmica da edificação, simular a edificação em outras zonas bioclimáticas ou, ainda, estudar a edificação com diferentes perfis de uso, entre outros.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-HOMOUD, Mohammad S. **Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials**. Building and environment, v. 40, n. 3, p. 353-366, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304001878>> Acesso em 15 de Set. de 2020.

ALBERNAZ, M. P.; LIMA, C. M. **Dicionário Ilustrado de Arquitetura**. São Paulo: Pro Editores, 2000.

ASHRAE, Standard. **Standard 55-2017, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Am. Soc. Heating, Refriger. Air-Conditioning Eng, Atlanta, USA, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2003.

BAKER, Nick V.; FANCHIOTTI, Aldo; STEEMERS, Koen. **Daylighting in architecture: a European reference book**. Routledge, 2013.

BORGES, Maria Lua Nicolini. **Determinação da carga térmica de uma edificação contêiner localizada na cidade de Araranguá/SC**. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/192724>> Acesso em 15 de Set. de 2020. Trabalho de Conclusão de Curso.

BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. **Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**. Brasília, DF:

Presidência da República, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm> Acesso em 15 de Nov. de 2020.

BRUAND, Yves. **Arquitetura contemporânea no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2002.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/91026>> Acesso em 10 de Set. de 2020.

CROOME, D J. **Noise, buildings and people**. United Kingdom, 1977.

CUNHA, Eduardo Grala da. **Brise-soleil: da estética à eficiência energética**. Pelotas. 2011. Disponível em:<<https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.131/3844>> Acesso em: maio de 2017.

DA SILVA, Milena Paim da. **Simulação e análise termoenergética de uma planta piloto bioclimática**. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/178019>> Acesso em 20 de Set. de 2020.

DE MASCARO, Lucia Raffo. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. Projeto, 1991.

ENERGYPLUS. **Weather Data**. Disponível em: <<https://energyplus.net/weather>>. Acesso em: 27 out. 2020.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 Ano base: 2019**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica%202020.pdf>> Acesso em 15 de Jul. de 2020.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 1995.

GREEN BUILDING COUNCIL. **GBC BRASIL**, 2020. Certificação LEED. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>> Acesso em 14 de Maio de 2020.

_____. **GBC BRASIL**, 2017. Compreenda o LEED. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/wp-content/uploads/2017/09/Compreenda-o-LEED-1.pdf>> Acesso em 14 de Maio de 2020.

_____. **GBC BRASIL**, 2015. Você conhece as 7 dimensões avaliadas nos empreendimentos pelo LEED? Disponível em: <

<https://www.gbcbrazil.org.br/voce-conhece-as-7-dimensoes-avaliadas-nos-empreendimentos-pelo-leed/>> Acesso em 14 de Maio de 2020.

GOMES, Diego de Miranda Mariath. **Análise de simulação de uso do Brise-Soleil como sistema de controle termal de uma fachada.** 2018. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/12318>> Acesso em 14 de Maio de 2020.

GUTIERREZ, Grace Cristina Roel et al. **Avaliação do desempenho térmico de três tipologias de brise-soleil fixo.** 2004. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257743>> Acesso em 14 de Maio de 2020.

EIA, Energy Information Administration **International Energy Outlook 2019: with projections to 2050.** Disponível em: <<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>> Acesso em 20 de Set. de 2020.

GUERRA, Mariana de Rezende et al. **Projeto e desenvolvimento de uma planta piloto com conceitos de arquitetura bioclimática.** 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/165179>> Acesso em 20 de Set. de 2020.

GUTIERREZ, Grace Cristina Roel. **Avaliação do desempenho térmico de três tipologias de brise-soleil fixo.** 2004. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257743>> Acesso em 10 de Set. de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – 2019.** Rio de Janeiro: IBGE. 2019

INMETRO. **ANEXO GERAL V– CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDRO,** Portaria 50 de 2013, 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001961.pdf> > Acesso em 20 de Set. de 2020.

_____. **Portaria nº 234, de 29 de junho de 2020.** Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www4.inmetro.gov.br/sites/default/files/media/file/portaria-234-29-de-junho-de-2020.pdf>> Acesso em 10 de Jul. de 2020.

JACOSKI, Claudio Alcides; DREHER, Aline Raquel; DE MEDEIROS, Rafael. **Conceitos de bioclimatologia e sustentabilidade aplicados a fase de projeto em habitações de interesse social.** Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 14, n. 1, p. 145-159, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/293807527_CONCEITOS_DE_BIOCLIMATOLOGIA_E_SUSTENTABILIDADE_APLICADOS_A_FASE_DE_PROJETO_EM_HABITACOES_DE_INTERESSE_SOCIAL> Acesso em 09 de Out. de 2020.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura.** Pro-Livros, 2014.

LEVY-LEBOYER, Claude; NATUREL, Veronique. **Neighbourhood noise annoyance**. Journal of Environmental Psychology, v. 11, n. 1, p. 75-86, 1991.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494405800064>> Acesso em 09 de Out. de 2020.

LOPES, Rodrigo Mendes de Freitas. **Otimização do desempenho energético de um edifício residencial em Portugal**. 2010. Disponível em: <

http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/tccs/TCC_Rodrigo_Lopes.pdf>

Acesso em 09 de Out. de 2020.

MANZANO-AGUGLIARO, Francisco et al. **Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 49, p. 736-755, 2015. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/publication/277690927_Review_of_bioclimatic_architecture_strategies_for_achieving_thermal_comfort> Acesso em 13 de Nov. de 2020.

MARAGNO, Gogliardo Vieira. **Adequação bioclimática da arquitetura de Mato Grosso do Sul**. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 6,

n. 3, p. 13-37, 2002. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/260/26060302.pdf>> Acesso em 9 de Nov. de 2020.

MASCARÓ, Juan Luis et al. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Rio Grande do Sul, 1992.

MINDLIN, H. E. **Arquitetura Moderna no Brasil**. Rio de Janeiro: Aeroplano, 2000.

MOURA, Eride. **Fachadas respirantes**. Técnica, São Paulo, v. 17, n. 144, p. 42-49,

2009. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/pauvi/files/2019/03/FACHADAS-RESPIRANTES.pdf>> Acesso em 13 de Nov. de 2020.

PBE-Edifica. **PBE-Edifica**, 2020. Sobre o PBE Edifica. Disponível em: <

<https://www.pbeedifica.com.br/sobre>> Acesso em 14 de Jul. de 2020.

PORTAL VANZOLINI. **Processo AQUA: Construção sustentável**, 2015. Indicadores.

Disponível em: < <https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2020/10/Indicadores-Processos-AQUA-HQE-2020-10-06.pdf>> Acesso em 13 de Nov. de 2020.

PROCEL. **PROCELINFO**, 2006. Selo Procel. Disponível em: <

<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632}>> Acesso em 14 de Maio de 2020.

REUTER, Júlia Weber. **Análise de condicionantes de projeto e execução de fachada ventilada em edifício residencial**. 2020. Disponível em: <

<https://repositorio.unisc.br/jspui/handle/11624/2891>> Acesso em 13 de Nov. de 2020.

SERRADOR, Marcos Eduardo. **Sustentabilidade em arquitetura: referências para projeto**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2008 Disponível em:

<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-17022009-140800/en.php>> Acesso em 13 de Nov. de 2020.

SILVA, Ícaro Ivisson Alves; SANTOS, José Matheus Buarque Pinto. **Comparação do sistema de fachada ventilada e fachada convencional**. 2018. Disponível em: < <https://ri.cesmac.edu.br/handle/tede/346>> Acesso em 20 de Set. de 2020.

SILVEIRA, Francisco Massucci et al. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55**. 2014. Disponível em: < <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258061>> Acesso em 13 de Nov. de 2020.

SPEZIA, Amanda Martini. **Sistemas de fachadas ventiladas com isolamento térmico**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso.

SPINELLI, Rodrigo et al. **Isolamento Térmico de Fachadas com Utilização de Elemento Vegetal**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, n. 1 esp, p. 686-703, 2020. Disponível em: < http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8724> Acesso em 28 de Set. de 2020.

UFSC. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**, 2020. Simulação Termo-Energética de Edificações Disponível em: < <https://labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/simulacao-termo-energetica-de-edificacoes>> Acesso em 14 de Jul. de 2020.