

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

MARIA LUISE KUGLER TONIN

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TÉCNICAS DE
ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA: Simulação computacional em
edificação escolar

MARINGÁ
2016

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TÉCNICAS DE ARQUITETURA
BIOCLIMÁTICA: Simulação computacional em edificação escolar**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Miotto

MARINGÁ

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

T665a Tonin, Maria Luise Kugler
Análise da eficiência energética de técnicas de arquitetura bioclimática: simulação computacional em edificação escolar / Maria Luise Kugler Tonin. -- Maringá, 2016.
149 f. : il. col., figs., tabs., apêndice

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Miotto .
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2016

1. Arquitetura bioclimática - Edificação escolar. 2. Eficiência energética. 3. Simulação computacional. 4. Edificações sustentáveis. 5. Projeto sustentável. I. Miotto, José Luiz, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. III. Título.

CDD 21.ed. 624.1

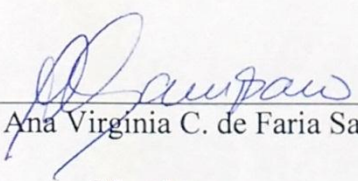
MN

MARIA LUISE KUGLER TONIN

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE TÉCNICAS DE
AQUITETURA BIOCLIMÁTICA: SIMULAÇÃO COMPUTACIO-
NAL EM EDIFICAÇÃO ESCOLAR

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, na área de concentração Infra-estrutura e Sistemas Urbanos, para obtenção do título de Mestre.

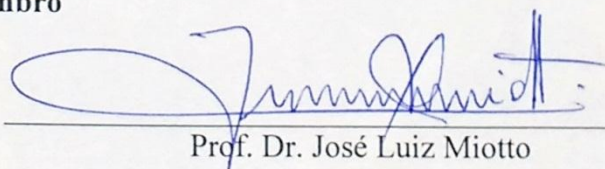
APROVADA em 26 de SETEMBRO de 2016.


Prof.^ª. Dr.^ª. Ana Virginia C. de Faria Sampaio

Membro


Prof. Dr. Paulo Fernando Soares

Membro


Prof. Dr. José Luiz Miotto

Orientador

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos e meu esposo, que sempre compartilharam comigo as minhas alegrias e tristezas, ajudando-me a superar os obstáculos desta caminhada e a conquistar mais este objetivo na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que participaram comigo desta caminhada. A todos os colegas, professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, que direta ou indiretamente, participaram na elaboração deste trabalho.

A minha família, agradeço aos meus pais e irmãos por todo incentivo e confiança. São meus exemplos de honestidade e persistência em realizar os objetivos.

Ao meu esposo, que me incentivou e acompanhou durante todo o curso e durante a execução deste trabalho. A você minha admiração e respeito.

Ao meu orientador, José Luiz Miotto, obrigada por poder contar com a sua paciência, compreensão e competência ao me orientar durante a realização deste trabalho, me incentivando e motivando sempre. E também por ser exemplo de profissional, dedicação e seriedade.

Ao secretário Douglas Bueno, que muito competente, sempre esteve presente para ajudar em todos os momentos, inclusive com palavras de apoio e motivação.

Ao coordenador Paulo Fernando Soares, que sempre esteve pronto a ajudar e com poucas palavras deu forças para continuar firme na caminhada.

A todos meus professores do Programa, que contribuíram para o meu crescimento compartilhando seu conhecimento.

Aos meus amigos do Programa, meus parceiros de trabalho, pelo companheirismo.

As minhas amigas Lívia e Marluce, sempre presentes, apoiando e dando conselhos. E ao meu amigo Yuri, que com seus conhecimentos, ajudou-me a desvendar os segredos dos programas.

RESUMO

Se grande parte dos problemas ambientais tem origem nas cidades ou no seu modo de vida, é necessário tornar as cidades sustentáveis para alcançar a sustentabilidade no Planeta. A sustentabilidade nas cidades começa por uma cultura individual de forma a aplicá-la nas edificações. A arquitetura bioclimática busca integrar a edificação com o ambiente que a cerca, procurando interferir o mínimo possível no local onde está inserida e aproveitando ao máximo os recursos e as variáveis climáticas, visando maior eficiência da edificação em termos de conforto e economia de energia. A incorporação de conceitos bioclimáticos à edificação, desde a concepção do projeto, é uma das práticas mais eficientes para economia de energia em edificações e para oferecer qualidade de vida aos usuários. O conforto traz benefícios para os ocupantes das edificações, destacando sua relevância em edificações escolares. Este trabalho analisa a eficiência das técnicas de arquitetura bioclimática em uma edificação escolar da Universidade Estadual de Maringá, através de dados gerados por meio do programa *EnergyPlus*, que simula o desempenho térmico da edificação após a sua construção. A edificação foi simulada da forma como está construída e em mais sete outras situações, considerando alterações conforme sugerem os conceitos de arquitetura bioclimática, alterando a implantação, retirando-se o atual brise, aumentando a inércia das paredes, substituindo por novos brises, substituindo revestimento e agrupando algumas das soluções. Assim, foi possível verificar a influência no desempenho térmico de cada uma das estratégias adotadas e em conjunto. Os resultados demonstraram uma diferença de até 2,17 °C na temperatura operativa máxima nas diferentes simulações. Sendo que a temperatura operativa na situação mais favorável variou de 14,06 °C a 36,85 °C, enquanto que na menos favorável foi de 13,79 °C a 39,02 °C. Indicando que a aplicação das técnicas propicia melhoria no conforto tanto para o frio quanto para o calor. Com isso, confirma-se a importância da aplicação dessas técnicas para melhoria no conforto térmico e desempenho energético das edificações, e a relevância das simulações nas decisões de projeto. Mesmo que em alguns casos as normas não foram cumpridas, indicando a necessidade do condicionamento artificial, destaca-se importância da utilização dessas técnicas para minimizar o seu tempo de uso e conseqüentemente gerar economia de energia.

Palavras-chave: Arquitetura bioclimática. Eficiência energética. Simulação computacional. Edificações sustentáveis. Projeto sustentável.

ABSTRACT

If most of the environmental problems originate in cities or in their way of life, it is necessary to make sustainable cities to achieve sustainability on the planet. Sustainability in cities begins with an individual culture in order to apply it in buildings. The bioclimatic architecture seeks to integrate the building with the environment that surrounds it, trying to interfere as little as possible at the place where it operates and making the most of resources and climate variables, seeking greater efficiency of the building in terms of comfort and energy savings. The incorporation of bioclimatic concepts to building, from designing the project, is one of the most efficient practices for energy savings in buildings and to provide quality of life to users. Comfort brings benefits to occupants of buildings, highlighting its importance in school buildings. This paper analyzes the efficiency of bioclimatic architecture techniques in a school building of the State University of Maringá, through data generated by the EnergyPlus program, which simulates the thermal performance of the building after its construction. The construction was simulated the way it is built and seven other situations, considering changes as suggested by the concepts of bioclimatic architecture, changing the implantation, removing the current brise, increasing the inertia of the walls, by substituting new louvers, replacing coating and grouping some of the solutions. Thus, it was possible to check the influence on the thermal performance of each of the strategies adopted and together. The results showed a difference of up 2,17 °C at the maximum operating temperature in the different simulations. Since the operating temperature in the most favorable situation varied 14,06 °C 36,85 °C, while the least favorable was 13,79 °C 39,02 °C. Indicating that application of the techniques provides improved comfort for both the cold as for heat. This confirms the importance of applying these techniques to improve thermal comfort and energy performance of buildings, and the relevance of the simulations in the design decisions. Even though in some cases the rules were not followed, indicating the need for artificial conditioning, there is the importance of using these techniques to minimize their use of time and consequently generate energy savings.

Keywords: Bioclimatic architecture. Energy efficiency. Computer simulation. Sustainable buildings. Sustainable design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil em 2014.....	31
Figura 2 -	Potencial Hidroelétrico do Brasil.....	33
Figura 3 -	Diferentes estratégias e contornos para aquecimento solar passivo e refrigeração natural países quentes em desenvolvimento	41
Figura 4 -	Trajectoria do sol no verão e no inverno	53
Figura 5 -	Sol mais alto no verão e mais baixo no inverno	54
Figura 6 -	Brises (em corte)	59
Figura 7 -	Prateleiras de luz	61
Figura 8 -	Ventilação controlada	63
Figura 9 -	Ventilação por ação dos ventos	64
Figura 10 -	Ventilação vertical (“efeito chaminé”)	64
Figura 11 -	Vegetação caducifolia	67
Figura 12 -	Estratégias bioclimática para a cidade de Maringá-PR	74
Figura 13 -	Faixa de temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente condicionados	82
Figura 14 -	Carta de Givoni adaptada ao Brasil	86
Figura 15 -	Casa Eficiente (vista sudoeste).....	92
Figura 16 -	Casa Eficiente (vista noroeste).....	92
Figura 17-	Perspectiva do modelo simulado.....	94
Figura 18-	Localização do município de Maringá.....	105
Figura 19-	Universidade Estadual de Maringá com destaque do Bloco C67..	106
Figura 20-	Bloco C67 – Elevação nordeste.....	107
Figura 21 -	Bloco C67 – Elevação noroeste.....	107
Figura 22-	Projeto Bloco C67 – Elevação noroeste.....	108
Figura 23-	Bloco C67 – Elevação sudoeste.....	108
Figura 24-	Projeto Bloco C67 – Elevação sudoeste.....	109
Figura 25 -	Bloco C67 – Elevação sudeste.....	109
Figura 26 -	Projeto Bloco C67 – Elevação sudeste.....	110
Figura 27 -	Modelagem com o <i>plugin Open Studio/ Google SketchUp</i>	112

Figura 28 - Divisão das zonas de análise – Bloco C67.....	113
Figura 29 - Carta Solar – Bloco C67	116
Figura 30 - Gráfico resultante da Simulação 1 – Zona 11	117
Figura 31 - Gráfico resultante da Simulação 5 – Zona 11	121
Figura 32 - Gráfico resultante da Simulação 3 – Zona 11	122
Figura 33 - Gráfico resultante da Simulação 3 – Zona 4	126
Figura 34 - Gráfico resultante da Simulação 2 – Zona 17	126
Figura 35 - Gráfico resultante da Simulação 5 – Zona 15	129
Figura 36 - Gráfico resultante da Simulação 3 – Zona 15	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estratégias Bioclimáticas para Maringá-PR pelo <i>TRY</i>	75
Tabela 2 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno	85
Tabela 3 - Estratégias de condicionamento térmico	88
Tabela 4 - Resumo das características das alternativas simuladas.....	95
Tabela 5 - Resumo das pesquisas que utilizaram simulação computacional	101
Tabela 6 - Parte da tabela de temperaturas operativas por zonas, para as horas do ano – Simulação 1	118
Tabela 7 - Horas em desconforto, considerando o intervalo de 21° C e 31° C, com controle local de ventilação	119
Tabela 8 - Graus-horas em desconforto, considerando o intervalo de 18 °C a 29 °C	122
Tabela 9 - Temperaturas mínimas e máximas conforme as zonas simuladas e nível de desempenho, segundo a ABNT NBR 15575-1:2013	124
Tabela 10 - Temperaturas operativas máximas e mínimas	125
Tabela 11 - Horas em desconforto, considerando o intervalo de 18 °C e 29 °C	128
Tabela 12 - Graus-horas em desconforto, considerando o intervalo de 18 °C e 29 °C	130

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVO.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	21
2.1.1 IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	26
2.2 ENERGIA ELÉTRICA	29
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	34
2.4 CLIMA E CONFORTO	35
2.4.1 CONFORTO TÉRMICO	38
2.4.2 CARTAS BIOCLIMÁTICAS	39
2.4.3 VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO.....	41
2.4.4 CONFORTO NO AMBIENTE ESCOLAR.....	42
2.5 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA.....	43
2.6 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	51
2.6.1 RECOMENDAÇÕES DE CONFORTO PARA MARINGÁ PR	74
2.7 CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES	76
2.7.1 PROCEL EDIFICA.....	77
2.8 NORMAS APLICÁVEIS	80
2.8.1 ASHRAE STANDARD 55:2013 E PROJETO DE REVISÃO DA NBR 16.401-2..	80
2.8.2 NORMA DE DESEMPENHO – NBR 15575:2013	83
2.8.3 NORMA DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES – NBR 15220:2003.....	86
2.8.3.1 ZONA BIOCLIMÁTICA 3.....	87
2.9 SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO NAS EDIFICAÇÕES	88
2.9.1 <i>ENERGYPLUS</i>	90
2.9.2 ESTUDO DE CASO: A CASA EFICIENTE	91
2.9.3 PESQUISAS QUE UTILIZARAM SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	96
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	102
3.1 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	102
3.2 OBJETO DE ESTUDO.....	104
3.3 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	111

4. RESULTADOS	117
4.1 A ASHRAE STANDARD 55:2013 E O PROJETO DE REVISÃO DA ABNT NBR 16401-2 – PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO.....	118
4.2 ABNT NBR 15575:2013 – NORMA DE DESEMPENHO	123
4.3 ABNT NBR 15220:2003 – NORMA DE DESEMPENHO TÉRMICO.....	126
5. CONCLUSÃO.....	131
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	133
REFERÊNCIAS	134
APÊNDICES	140

1. INTRODUÇÃO

A modificação do meio natural para criar condições de habitabilidade vem desde a Pré-História. O arquiteto Vitruvius, com a teoria classicista, já destacava que a orientação adequada das construções proporciona melhores condições de conforto. As cidades gregas eram implantadas em função do sol. Do mesmo modo, os romanos garantiam através de leis o direito do acesso e aquecimento pelo sol; e o aquecimento de água e de ambientes acontecia por meio de túneis subterrâneos que aqueciam o ar dissipado. Na cidade medieval, as ruas estreitas e irregulares serviam para quebrar a força do vento, buscando proteção, também demonstrando adaptação ao clima (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007; ARANTES, 2013).

Por outro lado, nos dias atuais, com muita frequência não se observa esta adaptação ao ambiente. Corbella e Yannas (2009) e Arantes (2013) destacam que após a Segunda Guerra Mundial, com a expansão das técnicas construtivas e a abundância de combustíveis, alguns princípios utilizados até então nas edificações, como conforto térmico, iluminação natural e relação com o entorno, foram esquecidos, pois puderam ser substituídos por sistemas artificiais, desenvolvidos pela tecnologia e alimentados pelos combustíveis.

De acordo com os resultados das Perspectivas da População Mundial (ONU, 2015), a população mundial atingiu 7,3 bilhões em 2015. As projeções indicam que a população mundial irá aumentar em mais de um bilhão de pessoas nos próximos 15 anos, chegando a 8,5 bilhões em 2030. Paralelamente a essa evolução demográfica, está, também, uma grande urbanização, que é resultado do desenvolvimento econômico e social. Lanham, Gama e Braz (2004) afirmam que esses fatores exercem uma enorme pressão no meio ambiente por esgotarem os recursos naturais e aumentarem a geração de resíduos, o que provoca a sobrecarga no meio ambiente.

A urbanização, o crescimento rápido e o desenvolvimento tecnológico trazidos pela Revolução Industrial trouxeram também degradação do meio natural, tanto decorrente da extração de matérias-primas como do processo de transformação, e também da grande quantidade de resíduos resultantes do processo produtivo. Como consequência houve o aumento no consumo de energia e diminuição na qualidade

de vida, que não ficam restritos apenas ao local onde acontecem, mas trazem consequências para todo o mundo (MIOTTO, 2013).

Barbirato, Souza e Torres (2007) tratam que o processo de urbanização, com a massa construída das cidades (edificações, pavimentação), produz alterações na paisagem. A forma de ocupação e crescimento gera mudanças ambientais e consequências inquestionáveis ao meio natural, especialmente ao clima. Isso resulta, além de outros fatores, na degradação do ambiente urbano e traz consequências importantes para a eficiência ambiental das edificações.

A falta de adaptação das cidades e edificações ao meio natural e às características climáticas preocupa, e destaca a importância dos processos e fenômenos que definem a qualidade ambiental, e aponta para a necessidade de pesquisas para melhorar a organização dos espaços urbanos, enfatizando critérios ambientais e o conforto térmico (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Barbirato, Souza e Torres (2007) ainda tratam que a qualidade ambiental precisa ser pensada no âmbito global, pois para a qualidade das edificações depende-se da qualidade urbana. Como se pode observar, a alta densidade urbana dificulta estratégias passivas – como a ventilação natural –, aumentando a necessidade de condicionamento de ar. E as altas temperaturas urbanas, diferentemente da zona rural, influenciam no consumo de energia elétrica, pois no verão, em climas quentes, as altas temperaturas urbanas aumentam a demanda para o resfriamento.

Para solucionar os problemas criados por essa arquitetura não adaptada ao meio que está inserida, houve aumento do consumo de energia, que não era levado em conta, pois o custo era baixo e não havia consciência acerca da poluição decorrente da geração e consumo de energia elétrica (CORBELLA; YANNAS, 2009).

Kiouranis (2014) também discute sobre o uso desenfreado de energia e as consequências ambientais negativas. Assim, o crescimento da população e do consumo de energia, quando não apoiados em medidas de sustentabilidade, alteram o modo e a qualidade de vida das pessoas.

Por isso, a redução no consumo de energia elétrica vem sendo uma preocupação crescente. A energia produzida a partir de fontes não-renováveis está

se tornando cada vez mais cara, além dos danos ambientais. Nesse ponto a arquitetura se apresenta como responsável pelo uso racional de energia nas edificações, a partir da adaptação do edifício ao clima e na melhoria de sua eficiência energética (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Ao construir suas cidades, o homem altera as condições climáticas. Porém a arquitetura deve oferecer conforto térmico aos usuários da edificação, independentemente das condições externas, propiciando, dessa forma, melhores condições de vida e de saúde (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Somente após 1973, com a crise do petróleo e a crise mundial de energia, que fez com que o preço da produção de energia aumentasse, começou existir a preocupação em incorporar técnicas à edificação, para diminuir o consumo de energia convencional. E assim começou a nascer uma arquitetura preocupada com a integração ao clima local, visando o conforto ambiental do ser humano e sua consequência para o Planeta: *a arquitetura bioclimática* (CORBELLA; YANNAS, 2009).

Romero (2001) descreve que a arquitetura bioclimática tem antecedentes na arquitetura vernacular e traz respostas adequadas do homem às exigências do meio. Para esta autora é uma forma de desenho lógico que reconhece o existente, é culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais e utiliza a concepção arquitetônica como mediadora entre homem e ambiente. Bagnati (2013) ainda completa que a arquitetura vernacular aproveita-se das características desejáveis do clima em que está inserido, subtraindo as menos favoráveis.

Segundo Lanham, Gama e Braz (2004) a Arquitetura Bioclimática é uma forma de proporcionar conforto às edificações, as técnicas bioclimáticas passam por três medidas essenciais: a melhoria dos projetos em termos de eficiência energética, diminuindo as suas necessidades em iluminação, ventilação e climatização artificiais; a substituição do consumo de energia convencional por energia renovável, não poluente e gratuita; e a utilização de materiais locais, preferencialmente materiais de fontes renováveis ou com possibilidade de reutilização e que minimizem o impacto ambiental.

Ressalta-se que a arquitetura é mais do que uma mera produção de edificações. É produção de uma habitação, que além de abrigo e segurança,

promova também conforto, bem-estar e qualidade de vida, além de preservar o meio ambiente.

No Brasil e no mundo, a redução no consumo de energia elétrica vem sendo uma preocupação crescente. Essa problemática vem sendo muito discutida e, cada vez mais, a conservação e eficiência apresentam-se como fator essencial ao desenvolvimento. Nesse contexto, a arquitetura apresenta-se como agente colaborativo pelo uso racional de energia nas edificações, a partir da adaptação climática do edifício e sua eficiência energética (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Atualmente, os movimentos que apregoam a necessidade de implantação do modelo de desenvolvimento sustentável compartilham a crescente preocupação e conscientização dos aspectos relacionados com o conforto e eficiência energética dos edifícios. A adoção de medidas sustentáveis na concepção do projeto contribui para a minimização do impacto ambiental (ARANTES, 2013).

Motta e Aguiar (2009) confirmam que a sustentabilidade deve ser parte da estratégia do empreendimento, precedendo até a idealização e a concepção, de modo que seus conceitos estejam presentes em todas as etapas do processo, originados de soluções criativas e inventivas.

A racionalização do uso da energia elétrica está estritamente ligada com a adequação da arquitetura ao clima, evitando ou reduzindo os sistemas de condicionamento artificial de ar. O conhecimento do clima, aliado aos mecanismos de troca de calor e o comportamento térmico dos materiais, permite uma intervenção consciente da arquitetura, de modo a aproveitar o clima em favor do conforto na edificação. Os elementos de controles térmicos naturais proporcionam condições agradáveis dentro dos edifícios (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Proporcionar edifícios com características que proporcionem uma melhor resposta térmica ambiental não implica necessariamente acréscimo obrigatório de custo; pelo contrário, deve resultar em redução de custo de utilização e manutenção e propiciar condições internas agradáveis aos usuários (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Essa preocupação com a degradação ambiental, a redução do consumo energético e a busca por soluções sustentáveis tem trazido à tona, no cenário

mundial, discussões em busca da minimização desses problemas e conscientização da população. Com isso foram desenvolvidas as certificações ambientais, algumas internacionais, como o selo LEED, e outras nacionais, como o Selo Casa Azul e o Procel Edifica.

A certificação ambiental internacional LEED sugere a utilização de simulações, assim como o selo brasileiro Procel Edifica, que por meio do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética, especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios quanto à eficiência energética. Esse regulamento descreve que a etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve ser realizada através dos métodos prescritivo ou de simulação. Para alguns casos é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas.

A Norma de Desempenho (ABNT NBR 15.575:2013) prescreve recomendações que buscam atender às exigências do usuário da edificação, e dentre elas, está o desempenho térmico e, com isso, a eficiência energética. Essa norma afirma que o desempenho térmico adequado, além da economia de energia, resulta em condições adequadas para o sono e as atividades. A mesma norma propõe que a avaliação térmica seja feita por meio das propriedades térmicas da fachada ou por simulação computacional, especificando o uso do programa *EnergyPlus* para a elaboração da simulação.

Por sua vez, a Norma de Desempenho Térmico (ABNT NBR 15.220:2003) apresenta recomendações para o desempenho térmico de edificações aplicáveis na fase de projeto, e também sugere a avaliação em projeto por meio de simulação computacional ou verificação do cumprimento de diretrizes construtivas pelas zonas bioclimáticas.

A norma internacional ASHRAE Standard 55 – *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, e o projeto de revisão da ABNT NBR 16401-2 – Parâmetros de conforto térmico, definem os parâmetros para alcançar o conforto térmico, demonstrando também a preocupação com as questões já citadas.

Diante disso é necessário que sejam discutidas soluções para buscar o equilíbrio entre o ambiente natural e o construído, para que se possa propiciar

conforto aos usuários das edificações com o menor impacto ao meio ambiente. O pensamento tem que ser global e a integração entre os ambientes tem que ocorrer em todas as etapas, desde a extração de matérias-primas, projeto, execução, uso e manutenção e destinação final. Sempre mantendo o objetivo da preservação, da minimização do consumo de recursos naturais e da qualidade de vida.

Como as etapas iniciais, o planejamento e do desenvolvimento do projeto, são as que permitem maiores resultados com menores custos, deve-se enfatizar nesse ponto a busca pela melhoria da qualidade da edificação. Por isso, este trabalho visa analisar o desempenho das edificações ainda em projeto, por meio de simulação computacional de desempenho térmico e energético. Dessa forma é possível prever os resultados e, se necessário, fazer melhorias ainda no projeto.

1.1.JUSTIFICATIVA

O projeto arquitetônico possui papel fundamental para o conforto das edificações, pois quando o ambiente não apresenta condições de conforto, o usuário precisa de meios para torná-lo agradável, e meios artificiais que consomem energia, como ventilador, ar-condicionado, aquecedor, iluminação artificial, e outros. Ao longo dos últimos anos, deve-se realçar ainda que a energia elétrica tem sofrido constantes reajustes tarifários, não havendo nenhuma indicação de redução de preços deste insumo em curto ou médio prazos, além dos impactos negativos que sua produção gera ao meio.

Kiouranis (2014) destaca a importância do conforto em todo tipo de edificação, incluindo as escolares, visto que é um ambiente de permanência prolongada, que são ocupados o dia todo e as atividades exercidas exigem atenção e concentração, e por isso, necessitam de sistemas de iluminação e climatização condizentes com a situação, pelo fato de influenciarem no rendimento das atividades e no processo de ensino/ aprendizagem e que ambientes em desconforto podem acarretar deficiências na aprendizagem.

Além do mais, estes ambientes permanecerão por longos anos, portanto, faz-se necessário uma adequação mínima e a redução do consumo de energia terá grande importância ao longo do tempo (KIOURANIS, 2014).

É importante ressaltar que soluções adotadas e analisadas na fase projetual são muito mais viáveis economicamente do que após o início da obra, sendo que conhecendo o desempenho térmico da edificação, ainda no projeto, é mais fácil fazer alterações, decidir pela melhor técnica ou material e para avaliar se as técnicas utilizadas cumprem o objetivo em busca da eficiência energética, para cumprimentos das normas e obtenção de selos de certificação.

Este trabalho justifica-se na necessidade de buscar soluções para melhorias em projetos que promovam conforto nas edificações, contemplando soluções racionais e de baixo custo com o objetivo de favorecer o uso eficiente de energia e também diminuir o seu consumo nas edificações, reduzindo desperdícios e impactos sobre o meio ambiente, além de promover o conforto e aumentar a qualidade de vida dos usuários.

Ainda, tendo em vista a importância das simulações para a melhoria da qualidade da edificação na etapa de projeto, auxiliando nas decisões com o objetivo de minimizar gastos com energia, propiciar melhor condição de conforto aos ocupantes e a eficiência energética da edificação, além de cumprir com as exigências das normas e destacar a importância da contribuição para o desenvolvimento sustentável.

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar as contribuições que as técnicas da arquitetura bioclimática proporcionam para a melhoria da qualidade do ambiente interno das edificações, particularmente em uma edificação para fins educacionais. Ao mesmo tempo, pretende-se demonstrar, por meio de simulações computacionais, a possibilidade da aplicação dessas técnicas na fase projetual.

Para tanto, tem-se como objetivos específicos:

- Identificar as técnicas que viabilizam a aplicação do conceito de arquitetura bioclimática nas edificações em geral;
- Verificar, por simulação computacional, o conforto térmico e a eficiência energética das técnicas de arquitetura bioclimática adotadas na fase de projeto; comparando o resultado com as normas de desempenho (ABNT NBR 15575:2013), de desempenho térmico (ABNT NBR 15220:2005) e o projeto de revisão da norma ABNT NBR 16401-2 – Parâmetros de conforto térmico, que referencia a ASHRAE Standard 55:2013 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo trata da sustentabilidade na construção civil, considerando os aspectos ambientais, econômicos e sociais; além disso, são abordados os impactos ambientais causados por este setor.

Um fator importante para a sustentabilidade na construção civil é a redução no consumo de energia. Portanto, apresenta-se um panorama atual de como está o setor energético no Brasil e também os impactos ambientais, vantagens e desvantagens da principal fonte utilizada: a hidrelétrica.

A eficiência energética é a principal maneira de contribuir para a minimização do consumo de energia, apropriando da maior eficiência dos equipamentos e das edificações. Porém, sem deixar de lado o conforto ambiental e a qualidade de vida das pessoas. Para tanto, discorre-se sobre o clima, conforto ambiental e as variáveis que influenciam no conforto térmico.

Uma forma de propiciar conforto aos usuários e redução do consumo de energia é pela arquitetura bioclimática, que são elementos e técnicas construtivas que adaptam a edificação ao local onde está inserida, aproveitando-se das características em prol da qualidade da edificação. Desse modo, este capítulo também aborda as principais técnicas de arquitetura bioclimática.

Além disso, se apresenta uma revisão das normas aplicáveis: a ASHRAE Standard 55:2013 e o projeto de revisão da ABNT NBR 16401-2 – Parâmetros de Conforto Térmico; a ABNT NBR 15.575:2013 – Norma de Desempenho; e a ABNT NBR 15.220:2003 – Norma de Desempenho térmico de edificações.

E por fim, este capítulo aborda o programa computacional *EnergyPlus*, que permite a simulação do desempenho termo-energético de edificações, um estudo de caso da Casa Eficiente, que foi simulada pelo mesmo programa para as diferentes alternativas de projeto e confirmados através de medições após a sua construção e outras pesquisas que também tratam de simulação computacional.

2.1. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A segunda metade do século XX mudou significativamente a visão sobre a relação entre homem e meio ambiente, alertando a sociedade para os impactos negativos do progresso. E intensificou-se o debate ambiental, acrescentando a discussão das catástrofes ecológicas, pois foram registrados diversos acidentes de grande porte em todo o mundo, na década de 1980, como: vazamento de petróleo, acidentes com reatores nucleares e liberação de substâncias tóxicas. Além dos desastres, a percepção de que recursos indispensáveis à vida, como a água, estavam se tornando escassos, provocou um comprometimento cada vez maior dos países com as questões ambientais (PEARSON EDUCATION DO BRASIL, 2011).

As cidades com suas construções, atividades, serviços e transportes consomem uma quantidade elevada de energia, de recursos naturais e emitem poluentes. Uma das consequências é o aquecimento global, que pode afetar toda a Humanidade. A construção civil é considerada a atividade humana com maior impacto sobre o meio, por isso é fundamental entender os parâmetros para uma construção sustentável (MOTTA; AGUILAR, 2009).

O comitê técnico nº 59 da ISO conceitua:

Edificação sustentável é aquela que pode manter moderadamente ou melhorar a qualidade de vida e harmonizar-se com o clima, a tradição, a cultura e o ambiente na região, ao mesmo tempo em que conserva a energia e os recursos, recicla materiais e reduz as substâncias perigosas dentro da capacidade dos ecossistemas locais e globais, ao longo do ciclo de vida do edifício (ISO/TC 59/SC3 N 459).

Então quando se trata de sustentabilidade devem ser considerados todos os aspectos: ambiental, cultural, social, e econômico, de maneira integrada, pois só assim é possível alcançar o desenvolvimento sustentável, de modo que a economia evolua atendendo as expectativas da sociedade e mantendo o ambiente para as futuras gerações. O desafio do desenvolvimento sustentável é encontrar o equilíbrio entre a proteção ambiental, a justiça social e a viabilidade econômica. Assim um empreendimento é sustentável quando atende os requisitos de ser ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo e culturalmente aceito (AGOPYAN; JOHN, 2011; MIOTTO, 2013).

Dessa forma, o Relatório Brundtland, de 1987, define o desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades das gerações atuais, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” (MIOTTO, 2013, p.53).

A construção sustentável é encarada como uma forma da indústria da construção responder à obtenção do desenvolvimento sustentável, nos vários aspectos: social, cultural, econômico e ambiental (FELIX, 2008).

Nakamura (2006) trata da amplitude do termo sustentabilidade e sua abrangência em todas as áreas, que deixa clara a importância da participação de todos pelo que restará às gerações futuras, devido aos desequilíbrios como as alterações climáticas e outros fenômenos relacionados à destruição do Planeta. Isso se dá, sobretudo, na arquitetura e engenharia, se considerar que as cidades, com suas construções, atividades, serviços e transportes consomem mais de 50% das fontes mundiais de energia disponíveis, além de gerar gases poluentes e consumir muita matéria-prima.

Para a sustentabilidade, tanto social quanto econômica, a construção deve ser pensada em todo o seu ciclo de vida, desde a concepção até a demolição ou readequação. As estratégias são ações locais e pontuais, porém o pensamento de sustentabilidade deve ser global (MOTTA; AGUILAR, 2009; SANTOS; OLIVEIRA, 2014).

O ciclo de vida da edificação pode ser dividido nas seguintes fases: idealização, concepção, projeto, construção, uso, manutenção e final de vida útil. Para a sustentabilidade o maior impacto é causado pelo uso e manutenção, em que está o maior consumo de energia. Porém a maior possibilidade de intervenção do desempenho está nas etapas de idealização, concepção e projeto. Portanto, ao se priorizar estratégias de sustentabilidade nessas etapas, a edificação terá potencialmente um melhor desempenho e menor custo para implantação das estratégias (MOTTA; AGUILAR, 2009).

Felix (2008) também afirma que o princípio da sustentabilidade deve estar presente desde a fase de desenvolvimento do projeto e que o melhor e mais econômico edifício sustentável é aquele em que as características são incorporadas

em um estágio inicial de projeto. Se os elementos não forem incorporados desde o princípio do projeto, será mais difícil sua incorporação posterior.

Palo (2006) reitera que um edifício precisa “nascer inteligente e sustentável”, pois após sua construção é praticamente inviável a sua adaptação. Dessa forma, o edifício inteligente e sustentável deve estar integrado ao meio ambiente. Deve-se procurar maximizar a utilização e a eficiência no projeto, enquanto se procura reduzir os efeitos negativos causados ao meio ambiente durante a construção e durante seu funcionamento. Um projeto sustentável é multidisciplinar, pois deve antecipar os possíveis efeitos sobre o ecossistema e prever qual a melhor solução para eliminar, minimizar ou compensar a degradação causada.

Miotto (2013) também afirma a importância do projetista, pois é na etapa de projeto que existe a maior possibilidade de incorporação de princípios para construções sustentáveis. É nesse momento que se determinam as características da edificação, além de atenuar os impactos decorrentes da construção e operação do edifício, e aos requisitos de conforto, a edificação deve ser durável e flexível, para que possa se adaptar a diferentes condições de uso ao longo da sua vida útil.

Este autor cita ainda um ponto em comum entre as diversas definições de construções sustentáveis: o projeto de qualidade. Isso remete ao desempenho das edificações ao longo de sua vida útil, portanto relaciona-se com a ANBT NBR 15.575:2003, que instituiu o desempenho mínimo de toda edificação habitacional.

Todos os conceitos de construção sustentável envolvem o uso racional de recursos naturais, o ciclo de vida dos materiais, o desenvolvimento de matéria-prima e energias renováveis e a redução de consumo de material e energia. Para um projeto sustentável é necessário considerar áreas de risco, implantação do projeto no terreno, a influência das construções vizinhas, radiação solar, amplitude térmica, umidade do ar, direção dos ventos e geometria da edificação (NAKAMURA, 2006).

A sustentabilidade não deve ser tratada como uma série de ações pontuais, mas como um conceito complexo, percorrendo desde o projeto da edificação até a ocupação, envolvendo tecnologia e planejamento. Para ser considerado sustentável, um projeto deve incorporar estratégias de gestão com estudos de impacto ambiental, eficiência no consumo de energia, de água e materiais, gestão de resíduos e qualidade no ambiente interno (NAKAMURA, 2006).

Quando se trata dos materiais utilizados na edificação, deve-se levar em conta, primeiramente, a redução de seu consumo, visando atenuar os impactos decorrentes da extração na fonte e da sua fabricação. Deve-se considerar também a sua durabilidade, a possibilidade de reutilização, e por último, a reciclagem.

Em busca da melhoria das edificações e da sustentabilidade no Planeta, estudos estão sendo realizados visando os impactos ambientais causados pelo consumo e produção de materiais utilizados na construção civil, sua durabilidade e também seu desempenho. Está em pauta, frequentemente, a procura por novos materiais construtivos, que apresentem alta eficiência e que não gerem danos ambientais (ARANTES, 2013).

O mesmo autor, ainda trata que as avaliações pós-ocupação são realizadas a fim de adaptar e propor mudanças nas construções já existentes, visando à melhoria da interação entre os ambientes construídos e seus usuários. Essas avaliações se dão, além da satisfação dos usuários, por medições realizadas *in loco*, de temperatura, iluminação e ruídos, ou através de simulações computacionais a partir de dados do imóvel a ser estudado.

Para atender os aspectos ligados à questão ambiental e incorporar referenciais sustentáveis, Pinto (2009) ressalta que o edifício deve estar em perfeita sintonia com o meio ambiente natural ao qual está inserido, causar o menor impacto ambiental possível e preservar os recursos naturais. A edificação deve se relacionar com os aspectos naturais da região, como clima, materiais e recursos naturais, reduzindo gastos com transporte. E ainda, pensando na igualdade social, deve-se preservar a cultura, tradições e desenvolvimento locais.

Motta e Aguilar (2009) tratam o atual modelo de desenvolvimento como um crescente consumo de recursos naturais, com conseqüente degradação e poluição ambiental, levando a limitações de quantidades de recursos naturais, mudanças ambientais e climáticas, mostrando a sua insustentabilidade. Para minimizar o problema, esses autores defendem a busca de soluções de maior eficiência do uso de recursos naturais, de menor impacto ambiental e de justiça social, buscando a manutenção ou melhoria na qualidade de vida.

No Brasil, segundo Agopyan e John (2011), o conceito de sustentabilidade chegou com certo atraso. No ano de 2000, em um encontro que pode ser

considerado um marco inicial da preocupação sobre construção sustentável no país, o *CIB Symposium on Construction and Environment – theory into practice* (Simpósio do CIB sobre Construção e Meio Ambiente – da teoria para a prática), que aconteceu na Universidade de São Paulo, foi apresentada a proposta para a sustentabilidade da construção no Brasil, que é uma agenda brasileira, que incluiu os itens:

- Redução das perdas de materiais na construção;
- Aumento da reciclagem de resíduos como materiais de construção;
- Eficiência energética nas edificações;
- Conservação de água;
- Melhoria da qualidade do ar interno;
- Durabilidade e manutenção;
- Redução do déficit de habitações, infraestrutura e saneamento;
- Melhoria da qualidade do processo construtivo.

Esta agenda também é confirmada por Felix (2008) e é considerada como uma proposta de construção sustentável para a indústria da construção civil brasileira, pois leva em conta as particularidades do país e necessidades ambientais, funcionais, sociais e econômicas.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e a Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA) apontam algumas práticas para sustentabilidade na construção:

- Aproveitamento de condições naturais locais;
- Utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural;
- Implantação e análise do entorno;
- Não provocar ou reduzir impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem-estar;
- Qualidade ambiental interna e externa;
- Gestão sustentável da implantação da obra;
- Adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Uso de matérias-primas que contribuam com a ecoeficiência do processo;
- Redução do consumo energético;
- Redução do consumo de água;

- Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
- Introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- Educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

Além disso, Miotto (2013) destaca os benefícios da construção sustentável para o proprietário e o construtor, pois este tipo de construção oferece um rápido retorno sobre o investimento; um ambiente interno saudável; materiais, instalações e sistemas duráveis; menores custos para utilização da construção do ponto de vista do consumo de água e energia; e o alto valor de revenda.

Agopyan e John (2011) ressaltam ainda que a economia de energia é importante em qualquer estratégia de desenvolvimento sustentável, pois traz benefícios ambientais, como proteção de biomas afetados pelas hidrelétricas; benefícios econômicos, visto o alto custo para a geração da energia e o custo da energia para as empresas e famílias; e benefícios sociais, pois a construção de sistemas de geração e distribuição impactam muitas comunidades.

Enfim, segundo Felix (2008), as edificações sustentáveis são o resultado da eficiência na utilização de recursos unido à preocupação ambiental e com o bem-estar humano e o sucesso financeiro. Essas edificações usam os materiais, a energia, a água e o solo mais eficientemente, proporcionam ambientes mais saudáveis, com maior quantidade de luz natural, melhor qualidade de ar interno, proporcionando ganho de saúde, conforto e produtividade dos usuários.

Os edifícios sustentáveis resultam em economia significativa, seja por ganho na produtividade dos usuários, seja pela redução de custos com saúde e segurança ou pela redução de custos com energia, água, manutenção e operação da edificação (FELIX, 2008).

2.1.1. Impactos ambientais da construção civil

A atividade humana no Planeta, desde a extração da matéria-prima até a deposição dos resíduos, tem resultado em um aumento da concentração de gases na atmosfera, causado pela destruição de matas nativas, mudança do uso do solo e queima de combustíveis. Essa interferência humana sobre o meio ambiente pode

ser percebida pelas alterações climáticas, que trazem consequências econômicas, ambientais e sociais que afetam a todos. Espera-se, com isso, que o clima fique mais instável, com maior frequência de eventos extremos, como chuvas excessivas, enchentes, alagamentos e secas prolongadas, que conseqüentemente, afetarão o suprimento de água e a geração de energia hidroelétrica (AGOPYAN; JOHN, 2011; MIOTTO, 2013).

Presznhuk (2005) afirma que a construção civil é o setor da economia que mais consome matérias-primas naturais. A quantidade de recursos e energia utilizados para que se produzam os materiais empregados nas obras e as quantidades de resíduos resultantes desse processo comprometem a qualidade do meio ambiente. Portanto, este setor pode ser considerado como um grande causador de impactos ambientais.

Estes impactos estão presentes desde a extração de matérias-primas, produção e transporte de materiais e componentes, no alto consumo de energia durante e após a execução das obras, no uso e manutenção, na grande geração de resíduos, na utilização de materiais não-renováveis, e por fim na demolição ao final da vida útil. É necessário que sejam tomadas atitudes para atenuar os impactos, que devem considerar desde a extração dos recursos naturais, os processos de fabricação, transporte e aplicação na obra e o uso durante a vida útil do imóvel (PRESZNHUK, 2005; AGOPYAN; JOHN, 2011).

A produção de materiais de construção, segundo Agopyan e John (2011), emite grande quantidade de gases do efeito estufa, pelo uso de combustível fóssil na fabricação e transporte dos materiais, a calcinação de materiais durante a sua produção e a extração da madeira para combustível. Diversos materiais passam pelo processo de calcinação, como o cimento, aço, cerâmicas, vidro e alumínio. Tanto os materiais liberam gases, quanto a energia produzida de fontes não-renováveis e combustíveis fósseis.

Roaf, Fuentes e Thomas (2006) reforçam que a escolha dos materiais de construção afeta no impacto ambiental de uma edificação. Todos os materiais são processados de alguma maneira antes de serem incorporados à edificação, alguns mais, outros menos, e requerem, inevitavelmente, o uso de energia e resultam na geração de resíduos.

Roaf, Fuentes e Thomas (2006) ressaltam que a medida mais importante do impacto ambiental pode ser a “energia incorporada”, pois descreve a quantidade de energia utilizada para produzir um objeto. Energia incorporada é uma importante medida porque o uso de fontes de energia não-renováveis é a principal razão para a degradação ambiental. Quanto maior o número de processos um material ou conjunto passa, maior será sua energia incorporada e o número de resíduos associados. Portanto, devem-se buscar materiais e componentes mais próximos possível de seus estados naturais.

A energia é mensurada como fornecida ou primária. Energia fornecida se refere à quantidade que realmente foi utilizada em uma edificação, por exemplo, a quantidade de eletricidade usada e registrada em uma conta de energia elétrica. A energia primária se refere à quantidade de energia usada para produzir uma quantidade de energia fornecida, por exemplo, para produzir a eletricidade e seu processo de transporte (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006).

Agopyan e John (2011) destacam também o impacto gerado durante o uso das edificações, incluindo as emissões diretas (queima de combustíveis para condicionamento de ar e aquecimento de água) e indiretas (emissões associadas à eletricidade, produzidas por terceiros).

Para Roaf, Fuentes e Thomas (2006), as edificações são a principal fonte de emissão de CO₂, pois atingem 50% das emissões feitas pelo homem. Portanto, como o clima e o tempo atuam sobre as edificações e não podem ser controlados, as edificações devem ser projetadas para um clima, um ambiente social e físico e projetadas para o tempo, levando em consideração a vida útil da edificação.

Para Agopyan e John (2011), durante a execução, agravado pelas perdas, o uso e, principalmente, ao final da vida útil da edificação os materiais serão descartados e voltarão ao ambiente. E todos os materiais relacionam-se com impactos ambientais e cada um exerce diferentes impactos, intensificados por grande parte dos resíduos serem depositados ilegalmente, exacerbando os problemas ambientais.

Para alcançar a sustentabilidade os produtos precisam durar, o que influencia na quantidade de tempo da vida útil e de recursos para a manutenção da edificação. A degradação dos materiais é inevitável, mas a velocidade com que eles se

degradam depende de inúmeros fatores que podem ser, na maioria das vezes, controlados. É possível aumentar a vida útil das construções selecionando materiais mais resistentes ou tomando medidas de projeto que protejam os materiais (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Por fim, Agopyan e John (2011) tratam do impacto social da construção civil, considerando que os recursos humanos são, certamente, o maior desafio da sustentabilidade social. A informalidade, alimentada pela falta de qualificação profissional, baixos salários, baixa produtividade e falta de segurança no trabalho, inclui o não cumprimento das obrigações sociais, a sonegação de impostos, o desrespeito à legislação ambiental, tanto no empreendimento quanto na fabricação de materiais, e trazem como consequência, o desrespeito aos padrões de qualidade e baixa durabilidade. Além disso, a informalidade cria uma competição desigual entre as empresas, destrói a capacidade do Estado de gerir a sociedade, reduz a capacidade de investimento em infraestrutura coletiva, agravando as desigualdades sociais.

2.2. ENERGIA ELÉTRICA

No Brasil, a partir de 1930, aumentou o ritmo de implantação de hidroelétricas nas principais bacias hidrográficas. De 1945 a 1964 também aumentou a exploração de jazidas de carvão, porém esse recurso se mostrou um produto de qualidade inferior para a geração de energia, com produção reduzida e cara. Na década de 50 foram propostas metas para desenvolver o programa nuclear brasileiro; a partir de 1970 começou-se a construir as usinas nucleares, mas foi desestimulado pelo risco que o material radioativo apresenta e o acidente de Chernobyl (ROSA, 2007).

Então, foram priorizados os recursos hídricos, opção essa, reforçada nos governos de Getúlio Vargas, Juscelino Kubitschek e durante o regime militar, com a construção de grandes usinas hidrelétricas, como Itaipu e Tucuruí (ROSA, 2007). Portanto, devido às características geográficas e o histórico de investimento do governo, as usinas hidrelétricas constituem-se prioritariamente na fonte geradora de energia no Brasil atualmente.

A matriz energética baseada em hidrelétricas deixou o Brasil em situação de tranquilidade até a crise energética, o “apagão”, que ocorreu em 2001 e alertou para a ineficiência do sistema energético. A insuficiência no atendimento da demanda deixou clara a necessidade de expansão do potencial elétrico instalado nacionalmente e assim, assuntos sobre conservação e uso racional de energia tomaram maiores proporções em nosso país (ROSA, 2007).

O Brasil apresenta uma matriz energética dependente principalmente da energia de fontes hidrelétricas. Apesar de ser uma fonte limpa e renovável, as hidrelétricas geram grandes impactos ambientais e sociais. Toda a geração de energia implica em impacto ambiental (AGOPYAN; JOHN, 2011). Além disso, as hidrelétricas têm alto custo, perdem energia nas linhas de transmissão e ficam susceptíveis à escassez de chuvas.

Mais de 80% da energia mundial é produzida a partir de fontes de combustíveis fósseis, gerando poluentes. Cerca de 6% é gerada por fissão nuclear, responsável pela geração de resíduos nucleares, além do risco de manutenção e vazamentos (AGOPYAN; JOHN, 2011). A busca pela diversificação da matriz elétrica remete à viabilização de tecnologias renováveis.

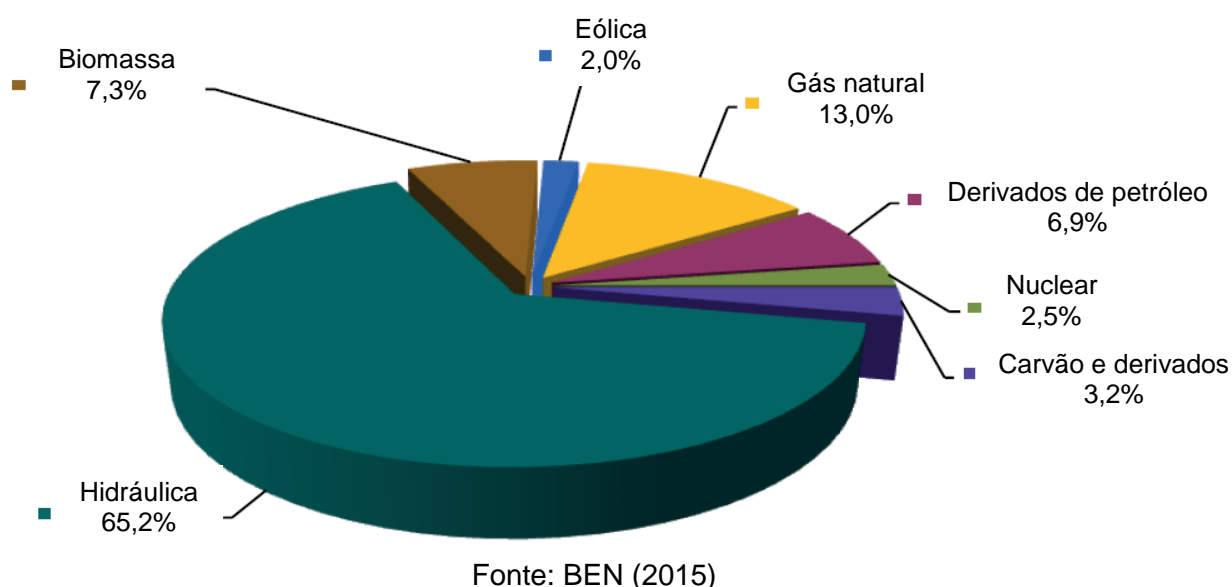
Independentemente dos impactos sociais e ambientais gerados pelas hidrelétricas, elas são consideradas fontes de energia limpa e renovável, colocando o Brasil em posição de destaque nas energias renováveis. O Balanço Energético Nacional (EPE, 2015) aponta que as fontes renováveis representam 74,6% da oferta interna de eletricidade no Brasil. Enquanto que, segundo Pinto (2009), a média mundial de fontes renováveis corresponde a apenas 18,3%.

A capacidade instalada no Brasil, em 2015, chegou a 140.587 Megawatts provenientes de usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e centrais geradoras hidrelétricas. Os dados constam no Relatório de Acompanhamento da Implantação de Empreendimentos de Geração que apresenta a atualização no Brasil durante o ano de 2015 (ANEEL, 2016).

O Balanço Energético Nacional (BEN) de 2015, referente ao ano de 2014, confirmou que a principal fonte de geração é a hidráulica, equivalendo a 65,2%, porém apresentou uma redução de 4,5% com relação ao ano anterior. Enquanto que o consumo no setor residencial apresentou crescimento de 5,7% em 2014, com

relação a 2013 (EPE, 2015). A Figura 1 representa a estrutura da oferta interna de eletricidade por fonte no Brasil em 2014.

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil em 2014.



Simioni (2006) e Rosa (2007) tratam das principais características relacionadas às vantagens, desvantagens e impactos ambientais causados pela fonte de energia de origem hidrelétrica.

Os impactos ambientais são representados pela perda de área de terra e de biodiversidade; alteração do microclima; alteração da fauna e da flora; perturbação de ecossistemas aquáticos; alterações no regime e na qualidade da água; e o risco de rompimento de barragens.

Apresenta como vantagens o fato de se tratar de fonte de energia renovável e confiável, de longa vida útil. A fonte geradora (água) possui custo baixo; pode ser utilizada para múltiplos usos, como abastecimento de água, navegabilidade, irrigação, turismo, lazer, pesca e outros; e o custo final da energia, com custos de operação e manutenção, ainda é atrativo.

Por outro lado, as desvantagens são a expulsão de populações e perda do equilíbrio socioeconômico local, principalmente devido a estratégias e projetos de reassentamento inadequados; necessidade de grandes volumes de capital; retorno

do investimento em longo prazo; extenso cronograma de implantação; a obtenção de financiamentos, devido aos impactos ambientais negativos, está cada vez mais complexa e com taxas mais elevadas; dependendo da área do reservatório e das condições climáticas, pode apresentar grande perda por evaporação; além do alto custo e perda na transmissão da energia.

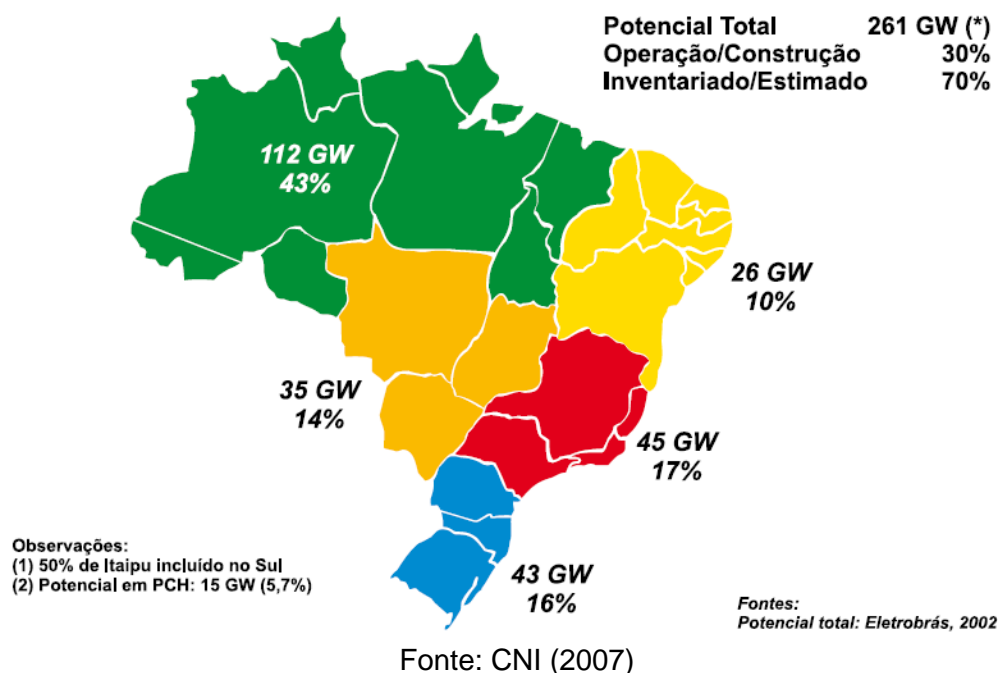
Apesar de a hidroeletricidade ser um recurso renovável, abundante e competitivo, ela enfrenta uma forte oposição por parte de grupos internacionais. Isto resultou, por exemplo, na paralisação de financiamentos do Banco Mundial para hidrelétricas por mais de uma década e na quase impossibilidade de se obter créditos de carbono no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Quioto, para projetos hidrelétricos de maior porte (CNI, 2007).

Ainda existem as dificuldades para licenciamento ambiental que levaram à virtual paralisação dos investimentos em produção de energia hídrica, pois não são definidas responsabilidades claras para compensação ambiental e que, às vezes, não têm relação com o meio ambiente (como construção de escolas e postos de saúde). Essa indefinição tem levado a incertezas quanto aos custos da energia (CNI, 2007).

Além disso, a produção de energia de fontes hídricas não alcança todo o imenso território. O potencial hidrelétrico do Brasil é de aproximadamente 260 mil MW de potência, dos quais 180 mil MW ainda podem ser aproveitados (CNI, 2007).

Entretanto, a Figura 2 demonstra o potencial hidrelétrico do Brasil e mostra claramente que o maior potencial hidrelétrico brasileiro remanescente se encontra na Região Norte, longe dos centros consumidores, o que acarretaria em longas distâncias para transporte e geraria muita perda. Isso inviabiliza o aproveitamento desses recursos, pois geraria custos financeiros e ambientais altíssimos.

Figura 2 – Potencial Hidroelétrico do Brasil



As usinas hidrelétricas não podem gerar em sua capacidade máxima de modo permanente ou sustentável. O motivo é que sua produção depende das vazões dos rios, que variam. Dessa forma, a produção de energia em um ano seco será inferior a de um ano com regularidade de índices pluviométricos. Então, uma usina hidrelétrica capaz de atender o consumo máximo pode não conseguir atender o consumo médio. E tem ainda as mudanças climáticas globais, que mudaram os regimes das chuvas, que têm influência direta nas vazões e afetam a produção hidrelétrica (CNI, 2007).

No Brasil, a tecnologia para a produção de energia elétrica é dominada há décadas, por isso era de se esperar que as tarifas fossem relativamente estáveis. Previa-se aumento nas tarifas dos competidores industriais em âmbito mundial, por haver componente de gás natural e óleo na produção de eletricidade nos países. Entretanto, as tarifas no Brasil cresceram acima dos índices da inflação. Os motivos principais são: os encargos, as tarifas de transporte nas distribuidoras e o custo de nova capacidade de geração (CNI, 2007).

2.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é um dos pontos críticos do desenvolvimento sustentável e tem como propósito a redução no consumo de energia pelo aumento da eficiência dos equipamentos e edificações. Rodrigues (2010) trata a eficiência energética como uma forma de não frear o desenvolvimento, mas diminuir o consumo de energia elétrica.

Pinto (2009) define que a eficiência energética consiste na correta utilização dos equipamentos para obter o máximo rendimento da energia utilizada. O estudo de eficiência energética nas edificações é importante para propiciar uma economia efetiva, que além de reduzir o consumo, reduz a demanda do sistema elétrico e os riscos de racionamento, de aumento de preço e o aquecimento global.

A eficiência energética de uma edificação está ligada a variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas. Utilizando-se dessas variáveis pode-se propiciar ao usuário um ambiente com condições de conforto satisfatórias, integrando soluções de sistemas artificiais mais eficientes e, principalmente, sistemas naturais e a integração entre os dois (PRESZNHUK, 2005).

Segundo Pinto (2009), o edifício deve aproveitar ao máximo a energia ambiental disponível, como a iluminação e ventilação naturais, minimizando futuros gastos energéticos. Isso se dá mediante adequações no projeto, geometria e orientação, além de medidas implantadas na fase de construção, como a integração de iluminação artificial com a luz natural, utilização de sistemas de controle, sensores de presença, temporizadores, sistemas de climatização natural e o uso de equipamento mecânico somente quando for realmente necessário. A arquitetura bioclimática, ou de alta eficiência energética, contribui para esta finalidade.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) surgiu no Brasil em 1985. É um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobrás, para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. As ações do Procel contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e, além disso, postergam os

investimentos no setor elétrico, mitigando, assim, os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável (PROCEL, 2015).

Assim, o Procel promove ações de eficiência energética em diversos segmentos da economia, que ajudam o país a economizar energia elétrica e que geram benefícios para toda a sociedade. Atua nas áreas de: equipamentos, edificações, iluminação pública, poder público, indústria e comércio e educação.

2.4. CLIMA E CONFORTO

Para Manzano-Agugliaro et al. (2015), o conforto climático é um fator muito importante na melhoria do bem-estar das pessoas. Além da aplicação em residências, também é importante tornar confortável o local de trabalho, como um forte condutor do aumento da produtividade em edifícios industriais, institucionais, educacionais e para fins hospitalares, evitando o uso de dispositivos adicionais que consomem energia e comprometem a sustentabilidade. E ainda está fortemente relacionado com a satisfação e produtividade de seus ocupantes.

O clima é o resultado dinâmico de fatores globais (radiação solar, latitude e altitude), locais (revestimento de solo, topografia) e elementos (temperatura, umidade, velocidade dos ventos). Adequar o ambiente construído ao clima local significa produzir espaços com melhores condições de conforto, além de permitir aspectos culturais, sociais e ambientais (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

A latitude é a distância, contada em graus, a partir da linha do Equador, no sentido norte e sul. Possui influência na quantidade de insolação que um local recebe. A radiação diminui com o aumento da latitude. Por sua vez, a altitude é a elevação de um ponto acima do nível do mar, influenciando diretamente na temperatura do ar, pois conforme aumenta a altura, diminui a temperatura do ar (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Um relevo acidentado pode atuar como barreira à ventilação, modificando também as condições de temperatura e umidade do ar, indicando a influência da topografia do local. Além disso, os revestimentos de solo, como cobertura vegetal,

revestimentos artificiais de solo ou massas d'água, apresentam implicações climáticas locais (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

O entendimento dos fatores externos que condicionam uma edificação é importante para a concepção do projeto. Os espaços devem amenizar a sensação de desconforto impostas pelas condições climáticas externas e proporcionar ambientes favoráveis. As altas temperaturas urbanas têm grande influência no consumo de energia elétrica para condicionamento das edificações (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Cabe, à arquitetura, considerar no projeto, entre outros aspectos, minimizar as condições climáticas desfavoráveis e maximizar as favoráveis, dando maior satisfação aos usuários com base nos princípios de condicionamento natural (HERTZ, 1998).

O clima deve ser o principal motivo para definir a forma da edificação. Diferentes formas podem se relacionar a algumas das muitas funções climáticas de uma edificação. Em climas quentes a edificação deve dissipar o calor, as edificações devem se expandir mais, terem grandes proporções entre área de superfície e volume e as paredes voltadas para o sol protegidas da radiação solar direta. Ao contrário, para o clima frio, as edificações devem reter o calor, serem mais compactas e permitir a radiação solar (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006).

Arantes (2013) destaca que sustentabilidade não é sinônimo de conforto ambiental. Embora muitos aspectos e estratégias sejam semelhantes entre os dois, para a arquitetura sustentável outros fatores devem ser considerados, como o econômico, o social e o cultural.

Sendo assim, a arquitetura de baixo impacto ambiental não se trata de um movimento arquitetônico. Entretanto, no Brasil, o debate sobre sustentabilidade na construção é um tema recente. Diferentemente do que acontece em outros países, o governo não assumiu a liderança na promoção do conceito (ARANTES, 2013).

Barbirato, Souza e Torres (2007) afirmam que predominam soluções padronizadas e a postura de ignorar as especificidades climáticas locais, acarretando graves consequências ao meio ambiente e humanas, evidenciando o não comprometimento com as características locais. A concepção do edifício se dá

de forma isolada em detrimento do contexto, através de modelos e tipologias importados, decorrente do processo de internacionalização das práticas construtivas. Por sua vez, o avanço tecnológico tem levado o projetista a uma posição cômoda, abusando da aplicação de sistemas de iluminação e climatização artificiais, tentando, dessa forma, corrigir o desconforto causado aos usuários.

Estes autores ainda afirmam que a arquitetura deve priorizar o bem-estar dos moradores, o uso dos recursos naturais, a economia energética e a responsabilidade ambiental. Essa postura deve se estender ao conjunto da população da cidade.

Corbella e Corner (2011) esclarecem que não se pode tratar de arquitetura bioclimática sem tratar de clima. É necessário ter em mãos dados meteorológicos locais, como:

- Temperatura do ar: é a temperatura de bulbo seco do ar, medida com termômetro comum. Varia do dia para a noite, conforme as estações, com a latitude, quantidade de nuvens e vento. Caviglione et al. (2000) complementam que quando a radiação solar atinge a superfície da terra, uma parcela dessa energia é destinada para o aquecimento do ar que nos envolve. A temperatura do ar pode ser definida em termos de movimento das moléculas de ar ou em termos relativos, com base no grau de calor que o ar contém. Além dos termômetros, utilizam-se sensores de pares termoelétricos e termistores, conectados a estações automáticas que transmitem os valores diretamente em formato digital.
- Umidade do ar: Caviglione et al. (2000) definem que a umidade relativa expressa o conteúdo de vapor d'água existente na atmosfera. É a relação entre o teor de vapor d'água contido no ar num dado momento e o teor máximo que esse ar poderia conter, à temperatura ambiente. Este valor pode mudar pela adição ou remoção de umidade do ar ou pela mudança de temperatura. A presença de vapor d'água na atmosfera contribui também para diminuir a amplitude térmica (diferença entre a temperatura máxima e a mínima).
- Vento: é o deslocamento de massas de ar devido à diferença de pressões na atmosfera. Varia em frequência, direção e velocidade.

- Radiação solar: é a energia provinda do sol que atinge a Terra. Varia em função da latitude, época do ano, hora do dia, nebulosidade e poluição do ar.
- Nebulosidade: é a porcentagem de céu encoberta por nuvens. Influencia a radiação solar e na luminosidade.

2.4.1. Conforto térmico

A sensação de conforto térmico é dada quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, e sua capacidade de trabalho é máxima. As sensações de frio ou calor se dão porque o organismo está perdendo mais ou menos calor que o necessário, que exige um esforço extra, apresentando perda de rendimento para o trabalho ou até problemas de saúde (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Para Corbella e Corner (2011), uma pessoa está confortável com relação a um ambiente quando pode percebê-lo sem incômodo, com uma sensação neutra. Manzano-Agugliaro et al. (2015) expõem que o conforto térmico para o homem pode ser definido como uma condição mental que manifesta a sua satisfação com o ambiente térmico. É a condição térmica ótima em que é exigido o menor esforço extra para manter a equilíbrio térmico do corpo humano.

Considera-se que o corpo humano está em conforto térmico quando a taxa de produção de calor é igual à taxa de perda. Há, no entanto vários fatores que influenciam o modo como o corpo humano gera calor, como a atividade física e mental e o metabolismo mais, ou menos, rápido. E há fatores que influenciam a forma como se perde calor, como: o isolamento corporal natural, as roupas, a temperatura, a umidade e a velocidade do ar (LANHAM; GAMA; BRAZ, 2004).

Difícilmente uma pessoa nota o clima quando ele é agradável, porém quanto mais desvia do padrão de conforto, mais ele é notado, podendo até gerar alterações funcionais no corpo. O superaquecimento gera cansaço, sonolência e redução do desempenho físico. O super-resfriamento diminui a concentração. Portanto o conforto é essencial para o bem-estar e desempenho com eficiência (ARANTES, 2013).

Bagnati (2013) relata que embora existam diversos climas na superfície terrestre, o homem é biologicamente semelhante em todo o mundo, ele se adapta as diferentes condições climáticas através de mecanismos culturais, como a vestimenta, a arquitetura, a vegetação, entre outros.

Manzano-Agugliaro et al. (2015) e Corbella e Corner (2011) tratam dos vários fatores que afetam as sensações do corpo humano: ambientais (radiação solar, temperatura do ar, as temperaturas da superfície envolvente, umidade do ar e velocidade do ar) e fatores psicossociais (vestuário, atividades, idade, sexo, adaptação climática e massa corporal e superfície da pele).

O conforto térmico é um dos requisitos básicos para que os ambientes apresentem o melhor nível de habitabilidade, além do conforto aos usuários relaciona-se também o seu desempenho no trabalho e a sua saúde (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Segundo Manzano-Agugliaro et al. (2015), quando está na zona de conforto, a arquitetura não terá de efetuar quaisquer correções térmicas, pois apresenta as condições ideais para o corpo humano. Estando-se fora da zona de conforto, estratégias arquitetônicas devem ser implementadas para alcançá-lo. A zona de conforto é adequada para 70% da população, e representa a área em que o corpo humano, com roupas leves e pouca atividade, não requer gastos energéticos para permanecer confortável. Esta zona está vinculada por valores de temperatura entre 21 e 26 °C e valores de umidade relativa entre 20% e 70%.

2.4.2. Cartas bioclimáticas

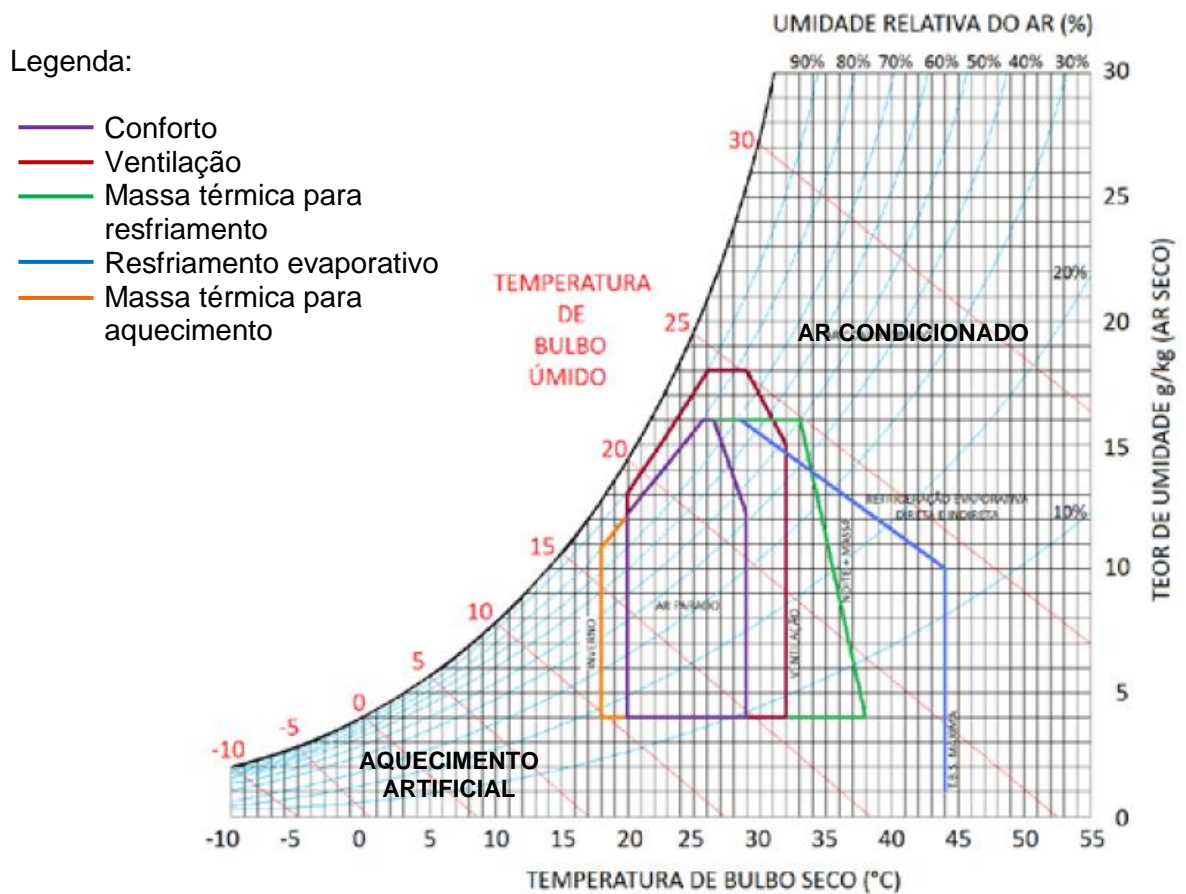
Olgay, em 1963, foi o primeiro a desenvolver um diagrama bioclimático que definia as faixas de conforto para verão e inverno em condições de ar estagnado. A zona de conforto é definida como a faixa de condições climáticas em que a maioria das pessoas se sente em conforto térmico. As temperaturas abaixo do limite inferior da faixa de conforto são denominadas subaquecidas, e acima, sobaquecidas. O diagrama também define que a faixa de conforto no verão, com temperaturas e umidades maiores, pode ser estendida com o aumento do vento (GIVONI, 1992).

Esse diagrama é aplicável a condições externas, entretanto, para Olgyay as temperaturas interiores são próximas das exteriores, então esses diagramas poderiam ser utilizados para definir se a ventilação era ou não recomendável. No entanto, em 1974, Givoni concluiu que isso só acontecia em edifícios leves de regiões úmidas, pois em edifícios de alta massa em regiões quentes e áridas, as condições internas e externas podem ser muito diferentes. Então, sugeriu que a melhor opção seria a ventilação noturna e não a diurna como sugerido por Olgyay (GIVONI, 1992).

Para tratar esses problemas associados aos diagramas de Olgyay, em 1976 Givoni desenvolveu o diagrama bioclimático do edifício. Para isso Givoni (1992) sugeriu os diagramas bioclimáticos com a finalidade de facilitar a análise das características climáticas, apresentando no diagrama psicrométrico a combinação de temperatura e umidade em qualquer momento. Eles podem também especificar estratégias de projeto para maximizar as condições de conforto quando o interior do edifício não é condicionado mecanicamente, especialmente para climas quentes.

Givoni (1992) propõe um diagrama bioclimático com as diferentes estratégias de projeto para abordagens passivas para países quentes em desenvolvimento, apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Diferentes estratégias e contornos para aquecimento solar passivo e refrigeração natural países quentes em desenvolvimento



Fonte: Schmid (2015)

Dessa forma, pode-se verificar que a sensação de conforto térmico é obtida com a temperatura entre 20 e 29° C e umidade relativa entre 10 e 80%. E até 32° C e umidade de 90% se considerar a ventilação cruzada. A zona definida como ar condicionado deve utilizar o resfriamento artificial, pois as estratégias passivas demarcadas no diagrama não proporcionam as condições desejadas de conforto. Da mesma forma para o aquecimento artificial.

2.4.3. Variáveis do conforto térmico

Para Frota e Schiffer (2003), uma série de variáveis influencia no conforto térmico. Para avaliar essas variáveis o indivíduo precisa estar vestido de forma

apropriada, sem problemas de saúde ou aclimatação e depende da atividade desenvolvida.

As variáveis climáticas são: velocidade do ar, umidade relativa, temperatura do ar. E as exigências humanas: as condições de conforto térmico são em função da atividade desenvolvida pelo indivíduo, da sua vestimenta e das variáveis do ambiente que proporcionam trocas de calor com o corpo e o ambiente. Além disso, devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biotipo, hábitos alimentares, entre outras, para resultarem em índices de conforto térmico que procuram englobar, num parâmetro, o efeito conjunto dessas variáveis. Em geral esses índices são desenvolvidos fixando-se um tipo de atividade e a vestimenta utilizada pelo indivíduo para relacionar as variáveis do ambiente e reunir as diversas condições ambientais que proporcionam respostas por parte dos indivíduos (FROTA; SCHIFFER, 2003).

2.4.4. Conforto no ambiente escolar

Nogueira, Durante e Nogueira (2005) destacam em seu estudo a pouca importância dada ao desempenho térmico de escolas públicas e as consequências do não atendimento às condições mínimas que comprometem o ensino/aprendizagem, além de provocar um aumento excessivo no consumo de energia elétrica. Estes autores levantam a questão dessas edificações serem projetos padronizados, que não levam em consideração a orientação e as características locais e do clima. Como resultado desse estudo, por meio de medições da temperatura nas salas e entrevistas com alunos, confirmaram a diminuição do interesse em sala de aula conforme aumentava o desconforto. E por isso salientam a necessidade de uma arquitetura escolar que atenda às necessidades de conforto térmico, favorecendo o aprendizado.

Batiz et al. (2009) verificaram a relação entre o conforto térmico na sala de aula universitária e o rendimento da atenção e da memória dos estudantes. Concluíram que, com valores próximos do valor neutro (conforto), a atenção e a memória permanecem inalteradas, e os alunos apresentam bom desempenho. O estudo foi realizado em etapas: primeiro aplicaram um questionário com as

características físicas dos entrevistados; em seguida com a percepção, estimativa e preferência térmica. Na sequência mediram temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa e temperatura do globo. Por fim, avaliaram a atenção e a memória dos entrevistados com a aplicação do teste de figuras, no de atenção representavam a figura apresentada e no de memória a figura era retirada e a representavam novamente.

Já Rodrigues (2010), em sua pesquisa, aplica o Regulamento Técnico de Eficiência Energética (RTQ-C) aos prédios já construídos e em uso da rede de ensino do estado do Paraná. Seu objetivo é verificar os níveis de eficiência energética da envoltória das edificações, pretendendo mostrar a real condição dessas edificações. O levantamento de consumo de água e energia serve como parâmetro para os níveis de eficiência energética e a situação das edificações. O autor concluiu que escolas com coberturas de fibrocimento e metálicas sem forro obtiveram os níveis mais baixos de eficiência energética. Com relação à vedação, os índices mais baixos foram para construções com blocos cerâmicos aparentes e as que eram pintadas com cores claras atingiram patamares aceitáveis pelo RTQ-C.

Rodrigues (2010) utilizou o método prescritivo e não realizou as simulações devido ao tamanho da amostra (23 escolas), das áreas das edificações e sua complexidade, apesar da obrigatoriedade da apresentação das simulações para os ambientes de permanência prolongada, para comprovar as horas de conforto.

Com isso, conclui-se a necessidade e a importância do conforto ambiental em edificações escolares, tanto para melhoria da qualidade no processo de ensino/aprendizagem, quanto para a economia de energia.

2.5. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

A expressão “arquitetura bioclimática” surgiu na década de 1960, a partir das pesquisas de Victor Olgyay e consiste na relação harmoniosa e adequada entre o ambiente construído, clima e trocas de energia, tendo como objetivo o conforto ambiental humano (OLGYAY, 2002; BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007; AGOPYAN; JOHN, 2011).

Considerando a estreita relação da arquitetura com as cidades, a arquitetura bioclimática deve ter início no urbanismo, por meio do planejamento urbano, incluindo o traçado de ruas com orientações solares intencionais e localização de espaços livres para jardins. É necessário criar configurações que privilegiam o conforto em espaços públicos que irão ser facilitadas não só por elementos arquitetônicos, mas também elementos de vegetação (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

Maragno (2002), Olgyay (2002), Serrador (2008), Corbella e Corner (2011) e Bagnati (2013) definem a arquitetura bioclimática como aquela que se baseia na aplicação correta dos elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas em relação às características climáticas, adequando a construção ao clima, visando à melhoria do conforto ambiental dos usuários e reduzindo o impacto ambiental e o consumo energético.

Para Lanham, Gama e Braz (2004), a arquitetura bioclimática consiste em pensar e projetar um edifício levando em conta tudo o que envolve a edificação, todas as características ambientais do local em que se insere. E para Manzano-Agugliaro et al. (2015), a missão da arquitetura tem sido sempre a proteção do homem do ambiente exterior e, neste caso, a arquitetura bioclimática tenta atingir o conforto térmico humano pela interação energética com o clima exterior. Zhang e Lian (2015) tratam a arquitetura bioclimática como uma conexão do edifício com o local, e acrescentam que ela requer dados climáticos precisos e concretos do local.

Hussein e Jamaludin (2014) incluem no conceito de estratégias bioclimáticas em edifícios a fisiologia do ser humano, além da climatologia e construção física. O princípio por trás de um projeto bioclimático necessita da compreensão do clima e a sua influência, que inclui: radiação solar, luz solar, temperatura, umidade, precipitação, velocidade e direção do vento. O modo passivo se apropria dessas características de forma a otimizar as condições de conforto interno e simultaneamente reduzindo a demanda de energia.

Então, a arquitetura bioclimática é uma maneira de conceber o projeto da edificação de forma que leve em consideração as condições fisiológicas do ser humano, o tipo de atividade desempenhado e dados locais como clima, topografia, recursos disponíveis na natureza, insolação, ventilação e vegetação, procurando

otimizar os recursos naturais e os sistemas da edificação para minimizar os impactos ambientais e reduzir o consumo de energia, trazendo mais conforto e qualidade de vida para seus habitantes.

Manzano-Agugliaro et al. (2015) reúnem as adequações bioclimáticas em basicamente três propostas: a energia, saúde humana/bem-estar e sustentabilidade. Complementam ressaltando que a aplicação dos princípios bioclimáticos é um fator importante na redução das emissões de CO₂ e de consumo de energia no setor da construção.

Frota e Schiffer (2003) consideram a adequação entre arquitetura e clima através de:

- Dados climáticos: temperatura média do ar, temperaturas médias máxima e mínima do ar; umidade relativa média do ar; radiação solar direta; porcentagem média de nebulosidade; direção e velocidade dos ventos; latitude e altitude; e caracterização do clima local.
- Adoção do partido arquitetônico em função das características climáticas: através da forma mais apropriada; orientação e dimensionamento das aberturas; localização dos ambientes no espaço físico; da sombra projetada das edificações; obstruções externas às aberturas; e elementos externos de proteção à radiação solar.
- Determinação dos materiais adequados: inércia; atraso; coeficiente de transmissão térmica de cada material; cor interna e externa.

Corbella e Corner (2011) relacionam a arquitetura bioclimática à arquitetura vernacular, que é aquela que usa materiais disponíveis no local ou região e técnicas de construção tradicionais de uma cultura. Assim os primitivos construtores da arquitetura vernacular não podiam ignorar o clima no projeto de suas construções. Portanto, é necessário que o arquiteto conheça o clima do local e o comportamento dos materiais para construir uma habitação energeticamente eficiente.

Este tipo de arquitetura esteve presente no Brasil durante um longo período, e ainda se encontra expressa nas edificações do início do século XX. Posteriormente, com a disponibilidade de energias abundantes e baratas, em todo o mundo, a

arquitetura foi se distanciando dessa harmonia com o clima (CORBELLA; CORNER, 2011).

Manzano-Agugliaro et al. (2015) também afirmam que, desde a Revolução Industrial, o conforto na arquitetura moderna tem sido relegado para a utilização de dispositivos que consomem energia continuamente. A partir desse período, a interação entre forma e energia foi deixada de lado e ocorreu uma mudança para uma arquitetura indiferente, tendo como base um intenso consumo de energia.

Ainda, no Brasil, segundo Corbella e Corner (2011), as construções influenciadas pela arquitetura internacional não se harmonizavam com o clima, revelando certa despreocupação com o consumo de energia ou com os impactos ambientais. Difundiou-se a ideia de que qualquer projeto arquitetônico poderia ser desenvolvido sem considerar o clima local, resultando em espaços sem conforto interno, com condições piores que as externas, podendo ser habitado somente com o uso intensivo de sistemas artificiais de climatização, ou seja, fortemente dependentes de energia.

Na década de 1980, começou a se perceber o dano ambiental decorrente da produção e uso dos edifícios, e atualmente, depois de observar os efeitos ambientais e de voltar-se à sustentabilidade, os valores da arquitetura vernacular têm sido novamente explorados e continuam em processo de desenvolvimento. Estratégias arquitetônicas vernaculares ajudam a reduzir o consumo de energia e também representam a base para uma melhor adaptação ao clima (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

Os princípios que regem a arquitetura bioclimática podem ser aplicados em qualquer parte do mundo. Manzano-Agugliaro et al. (2015) afirmam que as estratégias bioclimáticas para a minimização do consumo de energia dependem do clima em que o edifício está localizado, e assumem que a mesma estratégia pode funcionar em uma área diferente com um clima exterior semelhante. Portanto, os projetos arquitetônicos devem tentar reduzir o consumo de energia, tanto quanto possível, em função do clima local da construção.

Entretanto, no projeto da arquitetura bioclimática não existe uma regra fixa a ser sempre seguida, ou seja, não existe uma solução pronta. Existem fatores locais que devem ser sempre observados e que fazem com que exista uma variação das

necessidades de cada projeto. É preciso que haja uma preocupação da integração da edificação com o ambiente por meio de um projeto que busque otimizar as relações entre a edificação e a natureza e melhorar as condições de vida.

Com o conhecimento e as técnicas da arquitetura bioclimática é possível realizar um projeto em que o edifício seja agradável tanto no verão quanto no inverno, pois não ganha e nem perde calor desnecessariamente; seja iluminado e ventilado naturalmente, evitando ao máximo os sistemas artificiais, promovendo a racionalização do consumo de energia, trazendo temperaturas e qualidade do ar agradáveis e saudáveis; e ainda contribuindo com a preservação do meio ambiente, evitando o consumo desnecessário de energia.

O processo de condicionamento natural é possível através de técnicas seletivas ou conservativas de energia natural, que podem tornar os ambientes mais frescos nas épocas mais quentes e mais agradáveis nos dias frios. Sabe-se que a refrigeração e a calefação são soluções bastante eficazes, porém são dispendiosas e podem tornar o ambiente insalubre. Para isso é fundamental conhecer o clima do local onde se está projetando, tornando os ambientes internos confortáveis e favoráveis, amenizando as condições externas (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007). Pietrobon, Lamberts e Pereira (2001) destacam o atendimento às questões de salubridade com a ventilação natural, para permitir oxigênio para respiração, redução da concentração de gás carbônico, remoção de odores e prevenção de concentração de bactérias.

O conhecimento sobre arquitetura bioclimática deve permear todas as sociedades, levando assim à minimização da utilização de dispositivos que consomem energia elétrica, como de arrefecimento ou de aquecimento. Para esse fim, sociedades devem tornar-se mais conscientes dos impactos ambientais do consumo de energia e as repercussões para as alterações climáticas e assim, continuar a introduzir políticas de redução de consumo de energia (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

Frota e Schiffer (2003) observam que adequar a arquitetura ao clima local significa construir espaços que possibilitem ao homem condições de conforto. Cabe à arquitetura amenizar o desconforto e propiciar ambientes que sejam confortáveis.

Barbirato, Souza e Torres (2007) destacam a importância de considerar os aspectos climáticos no processo projetual, desde a concepção, obtendo-se ambientes confortáveis, salubres e com baixo consumo de energia, já que a bioclimatologia trata da relação entre o usuário e as condições climáticas. Assim, o projeto bioclimático representa a arquitetura em harmonia com o meio natural. Adequar o ambiente construído ao clima local possibilita ao homem melhores condições de conforto, além de valorizar aspectos culturais, sociais e ambientais.

Arantes (2013) também ressalta que questões relacionadas ao conforto ambiental na edificação são resolvidas de forma mais eficaz e com menor custo ainda na fase de projetos. Salaria a necessidade da conscientização dos projetistas quanto à adoção das técnicas de arquitetura bioclimática e recomenda, em conjunto, a prática de simulações computacionais visando prever os níveis de conforto e eficiência energética.

Da mesma forma, Corbella e Corner (2011) reforçam que quanto mais cedo se pensar nas estratégias bioclimáticas que serão adotadas, maiores são as opções disponíveis. As informações do local devem ser observadas, coletadas e consideradas desde os primeiros esboços do projeto de arquitetura, para que possam modificar as características climáticas e até efeitos prováveis da futura edificação.

Bagnati (2013) também aponta que os requisitos do projeto bioclimático devem estar presentes desde a fase inicial do projeto. Para sua aplicação é necessário a atitude adequada e comprometida do profissional frente às questões ambientais, deixando de lado a reprodução de modelos importados que não condizem com a realidade brasileira. É possível um melhor aproveitamento do clima adequando o projeto de uma edificação através de planejamento, como por exemplo, escolha da tipologia arquitetônica, da orientação da edificação, do paisagismo, planejamento estratégico de aberturas, dentre outras técnicas.

Lanham, Gama e Braz (2004) e Lamberts (2005) definem as principais variáveis climáticas que podem interferir na concepção de um projeto bioclimático:

- Energia Solar: A energia solar depende da trajetória do Sol e a duração da exposição solar. O sol é a maior fonte de energia utilizada na arquitetura

bioclimática; é muito importante ter uma ideia da sua trajetória e do número de horas de sol recebidas ao longo do dia e do ano.

- Temperatura: depende essencialmente da radiação solar, do vento, da altitude e da natureza do solo.
- Umidade: A umidade traduz qual a percentagem de água que o ar contém e o seu valor é influenciado não só pela temperatura do ar, mas também pelo volume de precipitações, pela vegetação, pelo tipo de solo e pelas condições climáticas, tais como os ventos e a exposição solar.
- Vento: Vários parâmetros afetam a sua existência e a sua velocidade que, em geral aumenta com a altitude. O vento é também influenciado pela topografia e pela rugosidade do solo.
- Água: As massas de água têm uma grande influência sobre o microclima de um local, visto que regulam as variações de temperatura agindo como reguladores térmicos.
- Inércia térmica: Um corpo com grande inércia térmica demora a transmitir calor. A inércia térmica varia em função do tipo e a espessura do material, em função da densidade, da condutibilidade e da capacidade calorífica (determinada pelo calor específico).

Um edifício bioclimático não tem necessariamente que envolver despesas acrescidas, haja visto não precisar de complicados dispositivos tecnológicos. Assim, o seu sucesso depende apenas da experiência, dos conhecimentos e da criatividade do seu projetista (LANHAM; GAMA; BRAZ, 2004).

Da mesma forma, Venâncio (2010) afirma que o emprego de princípios bioclimáticos no projeto de uma edificação demanda um investimento inicial maior de planejamento do que financeiro. Os resultados ao longo da vida útil da edificação são benefícios que resultam em valorização imobiliária e baixa manutenção do imóvel, ocasionam rápido retorno do investimento, melhoram a qualidade de vida, além de repercutir em preservação do meio ambiente

Na hipótese de existir um custo inicial um pouco maior, todo investimento feito na construção de edifícios sustentáveis retorna na forma de economia de energia, água e de recursos naturais. O investimento inicial se paga com o passar do tempo, geralmente em poucos anos de sua vida útil, a partir das economias no consumo de

energia elétrica e água. Assim, além dos empreendedores, toda a população ganha com esse investimento, tornando-o de grande valor econômico e social (PALO, 2006).

Além disso, Keeler e Burke (2010) indicam que o aumento das taxas de ventilação e o melhor controle da temperatura podem melhorar o conforto dos usuários da edificação. A qualidade do ar interno e a boa iluminação afetam a produtividade, a saúde e o bem estar dos usuários. Venâncio (2010) ressalta que os recursos disponíveis na natureza, quando aproveitados de forma inteligente em uma construção, trazem mais conforto aos moradores.

Hussein e Jamaludin (2014) realizaram, em seu trabalho, uma avaliação pós-ocupação para verificar a percepção de conforto pelos residentes em um edifício com aplicação de estratégias de projeto bioclimático, principalmente ventilação natural e iluminação natural. O resultado obtido demonstrou um impacto positivo significativo sobre o nível de percepção e satisfação dos moradores. A maioria dos moradores percebeu que os níveis confortáveis foram obtidos.

Entretanto, apenas com a utilização de recursos naturais (medidas passivas), um desempenho térmico satisfatório da arquitetura pode não ser possível em condições climáticas extremas. Mesmo assim, deve-se procurar maximizar o desempenho térmico natural, pois se pode reduzir a potência necessária dos equipamentos de refrigeração ou aquecimento, visto que a quantidade de calor a ser retirada ou fornecida será menor (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Com isso, pode-se inferir que a arquitetura bioclimática irá desempenhar um papel cada vez mais importante no desenvolvimento sustentável, visto que o projeto bioclimático, segundo Corbella e Corner (2011), agrega valor sem deixar de lado a tecnologia, a forma e o estilo, contribui para poupar energia, evitar o desperdício de recursos naturais, prevenir impactos ou poluição resultante da economia de energia convencional e melhorar a qualidade de vida do usuário.

2.6. TÉCNICAS CONSTRUTIVAS DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Muitas variáveis arquitetônicas contribuem para melhorar o desempenho da edificação. Devem-se aplicar para cada tipo de edificação os recursos construtivos mais adequados, ressaltando a importância do planejamento e busca de soluções viáveis para cada tipo de obra (ARANTES, 2013).

De início é importante estudar as características climáticas do local onde se pretende implantar a edificação. Em seguida devem ser considerados fatores técnicos associados a diversas vertentes, como orientação, cálculos de sombreamento, formato da habitação, movimentos do ar e avaliação das temperaturas internas. Finalmente, deve ser elaborado um projeto arquitetônico que aproveite os resultados das fases anteriores para execução de uma edificação bioclimática. O projeto não deve ser apenas esteticamente bom e integrado com o meio urbano, mas é necessário também uma completa integração com o meio ambiente (LANHAM; GAMA; BRAZ, 2004).

Keeler e Burke (2010) também afirmam que as técnicas de projeto para edificações bioclimáticas requerem conhecimento do clima, das condições do terreno, do movimento solar, do formato e dos materiais da edificação, visando aproveitar ou rejeitar as energias naturais que afetam a edificação. A zona de conforto é considerada levando em conta a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a temperatura média, a presença de radiação solar direta, a velocidade do ar dentro do espaço, tipo de vestimenta do usuário, o nível de atividade praticada no ambiente e o fator pessoal.

Diversas técnicas construtivas e de projeto interferem na qualidade e conforto da edificação. A adequação ao local onde a edificação está inserida e o uso de materiais adequados promovem um ganho em qualidade de vida do usuário, em eficiência energética e consequente preservação do ambiente. Algumas das principais técnicas da arquitetura bioclimática são relacionadas e discutidas na sequência.

– **Orientação: insolação e ventilação**

Um fator muito importante a ser considerado dentre as técnicas de arquitetura bioclimática é a adequação da edificação quanto à orientação. Os condicionantes do terreno enfatizam ainda mais a importância da orientação consciente, do formato da edificação e das aberturas de janelas, ambos fundamentais para o projeto de edificações com baixo consumo de energia (KEELER; BURKE, 2010).

A insolação é fundamental para qualquer projeto, pois a luz solar direta deve ser admitida quando o clima externo é, ou está, frio. Os períodos de tempo, que cada ação demanda, variam de acordo com o clima. A admissão e a rejeição controlada do calor do sol determinam a orientação das edificações, sua volumetria e a distribuição das janelas e clarabóias. Em relação à orientação solar, ainda se considera a influência da direção dos ventos em relação às aberturas de ventilação (KEELER; BURKE, 2010).

Hertz (1998) revela que com uma orientação direcional correta do edifício pode-se obter uma diferença de até 3^o C entre a temperatura interna e externa, confirmando a importância da correta orientação de uma edificação do terreno. A orientação, além da radiação solar, também influencia no controle dos ventos, ruído e privacidade.

Existem ainda outras particularidades, tal como a orientação dos diferentes ambientes de uma casa. É importante adaptar os ambientes da edificação adequando sua função às necessidades de insolação, conforme a orientação solar e conforme o uso. Como exemplo, em climas quentes, é ideal que ambientes como dormitórios e salas fiquem voltados para leste, permitindo a entrada de sol pela manhã, e o resfriamento, estando em temperatura adequada, durante a sua utilização no período noturno. Já ambientes como banheiros e lavanderias (áreas molhadas) recomenda-se que estejam voltados para face oeste, para receber maior insolação e evitar a umidade em excesso.

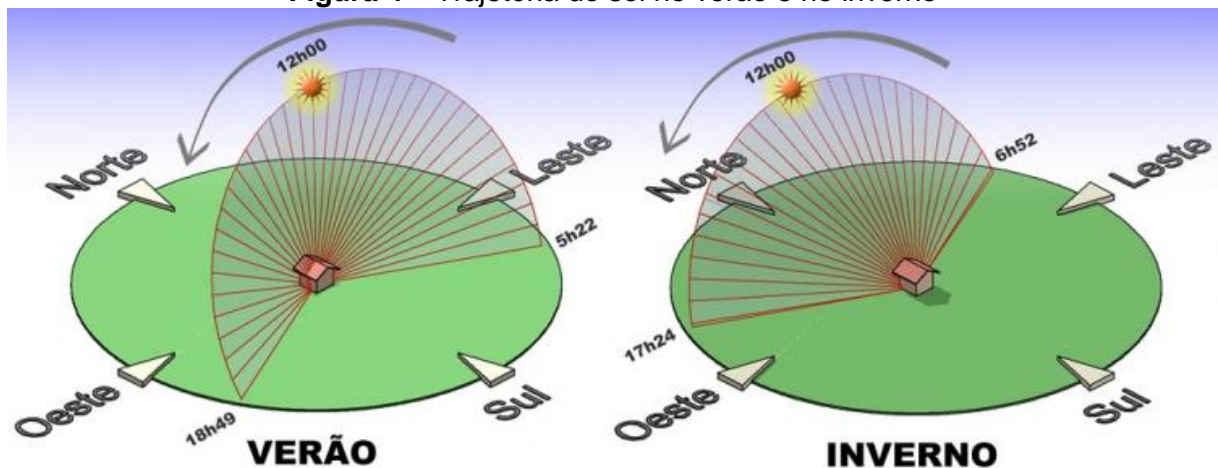
Salienta-se a importância da existência mínima de insolação dentro dos ambientes, por condições de higiene e saúde, de modo que se evite a existência de umidade em excesso, que pode causar mofo, bolor e insalubridade, prejudicando a

saúde dos usuários. Por isso os códigos de obras – legislação municipal – preveem a existência de área de iluminação e ventilação mínimas.

Outro fator a ser levado em consideração reflete a interação com as edificações existentes no entorno, que às vezes bloqueiam a incidência do sol, o que pode ter resultado tanto positivo quanto negativo. Esse sombreamento pode ser utilizado tanto para proteger uma fachada oeste da insolação indesejada, como pode impedir a entrada do sol a todo o momento na edificação ou ainda sombrear um aquecedor solar de água.

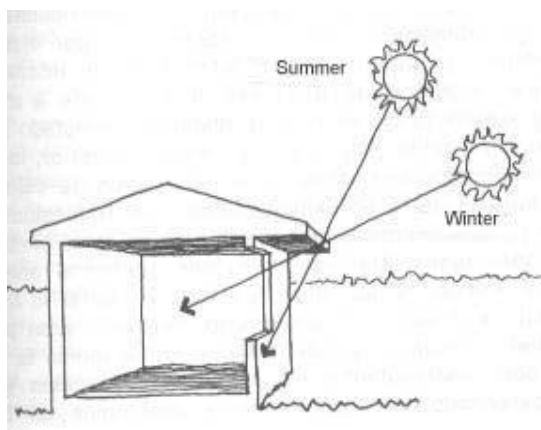
Para latitudes maiores, existe a vantagem de que o sol fica mais alto no céu durante os meses mais quentes e mais baixo durante os meses frios, conforme Figura 4. Dessa forma a existência de beirais, marquises, pergolados ou outros elementos são suficientes para proteção solar durante o verão, fazendo o sombreamento, e por outro lado, permitindo a entrada de sol, mais baixo, nos meses mais frios, como pode ser observado na Figura 5. Os beirais, mais largos e profundos, que limitam os ganhos solares internos são apropriados para o clima quente. Já os beirais mais estreitos e curtos são adequados para o clima predominantemente frio (KEELER; BURKE, 2010).

Figura 4 – Trajetória do sol no verão e no inverno



Fonte: DTABACH (2006)

Figura 5 – Sol mais alto no verão e mais baixo no inverno



Fonte: Lanham, Gama e Braz (2004)

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que a melhor orientação para a iluminação natural é a Norte, pois tem incidência mais frequente de luz solar direta e é a orientação mais fácil de sombrear as aberturas. A segunda melhor é a Sul, é a que menos recebe luz solar direta, embora a quantidade de luz seja baixa, a qualidade é alta. As piores são Leste e Oeste, sendo a Oeste a que recebe maior quantidade de radiação solar, pois recebe luz solar direta com maior intensidade no verão e menor no inverno, dificultando o projeto de proteções solares, que devem considerar ângulos muito baixos de altura solar.

– Terreno

O primeiro passo antes de iniciar um projeto é a análise e levantamentos de informações acerca do terreno. Keeler e Burke (2010) destacam a necessidade de levar em conta as características como topografia, vegetação, edificações adjacentes e microclima. Venâncio (2010), por sua vez, relaciona as condicionantes do terreno reunindo-as em cinco grupos, sendo:

- Ambiental: verificar se o terreno não está em área de preservação, de possível desapropriação ambiental ou se, devido à sua posição em relação às construções vizinhas, será possível usufruir dos recursos naturais do entorno (vento e sol). Uma construção vizinha alta e colada ao muro pode tornar a futura construção úmida e insalubre. Já um lote

voltado para o sol da tarde tem de ser muito bem projetado pelo arquiteto, para evitar insolação em excesso.

- Legislação: toda cidade possui um código municipal que estabelece as normas para construção, altura, afastamento frontal e lateral, porcentagem de ocupação, área de preservação e área total a ser construída, entre outros.
- Topografia: verificar tipo de solo para fundações e os desníveis. Atentar para fatores como, por exemplo, terrenos muito baixos que podem sofrer alagamentos.
- Vizinhança: verificar se na vizinhança existe infraestrutura ou produção de barulho em excesso, como comércio, construções, rua muito movimentada, dentro outros.
- Recursos naturais: analisar a existência de árvores, pedras, etc. que podem ser preservados e pode ser adaptado à edificação e influenciar no microclima.

Segundo Palo (2006), é preciso verificar, ainda, a urbanização e infraestrutura do local, como: as vias de acesso, corredores viários, densidade populacional, sistemas de drenagem urbana, esgotos sanitários, de abastecimento de água, concessionárias de energia, de gás, de telefonia, de TV, áreas verdes (praças, parques, clubes, etc.), transporte coletivo, coleta de lixo, segurança, hospitais e postos de saúde, escolas, etc. E também a obediência à legislação municipal, estadual e federal, para a execução do empreendimento adequado ao que é permitido no local e regulamentado ambientalmente.

Tem-se que levar em consideração todas as influências naturais e artificiais, na busca de evitar mudanças drásticas na paisagem natural e escolha adequada do local da construção (PALO, 2006). Terrenos inclinados, por exemplo, movimentar o mínimo possível de solo, adaptando a edificação e não o oposto.

– Fechamentos e materiais

Bagnati (2013) analisa as trocas térmicas entre os meios interno e externo do objeto arquitetônico, referente aos materiais empregados e suas características físicas, interferindo no conforto interno da edificação. Cada material tem um comportamento diferente quanto à radiação solar, uma variável térmica que afeta a construção. O fechamento poderá ser selecionado, dimensionado e especificado de maneira mais criteriosa e consciente, evitando assim excessivas perdas de calor no inverno ou ganhos no verão.

A inércia térmica também é relevante quando se trata de fechamentos. O calor conduzido de um extremo ao outro do fechamento será, em parte, retido no seu interior. Portanto, quanto maior a inércia térmica, maior o calor armazenado no material.

É importante que os materiais utilizados nas edificações sejam pensados desde a extração de sua matéria-prima na natureza, seu processamento, transporte e destinação final. Todos esses processos podem ter alto consumo energético ou degradação ambiental. A escolha de materiais deve ser norteada pela redução do consumo de matérias-primas, além de promover a eficiência durante toda a vida útil da edificação. O uso de materiais locais e menos processados constitui-se em uma excelente escolha.

– Inércia térmica

A inércia térmica é responsável pela transmissão de calor entre o ambiente externo e interno. Dessa forma, os materiais aplicados em uma edificação podem auxiliar no desempenho térmico e influenciar no conforto dos usuários. Então, segundo Frota e Schiffer (2003), o tipo e a espessura influenciam na inércia do material, visto que a inércia térmica é função da densidade, da condutividade e da capacidade calorífica da parede (determinada pelo calor específico). Assim é possível acelerar ou retardar a transmissão da radiação solar entre exterior e interior

do ambiente, e a massa térmica pode ser utilizada tanto para resfriamento como para aquecimento.

Se os materiais tiverem uma baixa inércia térmica vão reagir rapidamente à radiação solar aquecendo rapidamente durante o dia, mas também resfriando rapidamente à noite. Por outro lado, edificações com grande inércia térmica vão se manter mais tempo frescas durante o dia, enquanto armazenam calor, que vão libertar lentamente à noite. Desse modo há, então, dois conceitos que importam referir: atraso (da temperatura interior em relação à temperatura exterior) e amortecimento (os picos de temperatura interior são amenizados) (LANHAM; GAMA; BRAZ, 2004).

Da mesma forma, Santamouris e Asimakopoulous (2013) consideram que o uso de inércia térmica tem efeito positivo tanto no verão como no inverno. Pois no inverno, o ganho solar durante o dia é armazenado na massa térmica, e transferido para dentro da edificação no período noturno, quando é necessário o aquecimento. Já no verão, o calor é armazenado na massa térmica, e liberado para o interior da edificação, com um tempo de atraso.

Portanto, quanto maior a inércia térmica das paredes, maior será o tempo de aquecimento (ou resfriamento) do ambiente, proporcionando um efeito retardado nas trocas de calor. Assim, paredes com maior inércia térmica são mais eficientes no combate às trocas de calor da edificação, constituindo-se em uma solução relevante tanto para locais de grande amplitude térmica, como para locais quentes e locais frios.

Nesse ponto é preciso tomar cuidado com as áreas envidraçadas, já que o vidro tem inércia térmica menor e permite maior entrada de calor, deixando vulnerável a edificação. Assim, tem-se que equilibrar as áreas para entrada de iluminação natural, evitando o aquecimento indesejado do interior da edificação.

Para Bagnati (2013), quando se deseja aquecer o ambiente, a envoltória voltada para o sol deve ser opaca, espessa e com reduzidas áreas de aberturas, assim o calor será acumulado durante o dia e, durante a noite, encaminhado para o interior. Já para o resfriamento, em lugares de clima quente, recomenda-se sombreamento nas aberturas, sem ventilação durante o dia, utilizando a ventilação somente no período da noite, com a finalidade de remover o calor retido.

– **Aberturas**

Para Silva (1994) e Bagnati (2013), as aberturas influenciam na ventilação, iluminação e proporcionam trocas térmicas entre os meios interno e externo. Suas influências variam conforme o tamanho, a forma, número, orientação e com as atividades desenvolvidas nos ambientes.

Em relação à quantidade de luz solar, Silva (1994) explica que a quantidade que entra no ambiente é diretamente proporcional ao tamanho da abertura. E com relação à forma, a abertura retangular na posição horizontal (largura maior que a altura) possibilita maior distribuição de luz próxima a ela. Enquanto que na posição vertical permite que a luminosidade atinja pontos mais profundos na sala. Já a de forma quadrada apresenta efeito intermediário.

Porém, é necessário equilibrar as aberturas com relação à luminosidade e ventilação para evitar trocas térmicas excessivas entre os ambientes externo e interno, o ganho de calor e a quantidade de luz no ambiente.

– **Proteção solar das aberturas**

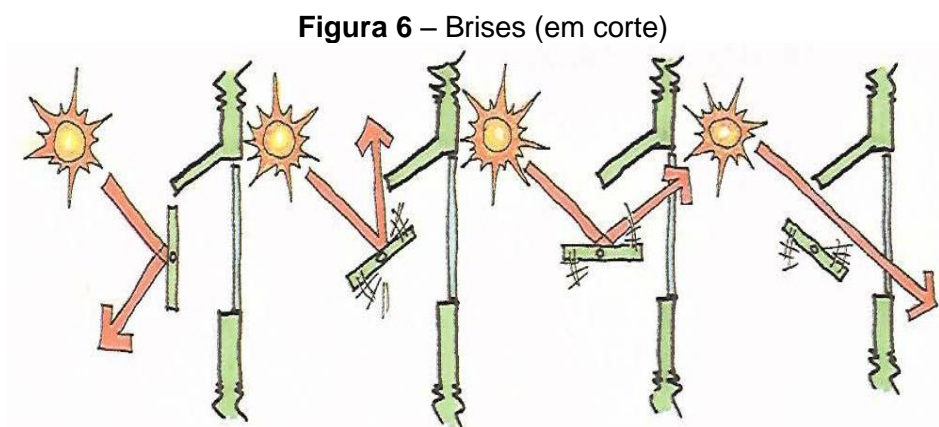
Neste caso, as estratégias de arquitetura bioclimática devem tentar evitar ganhos de calor através de radiação solar e evitar aumento da temperatura para permanecer na zona de conforto. A proteção centra-se em todas as aberturas da construção, mas pode também ser aplicada ao redor do edifício (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

Em locais onde o clima é predominantemente quente deve-se proteger a edificação da radiação solar direta, evitando assim ganhos de calor. Para essa proteção, seja com vegetação ou elementos construídos, é necessário que se conheça a trajetória do sol e a época do ano em que se deseja barrar os raios diretos (FROTA E SCHIFFER, 2003).

Venâncio (2010) também ressalta que a iluminação e o calor devem ser fornecidos na medida certa. O ideal é que as aberturas sejam protegidas da incidência solar antes dos raios atingirem a esquadria, evitando que o calor penetre no ambiente. Ou seja, proteções solares externas são mais eficientes que as internas.

Para Venâncio (2010) e Manzano-Agugliaro et al. (2015), as técnicas utilizadas para proteger e reduzir a radiação que entra nos edifícios no verão são as seguintes:

- Marquise ou beiral: que ao estar colocada no local correto e bem dimensionada, impede a passagem de radiação direta no verão sem obstruir muito no inverno.
- Brises (fixos ou móveis): protegem as aberturas da insolação, permitindo a entrada de iluminação e ventilação. Não permitem a entrada da radiação, conforme pode ser observado na Figura 6.



Fonte: Lamberts (1997)

- Pergolados (com ou sem vegetação): sombreiam parcialmente as aberturas, permitindo, também, a entrada de luz e vento.
- Cortinas ou persianas: sobreiam e edificação pelo interior. Apesar de serem mais baratos e fáceis de instalar, são menos eficientes que os mecanismos externos, pois estão localizados no interior do edifício, quando já houve a passagem da radiação para parte interna. Ademais, prejudicam a iluminação.

- Vegetação: pode ser utilizada para sombreamento e umidificação, porém deve atentar-se para não obstruir a ventilação.

Segundo Barbirato, Souza e Torres (2007), a presença de vegetação, ao produzir sombreamento nas edificações, diminui a necessidade de resfriamento artificial. Árvores próximas às edificações podem reduzir de 15 a 35% os custos de condicionamento de ar no verão. Para locais com estações definidas, as espécies caducifólias proporcionam sombreamento no verão, com a copa cheia, e permitem a radiação solar no inverno, com a ausência de folhas.

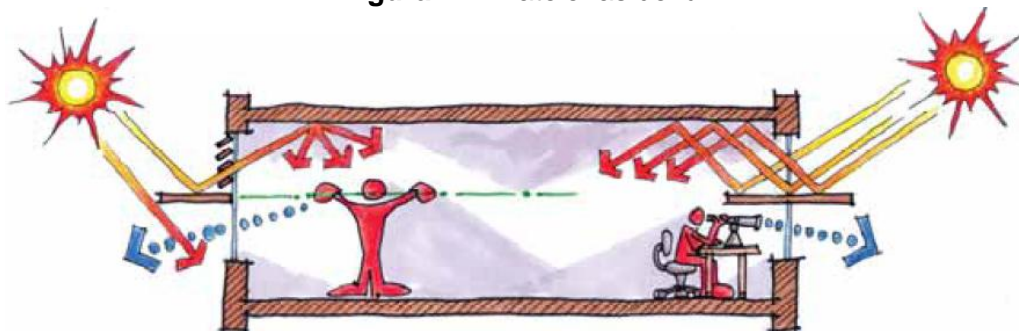
Quando se faz necessário controlar os ganhos térmicos das edificações, pelas aberturas, podem ser feitos por elementos de proteção solar ou pela utilização de vidros especiais. Todavia é necessário considerar seu nível de influência sobre a iluminação natural e o grau de visibilidade entre os meios interno e externo (BAGNATI, 2013).

Rodrigues (2010) destaca que o aumento de proteções nas aberturas pode resultar em bloqueio da luminosidade, aumentando assim a necessidade de iluminação artificial e o aumento da carga térmica, que por fim, aumenta o consumo de energia elétrica tanto da iluminação artificial quanto da climatização.

O brise é um dispositivo com função de sombrear e objetivo de reduzir a incidência do sol, controlando a incidência de luz solar e controlando o ganho de calor, de modo a obter melhores condições de temperatura, contribuindo para redução do sistema de condicionamento artificial de ar e consequente conservação de energia. É o tipo de proteção mais efetiva se estiver posicionado a uma distância mínima de 30 cm do edifício, para permitir a ventilação; e apresentar acabamento superficial reflexivo na face exposta ao sol, a fim de reduzir a absorção de calor (BAGNATI, 2013).

É possível também, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), através de *light shelves* ou prateleiras de luz, fazer uso da luz difusa protegendo da radiação direta. Esta alternativa divide a abertura em duas partes, a parte superior é destinada para iluminação, enquanto que a inferior à visão e iluminação. A prateleira reflete a luz para o teto do ambiente, ao mesmo tempo em que sombreia a maior parte da abertura, como exemplificado na Figura 7.

Figura 7 – Prateleiras de luz



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

Para utilização dessa técnica, deve-se tomar o cuidado de os usuários não visualizarem a parte superior da prateleira de luz, devido ao seu potencial de ofuscamento. Como esta parte irá refletir luz para o ambiente, é ideal que seja de cor clara, assim como também a refletância do teto do ambiente seja alta (BROWN; DEKAY, 2004). Bagnati (2013) recomenda que esses elementos estejam orientados para o Norte, no Brasil.

Entretanto, para aplicação de qualquer um desses elementos é necessário um apropriado dimensionamento, a fim de obter o melhor aproveitamento, evitando calor da radiação, porém, permitindo iluminação e ventilação natural.

– **Ventilação natural**

Para Frota e Schiffer (2003) e Bagnati (2013), a ventilação visa reduzir a temperatura superficial dos corpos e retirar o calor e umidade excessivos dos ambientes, além de promover a renovação do ar, promovendo a higiene e ainda o conforto térmico em regiões de clima quente e úmido. Pietrobon, Lamberts e Pereira (2001) ainda destacam que a ventilação do ambiente interno deve cumprir o atendimento às questões de salubridade (oxigênio para respiração, redução da concentração de gás carbônico, remoção de odores e prevenção de concentração de bactérias); aos aspectos de conforto higrotérmico (resfriamento ou aquecimento, remoção de calor e resfriamento dos corpos); e auxiliar na durabilidade de materiais e componentes da edificação, limitando a ação da umidade.

A intensidade do fluxo do ar depende da forma do edifício, posição das aberturas, da presença de obstruções ou obstáculos, do ângulo de incidência e da diferença de pressão exercida pelo ar em ambiente interno e externo (FROTA e SCHIFFER, 2003; BAGNATI, 2013).

A orientação do edifício deve também prever os ventos dominantes e a sua influência na ventilação natural e infiltrações. A orientação bem situada das janelas pode captar e circular a ventilação de forma adequada, bem como absorver de forma equilibrada os raios solares.

No verão, a ventilação aumenta o conforto térmico, pois o movimento do ar aumenta as perdas de calor do corpo humano e como promove convecção forçada com as paredes, chão e tetos, ajuda a dissipar o calor. No entanto, o grande desafio da ventilação é como fazer com que o ar ingresse no interior do edifício sem provocar alterações na temperatura interior (LANHAM; GAMA; BRAZ, 2004).

Givoni (1992) destaca que quando se utiliza da ventilação diurna para baixar a temperatura e aumentar o conforto, a temperatura interna do ar segue perto da temperatura externa, portanto deve ser considerada apenas quando o conforto puder ser experimentado na temperatura externa do ar. Caso contrário, o edifício deve ter massa elevada e a ventilação deve ser somente durante a noite, com as aberturas fechadas durante o dia.

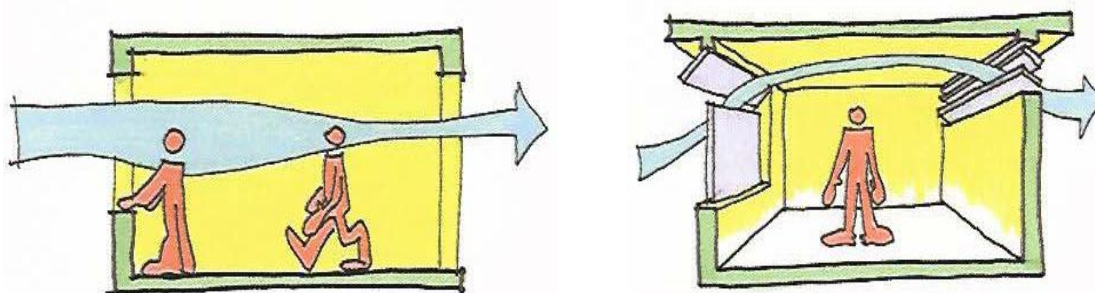
Para a utilização da ventilação natural para reduzir o gasto energético, deve-se levar em consideração ao projetar as aberturas: proteção solar dos vãos envidraçados, principalmente com maiores dimensões, atentando-se para não reduzir a iluminação; tipo de janela utilizado; profundidade do cômodo e pé direito; incidência dos ventos na fachada; localização de janelas em paredes opostas ou adjacentes; afastamento dos edifícios; altura dos edifícios vizinhos e recuos. Deve-se atentar para as grandes aberturas, principalmente envidraçadas e sem proteção solar, pois aumentam fortemente a carga térmica (CORBELLA; CORNER, 2011).

Bagnati (2013) recomenda que se evite a existência de barreiras edificadas para favorecer a boa movimentação do ar. Assim como indica a ventilação em benefício da sensação térmica em temperaturas e umidades elevadas. As estratégias mais utilizadas são: ventilação cruzada, ventilação da cobertura, ventilação sob a edificação, uso de captadores de vento e ventilação da cobertura.

As condições do vento local podem ser alteradas com a presença de vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais. Pode-se tirar partido do perfil topográfico do terreno, para canalizar ou desviar o vento. O movimento de ar sofre grande influência da rugosidade da superfície. Em geral, a velocidade do vento aumenta com a altitude. Devido aos obstáculos encontrados na cidade, a velocidade do vento é menor que em locais abertos. Por isso o desenho urbano pode alterar a trajetória do vento (LANHAM; GAMA; BRAZ, 2004).

Pode-se controlar a ventilação de acordo com a necessidade do uso no ambiente e o clima do local. A ventilação cruzada, a altura dos corpos, como pode ser visto na Figura 8 (esquerda), tem função de amenizar o calor do ambiente. Em locais mais frios pode-se utilizar a ventilação através de janelas altas, que também fazem a ventilação do local, conforme Figura 8 (direita).

Figura 8 – Ventilação controlada

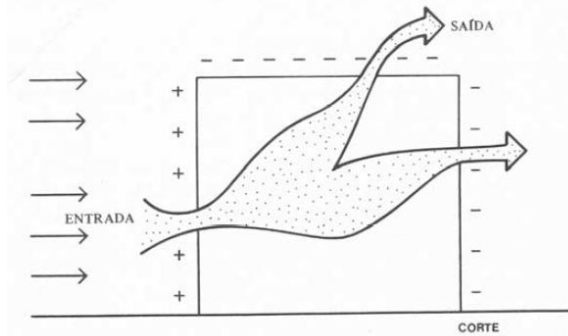


Fonte: Lamberts (1997)

A ventilação ocorre quando há deslocamento de ar através da edificação, pelas aberturas que permitem a entrada e saída do ar, portanto elas devem estar posicionadas e dimensionadas corretamente, para proporcionar um fluxo adequado. Pode ocorrer sob três formas: pela ação dos ventos ou pela diferença de densidade, através do “efeito chaminé”, ou por ambas simultaneamente (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Na ventilação pela ação dos ventos, as paredes que sofrem ação do vento estão expostas a pressões positivas, onde ficam alocadas as aberturas para entrada de ar. Já as paredes não expostas ao vento também precisam receber aberturas para saída de ar, conforme pode ser observado na Figura 9.

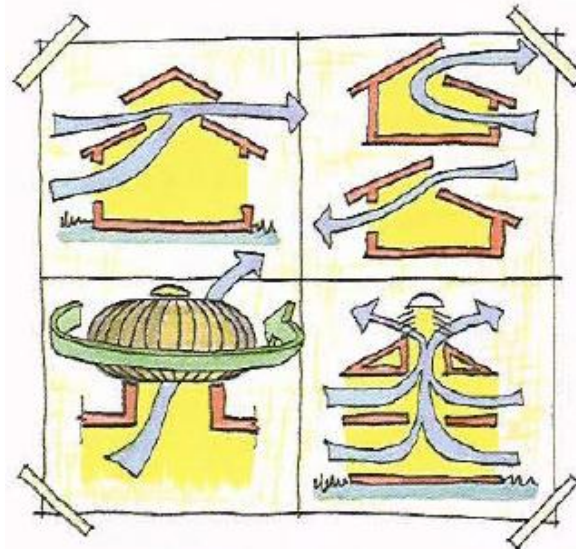
Figura 9 – Ventilação por ação dos ventos



Fonte: Frota e Schiffer (2003)

O “efeito chaminé” ocorre quando há diferença de pressão causada pela diferença de temperatura do ar interno e externo. Com o aumento da temperatura interna, o ar quente torna-se menos denso e sobe, enquanto que o ar mais frio, mais denso, desce. Então, quando se dispõe de aberturas próximas ao piso e ao teto haverá uma tendência do ar externo, mais frio, ingressar pelas aberturas baixas e sair pelas altas. Nesse caso, o fluxo de ar será mais intenso quanto mais baixas forem as entradas e mais altas as saídas, conforme Figura 10 (BAGNATI, 2013; CORBELLA; CORNER, 2011; FROTA; SCHIFFER, 2003).

Figura 10 – Ventilação vertical (“efeito chaminé”)



Fonte: Lamberts (1997)

Corbella e Corner (2011) sugerem que aumentar o pé direito das edificações não climatizadas pode melhorar as condições, possibilitar o uso de aberturas

zenitais ou a colocação de aberturas em diferentes alturas para usufruir do “efeito chaminé”.

A ventilação do telhado pode ser necessária para controlar o ganho de calor, pois o telhado é altamente exposto à radiação solar. Ele deve ser forte para resistir às solicitações, porém leve para minimizar esse ganho.

Para o clima quente e úmido, como a variação da temperatura não é tão significativa, Frota e Schiffer (2003) aconselham a ventilação noturna como bastante desejável, portanto devem-se prever aberturas grandes para permitir a ventilação nas horas do dia que a temperatura externa está menor que a interna. Porém, devem-se proteger as aberturas da radiação solar direta, mas não fazer destas obstáculos aos ventos. A inércia não deve ser muito alta; deve ser de média a leve, pois dificulta a retirada do calor interno armazenado durante o dia. A vegetação poderá existir para sombreamento, todavia não deve impedir a passagem do vento.

Em climas quentes e secos, onde a variação térmica externa é grande, a ventilação não é útil, pois traria o calor externo de dia para dentro da edificação e assim as aberturas podem ser pequenas, o que também facilitará a sua proteção excessiva da radiação solar direta. Nesse sentido, o primordial é a elevada inércia térmica, que acarreta no amortecimento de calor recebido e atraso no tempo que esse calor levará para atravessar a edificação (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Nos climas temperados, as decisões dos partidos arquitetônicos devem ser ponderadas. Nesse caso, onde tanto o calor quanto o frio apresentem rigor, devem-se investir em alternativas que permitam ventilação cruzada e possibilidade de fechamento hermético das aberturas para barrar ventos frios. A proteção solar das aberturas deve ser móvel para possibilitar a entrada da radiação solar quando desejável (FROTA; SCHIFFER, 2003).

– **Forma**

A forma do edifício é importante, pois influencia a superfície de contato do edifício com o exterior, estando diretamente relacionada com as perdas e ganhos de

calor. Assim, quanto mais compacto for o edifício, menos trocas de calor ele fará com o ambiente externo (LANHAM; GAMA; BRAZ, 2004).

As trocas de calor estão diretamente relacionadas ao tamanho e o formato da edificação da seguinte maneira: quanto maior a área de contato com o exterior, maiores serão as trocas de calor com o ambiente externo.

Também influenciada pela forma do edifício é a exposição ao vento. Uma casa alta é sempre mais exposta que uma casa baixa. No verão, a exposição ao vento é benéfica porque aumenta a ventilação, mas é prejudicial no inverno. Conhecendo a predominância dos ventos no verão e inverno é possível chegar a um equilíbrio (LANHAM; GAMA; BRAZ, 2004).

– **Umidade**

A umidade influencia a sensação de bem-estar, pois é uma das formas do corpo regular a temperatura. O objetivo dessa estratégia é alcançar o conforto, aumentando a umidade relativa para climas secos e diminuindo para climas úmidos. Isto é conseguido através da introdução de ar que passou sobre uma superfície de água. Pode ser modificada nas escalas mais próximas da edificação. As estratégias mais comuns incluem a presença de vegetação, tanto de grande como de pequeno porte ou rasteira, próximo ou dentro da edificação (por exemplo, em um pátio), superfícies de água (como lagos, espelhos d'água ou fontes) que aumentam a umidade e alteram o microclima (KEELER; BURKE, 2010; BAGNATI, 2013; MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

Frota e Schiffer (2003) destacam que a maior influência da umidade relativa do ar nas condições climáticas é quanto a amplitude térmica diária. Então quanto mais seco o clima, maior a variação da temperatura diária (entre máxima e mínima). Portanto, para climas quentes e secos, esta estratégia é importante, pois a evaporação da água trará ao ar próximo maior umidificação, trazendo maior sensação de conforto às pessoas.

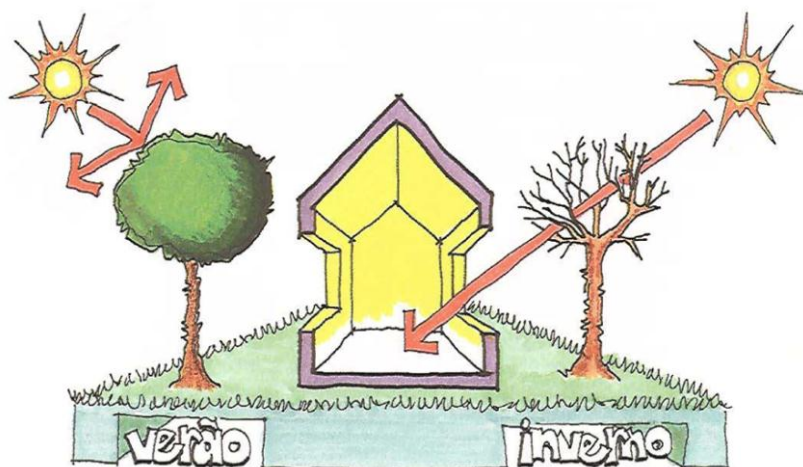
A umidificação é indicada quando a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura abaixo de 27° C, a estratégia é evitar a saída, pelas aberturas, do vapor d'água produzido no interior pelas pessoas ou pela vegetação (BAGNATI, 2013).

– Vegetação

Cardoso (2002) descreve que o crescimento dos centros urbanos tem feito com que áreas verdes sejam substituídas por áreas construídas. Isso contribui com o aumento da temperatura nas cidades, devido às diferenças existentes entre as características térmicas dos materiais de construção e da vegetação, ainda, a vegetação contribui para a absorção da radiação solar e o resfriamento do ar, ou como barreira a ventos indesejados.

Por sua vez, Lanham, Gama e Braz (2004) destacam que na arquitetura bioclimática a vegetação é muito útil para proteger de forma sazonal os edifícios, refrescá-los através da evapotranspiração e filtrar o pó em suspensão no ar. Todavia é preciso ter atenção à escolha das plantas tendo em consideração os objetivos pretendidos, ou seja, escolher vegetação de folhas caducas para sombrear no verão, mas não no inverno, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – Vegetação caducifólia



Fonte: Lamberts (1997)

Barbirato, Souza e Torres (2007) e Venâncio (2010) apontam que a presença de vegetação (tanto de porte arbóreo, arbustivo ou rasteiro) pode contribuir de maneira significativa para o resfriamento e economia de energia, além de atenuar problemas ambientais urbanos, como sombreamento, controle de ruídos, filtragem e dispersão da poluição atmosférica, redução da velocidade dos ventos, prevenção de erosões, proteção solar de edificações, redução de temperaturas pela evapotranspiração e retenção de umidade do solo e do ar.

A vegetação no entorno da edificação pode alterar significativamente a temperatura das suas paredes e conseqüentemente, do seu interior (VENÂNCIO, 2010). Além de funcionar como sombreamento, a vegetação ainda promove o resfriamento da área através da sua transpiração. Outro exemplo da utilização da vegetação para propiciar conforto é o telhado-verde, que é um bom isolante térmico.

A presença de vegetação é fundamental em áreas áridas porque ajuda a melhorar a temperatura e a umidade relativa do ar, levando ao aumento do bem-estar humano, além de fornecer sombra e proteção solar (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

A existência de uma superfície gramada, no entorno, reflete quantidade de radiação muito menor do que uma superfície seca da mesma cor, em parte por absorver calor para seu metabolismo, em parte pela sua evapotranspiração e em parte pela facilidade de dissipação do calor por convecção entre as folhas.

– Iluminação natural

A melhor iluminação de um edifício é com luz natural, que é essencial ao seu bom funcionamento energético e ao conforto dos seus ocupantes. Deste modo, o arquiteto deve sempre ter em consideração a posição das aberturas e distribuição das superfícies internas para garantir uma distribuição de luz adequada. Portanto, o objetivo é maximizar a área do edifício e pessoas com acesso à iluminação natural, dando prioridade a locais onde se desempenhem tarefas com maior exigência visual. Desse modo, as áreas de ocupação secundária ou pouco prolongada devem

ser remetidas para as zonas mais interiores do edifício (LANHAM; GAMA; BRAZ, 2004).

Venâncio (2010) e Lamberts, Dutra e Pereira (2014) apresentam as vantagens da luz natural: menor consumo de energia para iluminação artificial; níveis de iluminação superiores à iluminação artificial, a qualidade da luz natural providencia uma boa definição de cores; e diminuir as cargas térmicas provenientes das luminárias, pois a luz artificial produz mais calor.

A iluminação natural pode ser controlada por meio de aberturas que podem ser: zenitais ou janelas. Como a iluminação diminui conforme o afastamento da janela, em ambientes mais profundos o ideal é utilizar da iluminação zenital, para homogeneizar a distribuição de luz.

É preciso estar atento, pois se pode aumentar a luminosidade de um ambiente com uma maior área envidraçada, mas corre-se o risco de aumentar a temperatura ambiente em virtude de uma maior exposição de sol no interior. É necessário encontrar um ponto equilíbrio entre a entrada de luminosidade e a entrada de calor. Em climas quentes deve-se ter cuidado para não criar zonas de aquecimento, aproveitando a luz e não o calor do Sol.

Dessa forma, a exploração da luz natural deve ser feita com cautela, evitando ganhos e perdas de calor em excesso. Com efeito, existem diversos recursos arquitetônicos que proporcionam melhorias visuais e na qualidade do ambiente, como: prateleira de luz, átrio, poço de luz, claraboia, refletor externo, dutos com espelhos, lanternim, dentre outros (BAGNATI, 2013).

Quando não for possível a utilização somente de iluminação natural é importante pensar em soluções que prezem pela economia de energia, que pode ser através de sensores de presença – evitando situações em que as luzes estão acesas sem necessidade. Ainda podem ser instalados sensores que controlam a intensidade da luz, de forma que a iluminação artificial possa ir aumentando à medida que a iluminação natural diminua. Isto permitiria manter a mesma qualidade de iluminação no edifício, privilegiando a iluminação natural sempre que possível. Keeler e Burke (2010) ainda destacam, para a eficiência energética, a melhoria da eficácia, a redução dos níveis de luz e a redução do tempo de uso.

A economia de energia para iluminação pode vir também pela instalação de lâmpadas mais eficientes e pela instalação de sensores de presença ou sensores fotoelétricos. Contudo, o mais aconselhável é que a luz natural e artificial sejam complementares e pensadas em conjunto (BAGNATI, 2013).

– Cores

As cores são importantes quando se trata de conforto térmico e luminoso. As cores mais escuras absorvem maior quantidade de radiação e são indicadas nos locais em que se deseja aquecimento. Por outro lado, o uso de cores claras é indicado para locais onde é necessário reduzir os ganhos térmicos. E para a luminosidade, as cores claras refletem mais a luz, tornando o ambiente mais claro, melhorando o conforto luminoso, porém é necessário atentar-se para a possibilidade de gerar ofuscamento.

– Condicionamento de ar

Às vezes o conforto térmico não é alcançado utilizando-se apenas técnicas passivas de condicionamento térmico. Portanto, é necessário o uso de recursos artificiais, como por exemplo: ar-condicionado, ventilador, aquecedor, entre outros. Quando se trata de ar-condicionado para aquecimento ou resfriamento de ambientes, é importante que o equipamento seja eficiente, o ambiente estanque e se aproveite ao máximo o desempenho do equipamento, sem desperdícios e fazendo a manutenção adequada. É conveniente sempre visar a integração entre os sistemas natural e artificial.

Manzano-Agugliaro et al. (2015) reforçam essa ideia e aconselham que o equipamento instalado para refrigerar e/ou aquecer a edificação deve ser eficiente, sem excesso ou falta no seu dimensionamento, considerando que as utilizações previstas do equipamento, as dimensões e as características dos espaços a serem aquecidos ou resfriados também devem ser observadas. Destacando-se a

importância do projeto para tais dimensionamentos. Da mesma forma, o desempenho de manutenção adequada e inspeções do equipamento de ar-condicionado são recomendados para estender a expectativa de vida destes equipamentos e melhorar a segurança da sua utilização.

– Fontes de calor

A previsão da carga térmica gerada no interior da edificação é fundamental às decisões de projeto. As fontes de carga térmica interna podem ser: presença humana, que varia conforme a atividade desenvolvida; iluminação artificial, resultante da conversão de energia elétrica em luz, varia conforme o tipo de lâmpada; motores e equipamentos, em função de sua potência e característica; e calor solar, incidência do sol sobre a edificação, varia pela intensidade da radiação e características térmicas dos materiais (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Corbella e Corner (2011) dão destaque para o vidro, que permite o efeito estufa, pois a radiação solar (onda curta) passa por ele e entra no ambiente aquecendo os corpos e superfícies, que emitem radiação de onda longa, a qual o vidro não permite a passagem, então ela não sai. Dessa forma, aumenta a temperatura interior.

– Outras soluções de projeto

Existem ainda outras formas de gerar economia, redução de material e de energia em um projeto de edificação. Um exemplo simples é a elevação do pé direito, o que contribui para melhorar o conforto térmico, pois o pé direito mais alto aumenta o volume de ar presente no ambiente, e como o ar quente tende a subir, ele fica mais afastado do nível dos ocupantes.

A setorização das áreas hidráulicas, em que se podem agrupar no projeto as áreas molhadas (banheiros, cozinha e área de serviço), sendo possível reduzir o

comprimento das tubulações e a necessidade de mão de obra (VENÂNCIO, 2010), além de diminuir os inconvenientes ruídos gerados pelo uso das instalações.

O aproveitamento de água da chuva que pode ser utilizada para fins não potáveis (em descarga de vasos sanitários, máquina de lavar roupa, irrigação de jardins, lavagem de carros e calçadas), e segundo Venâncio (2010), pode trazer vantagens como:

- Economia de água tratada das concessionárias. Redução de até 50% no consumo de água de uma residência;
- A água coletada da chuva diminui enchentes, pois vai para o reservatório das casas e apenas o excedente é eliminado;
- Traz economia na conta de água;
- Preservação ambiental.

O aquecimento solar de água, que utiliza energia solar para aquecer a água e economiza a energia necessária para esta finalidade.

A automatização também se destaca neste quesito. Manzano-Agugliaro et al. (2015) aconselham instalar termostatos ou relógios programáveis para regular as temperaturas dos diferentes espaços dentro da casa como funções de seus regimes de ocupação. Dessa forma os equipamentos artificiais só são acionados conforme real necessidade.

Porém, sistemas passivos por si só podem não alcançar condições confortáveis no espaço, mas podem ajudar a reduzir o consumo de energia (MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015). Lamberts, Dutra e Pereira (2014) ressaltam que o ar condicionado pode ser usado em conjunto com os sistemas naturais de resfriamento, diminuindo, dessa forma, o consumo de energia.

– **Considerações finais**

Após essa exposição das técnicas de arquitetura bioclimática, é preciso ter a consciência de que mesmo no mais cuidadoso dos projetos pode não se conseguir o conforto térmico satisfatório. Então é necessário recorrer a sistemas que permitem

um enquadramento mais adequado com relação ao meio ambiente, sistemas estes que funcionem com menor consumo de energia e somente nos momentos de real necessidade. Ainda, podem funcionar com energia limpa, como aproveitamento do calor do sol através da produção de energia por painéis fotovoltaicos, aquecimento solar de água, ou outras fontes.

A arquitetura bioclimática pode ser aplicada a qualquer tipo de edificação, sem necessariamente gerar custos adicionais e que agregam qualidade e economia. O que precisa acontecer é uma mudança cultural para um novo modelo de desenvolvimento. A busca por soluções para sustentabilidade deve acontecer de forma criativa e inovadora, minimizando o impacto gerado ao meio ambiente e buscando resultados mais eficientes com menor consumo de recursos.

Pode-se notar que grande parte das técnicas apresentadas não gera custo adicional à edificação e trazem diversos benefícios que podem ser aplicados democraticamente em qualquer edificação. O que acontece é a padronização de sistemas, produtos, desenhos e a falta de busca por soluções inovadoras. Ainda, muitas vezes os critérios estéticos são prioridade, deixando de lado qualquer análise desse tipo e ainda que, o conforto pode se resolver com equipamentos modernos, como o ar condicionado. A aplicação desses recursos exige conhecimento e dedicação maior do profissional, que deve ser multidisciplinar, para solucionar cada caso de maneira personalizada.

Para Cardoso (2002), isso ocorre basicamente por falta de conscientização da sociedade em geral, quanto à importância destas questões, bem como também por falta de um domínio dos conhecimentos técnicos quanto às soluções a serem adotadas, por parte dos projetistas. Mas também pode ser além da falta de conscientização, de interesse, pode ser pela má formação acadêmica e profissional, e até pela desmotivação para se investir em novos conhecimentos técnicos, por parte dos profissionais, devido aos baixos honorários em alguns segmentos da construção civil.

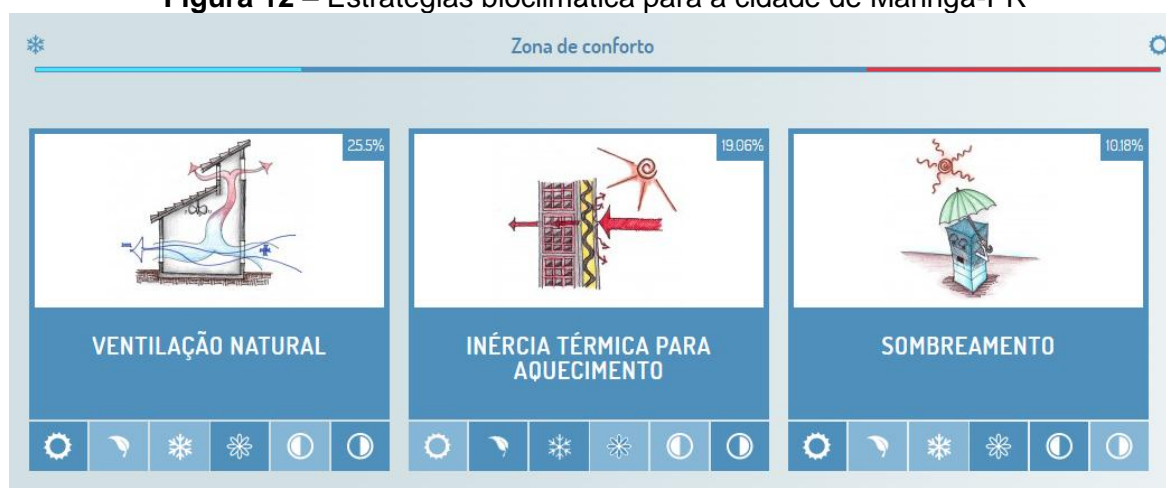
2.6.1. Recomendações de conforto para Maringá – PR

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE/UFSC) sugere, através do ProjetEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes, as estratégias bioclimáticas para os municípios. O principal intuito do ProjetEEE (2016) é fortalecer a capacitação técnica e contribuir com referências para o desenvolvimento de projetos de edificações eficientes.

Segundo o ProjetEEE (2016), em Maringá-PR tem-se que 41,51% das horas diurnas apresentam sol. De todas as horas do ano, 49,47% estão em conforto, 27,18% estão em desconforto por calor e 23,34% em desconforto por frio. Por isso, se aplicam as estratégias bioclimáticas (conforme pode ser observado na Figura 12):

- Ventilação Natural se aplica a 25,5% das horas do ano; sendo 57% de aplicabilidade no verão, 14% no outono, 8% no inverno, 21% na primavera. 46% durante o dia e 54% a noite.
- Inércia Térmica para aquecimento se aplica a 19,06%; sendo 4% de aplicabilidade no verão, 31% no outono, 43% no inverno, 22% na primavera. 38% durante o dia e 63% a noite.
- Sombreamento se aplica a 10,18%; sendo 52% de aplicabilidade no verão, 13% no outono, 10% no inverno, 26% na primavera.

Figura 12 – Estratégias bioclimática para a cidade de Maringá-PR



Fonte: ProjetEEE (2016)

Pietrobon, Lamberts e Pereira (2001), com o objetivo de definir o bioclima de Maringá-PR, apresentaram os resultados do estudo de caso para essa cidade, segundo o TRY definido por Pietrobon (1999). Foram processadas, para essa localidade, as cartas bioclimáticas, com o programa computacional Analsysbio 3.0, destacando que a localidade tem o bioclima do tipo 3, diversamente do definido normativamente. Por meio dos softwares Analsysbio3.0 e VisualDOE 2.61, os autores obtiveram as recomendações bioclimáticas e simulação computacional dos desempenhos térmico, lumínico e energético e resultou nas estratégias bioclimáticas para Maringá, conforme relacionadas na Tabela 1.

Com esse estudo pode-se observar que a maior parte do tempo está em desconforto e o desconforto acontece mais por calor. Com isso, as principais estratégias para o desconforto por calor são o sombreamento e a ventilação. Para o desconforto pelo frio a principal estratégia definida é a massa térmica e aquecimento solar.

Tabela 1 – Estratégias Bioclimáticas para Maringá-PR pelo TRY

Discriminação	Geral	Calor	Frio	Anual
Conforto	40,3%			40,3%
Desconforto	59,7%			59,7%
Frio	25,6%			25,6%
Calor	34,1%			34,1%
Sombreamento	71,0%			71,0%
Ventilação		32,9%		32,9%
Ventilação e massa		0,2%		0,2%
Ventilação/massa/resfr. evaporativo		8,5%		8,5%
Massa térmica para resfriamento		9,8%		9,8%
Massa e resfriamento evaporativo		0,9%		0,9%
Aquecimento artificial			1,2%	1,2%
Massa térmica e aquecimento solar			21,0%	21,0%
Aquecimento solar passivo			3,4%	3,4%
Ar condicionado		0,2%		0,2%
Umidificação			0,0%	0,0%
Resfriamento evaporativo		9,4%		9,4%

Fonte: Pietrobon, Lamberts e Pereira (2001)

Dessa forma, percebe-se a necessidade da aplicação das estratégias para melhorar a sensação de conforto. Nota-se também o quanto que essas estratégias:

ventilação natural, a inércia térmica e o sombreamento, contribuem nesse sentido para o clima dessa cidade, do mesmo modo que constam nas recomendações do ProjetEEE.

2.7. CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES

A preocupação com o desenvolvimento sustentável está cada vez mais presente na construção civil, assim como em todos os setores da sociedade, trazendo à tona o conceito de construção sustentável e a avaliação ambiental de construções. O primeiro sistema de certificação ambiental foi lançado em 1990 na Inglaterra, o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) que certifica construções com um selo verde (MOTTA; AGUILAR, 2009).

As certificações foram desenvolvidas para que os consumidores e usuários reconheçam as edificações que incorporam os requisitos que tornam construções sustentáveis menos impactantes ambientalmente. Para isso muitos selos foram criados, no Brasil e no mundo, alguns deles são mundialmente conhecidos, porém sua aplicação de forma globalizada é alvo de constantes críticas (MIOTTO, 2013).

Miotto (2013) destaca que nos sistemas de certificação são definidas as diretrizes e os níveis de eficiência que as edificações devem alcançar para serem consideradas sustentáveis. Keller e Burke (2010) salientam que os sistemas precisam ser verificáveis, mensuráveis, quantificáveis e tecnicamente consistentes.

Em 1999, nos Estados Unidos, o *United States Green Building Council* (USBCG) cria o selo de certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), que traz incentivos financeiros e econômicos para construções verdes (MOTTA; AGUILAR, 2009).

No Brasil, somente em 2007 começou a ser difundida a certificação ambiental. No mesmo ano foi fundado o *Green Building Council Brasil* (GBCB), para promover o selo norte-americano LEED e como objetivo ser referência na avaliação de construções sustentáveis, regionalizando a ferramenta de avaliação do LEED. Porém, este selo foi desenvolvido de acordo com a agenda e políticas públicas do

país de origem, não se adequando totalmente ao nosso País, portanto ainda demanda discussão do tema (MOTTA; AGUILAR, 2009; AGOPYAN; JOHN, 2011).

GBCB (2016) apresenta as dimensões avaliadas pelo LEED, e no item *Energy & Atmosphere* (Energia e Atmosfera) indica a promoção da eficiência energética nas edificações por meio de estratégias simples e inovadoras, como, por exemplo, as simulações energéticas, medições, comissionamento de sistemas e utilização de equipamentos e sistemas eficientes.

Em 2010, a Caixa Econômica Federal lançou o Selo Casa Azul de Construção Sustentável, que foi desenvolvido especificamente para o mercado residencial brasileiro, com a possibilidade de ser aplicável a projetos de baixa renda. Segundo John e Prado (2010), o Selo Casa Azul é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais, que busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações, objetivando incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno.

Outro ponto sobre as certificações é a conscientização com relação à sua aplicação, buscando benefícios ambientais e para os ocupantes das edificações, e não apenas seu uso comercial encobrindo o real significado. Nesse sentido, Cavalcante (2010) afirma que o interesse pela certificação é maior do que pela redução no consumo de energia e economias alcançadas, por não perceberem o projeto como potencial redutor de consumo e custo de energia.

2.7.1. Procel Edifica

Segundo Procel (2015), o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais e comerciais, de serviços e públicas, no Brasil, é bastante significativo, correspondendo a aproximadamente 50% do total da eletricidade consumida no país. Por outro lado, o potencial de economia de energia desse setor também é expressivo, uma vez que edificações novas construídas de acordo com os padrões instituídos pela Etiqueta Procel Edifica podem obter uma economia de até 50%,

e as edificações existentes que sofrerem grandes reformas, uma economia de até 30%. Por isso, o Procel busca incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) nas edificações brasileiras, reduzindo o desperdício e os impactos sobre o meio ambiente.

Os estudos do Procel Edifica tiveram início em 2003, levantando as barreiras da eficiência energética em edificações, dentre elas destacam-se: a inadequação dos projetos (como orientação inadequada com relação à trajetória solar, aberturas mal dimensionadas e materiais inadequados); ausência de simulação energética na fase de projeto e; pouco aproveitamento de energia renovável (GEROLA, 2014).

Em apoio à implantação da Regulamentação da Lei de Eficiência Energética – Lei 10.295 – que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001), a Eletrobrás introduziu o selo Procel Edifica, para edifícios comerciais e, posteriormente para, residenciais.

O Procel Edifica promove a avaliação da eficiência energética de edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, em parceria com o Inmetro, que confere a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para as edificações, a Etiqueta PBE Edifica (PROCEL, 2015).

O Selo Procel Edifica é um instrumento de adesão voluntária que tem por objetivo principal identificar as edificações que apresentem as melhores classificações de eficiência energética em uma dada categoria, motivando o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes (PROCEL, 2015).

Procel (2015) recomenda que para obter o Selo Procel Edifica, a edificação já seja concebida de forma eficiente desde a etapa de projeto, pois é o momento em que é possível obter melhores resultados com menores investimentos, podendo chegar a 50% de economia. A metodologia de avaliação da conformidade está descrita no Regulamento para Concessão do Selo Procel de Economia de Energia para Edificações, bem como nos Critérios Técnicos específicos e baseiam-se no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) do Programa Brasileiro de Edificações – PBE Edifica.

Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Nas unidades habitacionais são avaliados: a envoltória e o sistema de aquecimento de água (PROCEL, 2015).

O RTQ-C especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. Tem como objetivo a criação de condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. De acordo com a pontuação final alcançada pelo projeto, é obtida uma classificação que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), apresentada na ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (INMETRO, 2013).

Este regulamento descreve que a etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve ser realizada através dos métodos prescritivo ou de simulação. O método prescritivo é baseado na análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão. Porém, para caso de edifícios que possuem áreas não condicionadas e para as áreas de permanência prolongada (como lojas, escritórios, áreas de trabalho) é obrigatório comprovar por simulação que o ambiente interno proporciona temperaturas dentro da zona de conforto, durante um percentual das horas ocupadas (INMETRO, 2013).

O Selo Procel Edifica é outorgado tanto na etapa de projeto, válido até a finalização da obra, quanto na etapa da edificação construída. Os selos são emitidos pela Eletrobras após a avaliação realizada por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo Inmetro, com escopo de Eficiência Energética em Edificações - OIA-EEE (PROCEL, 2015).

O selo Procel Edifica pode ser utilizado como caminho alternativo para a comprovação do atendimento ao pré-requisito de desempenho energético mínimo no processo de obtenção da certificação internacional de construções sustentáveis LEED. O critério de equivalência é válido para edificações comerciais, públicas e de serviços localizadas em todo o território nacional (PROCEL, 2015).

2.8. NORMAS APLICÁVEIS

2.8.1. ASHRAE Standard 55:2013 e Projeto de Revisão da NBR 16.401-2

A norma ASHRAE Standard 55:2013 – *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* – tem como objetivo especificar a combinação de variáveis térmicas ambientais e pessoais que produza condições aceitáveis de conforto para a maioria dos ocupantes no ambiente.

No Brasil, a ABNT NBR 16401:2008 – Instalações de ar condicionado: sistemas centrais e unitários, Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, está sendo revisada, para uma nova versão, segundo Lamberts et al. (2016). Ressalta-se que é um projeto de revisão e não tem valor normativo ainda. Com essa revisão a ABNT NBR 16401-2 assemelha-se a ASHRAE Standard 55:2013.

Essa revisão da norma, segundo Lamberts et al. (2016), define conforto térmico “*como o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico e a temperatura do corpo como um todo*”. Como as condições fisiológicas e psicológicas de pessoa para pessoa variam, é muito difícil satisfazer a todos em um mesmo ambiente. Por isso as condições ambientais que resultam em conforto térmico não são as mesmas para todos. As condições nas quais uma percentagem mínima de ocupantes se sentirá termicamente confortável são apresentadas nesta parte da norma.

As principais variáveis consideradas por esse projeto de revisão da norma que afetam o conforto são: taxa metabólica, isolamento da vestimenta, temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar. As duas primeiras são variáveis relativas aos ocupantes e as demais ao ambiente térmico.

A ABNT NBR 16401-2:2008 e ASHRAE Standard 55:2013 utilizam o conceito de Temperatura Operativa, e definem como: temperatura uniforme das superfícies de um ambiente imaginário no qual o ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme. Lamberts et al. (2016) complementam que a temperatura operativa pode ser calculada com suficiente aproximação como sendo o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média.

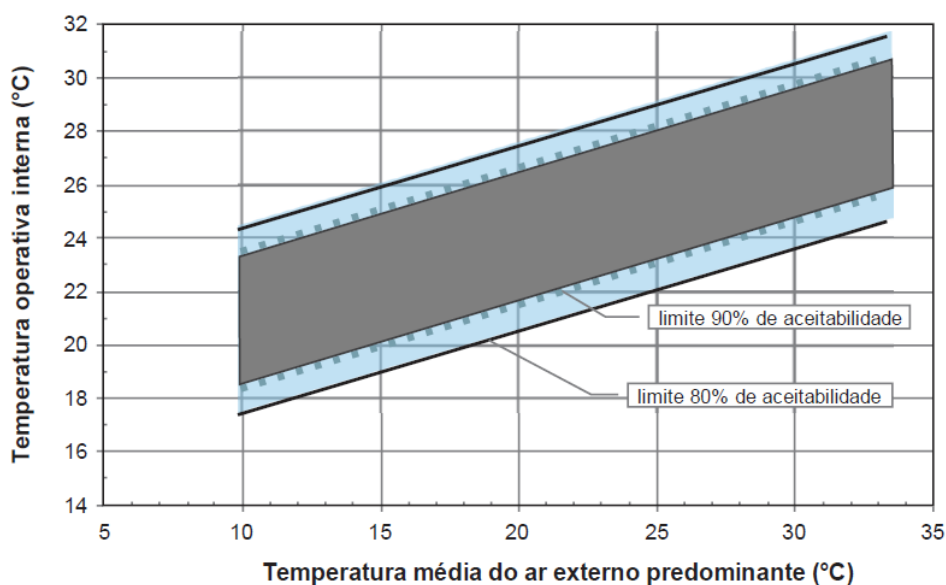
Pereira (2004) destaca que a temperatura operativa é um parâmetro que melhor caracteriza a temperatura que realmente é sentida pelos ocupantes. Assim, quando se pretende definir um valor para a temperatura de conforto de um determinado espaço, deve-se calcular uma média ponderada entre a temperatura do ar e a temperatura das superfícies envolventes, desprezando as perdas de calor por respiração e por condução (que são pequenas). O resultado é a temperatura operativa. Essa temperatura média operativa de um determinado espaço é o valor mais correto para definir a temperatura de conforto do espaço.

A ASHRAE Standard 55:2013 e o projeto de revisão da ABNT NBR 16401-2, segundo Lamberts (2016), determinam as condições térmicas aceitáveis em ambientes ventilados naturalmente e controlados pelos usuários:

- Aplicabilidade: se aplica a ambientes naturalmente condicionados, onde as janelas podem ser operadas e ajustadas pelos ocupantes de acordo com suas necessidades. A utilização deste método deve seguir os seguintes critérios: a) Não deve existir nenhum tipo de sistema de condicionamento artificial mecânico operando durante todas as horas de ocupação diárias; b) Os ocupantes devem desenvolver atividades sedentárias com taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met. (sala de aula); c) Os ocupantes podem variar a sua vestimenta em uma faixa de 0,5 – 1,0 clo (verão e inverno); d) A temperatura média predominante do ar externo deve estar dentro do intervalo entre 10,0 °C e 33,5 °C.
- Método: A temperatura operativa interna admissível deve ser determinada pela Figura 13 a partir dos limites de 80 % de aceitabilidade.

Os efeitos de desconforto térmico local, roupa, atividade metabólica, umidade e velocidade do ar não precisam ser analisados isoladamente, pois já foram considerados na Figura 13.

Figura 13 – Faixa de temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente condicionados



Nota: Os limites de 80 % são normativos e os limites de 90 % informativos.

Fonte: Adaptado da ASHRAE Standard 55:2013 pelo projeto de revisão da ABNT NBR 16401-2

Com isso, conclui-se que o intervalo de conforto é de temperatura operativa interna de 17,5° C a 31,5° C, para 80% de aceitabilidade, com condições térmicas aceitáveis para ambientes ventilados naturalmente e controlados pelos usuários, onde as janelas podem ser operadas e ajustadas pelos ocupantes, de acordo com suas necessidades, e sem sistema de condicionamento artificial mecânico, que é o caso da sala de aula, objeto principal desse estudo, considerando ocupantes com atividades sedentárias com taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met. (sala de aula), vestimenta em uma faixa de 0,5 – 1,0 clo (verão e inverno) e temperatura média predominante do ar externo dentro do intervalo entre 10,0°C e 33,5°C.

A ASHRAE Standard 55:2013 e o projeto de revisão da ABNT NBR 16401-2, segundo Lamberts (2016), definem horas de desconforto como “o número de horas ocupadas em um período de tempo definido, quando as condições ambientais em um espaço estão fora dos limites estipulados pela zona de conforto”. Essa avaliação é feita para casos que existam dados de um período de tempo (dia, estação ou ano) e deve-se usar para o cálculo do número de horas excedidas em que as condições ambientais estão fora da zona de conforto.

2.8.2. Norma de Desempenho – ABNT NBR 15575:2013

As Normas de Desempenho são estabelecidas buscando atender às exigências dos usuários, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado. Essas normas traduzem as exigências dos usuários em requisitos e critérios. O foco da norma brasileira NBR 15.575 (ABNT, 2013) está nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso.

Segundo a ABNT NBR 15.575:2013, as exigências do usuário relativas à habitabilidade são expressas pelos seguintes fatores: estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropodinâmico.

Essa norma ainda especifica que cabe ao projetista o papel de especificar materiais, produtos e processos que atendam ao desempenho mínimo estabelecido nesta norma, com base nas normas prescritivas e no desempenho declarado pelos fabricantes dos produtos a serem empregados em projeto.

A avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada. Para avaliação do desempenho térmico, a edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15.220-3:2005.

Quando uma edificação apresenta desempenho térmico adequado, isso repercute para o conforto das pessoas, resultando em condições adequadas para o sono e as atividades normais, além de contribuir para a economia de energia. A avaliação térmica se dá de forma simplificada, com base nas propriedades térmicas das fachadas, ou por simulação computacional (CBIC, 2013). Para a simulação computacional esta norma recomenda o emprego do programa *EnergyPlus*.

A ABNT NBR 15.575:2013 trata apenas de condições naturais, portanto o desempenho térmico depende de diversas características do local (topografia, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade dos ventos, etc.) e também da

edificação (materiais, número de pavimentos, dimensões dos cômodos, pé direito, etc.). Influencia ainda o tipo de atividades no interior, quantidade de mobília, tipo de vestimentas, número de ocupantes, sexo, idade e condições fisiológicas e psicológicas dos usuários. Sendo assim, o conforto térmico refere-se a uma condição média, que atende a maior parte das pessoas (CBIC, 2013).

Em seu Anexo 1, a ABNT NBR 15.575-1:2013 trata da avaliação do desempenho térmico de edificações por meio de medição, que pode ser realizada *in loco*, na edificação em escala real. A avaliação é feita medindo-se a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20 m do piso. No período de medição, o dia tomado para análise deve corresponder ao dia típico (de verão ou de inverno), precedido por pelo menos um dia com características semelhantes, porém recomenda-se trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro. O dia típico é caracterizado unicamente pelos valores de temperatura do ar externo medido no local. As temperaturas externas de diversas localidades, para dias típicos de verão e inverno, são apresentadas neste mesmo anexo dessa norma.

Para a simulação computacional são utilizadas as mesmas tabelas do anexo 1 da ABNT NBR 15.575-1:2013, que fornecem a localização de algumas cidades e seus dados climáticos correspondentes aos dias típicos. Na falta de dados da cidade em estudo, recomenda-se utilizar dados de uma cidade próxima com altitude idêntica e características climáticas semelhantes, na mesma Zona Bioclimática (CBIC, 2013).

A cidade de Maringá-PR não consta nessa lista. A cidade com condições semelhantes é a cidade de São Paulo-SP, que pertence a mesma zona bioclimática (3), tem latitude (23.5 S e 46.62 W) e altitude (792 m) e é a mais parecida com a cidade de Maringá. A temperatura máxima diária para típicos de verão em São Paulo, que será usado para Maringá nesta análise, é de 31,9 °C. E para o inverno, a temperatura mínima é de 6,2 °C.

Para a geometria do modelo de simulação deve-se tomar a habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica. Todas as características construtivas devem ser reproduzidas (dimensões em planta e pé direito, aberturas e tipos de portas e janelas, materiais de paredes, coberturas, etc.).

Devem ser consideradas também todas as condições climáticas (temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, nebulosidade, direção e velocidade do vento) (CBIC, 2013).

Os dados para alimentar o programa das propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos devem ser os indicados nas normas NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) e NBR 15.220-2 (ABNT, 2003). Devem ser simulados todos os recintos de permanência prolongada (sala de estar e dormitórios), considerando-se um cômodo na extremidade da habitação (com duas paredes de fachada), sendo no verão o cômodo com orientação oeste e norte, e no inverno sul e leste. Em edifícios multipisos, deve ser selecionada a unidade do último piso, com cobertura exposta (CBIC, 2013).

Para o nível de desempenho mínimo (M), para a Zona Bioclimática 3, os valores máximos diários da temperatura do ar interior devem ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior para o dia típico de verão. No dia típico de inverno, os valores mínimos diários da temperatura do ar no interior devem ser sempre 3 °C maiores que o valor mínimo diário da temperatura no exterior (CBIC, 2013).

A Norma de desempenho define os critérios de avaliação de desempenho térmico para o verão e inverno conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno

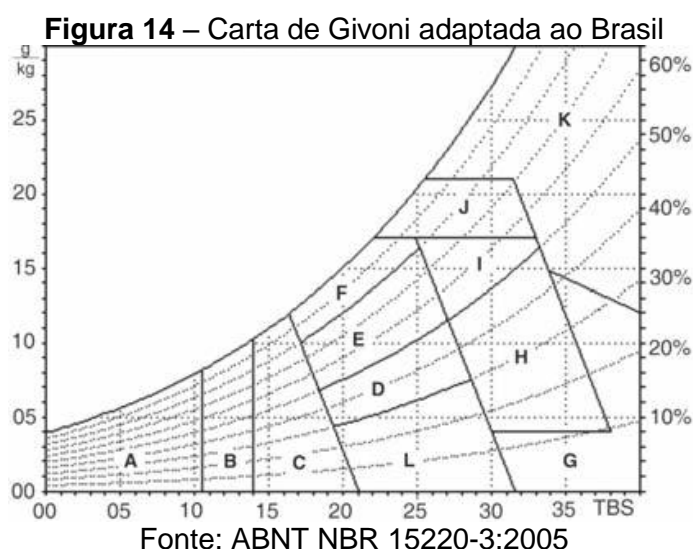
Nível de desempenho	Critério – Zona bioclimática 3	
	Verão	Inverno
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^\circ \text{ C})$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{ C})$	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^\circ \text{ C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{ C})$	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^\circ \text{ C})$
$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: ABNT NBR 15575-1:2013 adaptada

2.8.3. Norma de Desempenho Térmico de Edificações – ABNT NBR 15220:2003

A ABNT NBR 15.220-3:2005 apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, aplicáveis na fase de projeto. Dispõe que a avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Para a edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco*, enquanto que na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

Além disso, esta norma estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, em que são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo. Para isso o território brasileiro é dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma dessas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. As recomendações normativas adaptam uma Carta Bioclimática a partir da sugerida por Givoni, conforme a Figura 14.



- No qual,
- A – Zona de aquecimento artificial (calefação)
 - B – Zona de aquecimento solar da edificação
 - C – Zona de massa térmica para aquecimento
 - D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)

- E – Zona de Conforto Térmico
- F – Zona de desumidificação (renovação do ar)
- G + H – Zona de resfriamento evaporativo
- H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
- I + J – Zona de ventilação
- K – Zona de refrigeração artificial
- L – Zona de umidificação do ar

Na carta bioclimática de Givoni, adaptada ao Brasil, observa-se uma amplitude de conforto para o organismo humano. Em países em desenvolvimento a umidade relativa pode variar de 30 a 80% e a temperatura de 18 a 29 °C. Porém, quando o ambiente estiver à temperatura de 18 °C é necessário cuidar para que a ventilação não gere desconforto e para a temperatura de 29 °C, a incidência de radiação deve ser controlada.

No anexo A da ANBT NBR 15.220-3:2005 são indicadas as zonas correspondentes a diversas cidades brasileiras. A relação apresenta 330 cidades cujos climas foram classificados. Segundo essa tabela a cidade de Maringá está inserida na zona bioclimática 1. Porém, uma nota técnica emitida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CBEEE, 2011) altera a zona bioclimática para esta cidade, que deverá ser considerada como zona bioclimática 3 (a mesma que contempla a cidade de Londrina-PR e São Paulo-SP).

2.8.3.1. Zona bioclimática 3

Segundo as diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 3, as aberturas para ventilação devem ser médias (de 15% a 25% da área de piso em ambientes de longa permanência), e o sombreamento das aberturas deve permitir sol durante o inverno.

Já os tipos de vedações externas devem ser: parede leve e refletora (transmitância térmica menor ou igual a 3,60 W/m².K; atraso térmico menor ou igual a 4,3 horas; e fator solar menor ou igual a 4,0%) e cobertura leve isolada (transmitância térmica menor ou igual a 2,00 W/m².K; atraso térmico menor ou igual a 3,3 horas; e fator solar menor ou igual a 6,5%).

As estratégias de condicionamento térmico passivo consistem em ventilação cruzada no verão e aquecimento solar da edificação no inverno, além de vedações internas pesadas (inércia térmica). Para a Zona Bioclimática 3 as estratégias bioclimáticas são BCFI, sendo obrigatório apenas o B e proibidas D e H, a Tabela 3 detalha as diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo.

Tabela 3 – Estratégias de condicionamento térmico

Estratégias de condicionamento térmico	Detalhamento
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Fonte: ABNT NBR 15.220-3:2005

2.9. SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO NAS EDIFICAÇÕES

Com a utilização de programas que permitem a simulação do desempenho termo-energético de edificações é possível construir edifícios que gerem menores

agressões ao meio ambiente. As simulações podem contribuir para verificar previamente como as estratégias, materiais e elementos arquitetônicos se comportam nos respectivos climas, a fim de alcançar o conforto e melhor desempenho (ARANTES, 2013; MANZANO-AGUGLIARO et al., 2015).

Através de simulações realizadas por programas computacionais, antes da construção, é possível avaliar a eficiência dos elementos, técnicas e materiais adotados no projeto, verificando assim o atendimento aos conceitos do projeto. Dessa forma é possível analisar o desempenho energético para melhorias de projeto, bem como, o cumprimento de requisitos exigidos para certificação de edificações e pelas normas.

Para auxiliar nas decisões de projeto e favorecer a qualidade, os projetistas podem utilizar-se de programas de simulação computacional. Para Oliveira (2010) esses programas são ferramentas importantes para melhorar os projetos e reduzir o consumo de energia, pois pode calcular o comportamento térmico do edifício e avaliar a aplicação de diferentes variáveis, como sua geometria e materiais empregados.

Melo (2007) diz que a utilização de ferramentas computacionais pode ocorrer tanto na fase de projeto como durante a construção da edificação, fornecendo a vantagem e a possibilidade de testar soluções mais eficientes sem a necessidade de intervir na edificação. Além disso, a simulação computacional possibilita a identificação da influência de cada fator isoladamente, o que nem sempre é possível na edificação já construída.

Atualmente, existem diversas ferramentas computacionais para analisar o desempenho energético e o consumo de energia das edificações. O Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos apresenta mais de 330 programas de simulação, entre eles o *EnergyPlus*.

O *EnergyPlus* é uma ferramenta para modelagem de energia para a avaliação do edifício, desenvolvida pelo Departamento de Engenharia dos Estados Unidos, permite simular os sistemas de refrigeração, ventilação e iluminação, de forma a quantificar o consumo de energia (*ENERGYPLUS*, 2016).

Lamberts et al (2010), Cavalcante (2010), Beyer (2010), Lima (2010) e Pietrobon (1990) realizaram estudos através do programa *EnergyPlus*. Kiouranis (2014), com o *Design Builder*. Eles analisaram diversos modelos para identificar o potencial de cada estratégia para a eficiência energética e obter a influência de cada um deles no desempenho do edifício.

2.9.1. *EnergyPlus*

EnergyPlus é um programa de simulação projetado para modelagem de edificações incluindo climatização e desempenho energético. Nasceu de preocupações impulsionadas pela crise energética da década de 1970 e no reconhecimento de que o consumo de energia em edificações é um dos principais componentes das estatísticas do uso de energia norte-americanos (*ENERGYPLUS*, 2016).

Ele tem origem tanto no BLAST e programas DOE-2 e foi projetado para ser um elemento dentro de um sistema de programas que incluem uma interface gráfica do usuário para descrever a construção. O *EnergyPlus* é um programa de simulação de carga térmica, com base na descrição da composição física do edifício, sistemas mecânicos associados, etc. (*ENERGYPLUS*, 2016).

O software *EnergyPlus* precisa dos arquivos de entrada que descrevem o edifício a ser modelado (modelo) e o ambiente que o rodeia (arquivo climático). O programa produz vários arquivos de saída, que precisam ser descritos a fim de fazer o sentido dos resultados da simulação (*ENERGYPLUS*, 2016).

EnergyPlus (2016) destaca que este programa apresenta algumas características que o coloca à frente de diversos programas de simulações termo-energéticas, como:

- a) Intervalos de tempos definidos pelo usuário, com fração de hora, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente;
- b) Arquivos de entrada, saída e climática que incluem condições ambientais horárias ou sub-horárias (até um quarto de hora) e relatórios padrões ajustáveis pelo usuário;

- c) Técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas prediais, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiante e convectivo na superfície interior e exterior, durante cada intervalo de tempo;
- d) Condução de calor transiente através dos elementos do prédio como paredes, tetos, pisos, etc., usando funções de transferência; modelo de conforto térmico, baseado na atividade, temperatura de bulbo seco interna, umidade;
- e) Cálculo de balanço de calor de janelas que permite o controle eletrônico de persianas, balanço térmico camada por camada, o que permite a identificação do comprimento de onda da energia solar absorvida pelo vidro da janela;
- f) Possui uma biblioteca versátil com diversos modelos comerciais de janela; controle da luz do dia, incluindo cálculos da iluminância interior, controle dos brilhos das luminárias e do efeito da iluminação artificial;
- g) Sistemas de condicionamento de ar configuráveis, que permitem ao usuário simular sistemas típicos comuns e sistemas poucos modificados, sem ter que recompilar o código fonte do programa, entre outras.

2.9.2. Estudo de caso: A Casa Eficiente

A Casa Eficiente está localizada em Florianópolis – SC, e é um projeto de uma residência unifamiliar eficiente criado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina, juntamente com a ELETROSUL – Centrais Elétricas S.A. e a ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A., através do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), em busca de soluções inovadoras e eficientes no âmbito da construção civil, visando o uso racional de energia.

Foi projetada para se tornar uma vitrine de tecnologias de ponta de eficiência energética e conforto ambiental para edificações residenciais, com o objetivo de divulgar equipamentos e estratégias voltadas à eficiência energética de edificações residenciais. Foi concebida buscando alcançar a máxima eficiência energética,

seguindo princípios como o uso racional de energia e o baixo impacto ambiental (LAMBERTS et al, 2010). A Casa Eficiente é apresentada nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Casa Eficiente (vista sudoeste)



Fonte: Eletrosul (2014)

Figura 16 – Casa Eficiente (vista noroeste)



Fonte: Eletrosul (2014)

A Casa Eficiente reúne diversas estratégias de adequação climática, com o aproveitamento da ventilação e da luz natural, aproveitamento da energia solar térmica para aquecimento de água e da energia solar luminosa para a geração de eletricidade através de um painel fotovoltaico interligado à rede, utiliza água da chuva para fins não potáveis (máquina de lavar roupas, vaso sanitário, tanque e

torneira externa), possui um sistema de reuso de águas, no qual os efluentes recebem tratamento biológico por zona de raízes, as águas negras tratadas são encaminhadas para a rede coletora e as águas cinzas tratadas são armazenadas para uso na irrigação do jardim (LAMBERTS et al, 2010).

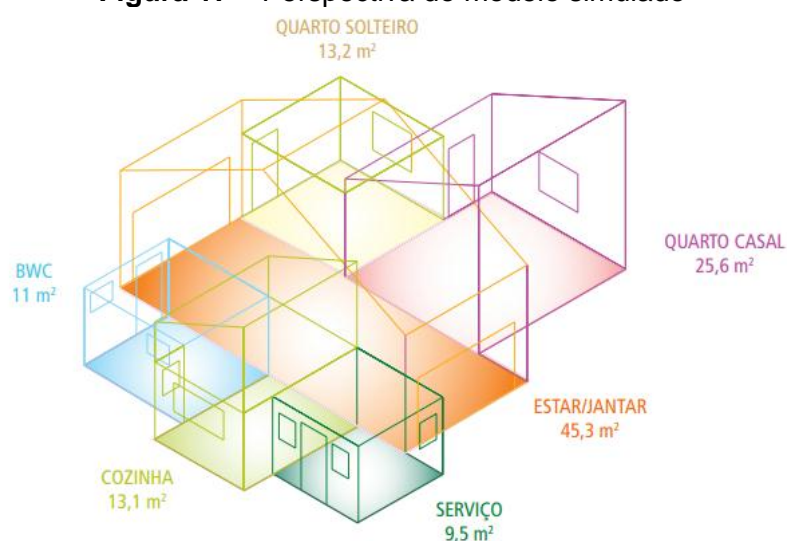
O projeto da Casa Eficiente foi fundamentado em técnicas de arquitetura bioclimática para adequar a edificação às condições e clima locais. Foram realizadas simulações computacionais utilizando o programa *EnergyPlus*, com o objetivo de avaliar e quantificar os benefícios relacionados à adoção de estratégias passivas de condicionamento ambiental, implementadas no projeto. As simulações também objetivaram demonstrar o impacto da adoção de hábitos de consumo eficientes por parte dos usuários da edificação e também da substituição de lâmpadas e equipamentos elétricos por alternativas com menor consumo de energia (LAMBERTS et al, 2010).

Lamberts et al (2010) observam que todos os estudos realizados na Casa Eficiente demonstraram a importância e grande utilidade da simulação computacional nas análises termo-energéticas de edificações. Sendo que com elas, foi possível estudar o comportamento térmico e consumo energético da edificação, mesmo antes da sua construção.

Ainda segundo Lamberts et al (2010), diversas ferramentas computacionais de simulação têm sido desenvolvidas com o intuito de facilitar a análise e avaliação de projetos e edifícios quanto ao seu comportamento energético, térmico, acústico e de iluminação, entre outros. O Departamento de Energia dos Estados Unidos tem disponível na Internet uma lista de programas de simulação de edificações, para análises de eficiência energética, energias renováveis e sustentabilidade em edifícios. Dentre eles, se destaca o programa *EnergyPlus*, por ser um dos mais utilizados para análises termo-energéticas de edificações. Ele foi criado com o objetivo principal de estimar trocas térmicas, níveis de iluminação e consumo energético de edifícios, a partir da modelagem física do edifício e seus sistemas de ventilação, iluminação, aquecimento e resfriamento. É possível adicionar ventilação natural, usos de água, sistemas fotovoltaicos, índices de conforto térmico, entre outros.

Lamberts et al (2010) enfatizam que ao longo das pesquisas realizadas com a Casa Eficiente, o programa *EnergyPlus* foi utilizado em diversas simulações computacionais. Elas ocorreram tanto antes da construção da Casa, para auxiliar nas decisões de projeto, avaliando as melhores estratégias a serem adotadas, quanto após a construção, auxiliando em estudos e análises de desempenho térmico e eficiência energética. A Figura 17 apresenta a perspectiva do modelo simulado.

Figura 17 – Perspectiva do modelo simulado



Fonte: Lamberts et al (2010)

Com o *EnergyPlus* são realizadas simulações para diferentes climas, conforme o interesse do usuário, a partir de um arquivo climático com dados horários. Como resultados, obtêm-se uma série de dados calculados, tais como temperaturas internas, temperaturas superficiais, fluxo de calor pelos componentes do edifício, ganhos internos de calor, consumo energético, trocas de ar, etc. (LAMBERTS et al, 2010).

Lamberts et al (2010) explicam que nas simulações realizadas antes da construção, avaliando dez modelos com a mesma planta e volumetria da residência, mas com alterações em parâmetros construtivos e de uso e ocupação, pôde-se verificar a influência de cada estratégia de interesse no desempenho da Casa Eficiente. Como resultado, concluiu-se que a reunião dessas estratégias em uma configuração única resultaria em um melhor desempenho termo-energético da

edificação. Assim, tal configuração foi adotada no projeto arquitetônico da Casa Eficiente.

No último modelo foi realizada a incorporação conjunta das tecnologias propostas nas simulações anteriores reunindo equipamentos eficientes e padrão de uso eficiente dos equipamentos e iluminação, emprego conjunto de paredes duplas e cobertura com isolamento térmico, de proteção solar e vidros duplos nas aberturas e do condicionamento ambiental passivo. Foi utilizado o telhado verde sobre o quarto de solteiro e banheiro, cobertura em telha metálica com isolamento de manta de lã de rocha na cobertura central e cobertura em telha cerâmica com isolamento térmico sobre a cozinha e quarto de casal (LAMBERTS et al, 2010). A Tabela 4 apresenta o resumo das estratégias simuladas.

Tabela 4 – Resumo das características das alternativas simuladas

Alternativas simuladas	Tecnologias incorporadas ao projeto
MODELO 1: Caso de Referência	Padrões construtivos comumente empregados.
MODELO 2: MODELO 1 + Equipamentos eficientes	Uso de equipamentos eficientes (lâmpadas e eletrodomésticos).
MODELO 3: MODELO 2 + Uso eficiente dos equipamentos	Uso de equipamentos eficientes associados à redução no período de uso da iluminação artificial e equipamentos.
MODELO 4: MODELO 3 + Coberturas com isolamento térmico	Uso de câmara de ar, isolamento refletivo de alumínio, manta de lã de rocha e forro de madeira junto com telha de barro.
MODELO 5: MODELO 3 + Paredes duplas com isolamento térmico	Uso de paredes duplas de tijolo maciço com manta isolante de lã de rocha.
MODELO 6: MODELO 3 + Paredes duplas e coberturas com isolamento	Emprego conjunto da cobertura com isolamento (MODELO 4) e paredes duplas (MODELO 5).
MODELO 7: MODELO 3 + Aberturas com protetores solares	Inserção de protetores solares horizontais e venezianas nas aberturas.
MODELO 8: MODELO 3 + Vidros duplos	Emprego de vidros duplos nas aberturas.
MODELO 9: MODELO 3 + Condicionamento alternativo (passivo)	Adoção da ventilação natural, inclusive no período noturno (quartos), em substituição aos condicionadores de ar tipo “janela”.
MODELO 10: MODELOS 6 + 7 + 8 + 9 (Casa Eficiente)	Proposta equivalente ao projeto real, com a incorporação das tecnologias empregadas nos modelos 6, 7, 8 e 9.

Fonte: Lamberts et al (2010)

Os estudos na Casa Eficiente apresentados nos resultados das simulações demonstraram as estimativas de consumo de energia elétrica para as diferentes alternativas de projeto. Tais estimativas são expressas pelos consumos mensais e usos finais de energia elétrica no período de um ano. O desempenho térmico da residência foi analisado com base no somatório de graus-hora necessários para o resfriamento da edificação durante o verão e seu aquecimento durante o inverno. A temperatura limite adotada para o verão foi 24°C e para o inverno 18°C.

2.9.3. Pesquisas que utilizaram simulação computacional

Kiouranis (2014) realizou um diagnóstico acerca do conforto e desempenho térmico e lumínico da Biblioteca Central da Universidade Estadual de Maringá (BCE/UEM), relacionando o objeto de estudo com o conforto ambiental para o caso de ambientes de ensino/aprendizagem. A pesquisa foi feita em duas etapas: por meio de parâmetros previstos em normas e questionários com os ocupantes; e por meio dos parâmetros para a certificação e etiquetagem em edificações e softwares de simulação termo-energéticas. Nessa pesquisa, o autor limitou-se à análise do conforto térmico apenas no maior ambiente de permanência prolongada dos usuários da BCE/UEM, por limitações da pesquisa, descartou os demais espaços e demais pavimentos.

Esse autor concluiu, com o auxílio da ferramenta computacional *Design Builder*, que o gasto energético com a iluminação interna artificial pode ser drasticamente reduzido quando se utiliza esse mecanismo de aproveitamento de luz natural, conforme casos avaliados no *software*. E para as futuras edificações, ainda na fase de projeto, essa análise do aproveitamento da luz natural poderia ser mais explorada e utilizada já que as características climáticas são favoráveis.

Com relação ao conforto térmico, Kiouranis (2014), verificou que a maior parte dos usuários indica uma sensação de neutralidade, mas com preferência de um ambiente um pouco mais refrescado. Pela simulação computacional, o resultado também foi próximo da neutralidade. Sobre a ventilação, as aberturas da edificação

não são propícias para uma ventilação adequada, e o critério de aberturas para ventilação não foi atendido pela Norma de Desempenho.

Em consequência da falta de ventilação suficiente, o percentual de horas de conforto dos ambientes de permanência prolongada, a verificação com as simulações pelo *software Design Builder*, mostrou que os ambientes (com exceção do inverno) não apresentam um percentual de conforto para o atendimento das exigências de classificação “nível A” pela ABNT NBR 15575:2013. E por fim, Kiouranis (2014) concluiu que apesar da edificação não estar mais em fase de projeto, o processo apresentou direcionamentos significativos para a eficiência energética da edificação.

Cavalcante (2010), com a finalidade de investigar a influência da arquitetura no desempenho de edifícios de escritórios e a importância da intervenção ainda em projeto, estima o desempenho de uma série de modelos com auxílio da simulação computacional com o *EnergyPlus*. Ele considera a mesma geometria e alterações nos seguintes aspectos: área de fachada envidraçada, propriedades ópticas e térmicas dos fechamentos transparentes, persianas automatizadas, orientação do edifício e proporções do pavimento tipo. O autor destacou a importância dos resultados obtidos nas simulações para auxílio nas decisões de projeto, desde o início da sua concepção. E concluiu que decisões durante a fase de concepção do projeto têm impacto considerável no desempenho final do edifício.

Beyer (2010) analisou o desempenho térmico de um edifício de uso comercial com certificação LEED. A proposta era simular o consumo anual de energia do edifício e propor uma economia de 10%. Nesse caso não era possível alterar o sistema de ar condicionado, iluminação e equipamentos. Para reduzir o consumo mudou-se o envelope do edifício. Para diminuir o ganho de calor solar, as fachadas do edifício foram cobertas com dispositivos de sombreamento externos. Com isso, houve também economia de energia em refrigeração, ventiladores e aquecimento. E assim, o resultado foi a economia de energia equivalente a 15,4%, do edifício proposto em relação ao edifício de referência. O autor concluiu que a utilização dos softwares Google *SketchUp*, plug-in *OpenStudio* e *EnergyPlus* oferece uma boa associação para simular o consumo de energia em edifícios.

Em seu estudo, Lima (2010) avaliou a influência do sombreamento e da absorvância da envoltória no desempenho térmico e consumo energético em edifícios. O trabalho foi realizado por simulações computacionais utilizando o *EnergyPlus*, visando a comparação entre o modelo de referência e os parâmetros propostos: dispositivo de proteção solar, o entorno e a absorvância das paredes externas. Foi acrescentado um parâmetro por vez e comparado ao modelo de referência. Os resultados indicaram que a utilização de proteção solar, o aproveitamento da morfologia do arranjo construtivo e a predominância da cor clara na textura das paredes externas contribuíram para um melhor desempenho termo-energético, implicando na redução do consumo energético.

Pereira e Ferreira (2014) utilizaram o *EnergyPlus* para simular e encontrar a quantidade de horas em desconforto em habitações multifamiliares e calcular o consumo de energia gasta com o condicionamento artificial para suprir o desconforto.

Essas autoras avaliam, em cada zona bioclimática, o desempenho térmico, conforme sugere a Norma de Desempenho. E discutem que o método da Norma é limitado, identificando que os critérios atendidos pela norma não garantem o conforto térmico, comparando à ASHRAE 55. Com isso, as autoras calcularam a demanda de energia extra causada pelo uso do ar-condicionado, nas habitações com constante desconforto térmico, mostrando o impacto energético que a adoção desses critérios pode causar.

Concluíram que os sistemas construtivos que atendem aos critérios da Norma de Desempenho não garantem condições de conforto aos usuários na maior parte das zonas bioclimáticas, o que pode elevar o consumo de energia elétrica nessas edificações.

Doerfler e Krueger (2014) realizaram simulações termo-energéticas com o programa *EnergyPlus* na planta padrão de uma habitação popular em Curitiba-PR, com o objetivo de verificar os efeitos em termos de consumo energético estimado em climatização artificial - graus-hora para aquecimento - e os níveis de conforto térmico interno advindos de diferentes orientações da planta padrão incluindo uma realocação de aberturas.

Concluíram que mudanças na orientação solar trazem como consequências alterações na necessidade de aquecimento e pode ser fundamental para a redução do desconforto térmico por frio. Assim como o posicionamento de suas aberturas, utilização de elementos de sombreamento, que também podem trazer consequências no desempenho termo-energético.

Pietrobon (1990) propôs o projeto de uma casa hipotética de 49,84 m², para a cidade de Maringá, aplicando mecanismos e estratégias simples de climatização natural, para buscar condições de conforto higrotérmico com o mínimo consumo energético, através de soluções passivas que garantissem conforto térmico em 80% do ano. Utilizou-se de simulações computacionais para determinar as estratégias bioclimáticas do local e também aplicou questionários a moradores de um conjunto habitacional, de casas no mesmo padrão da proposta, com o objetivo de verificar os níveis de satisfação dos moradores quanto a conforto térmico e identificar suas tendências e necessidades básicas em relação à ocupação dos lotes.

Esse autor concluiu que as estratégias mais importantes e que fornecem elementos mais facilmente quantificáveis, adotadas para a região de Maringá, foram:

- Orientação: permitir a penetração frontal dos ventos dominantes (nordeste) para os ambientes de permanência prolongada; paredes voltadas para sudeste e noroeste predominantemente cegas; apresentar ventilação cruzada predominantemente nos ambientes de permanência prolongada.
- Aberturas limitadas ao máximo de 30% da área do piso.
- Cobertura com ventilação no ático, para casos de telhado com telha de fibrocimento.
- Beirais com 1,20 m de comprimento para as faces noroeste, nordeste e sudoeste.
- Cobertura e paredes externas predominantemente com cores claras.
- Permitir a penetração solar nos cômodos de permanência prolongada, no inverno.
- Paredes externas em alvenaria maciça (10 cm), revestida interna e externamente. Utilização de massa térmica para aquecimento (inércia térmica).
- Pé direito mínimo de 3,0 m.

Sem esquecer que o comportamento da edificação também depende da interação: entorno, edificação e usuário, este autor ainda sugere as seguintes correções:

- Elementos de proteção solar internos, desde que não impeçam a ventilação.
- Melhor inércia térmica à noroeste, com aberturas menores, desde que não prejudiquem a iluminação nem a ventilação.
- Elementos de paisagismo como alternativas de proteção solar (árvores caducifólias) que não impeçam a ventilação.
- Adoção de ventilação artificial em dias onde as demais estratégias não forem suficientes.

Com isso, é possível observar a importância que as simulações computacionais apresentam para as decisões de projeto, pois indicam as estratégias que apresentam melhorar eficiência da edificação antes mesmo do início da construção. Ainda, percebe-se a importância das estratégias passivas e de arquitetura bioclimática para redução do consumo energético e contribuição para o conforto nas edificações.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos estudos analisados nesse capítulo e os programas de simulação utilizados.

Tabela 5 – Resumo das pesquisas que utilizaram simulação computacional

Autor	Pesquisa	Programa utilizado
Lamberts et al (2010)	Verificou a eficiência da Casa Eficiente em projeto por simulação computacional e realizou as medições após a construção. Observa que todos os estudos realizados demonstraram a importância e grande utilidade da simulação computacional programa.	<i>EnergyPlus</i>
Kiouranis (2014)	Realizou um diagnóstico acerca do conforto e desempenho térmico e lumínico da BCE/ UEM. Concluiu, que no conforto térmico os resultados obtidos pela simulação foram semelhantes aos da entrevista.	<i>Design Builder</i>
Cavalcante (2010)	Com a finalidade de investigar a influência da arquitetura no desempenho de edifícios de escritórios e a importância da intervenção ainda em projeto, estima o desempenho de uma série de modelos com auxílio da simulação computacional.	<i>EnergyPlus</i>
Beyer (2010)	Analisou o desempenho térmico de um edifício de uso comercial com certificação LEED. A proposta era simular o consumo anual de energia do edifício e propor uma economia de 10%.	<i>EnergyPlus</i>
Lima (2010)	Avaliou a influência do sombreamento e da absorvância da envoltória no desempenho térmico e consumo energético em edifícios, visando a comparação entre o modelo de referência e os parâmetros propostos com diferentes características.	<i>EnergyPlus</i>
Pereira e Ferreira (2014)	Simularam uma edificação multifamiliar para encontrar a quantidade de horas em desconforto e calcular o consumo de energia gasta com o condicionamento artificial para suprir o desconforto.	<i>EnergyPlus</i>
Doerfler e Krueger (2014)	Realizaram simulações termo-energéticas na planta padrão de uma habitação popular, com o objetivo de verificar os efeitos em termos de consumo energético estimado em climatização artificial - graus-hora para aquecimento - e os níveis de conforto térmico interno advindos de diferentes orientações da planta padrão incluindo uma realocação de aberturas.	<i>EnergyPlus</i>

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de análise deste estudo é a verificação da eficiência energética de elementos construtivos e as técnicas de arquitetura bioclimática que podem ser utilizadas em edificações, considerando-se para a análise a fase projetual. Com essa análise pretende-se, pelo uso de sistemas computacionais, avaliar e verificar os benefícios relativos ao conforto que os elementos e técnicas da arquitetura bioclimática trazem, tanto isolados (verificando o quão eficiente são cada uma das técnicas) quanto em conjunto, além de verificar se cumprem o objetivo proposto.

Neste capítulo serão apresentadas as etapas de desenvolvimento da pesquisa, a caracterização do objeto de estudo e simulações computacionais.

3.1. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

Este trabalho iniciou-se com uma investigação preliminar e pesquisa, por meio de revisão bibliográfica, sobre sustentabilidade na construção civil, energia elétrica, eficiência energética em edificações, conforto ambiental e sua importância no ambiente escolar, as técnicas, elementos e materiais empregados na arquitetura bioclimática, incluindo as normas e certificações ambientais e as simulações computacionais.

O objeto de estudo foi o Bloco C67, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, por se tratar do primeiro bloco construído com uma tipologia diferenciada das primeiras edificações construídas na universidade e por apresentar algumas características da arquitetura bioclimática, porém limitadas pela implantação e materiais previamente definidos pelo planejamento da Universidade. Entretanto os demais blocos, posteriormente construídos não mantiveram a aplicação dessas técnicas, por isso uma das simulações buscou aproximar dos demais blocos. O objeto de estudo será detalhado na sequência deste capítulo.

Foram realizadas simulações computacionais, considerando a condição atual da edificação, e adicionando ou retirando as técnicas de arquitetura bioclimática, para avaliar os diferentes comportamentos perante cada uma delas.

O programa utilizado foi o *EnergyPlus*, que é um programa desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, que simula o comportamento térmico e o consumo de energia de edificações. Este programa é sugerido pela Norma de Desempenho e, durante essa pesquisa foi observado que é o mais utilizado entre os pesquisadores para este tipo de análise (conforme a Tabela 5).

O processo de simulação é realizado por etapas que serão descritas posteriormente.

Foram realizadas oito simulações, da seguinte forma:

- 1 - Simulação de desempenho energético do Bloco C67 na posição construída, utilizando o atual brise, carga térmica total dissipada pelas pessoas e carga elétrica (item 4 do apêndice) de acordo com o comportamento típico observado na construção considerando a edificação adjacente e o asfalto do estacionamento do bloco;
- 2 - Simulação sem carga de pessoas ou uso de energia (edifício desocupado), com a mesma condição construtiva da Simulação 1;
- 3 - Simulação com a mesma condição da Simulação 1, porém retirando-se os brises, aproximando-se à condição dos demais blocos da Universidade;
- 4 - Simulação com alteração na implantação de acordo com a orientação sugerida pela arquitetura bioclimática, favorecendo as melhores condições de insolação e ventilação. Mesma condição da Simulação 1, com as maiores fachadas voltadas a direção norte e sul (diminuindo as salas de aula à exposição de leste e oeste);
- 5 - Simulação do mesmo modelo da Simulação 1, aumentando a inércia térmica. As paredes de alvenaria receberam 10 cm de concreto (pintura branca externa e reboco de 1,5 cm + 5 cm concreto + alvenaria de 12 cm + 5 cm concreto + reboco de 1,5 cm e pintura branca interna). A telha de fibrocimento recebeu pintura branca, que absorve radiação solar em 20% (enquanto que a comum suja absorveria por volta de 85%). Todos os vidros foram trocados para um vidro de 3 mm com baixo fator solar (33% de transmissividade solar na normal, 61% de refletância na normal e 44% de transmissividade no espectro visível na normal);
- 6 - Simulação com a posição atual do edifício, porém com novos brises de PVC de 15 cm de largura e 10 cm de espaçamento entre eles. Mudança

no sistema de iluminação: troca das lâmpadas T40 por T5 (de 40W para 15W), reduzindo 37% do consumo energético. Já com o novo conjunto de luz, instala-se um sistema de dimerização que reduzirá 20% do consumo de energia desligando as lâmpadas quando a iluminação externa for suficiente;

- 7 - Simulação com a posição atual do edifício (Simulação 1) mudando as paredes de tijolinho da zona 1, 2 e 3 para alvenaria comum;
- 8 - Simulação do edifício com o novo brise (item 6), modificação no sistema de iluminação (Simulação 6), substituição do revestimento de tijolinho por alvenaria branca (Simulação 7) e implantação com maiores fachadas voltadas a norte e sul – com o lado do estacionamento voltado a norte (item 3).

Para as simulações foram consideradas as luzes acesas, exceto para a simulação 2, de forma a acrescentar às medições o aquecimento gerado por elas.

A Simulação 1, que retrata as condições atuais, será adotada como referência nas comparações de resultados. Na sequência, os resultados obtidos nas demais simulações serão comparados à Simulação 1, demonstrando assim, a possível melhoria na eficiência ocasionada após a aplicação das técnicas de arquitetura bioclimática, e o quanto cada uma das estratégias propostas pode influenciar o resultado final.

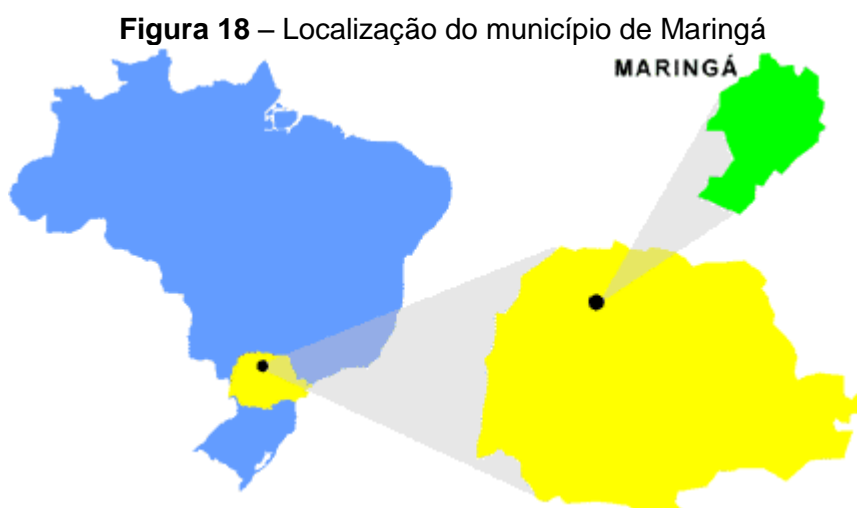
3.2. OBJETO DE ESTUDO

Será adotado como parâmetro o clima do município de Maringá – PR. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), Maringá encontra-se na latitude 23° 25' Sul, longitude 51° 56' Oeste e, segundo IPARDES (2016), na altitude de 596 metros.

Caviglione et al. (2000) classificam, para a cidade de Maringá, o clima como subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de

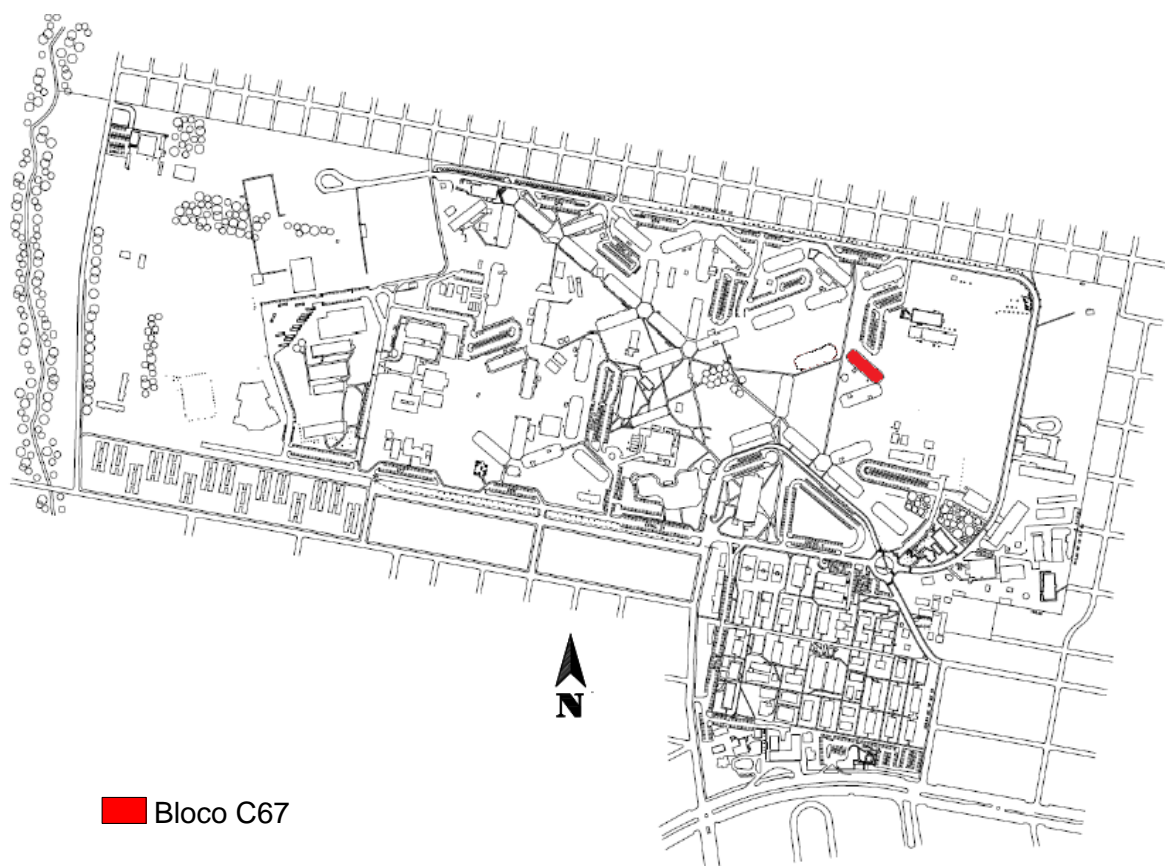
verão, contudo sem estação seca definida. A temperatura média anual varia de 22 a 23 °C, a umidade relativa varia de 75 a 80% e a precipitação média anual varia de 1400 a 1600 mm, segundo dados coletados pelo IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) entre 1972 e 1998.

A edificação de referência para o estudo será o Bloco C67 da Universidade Estadual de Maringá, conforme já descrito anteriormente. A Figura 18 apresenta a localização do município de Maringá e a Figura 19 a localização da edificação no Campus Sede da Universidade.



Fonte: Portal da cidade (www.maringa.com)

Figura 19 – Universidade Estadual de Maringá com destaque do Bloco C67



Fonte: Paraná (1998)

O Bloco C67 foi projetado no ano de 1998 e abriga o Centro de Tecnologia e o Departamento de Engenharia Civil. Possui 3.024,41 m² de área construída, dividida em três pavimentos e abriga salas de aula, laboratórios de informática, salas de professores, ambientes administrativos e auditórios. É utilizado nos três turnos, ou seja, matutino, vespertino e noturno.

A Figura 20 ilustra a fachada nordeste do Bloco C67, enquanto que as Figuras 21 e 22 ilustram a fachada noroeste, as Figuras 23 e 24, a fachada sudoeste; e, finalmente, as Figuras 25 e 26, a fachada sudeste.

Figura 20 – Bloco C67 – Elevação nordeste



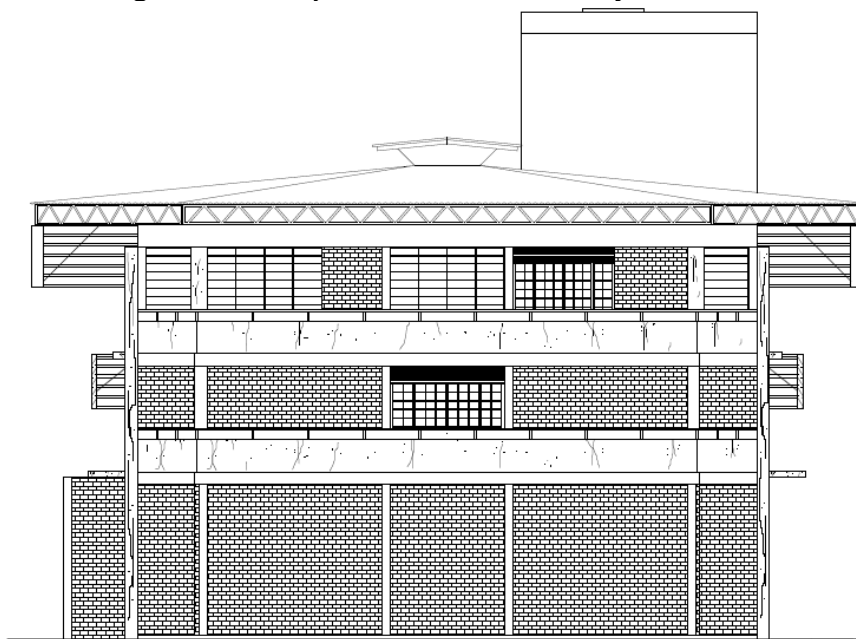
Fonte: Autora (2016)

Figura 21 – Bloco C67 – Elevação noroeste



Fonte: Autora (2016)

Figura 22 – Projeto Bloco C67 – Elevação noroeste



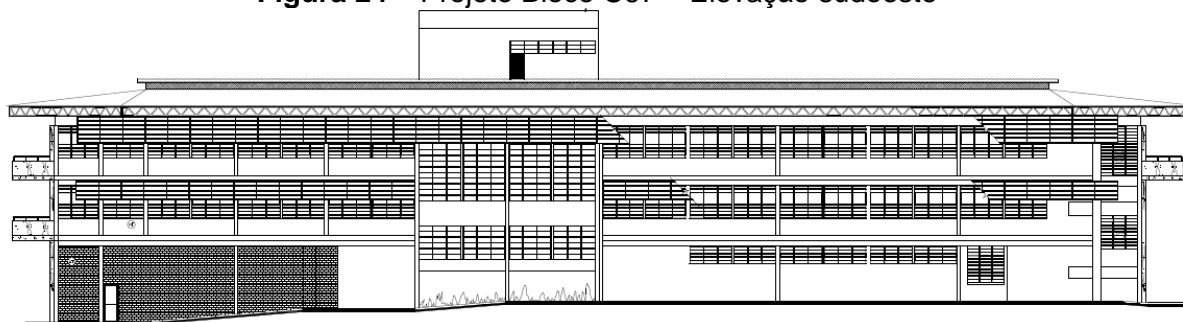
Fonte: PARANÁ (1998)

Figura 23 – Bloco C67 – Elevação sudoeste



Fonte: Autora (2016)

Figura 24 – Projeto Bloco C67 – Elevação sudoeste

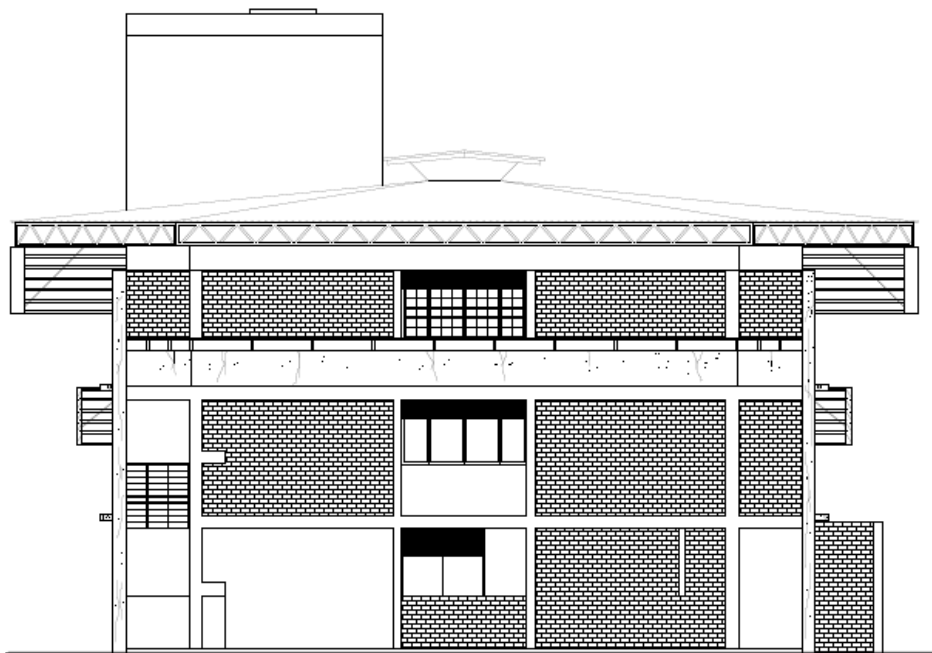


Fonte: PARANÁ (1998)

Figura 25 – Bloco C67 – Elevação sudeste



Fonte: Autora (2016)

Figura 26 – Projeto Bloco C67 – Elevação sudeste

Fonte: PARANÁ (1998)

Os materiais, acabamentos e fachadas dos edifícios são padronizados para toda instituição. As edificações são construídas a partir de estrutura em concreto armado, fechamento em alvenaria de blocos cerâmicos com reboco e pintura, esquadrias basculantes em ferro e vidro, cobertura em telha ondulada de fibrocimento, e, apenas neste bloco, brises em PVC. As fachadas são revestidas com lajota aparente de face lisa com aplicação de resina. Os pilares e vigas são em concreto aparente, com aplicação de resina acrílica. No interior da edificação, as salas de aula são revestidas com massa acrílica e pintura acrílica. Os pisos dos ambientes são em granilite, exceto o dos auditórios, que são emborrachados.

Este bloco foi o primeiro a ser construído em sistema construtivo diferenciado dos construídos até então na Universidade, e apresenta preocupação do projetista com o conforto e questões bioclimáticas, pela aplicação dos brises, que, entretanto, não foram mantidos nos demais blocos construídos com essa nova tipologia. O planejamento da Universidade prevê a implantação das edificações em formato de colmeia, prevendo a implantação sempre nos sentidos nordeste/sudoeste, norte/sul ou noroeste/ sudeste, desfavorecendo a melhor orientação para conforto que seria a leste/oeste, por permitir as maiores fachadas voltadas para norte e sul, que são as mais fáceis para controlar a insolação.

3.3. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Para elaborar as simulações computacionais da obra em estudo foi utilizado o programa *EnergyPlus*, versão 8.5. A modelagem foi feita com o *Google SketchUp*, usando o *plugin OpenStudio*, o que gera um arquivo para o *EnergyPlus* simular a edificação com dados meteorológicos anuais. Dessa forma, avaliou-se por meio de simulação computacional o desempenho térmico do Bloco C67, e lumínico do ponto de vista do controle térmico, pela emissão de calor das luminárias e consumo de energia relacionado à eficiência energética diante da aplicação de elementos de sombreamento como os brises, por exemplo.

O processo de simulação é realizado por etapas. Primeiramente, a modelagem foi feita com o *plugin OpenStudio* instalado no *Google SketchUp*, que gera um arquivo para o *EnergyPlus*. E assim foi construída a geometria da edificação e foram aplicados os diferentes materiais (Apêndice 1 – Materiais adotados para simulação), conforme ilustra a Figura 27.

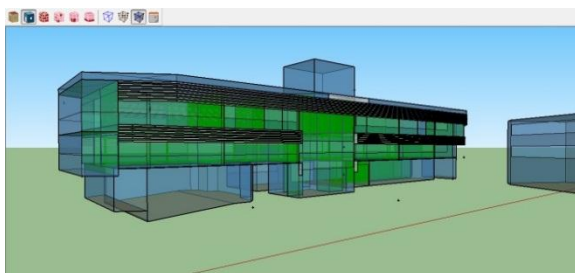
Figura 27 – Modelagem com o *plugin OpenStudio/GoogleSketchUp*



a) Modelagem do volume da edificação



b) Configuração de materiais por faces



c) Condições de faces (externas, internas e adjacentes)



d) Configuração de tipos de espaço adjacentes



e) Zonas criadas

Fonte: Autora (2016)

As simulações levaram em consideração as diretrizes da Norma de Desempenho (ABNT, 2013) que indica que para a simulação computacional deve-se tomar a geometria do modelo como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica, reproduzindo-se todas as características construtivas (dimensões e materiais) e consideradas as condições climáticas. Devem ser simulados os ambientes de permanência prolongada, considerando-se cômodos nas extremidades, com orientação oeste e norte para o verão e sul e leste para o inverno; em edifícios multipisos, selecionar apenas a unidade do último pavimento. Assim, para verificar o comportamento térmico nas diferentes zonas e fachadas, a edificação foi dividida em zonas conforme apresentado na Figura 28.

Figura 28 – Divisão das zonas de análise – Bloco C67
 a) Pavimento térreo; b) Primeiro pavimento; c) Segundo pavimento.



Fonte: UEM (1998) adaptado

Na sequência, essa modelagem foi importada para o *EnergyPlus*, juntamente com o arquivo climático da cidade.

Para os modelos simulados, foi utilizado um arquivo climático para a cidade de Maringá. O TRY (*Test Reference Year*) apresenta dados climáticos de referência para um ano todo e permite conhecer o comportamento da temperatura do ar para um determinado local ao longo do ano.

Pietrobon, Lamberts e Pereira (1999), por meio de sua pesquisa obtiveram uma base de dados climáticos para aplicação no município de Maringá, o *Test Reference Year* (TRY – Ano Climático de Referência) é utilizado como dado de entrada para simulação computacional. Os autores utilizaram o método proposto pela ASHRAE (*American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers*), que consiste na eliminação de anos com dados com temperaturas médias extremas (altas ou baixas), para isso utiliza-se a TBS (temperatura de bulbo seco), até permanecer um ano somente, que é o TRY. Dessa forma, definiram o ano de 1991 para Maringá.

No TRY constam as seguintes informações climáticas, para as 8.760 horas do ano: Temperatura do Bulbo Seco (TBS); Temperatura do Bulbo Úmido (TBU); Temperatura do Ponto de Orvalho; Direção do Vento; Velocidade do Vento; Pressão Barométrica; Tempo (precipitação, névoa, poeira, entre outros); Quantidade, Tipo e Altura de Nuvens; e Radiação Solar.

No site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE/UFSC) é possível fazer o download do arquivo climático *.Try de Maringá do ano de 1991, para realizar as simulações.

Para uma maior aproximação do objeto real e validação das simulações, foram considerados todos os materiais e detalhes construtivos da edificação, incluindo mudança das propriedades óticas dos materiais com o tempo de uso, a ocupação das salas, materiais internos e mobiliário, iluminação e equipamentos, assim como o entorno.

Durante a realização das simulações observou-se que a vegetação do entorno mascara a edificação e influencia nos resultados, de forma a interferir na análise e não tornando relevante o que é observado nesta pesquisa, por exemplo, o sombreamento das árvores recobre a edificação e pode não permitir analisar a real diferença causada pela mudança da configuração de um brise. Outro ponto é com

relação à modelagem de vegetação, que é aproximada, podendo ser bastante incerta. Por mais que se assemelhe, existe uma variação durante as estações do ano, por exemplo, estações com mais ou menos folhas. Por esses motivos, optou-se por retirar as árvores nas simulações.

Os dados de entrada das propriedades de cada um dos materiais são apresentados no Apêndice 2 (Propriedades dos materiais adotados para simulação). A configuração dos materiais utilizados possibilita a montagem da edificação com características diretamente aplicada a cada face do modelo. Utilizou-se dados disponibilizados pelo *EnergyPlus/OpenStudio*, ponderados pela ABNT NBR 15220-1:2005 quando necessário, e, em caso de materiais não citados por esse documento normativo, utilizou-se os dados de medições obtidos pelo LabEEE ou disponibilizados pelo fabricante.

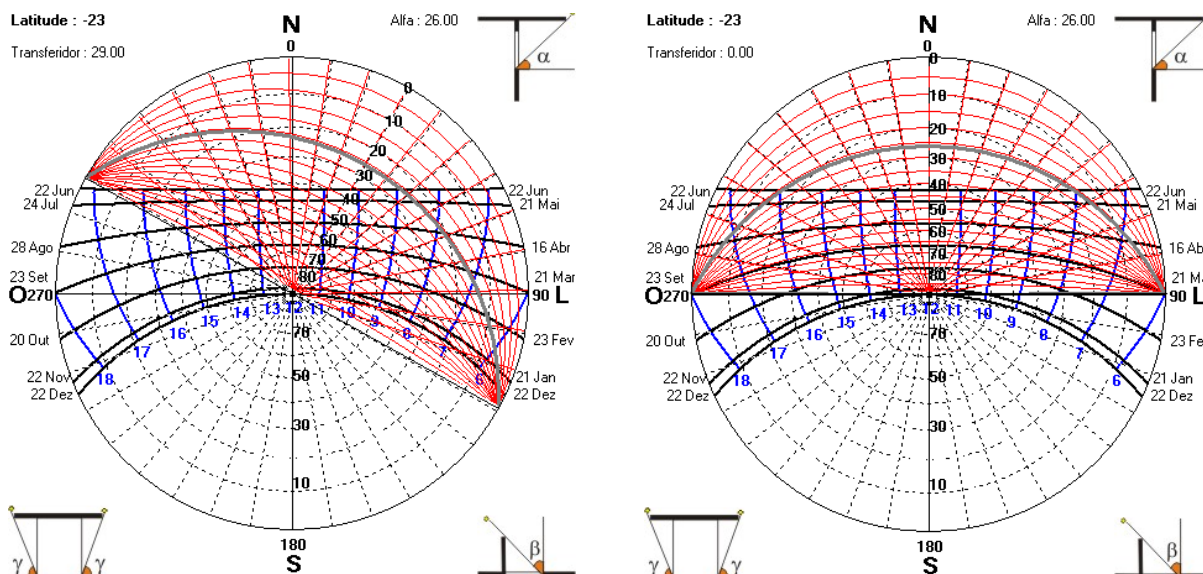
No Apêndice 3 está apresentado o Cronograma de horários de funcionamento do edifício, considerado nas simulações. No Apêndice 4, por sua vez, são relacionados os tipos de espaços utilizados.

A nova implantação proposta para a edificação, objeto de análise na Simulação 4, é no sentido leste/ oeste, ficando as maiores fachadas, e que contém maior parte das aberturas, para norte e sul. A edificação atual foi rotacionada aproximadamente 45° no sentido anti-horário. Dessa forma, a fachada nordeste da edificação atual tornou-se como norte na nova implantação.

Para o brise utilizado na Simulação 6 foram utilizadas as Cartas Solares para a latitude 23° , com auxílio do *software Sol-AR*, disponível no site do labEEE. A Figura 29(a) apresenta a Carta Solar para a posição em que a edificação se encontra e a 29(b) na posição leste/ oeste, com as maiores aberturas para norte e sul.

Figura 29 – Carta Solar – Bloco C67

a) Edificação na orientação atual; b) Edificação na orientação leste/ oeste.



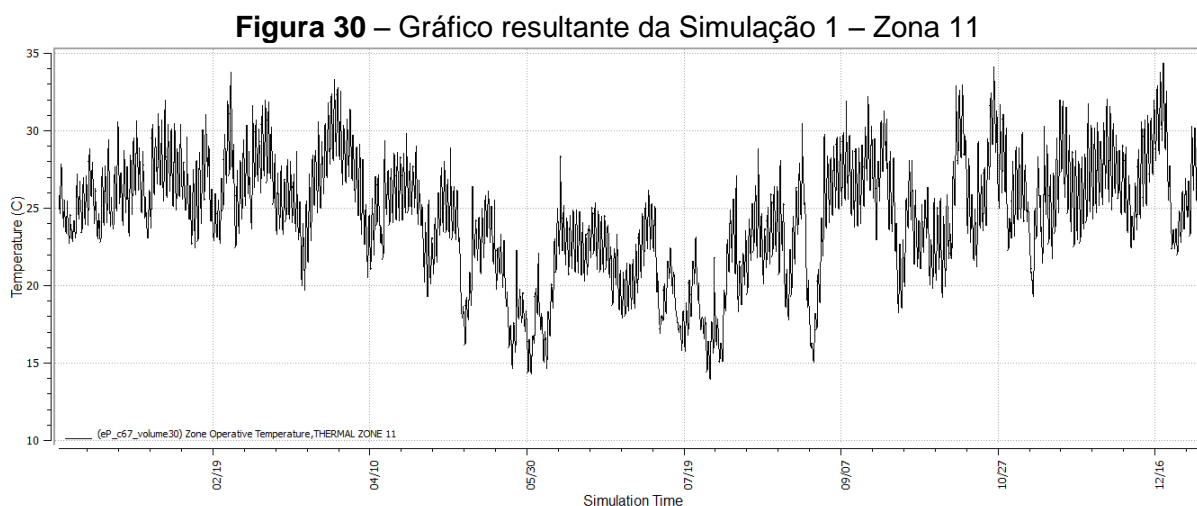
Dessa forma, foi proposto um novo brise com lâminas de 15 cm de largura e espaçamento de 10 cm. Pela Carta Solar para Maringá, o ângulo de corte da radiação direta com o novo brise proposto é de 26° , protegendo das radiações diretas mais fortes ao norte, inclusive na posição atual do edifício. A configuração do brise também ajuda a dissipar luz para o interior, melhorando a iluminação e protegendo do ofuscamento.

Cada uma das oito simulações resultou em um gráfico de temperatura por tempo, para o ano todo, para cada uma das 17 zonas. Assim, um total de 136 gráficos foram analisados a partir da temperatura operativa das salas.

4. RESULTADOS

Os critérios estéticos muitas vezes têm prioridade nos projetos de arquitetura. A falta de soluções inovadoras e de padronização de sistemas, produtos e desenhos tem difundido a ideia de que para ter conforto em uma edificação é preciso envolver altos custos. Essa crença faz com que, por vezes, o conforto seja deixado de lado, ou que sejam instalados equipamentos que envolvem alto consumo de energia, para suprir as necessidades dos usuários da edificação.

Com este estudo foi possível, para cada uma das oito simulações realizadas por meio do *EnergyPlus*, obter gráficos de tempo (eixo das abscissas) por temperatura operativa (eixo das ordenadas), pelo período de um ano, para todas as 19 zonas em que o edifício foi seccionado. Com as simulações foram gerados 152 gráficos, que são apresentados conforme a Figura 30, a qual representa os resultados da Simulação 1.



Ainda, como resultados, foram geradas tabelas com as temperaturas (em °C) de cada uma das 19 zonas do edifício, das 8 simulações, a cada uma hora das 8.760 horas que compõem um ano. A Tabela 6 representa um exemplo dos dados gerados neste tipo de formatação, salientando-se que esta tabela contém apenas uma parte dos dados, pois a quantidade de dados impossibilita a representação da tabela toda.

Tabela 6 – Parte da tabela de temperaturas operativas por zonas, para as horas do ano – Simulação 1

Date/Time	THERMAL ZONE 1	THERMAL ZONE 10	THERMAL ZONE 11	THERMAL ZONE 12	THERMAL ZONE 13	...
01/01 01:00:00	22,97405	25,82369	26,70971	26,82236	26,59059	...
01/01 02:00:00	22,82714	25,62482	26,47192	26,57613	26,39567	...
01/01 03:00:00	22,68092	25,40982	26,21403	26,31045	26,18059	...
01/01 04:00:00	22,53299	25,20932	25,96723	26,05790	25,97283	...
01/01 05:00:00	22,38866	25,02275	25,73155	25,81767	25,77160	...
01/01 06:00:00	22,25048	24,84377	25,50008	25,59341	25,57147	...
01/01 07:00:00	22,13091	24,75637	25,34106	25,52362	25,42995	...
01/01 08:00:00	22,09872	24,86824	25,35892	25,63737	25,42083	...
01/01 09:00:00	22,21868	25,09084	25,53048	25,79869	25,53545	...
01/01 10:00:00	22,44298	25,36005	25,78343	26,05258	25,72331	...
01/01 11:00:00	22,70584	25,67373	26,11309	26,39271	25,97482	...
01/01 12:00:00	22,96744	26,02958	26,54148	26,82480	26,31569	...
01/01 13:00:00	23,20794	26,31328	26,96061	27,22255	26,63228	...
01/01 14:00:00	23,39774	26,52523	27,31557	27,55399	26,90239	...
01/01 15:00:00	23,53254	26,66925	27,56208	27,78786	27,10218	...
01/01 16:00:00	23,62510	26,80004	27,76109	27,97034	27,27100	...
01/01 17:00:00	23,70112	26,89445	27,91027	28,10335	27,40119	...
01/01 18:00:00	23,73890	26,89340	27,96284	28,14256	27,47148	...
01/01 19:00:00	23,70800	26,82451	27,91947	28,09130	27,47201	...
01/01 20:00:00	23,62411	26,73424	27,81142	27,97312	27,41459	...
01/01 21:00:00	23,51860	26,62522	27,66379	27,81788	27,31894	...
01/01 22:00:00	23,40464	26,44945	27,44364	27,58526	27,15932	...
01/01 23:00:00	23,27272	26,22988	27,18925	27,32107	26,96769	...
01/01 24:00:00	23,12606	26,02633	26,95218	27,07363	26,78459	...
01/02 01:00:00	22,97611	25,82222	26,70978	26,82295	26,59165	...
...

Fonte: *EnergyPlus* (2016)

4.1. A ASHRAE STANDARD 55:2013 E O PROJETO DE REVISÃO DA ABNT NBR 16401-2 – PARÂMETROS DE CONFORTO TÉRMICO

De posse desses dados, o passo seguinte consistiu em compará-los com o padrão de conforto térmico estabelecido por documentos normativos. Para tanto, foi possível calcular as horas de desconforto durante o ano. Segundo Lamberts (2016), no projeto de revisão da ABNT NBR 16401-2, o gráfico apresentado na Figura 13, considerando ocupantes com atividades sedentárias com taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met. (sala de aula), vestimenta em uma faixa de 0,5 – 1,0 clo (verão e

inverno) e temperatura média predominante do ar externo dentro do intervalo entre 10,0 °C e 33,5 °C, em locais onde as janelas podem ser operadas e ajustadas pelos ocupantes de acordo com suas necessidades e sem sistema de condicionamento artificial mecânico, que é o caso da sala de aula, para 80% de aceitabilidade, o intervalo de conforto é de temperatura operativa interna de 17,5 °C a 31,5 °C.

Com base nesse intervalo de temperatura operativa, a Tabela 7 apresenta, portanto, as horas de desconforto para as oito situações simuladas neste estudo. Para esse caso, todas as horas com temperaturas abaixo de 17,5 °C foram consideradas como desconforto por frio, e as temperaturas acima de 31,5 °C desconforto por calor, independentemente da quantidade excedida na temperatura.

Tabela 7 – Horas em desconforto, considerando o intervalo de 17,5 °C e 31,5 °C, com controle local de ventilação

	Simulação							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Quantidade de horas acima de 31,5 °C (desconforto por calor) – horas	340	123	427	336	151	300	332	286
Quantidade de horas acima de 31,5 °C (desconforto por calor) – %	3,88	1,41	4,87	3,83	1,72	3,42	3,79	3,26
Quantidade de horas abaixo de 17,5 °C (desconforto por frio) – horas	364	663	327	351	307	382	367	373
Quantidade de horas abaixo de 17,5 °C (desconforto por frio) – %	4,16	7,56	3,74	4,01	3,50	4,36	4,19	4,26
Total de horas em desconforto – horas	704	786	754	686	457	682	699	659
Total de horas em desconforto – %	8,04	8,97	8,60	7,84	5,22	7,79	7,97	7,52

Para a edificação existente, da forma como está construída (Simulação 1), os dados obtidos indicam que o número de horas em desconforto foi de 704 (8,04%), sendo 340 horas (3,88%) por calor e 364 horas (4,16%) por frio.

Na Simulação 2, que considera a edificação desocupada, nota-se um menor número de horas em desconforto por calor, demonstrando o quanto a carga térmica das pessoas e dos equipamentos influenciam no aquecimento da edificação. Portanto sem esse aquecimento, para o frio, o número de horas de desconforto foi significativamente maior.

Assim, o melhor desempenho, com o menor número de horas em desconforto (457 horas), ocorreu na Simulação 5, em que o edifício se encontra com maior inércia térmica, telhas pintadas de branco e vidros apropriados. A melhoria no desempenho térmico deu-se tanto para o calor quanto para o frio.

A situação menos favorável aconteceu na Simulação 3, que considera a edificação como está construída, mas retirando-se os brises, de modo a assemelhar-se com as demais edificações do Campus Sede da universidade. Neste caso, o número total de horas de desconforto foi de 754 horas, ou seja, da situação mais favorável (Simulação 5), para a menos favorável (Simulação 3), houve uma diferença de 297 horas de desconforto.

A Simulação 4, que alterou a implantação da edificação, apresentou melhoria nos índices, apresentando menor desconforto tanto para frio, quanto para o calor, em comparação com a implantação atual da edificação (Simulação 1), diferença de 18 horas de desconforto e para a Simulação 3, semelhante às demais edificações, a diferença foi ainda maior, de 68 horas. Dessa forma, é possível destacar os benefícios mencionados pela aplicação das técnicas de arquitetura bioclimática: com relação a implantação, na melhoria do desempenho na alteração da implantação da Simulação 4 para a 1; e também da edificação atual com brises para a Simulação 3, sem os brises.

A Simulação 6, que prevê a manutenção da implantação atual, entretanto com a substituição dos brises, além da troca da iluminação por outra de maior eficiência, apresentou 72 horas com relação as demais edificações (Simulação 3) e 22 horas a mais de desconforto no resultado final com relação a edificação atual (Simulação 1).

A simples retirada do revestimento de tijolinho das fachadas das zonas 1, 2 e 3 (maior recebimento de radiação solar), e substituição por alvenaria e pintura branca, na Simulação 7, já apresentou melhoria de 55 horas de desconforto com

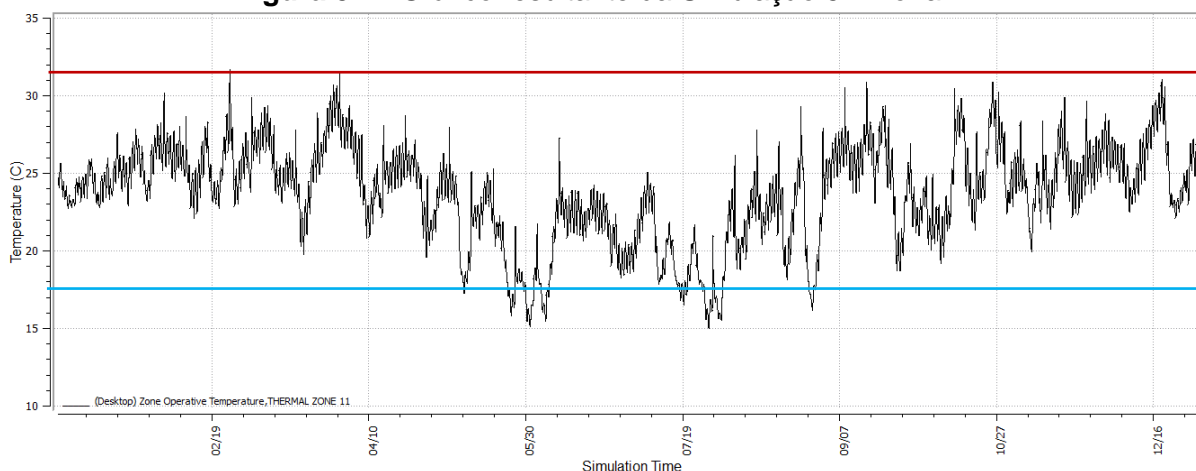
relação à edificação da Simulação 3, a menos favorável. E de 5 horas para a edificação atual.

A segunda situação mais favorável aconteceu na Simulação 8, que agrupa as situações das simulações 3, 6 e 7, abrangendo a alteração na implantação da edificação, os novos brises, substituição da iluminação e do revestimento de tijolinho. Da Simulação 8 para a 1 houve uma melhoria em 45 horas, e para a 3, de 95 horas. Em virtude disso, confirma-se a eficiência da aplicação das técnicas de arquitetura bioclimática, tanto para cada um dos itens isoladamente, quanto para a consideração simultânea dessas técnicas, mostrando resultados melhores ainda.

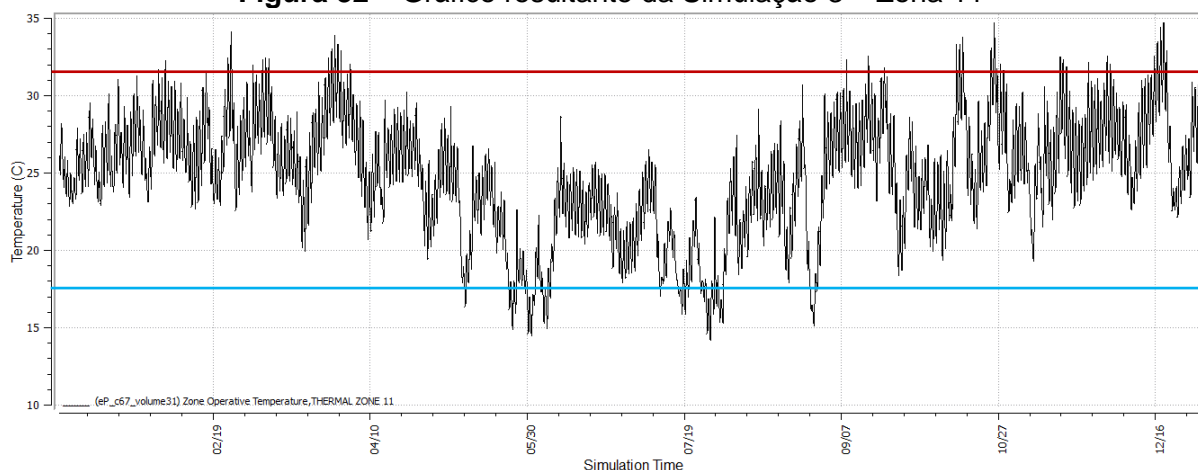
Apesar das melhorias nas condições de conforto, com a utilização das técnicas da arquitetura bioclimática, quando comparadas às exigências da norma supracitada, notou-se que não foram atendidas totalmente. Dessa forma, ainda seria necessário o uso de condicionamento artificial. No entanto, apresentaria um menor consumo energético, visto que seriam utilizados por um número muito menor de horas durante o ano.

As Figuras 31 e 32, ilustram esse intervalo de conforto sugerido por essa norma, de temperatura operativa interna de 17,5 °C a 31,5 °C, para uma zona da Simulação 5, que apresenta menores intervalos de desconforto e para a mesma zona da Simulação 3, com maiores índices de desconforto, respectivamente.

Figura 31 – Gráfico resultante da Simulação 5 – Zona 11



Fonte: *EnergyPlus* (2016)

Figura 32 – Gráfico resultante da Simulação 3 – Zona 11

Fonte: *EnergyPlus* (2016)

Se for levada em consideração a quantidade, em graus Celsius, que a temperatura fica fora desse intervalo de conforto em cada hora, usa-se a unidade grau-hora. Assim, a quantidade de graus Celsius que excede a temperatura limite de conforto é contada e a Tabela 8 apresenta esses dados para o intervalo de conforto de 18 °C a 29 °C.

Tabela 8 – Graus-horas em desconforto, considerando o intervalo de 18 °C a 29 °C

	Simulação							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Quantidade de graus-horas acima de 31,5 °C (desconforto por calor) – horas	843	524	1.014	833	185	768	825	746
Quantidade de graus-horas abaixo de 17,5 °C (desconforto por frio) – horas	494	1.056	437	477	344	521	494	500
Total em graus-horas de desconforto – °C	1.337	1.580	1.451	1.307	529	1.289	1.319	1.246

Novamente, com a proposta estabelecida na Simulação 5 foram obtidos os melhores desempenhos, pois as quantidades de graus-hora excedentes são as menores tanto para o frio quanto para o calor, em um total de 529 graus-hora em desconforto. Por sua vez, a Simulação 3 apresenta o maior índice para o calor

(1.014 graus-hora) e a Simulação 2 para o frio (1.056 graus-hora), assemelhando-se aos resultados contidos na Tabela 7.

4.2. ABNT NBR 15575:2013 – NORMA DE DESEMPENHO

A simulação computacional foi realizada de acordo a Norma de Desempenho (ABNT, 2013), de acordo com a geometria do modelo, considerando os ambientes em zonas térmicas, reproduzindo-se todas as características construtivas e consideradas as condições climáticas. Foram simulados todos os ambientes e, para esta análise, consideram-se cômodos nas extremidades: com orientação oeste e norte para o verão e sul e leste para o inverno; apenas do último pavimento.

De acordo com este documento normativo, as zonas para análise serão: para as simulações 1, 2, 4, 5, 6 e 7, com a mesma orientação da edificação construída, para o verão é considerada a Zona 12 e para o inverno a Zona 17. Já para as simulações 3 e 8, que possuem alteração da implantação, serão consideradas para o verão a Zona 11 e para o inverno, a extremidade considerada pela Norma é circulação (escada), então a segunda opção, mais ao sul, tem-se a Zona 16.

Para as simulações, segundo a ABNT NBR 15575-1:2013, considera-se a temperatura externa como a temperatura do dia típico de verão (31,9 °C) e inverno (6,2 °C), usados como parâmetro na Tabela 9. Essa tabela apresenta as temperaturas máximas (verão) e mínimas (inverno), conforme as zonas analisadas de acordo com a Norma de Desempenho, e o resultado do Nível de Desempenho.

Tabela 9 – Temperaturas mínimas e máximas conforme as zonas simuladas e nível de desempenho, segundo a ABNT NBR 15575-1:2013

Simulação	Estação	Zona	Temperatura (°C)		Parâmetro (dia típico)	Nível de Desempenho
			máx.	mín.		
1	verão	12	máx.	36,3	31,9	não atende
	inverno	17	mín.	14,2	6,2	S
2	verão	12	máx.	34,1	31,9	não atende
	inverno	17	mín.	12,9	6,2	I
3	verão	12	máx.	36,9	31,9	não atende
	inverno	17	mín.	14,5	6,2	S
4	verão	11	máx.	34,3	31,9	não atende
	inverno	16	mín.	14,0	6,2	S
5	verão	12	máx.	34,0	31,9	não atende
	inverno	17	mín.	15,1	6,2	S
6	verão	12	máx.	35,7	31,9	não atende
	inverno	17	mín.	14,1	6,2	S
7	verão	12	máx.	36,2	31,9	não atende
	inverno	17	mín.	14,3	6,2	S
8	verão	11	máx.	34,2	31,9	não atende
	inverno	16	mín.	13,8	6,2	S

Pela análise dos dados contidos na Tabela 9 é possível verificar as temperaturas máximas e mínimas observadas na edificação, nas zonas especificadas pela Norma de Desempenho. Para o verão, a temperatura mais alta aconteceu para a Simulação 3, com a edificação sem os brises, semelhante às demais edificações da Universidade. Nenhuma das simulações atendeu a norma com relação à temperatura máxima; a que chegou mais próximo das condições normativas foi aquela correspondente à Simulação 5 (edifício com maior inércia térmica, telhas pintadas de branco e vidros apropriados), ficando 2,1 °C acima do máximo estabelecido pela norma, quando o aceitável deveria ser igual ou menor.

Com relação às temperaturas mínimas, no inverno, a menor temperatura deu-se na simulação que considera a edificação desocupada (Simulação 2), em seguida, na Simulação 8, com a alteração na implantação da edificação, os novos brises, substituição da iluminação e do revestimento de tijolinho. No entanto, ainda assim, foi atingido o nível de desempenho “Superior” estabelecido pela Norma de Desempenho. A temperatura mínima mais alta aconteceu na Simulação 5, do edifício com maior inércia térmica, telhas pintadas de branco e vidros apropriados, ou seja, nessa situação existe um melhor isolamento térmico devido ao aumento da

inércia térmica das paredes. Este parâmetro também alcança o nível de desempenho “Superior” estabelecido pela Norma de Desempenho.

Neste caso, o melhor desempenho ocorreu na Simulação 5, que teve a menor temperatura máxima e a maior temperatura mínima. Certamente esses resultados decorrem da consideração do aumento da inércia térmica, que ajuda no atraso e na diminuição das trocas de calor com o ambiente externo. Conforme afirmam Frota e Scheffer (2003), o tipo e a espessura influenciam na inércia do material e assim é possível acelerar ou retardar a transmissão da radiação solar entre exterior e interior do ambiente.

Quando se analisam as temperaturas máximas e mínimas de toda a edificação, considerando-se simultaneamente todas as zonas, conforme a Tabela 10, a temperatura mais alta das simulações acontece na Simulação 3, equivalendo a 39,02 °C, na zona 4. Que não coincide com a zona determinada pela Norma de Desempenho (zona 12), de 36,9 °C, conforme a Tabela 9, onde se esperava acontecer a maior temperatura da edificação. O mesmo acontece para a menor temperatura de 12,75 °C, na Simulação 2, zona 12 quando o determinado pela norma é a zona 17, onde a mínima foi 12,9 °C.

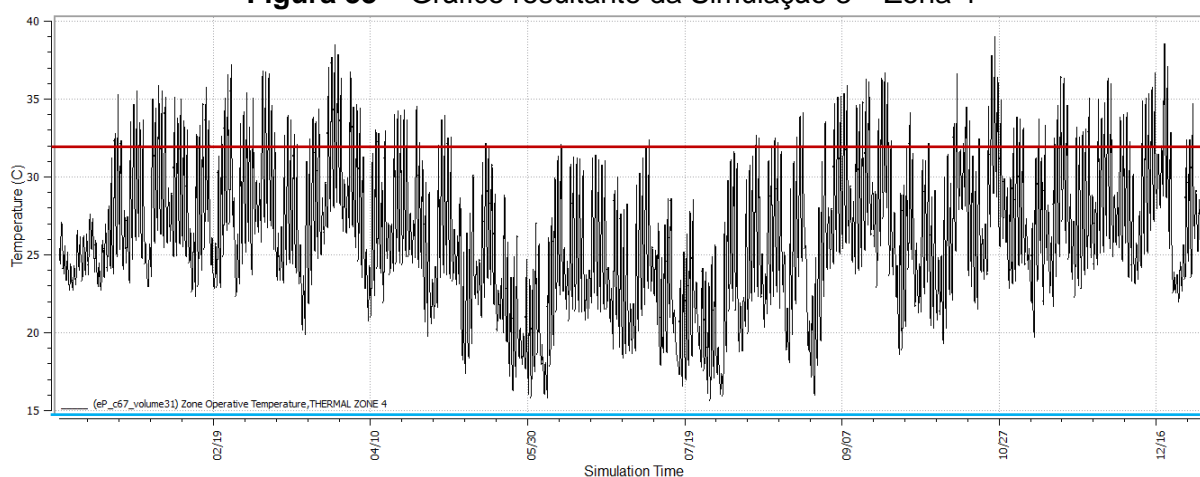
Para a edificação como está construída (Simulação 1), a temperatura máxima, considerando todas as zonas, foi de 38,24 °C (na zona 5) e a mínima de 13,77 °C (na zona 2). Pelas exigências da Norma de Desempenho são consideradas as zonas 12 (para a máxima) e 17 (para a mínima). Dessa forma acontece para todas as demais temperaturas. Com isso, pode-se concluir que as zonas definidas pela Norma e esperadas que sejam as extremas, nem sempre correspondem à pior situação. Por isso é importante simular e considerar todas as zonas, e assim analisar com maior precisão os resultados.

Tabela 10 – Temperaturas operativas máximas e mínimas

	Simulação							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperatura operativa máxima – °C	38,24	34,11	39,02	38,02	36,85	37,75	38,12	37,36
Temperatura operativa mínima – °C	13,77	12,75	13,79	13,95	14,06	13,77	13,85	13,84

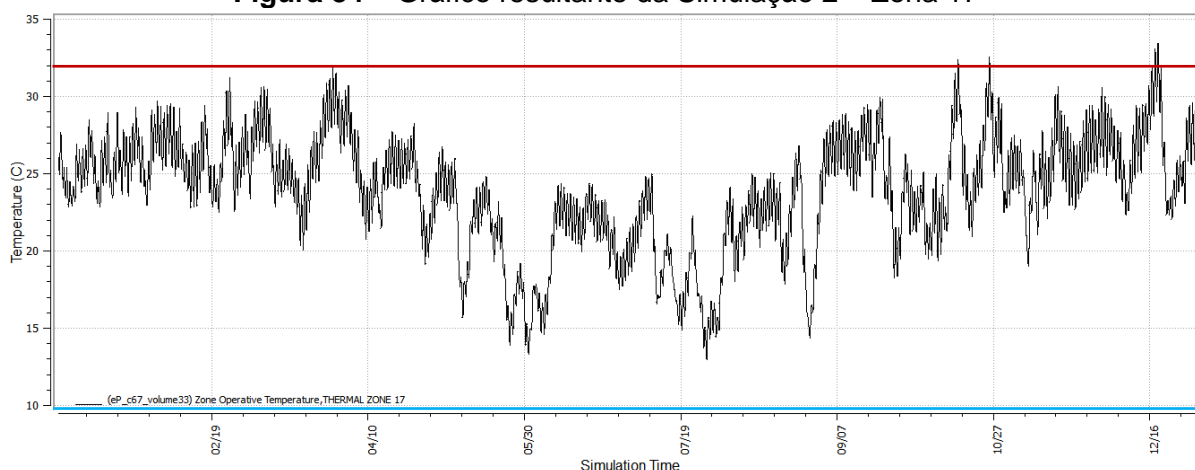
Para ilustrar a Figura 33 apresenta o gráfico da temperatura operativa da Zona 4 da Simulação 3, onde ocorreu a maior temperatura e a Figura 34, o gráfico da Zona 17 da Simulação 2, onde ocorreu a menor temperatura, com a demarcação das temperaturas consideradas pela Norma de Desempenho como os dias típicos de verão e de inverno.

Figura 33 – Gráfico resultante da Simulação 3 – Zona 4



Fonte: *EnergyPlus* (2016)

Figura 34 – Gráfico resultante da Simulação 2 – Zona 17



Fonte: *EnergyPlus* (2016)

4.3. ABNT NBR 15220:2003 – NORMA DE DESEMPENHO TÉRMICO

A ABNT NBR 15.220-3:2005 apresenta recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, aplicáveis na

fase de projeto. Entretanto, aplicou-se também à edificação em estudo nesta pesquisa. Esta norma estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, em que são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo.

Maringá está localizada na zona bioclimática 3. As estratégias bioclimáticas de condicionamento térmico passivo são: no verão a ventilação cruzada e no inverno o aquecimento solar da edificação e as vedações internas pesadas (inércia térmica). Para as estratégias bioclimáticas é dado o detalhamento das diferentes estratégias que são BCFI, sendo obrigatório apenas o B.

A estratégia B considera a forma, a orientação e a implantação da edificação, a correta orientação de superfícies envidraçadas e a cor externa dos componentes, as quais foram adotadas nos modelos simulados. Além disso, também foram consideradas a estratégia F, que considera a ventilação natural dos ambientes, e a estratégia I, que trata do aumento da inércia térmica e a ventilação cruzada. A estratégia C aborda a adoção de paredes internas pesadas, que pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido. Para este caso a simulação considerou apenas o aumento da inércia térmica das paredes externas, e apresentou resultado satisfatório.

Na carta bioclimática de Givoni, adaptada ao Brasil e sugerida por esta Norma, apresenta-se uma amplitude de conforto para o organismo humano, em que a umidade relativa pode variar de 30 a 80% e a temperatura de 18 a 29 °C. Considerando-se esse intervalo de conforto foram levantadas as horas em desconforto, todas as horas em que as temperaturas medidas estavam com números fora desse intervalo, independentemente da quantidade excedida na temperatura. Quando as temperaturas estavam abaixo de 18,0 °C foram consideradas como desconforto por frio, e as temperaturas acima de 29,0 °C, desconforto por calor. Assim, foram obtidos os dados contidos na Tabela 11.

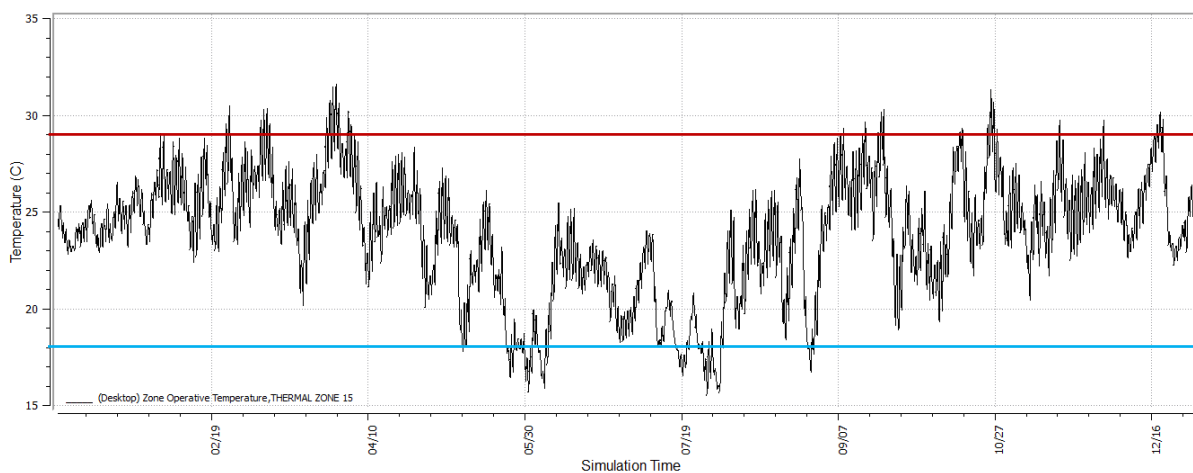
Tabela 11 – Horas em desconforto, considerando o intervalo de 18 °C e 29 °C

	Simulação							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Quantidade de horas acima de 29 °C (desconforto por calor) – horas	1.055	412	1.248	1.039	635	981	1.039	945
Quantidade de horas acima de 29 °C (desconforto por calor) – %	12,04	4,70	14,24	11,87	7,24	11,20	11,86	10,79
Quantidade de horas abaixo de 18 °C (desconforto por frio) – horas	509	803	464	494	467	529	512	520
Quantidade de horas abaixo de 18 °C (desconforto por frio) – %	5,81	9,16	5,30	5,64	5,34	6,04	5,85	5,93
Total de horas em desconforto – horas	1.563	1.214	1.712	1.533	1.102	1.511	1.551	1.465
Total de horas em desconforto – %	17,85	13,86	19,54	17,51	12,58	17,24	17,70	16,72

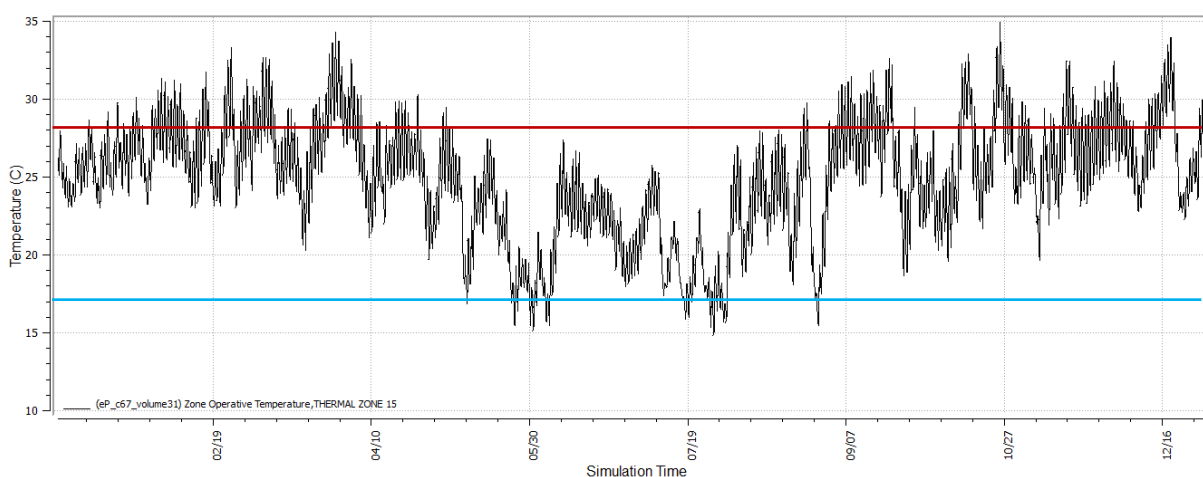
Considerando-se as exigências deste documento normativo, o melhor desempenho, equivalendo ao menor número de horas de desconforto (1.102 horas – 12,58%), aconteceu para a Simulação 5, com a edificação com maior inércia térmica nas paredes, as telhas pintadas de branco e vidros adequados. Já o maior número de horas em desconforto (1.712 horas – 19,54%) ocorreu na Simulação 3, que é a edificação como construída, mas sem os brises, semelhante às demais edificações da universidade.

Comparando-se o melhor desempenho, da Simulação 5, com o edifício atual (Simulação 1), a diferença foi de 461 horas de desconforto. E para a Simulação 3, a diferença é de 610 horas.

As Figuras 35 e 36, ilustram esse intervalo de conforto sugerido pela Norma de Desempenho Térmico, de temperatura operativa interna de 18 °C a 29 °C, para uma zona da Simulação 5, que apresenta menores intervalos de desconforto (Figura 35) e para a mesma zona da Simulação 3, com maiores índices de desconforto (Figura 36).

Figura 35 – Gráfico resultante da Simulação 5 – Zona 15

Fonte: *EnergyPlus* (2016)

Figura 36 – Gráfico resultante da Simulação 3 – Zona 15

Fonte: *EnergyPlus* (2016)

A variação que houve dos resultados da ASHRAE Standard 55:2013 e o projeto de revisão da ABNT NBR 16401-2 (Tabela 6) para a Norma de Desempenho Térmico (Tabela 10) se dá pelos diferentes intervalos de temperatura de conforto considerados por cada norma. Enquanto a primeira define o intervalo de 17,5 °C a 31,5 °C, a segunda considera como zona de conforto o intervalo de 18 °C a 29 °C. Apesar de apresentar índices diferentes, a melhor situação de conforto em uma é também a melhor na outra, ou seja, as duas avaliações apresentaram a Simulação 5 com o melhor desempenho e a Simulação 3 com o menos favorável.

Para a unidade de graus-horas, conforme a Tabela 12, o melhor desempenho se deu na Simulação 5, com 4.113 graus-hora em desconforto, e a maior quantidade

de desconforto na Simulação 3, com 8.585 graus-hora. Esses dados alinham-se com aqueles contidos na Tabela 11.

Tabela 12 – Graus-horas em desconforto, considerando o intervalo de 18 °C e 29 °C

	Simulação							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Quantidade de graus-horas acima de 29 °C (desconforto por calor) – °C	6.671	2.743	7.953	6.574	3.583	6.147	6.556	5.925
Quantidade de graus-horas abaixo de 18 °C (desconforto por frio) – °C	708	1.419	632	680	530	745	709	719
Total em graus-horas de desconforto – °C	7.379	4.162	8.585	7.254	4.113	6.892	7.265	6.644

5. CONCLUSÃO

Por esse trabalho foi possível levantar as possíveis técnicas de arquitetura bioclimática e a forma que podem ser utilizadas. Em seguida, aplicadas em simulações para verificar a eficiência ainda em projeto, quando as alterações têm um custo muito menor e podem auxiliar nas decisões de projeto. Dessa forma, as simulações realizadas permitiram a comparação entre a forma em que está construída e os modelos com aplicação das técnicas.

Através desta pesquisa pode-se confirmar a importância da arquitetura bioclimática e demonstrar, através de análises por simulação computacional, a eficiência de cada elemento e técnica propostos, e conseqüentemente, os benefícios que trazem ao usuário, melhorando sua qualidade de vida; e ao meio ambiente, com a diminuição do uso de equipamentos, colaborando para a redução do consumo de energia.

Assim, foi possível verificar a influência de cada uma das técnicas no desempenho energético da edificação por meio das orientações de condições de conforto das normas. Todas as hipóteses analisadas, em que foram inseridas as técnicas de arquitetura bioclimática, apresentaram resultados positivos, e ainda melhores quando consideradas simultaneamente.

O importante em verificar a aplicação dessas técnicas ainda em projeto é tornar-se uma solução para melhorar a qualidade do ambiente interno, com menor consumo de energia, contribuindo com a preservação do meio ambiente, sem, necessariamente, agregar maiores custos.

Quando se tem um ambiente interior com menor variação de temperatura e que propicia maior conforto, o gasto de energia com equipamentos de climatização se torna menor. Mesmo que apenas as técnicas passivas não atendam aos requisitos das normas, isso se torna necessário, pois diminui o tempo em que os equipamentos artificiais ficam ligados, conseqüentemente reduzindo o consumo de energia.

A simulação da edificação como está construída, que já apresenta aplicação de técnicas (única na universidade), apresentou melhores resultados do que quando comparadas a simulação feita assemelhando-a ao padrão das demais edificações,

apenas retirando-se o brise. O planejamento da universidade prevê um padrão de implantação que não propicia a melhor orientação para as fachadas e promove maior aquecimento no interior, que não beneficia o conforto térmico.

O melhor resultado deu-se na simulação que a inércia térmica das paredes externas foi aumentada, as telhas da cobertura receberam pintura branca e vidros com melhores condições. Os resultados apresentaram melhores condições de conforto para o verão, com as menores máximas, e para o inverno, com as temperaturas mais altas no frio. Ou seja, a temperatura interna apresentou menor variação no decorrer do ano.

Quando analisados pela ASHRAE Standard 55:2013 e o projeto de revisão da ABNT NBR 16401-2 – Parâmetros de Conforto Térmico, que considera o intervalo de conforto de 17,5 °C a 31,5 °C, a Simulação 1, da edificação como construída, apresentou um total de 704 horas em desconforto, enquanto que a Simulação 5, com aumento da inércia térmica, pintura branca nas telhas e substituição dos vidros, apresentou melhor desempenho, com 457 horas de desconforto. E a Simulação 3, que se assemelha às demais edificações da universidade, apresentou o maior índice de desconforto, 754 horas.

Já a análise pela Norma de Desempenho Térmico (ABNT NBR 15220-3:2005), que considera o intervalo de conforto de 18 °C e 29 °C, apresentou para a edificação como construída (Simulação 1) 1.563 horas de desconforto, enquanto que a Simulação 5 apresentou novamente o melhor desempenho, com 1.102 horas e a Simulação 3, novamente o maior desconforto, 1.712 horas.

E a análise pela Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575:2013), considerando as zonas indicadas por essa Norma, a temperatura máxima, de 36,9 °C ocorreu para a Simulação 3. E a temperatura mínima, de 12,9 °C para a Simulação 2, que não considerou as cargas de pessoas e equipamentos. Já a menor temperatura máxima e a maior temperatura mínima (34,0 °C e 15,1 °C), sugerindo maior conforto tanto para frio quanto para calor e a menor variação térmica, ocorreu para a Simulação 5. Enquanto que na Simulação 1, a temperatura máxima foi 36,3 °C e a mínima 14,2 °C.

Por fim, nota-se que por meio de simulação computacional é possível verificar o desempenho da edificação e a importância que cada técnica de arquitetura

bioclimática traz para a edificação, individualmente, e como um todo. A união de conceitos bioclimáticos e eficiência energética à edificação desde a concepção do projeto é uma das práticas mais eficientes e baratas para economia de energia em edificações.

5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se verificar o desempenho térmico considerando a junção das propostas das Simulações 4, 5, 6 e 7.

Sugere-se ainda simular e analisar a eficiência aplicando as técnicas de arquitetura bioclimática em outra tipologia de edificação (residencial, hospitalar, etc).

E por fim, sugere-se avaliar o conforto na edificação por outros aspectos: luminoso e acústico.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. v.5. São Paulo: Blucher, 2011.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório de acompanhamento da implantação de empreendimentos de geração**. 2016. Disponível em: <www.aneel.gov.br> Acesso em: 31 jan. 2016.

ARANTES, B. **Conforto térmico em habitações de interesse social**: Um estudo de caso. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2013.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2013.

BAGNATI, M. M. **Zoneamento bioclimático e arquitetura brasileira**: qualidade do ambiente construído. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade**: a abordagem climática como subsídios para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007.

BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; KASMIRSKI Junior, P.; VENSKE, R. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Produção**, v.19, n.3, p.477-488, 2009.

BEYER, P. O. **Green building certification – a core & shell case**. 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering (ENCIT): Uberlândia, 2010.

BRASIL. Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001. Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento e luz**: estratégias para o projeto de arquitetura. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CARDOSO, J. C. M. **Estratégias visando eficiência energética e conforto térmico incorporados aos projetos de edificações residenciais em Maringá-PR**. 2002. 225 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CAVALCANTE, R. de C. D. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de**

desempenho. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2000.

CBEEE - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Nota técnica n. 05/2011:** Nota técnica referente à alteração da zona bioclimática de Maringá/PR determinada pela NBR 15220-3. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais:** guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Matriz energética: cenários, oportunidades e desafios.** Brasília: CNI, 2007.

CORBELLA, O.; CORNER, V. **Manual de arquitetura bioclimática tropical:** para a redução de consumo energético. Rio de Janeiro: Revan, 2011.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos:** conforto ambiental. 2ª ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

DOERFLER, M. A.; KRUEGER, E. L. **Avaliação dos impactos termo-energéticos da orientação solar em habitação de interesse social na zona bioclimática 01.** In: Entac 2014, Maceió AL.

DTABACH. **Face norte: mitos e verdades.** 2006. Disponível em: <<http://dtabach.com.br/arquitetura/artigo/face-norte-mitos-verdades>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

ELETROSUL. **A Casa Eficiente.** Disponível em: <www.eletrosul.gov.br/casaeficiente>. Acesso em: 14 mai. 2014.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus.** Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 5 jan. 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2015:** Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

FELIX, L. F. C. **O processo de projeto de uma edificação mais sustentável: contribuições relativas ao programa arquitetônico.** 2008. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2008.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico.** 6ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GBCB–Green Building Council Brasil. **Certificação LEED**. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/>>. Acesso em: 13 fev. 2016.

GEROLA, G. M. **Avaliação do desempenho ambiental de habitações de interesse social em Sarandi – Maringá – Paiçandu/PR**. Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá, UEM, 2014.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, p. 11-23, 1992.

HERTZ, J. **Ecotécnicas em arquitetura**: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. São Paulo: Pioneira, 1998.

HUSSEIN, H.; JAMALUDIN, A. POE of Bioclimatic Design Building towards Promoting Sustainable Living. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**. v.168, p. 280 – 288, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema Geodésico Brasileiro**. 2016. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php>. Acesso em 30 Jul. 2016.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações (RTQ-C)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013.

IPARDES – INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno Estatístico Município de Maringá**. 2016. Disponível em:<<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87000>>. Acesso em 30 Jul. 2016.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. TC 59 (BUILDING CONSTRUCTION)/ SUBCOMMITTEE SC3 (FUNCTIONAL/USER REQUIREMENTS AND PERFORMANCE IN BUILDING CONSTRUCTION. **Buildings and constructed assets – Sustainability in Building – General Principles**. ISO AWI 15392 (ISSO TC59/SC3/N459). 2003.

JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. (coord.). **Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras, 2010.

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KIOURANIS, A. **Análise do desempenho energético**: Estudo de caso na Biblioteca Central da Universidade Estadual de Maringá - BCE/UEM. Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá, UEM, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. (editores). **Casa eficiente: simulação computacional do desempenho termo-energético**. v.4. Florianópolis: UFSC/ LabEEE, 2010.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. **Conforto e stress térmico**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC, 2016.

LANHAM, A.; GAMA, P.; BRAZ, R. **Arquitetura Bioclimática: Perspectivas de inovação e futuro**. Seminários de Inovação. Instituto superior técnico. Universidade Técnica de Lisboa, 2004.

LIMA, R. G. **A influência do sombreamento e da absorção da envoltória no desempenho termoenergético de edifícios na cidade de Maceió – AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Alagoas, 2010.

MANZANO-AGUGLIARO, F.; MONTOYA, F. G.; SABIO-ORTEGA, A.; GARCÍA-CRUZ, A. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 49. p. 736–755, 2015.

MARAGNO, G. V. Adequação bioclimática da arquitetura de Mato Grosso do Sul. **Ensaio e Ciências**, Campo Grande, v. 6, n. 003, p. 13-37. 2002.

MELO, A. P. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MIOTTO, J. L. **Princípios para o projeto e produção das construções sustentáveis**. Ponta Grossa: UEPG/ NUTEAD, 2013.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. Vol. 4, nº 1, Maio de 2009.

NAKAMURA, J. **A respeito do meio ambiente**. Revista Arquitetura e Urbanismo. n. 142, jan. 2006.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, J. S. Conforto térmico na escola pública em Cuiabá-MT: estudo de caso. **Revista Eletrônica Mestrado Educação Ambiental**. Volume 14, jan a jun 2005.

OLGYAY, V. **Arquitetura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. 2.ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

OLIVEIRA, R. P. **Utilização de um aplicativo de simulação computacional na avaliação de desempenho térmico de protótipo de habitação de Interesse Social (HIS)**. 2010. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

ONU – **Organização das Nações Unidas**. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Disponível em: <<http://esa.un.org/unpd/wpp/>>.

PALO, P. R. **Estudo da viabilidade da construção de edifícios inteligentes sustentáveis**. Monografia. Universidade Anhembi Morumbi: São Paulo, 2006.

PARANÁ, Universidade Estadual de Maringá (UEM). Prefeitura do Campus da UEM. **Projeto arquitetônico do Bloco C67**. 1998.

PEARSON EDUCATION DO BRASIL. **Gestão Ambiental**. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

PEREIRA, A. C. **Variáveis de conforto térmico**. Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP, Porto, 2004.

PEREIRA, I.; FERREIRA, C. **Avaliação dos impactos da ABNT NBR 15575 no conforto térmico e no consumo de energias nas novas edificações habitacionais brasileiras**. In: Entac 2014, Maceió AL.

PIETROBON, C. E. **Um processo sistemático para o projeto arquitetônico bioclimático**: o caso de Maringá, 1990. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Departamento de Arquitetura e Planejamento: Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1990.

PIETROBON, C. E., LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. O. R. **Estratégias bioclimáticas para o projeto de edificações**: conceituação e aplicação para Maringá – PR. VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro, 2001.

PIETROBON, C. E., LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. O. R. **Tratamento de elementos climáticos para a climatologia das edificações**: o caso de Maringá – Pr. V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído & II Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Fortaleza, 1999.

PINTO, C. F. **Em busca de uma arquitetura sustentável**: o uso de fontes alternativas de energia. 2009. 224 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PRESZNHUK, A. **Construções sustentáveis**: alternativas para minimizar os impactos ambientais de uma edificação residencial. 2005. 88f. Monografia (Especialização em Engenharia Ambiental) – Departamento Acadêmico de Mecânica, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET-PR, Curitiba, 2005.

Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

ProjetEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Laboratório de eficiência energética em edificações. UFSC. Disponível em: <<http://projeteee.ufsc.br/>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse**: a casa ambientalmente sustentável. Tradução de Alexandre Salvaterra. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RODRIGUES, M. E. **Análise da correlação entre o nível de eficiência energética da envoltória e os consumos de energia elétrica e água em edificações de instituições de ensino**. 2010. 154 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

ROMERO, M. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 2001.

ROSA, V. H. da S. **Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável**. 2007. 440 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOLOUS, D. (editors). **Passive Cooling of Building**. Earthscan, UK, 2013.

SANTOS, K.; OLIVEIRA, D. **Técnicas de sustentabilidade aplicáveis à residências do programa minha casa minha vida**. In: Entac 2014, Maceió AL.

SCHMID, A. L. **Tradução comentada do clássico artigo que lança a ideia do diagrama bioclimático do edifício**. In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. Campinas, 2015.

SERRADOR, Marcos Eduardo. **Sustentabilidade em arquitetura: referências para projeto**. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SILVA, H. da C. **Window design for termal comfort in domestic buildings in Southern Brazil**. Tese (Doutorado). School of architecture. Londres, 1994.

SIMIONI, C. A.. **O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira**: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis. 2006. 314 f. Tese (Doutorado em Meio ambiente e Desenvolvimento) – Programa de doutorado em meio ambiente e desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

VENÂNCIO, H. **Minha casa sustentável**: guia para uma construção residencial responsável. 2ª ed. Vila Velha, ES: Edição do autor, 2010.

ZHANG, X.; LIAN, Z. The bioclimatic design approach to plateau region buildings: Case of the Lhasa. **Procedia Engineering**. v.121, p. 2044 – 205, 2015.

APÊNDICES

1. MATERIAIS ADOTADOS PARA SIMULAÇÃO

Construções (com ordem de materiais começando de fora para dentro)
Alvenaria, reboco e pintura branca (15 cm) <ul style="list-style-type: none"> • Reboco de alvenaria(1,5 cm) + pintura branca externa • Alvenaria com bloco cerâmico 6 furos • Reboco de alvenaria (1,5 cm)+ pintura branca externa
Beiral de PVC e brises <ul style="list-style-type: none"> • PVC (usado nos beirais externos e brises)
Concreto externo <ul style="list-style-type: none"> • Concreto de vigas e pilares - externo (20 cm espessura)
Divisórias leves <ul style="list-style-type: none"> • Chapa de “Drywall” ½ polegada* <p>*Os materiais das divisórias utilizados são divisórias de madeira leve, na escassez de dados sobre o mesmo e, considerando seu baixo desempenho térmico, adotou-se uma chapa de <i>drywall</i>, como de costume nas simulações térmicas.</p>
Cobertura do auditório do CTC <ul style="list-style-type: none"> • Telha de fibrocimento ondulada 6 mm (usada) • Piso de concreto
Cobertura (3º piso) <ul style="list-style-type: none"> • Telha de fibrocimento ondulada 6 mm (usada)
Piso de concreto + granilite (15 cm) <ul style="list-style-type: none"> • Piso de concreto + granilite (15 cm)
Alvenaria de “tijolinho” vedação externa <ul style="list-style-type: none"> • Alvenaria de “tijolinho”, vedação externa
Edifícios ao redor <ul style="list-style-type: none"> • Material simulando a refletividade superficial dos edifícios no entorno

2. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS ADOTADOS PARA SIMULAÇÃO

MATERIAL	FONTE DE INFORMAÇÃO
<p>Alvenaria com bloco cerâmico 6 furos</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>Roughness: <input type="text" value="MediumSmooth"/></p> <p>Thickness: <input type="text" value="0.120000"/> m</p> <p>Conductivity: <input type="text" value="0.900000"/> W/m·K</p> <p>Density: <input type="text" value="1200.000000"/> kg/m³</p> <p>Specific Heat: <input type="text" value="920.000000"/> J/kg·K</p> <p>Thermal Absorptance: <input type="text" value="0.900000"/></p> <p>Solar Absorptance: <input type="text" value="0.700000"/></p> <p>Visible Absorptance: <input type="text" value="0.700000"/></p> </div>	Conforme NBR 15220-1
<p>Concreto de vigas e pilares - externo (20 cm espessura)</p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p>Roughness: <input type="text" value="MediumSmooth"/></p> <p>Thickness: <input type="text" value="0.203300"/> m</p> <p>Conductivity: <input type="text" value="1.729600"/> W/m·K</p> <p>Density: <input type="text" value="2243.000000"/> kg/m³</p> <p>Specific Heat: <input type="text" value="837.000000"/> J/kg·K</p> <p>Thermal Absorptance: <input type="text" value="0.900000"/></p> <p>Solar Absorptance: <input type="text" value="0.650000"/></p> <p>Visible Absorptance: <input type="text" value="0.650000"/></p> </div>	Conforme NBR 15220-1
<p>Alvenaria de “tijolinho”, vedação externa</p>	Conforme NBR 15220-1, utilizando configurações pré-estabelecidas pelo software (na Biblioteca Online)

<p>Roughness: MediumRough</p> <p>Thickness: 0.101600 m</p> <p>Conductivity: 0.900000 W/m·K</p> <p>Density: 1300.000000 kg/m³</p> <p>Specific Heat: 920.000000 J/kg·K</p> <p>Thermal Absorptance: 0.900000</p> <p>Solar Absorptance: 0.700000</p> <p>Visible Absorptance: 0.700000</p>	
Telha de fibrocimento ondulada 6mm (usada)	
<p>Roughness: MediumRough</p> <p>Thickness: 0.015000 m</p> <p>Conductivity: 1.150000 W/m·K</p> <p>Density: 2000.000000 kg/m³</p> <p>Specific Heat: 1000.000000 J/kg·K</p> <p>Thermal Absorptance: 0.900000</p> <p>Solar Absorptance: 0.200000</p> <p>Visible Absorptance: 0.200000</p>	<p>Conforme "CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES E COBERTURAS, volume 5" desenvolvido pelo LabEEE (tendo em vista que a NBR 15220-1 não apresenta a telha de fibrocimento ondulada 6mm separadamente). Os dados resultam de medições de laboratório do grupo</p>
PVC (usado nos beirais externos e brises)	
<p>Roughness: Smooth</p> <p>Thickness: 0.010000 m</p> <p>Conductivity: 0.200000 W/m·K</p> <p>Density: 1300.000000 kg/m³</p> <p>Specific Heat: 960.000000 J/kg·K</p> <p>Thermal Absorptance: 0.900000</p> <p>Solar Absorptance: 0.200000</p> <p>Visible Absorptance: 0.200000</p>	<p>Conforme "CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES E COBERTURAS, volume 5" desenvolvido pelo LabEEE (tendo em vista que a NBR 15220-1 não apresenta a telha de fibrocimento ondulada 6mm separadamente). Os dados resultam de medições de laboratório do grupo</p>
Piso de concreto + granilite (15cm)	
Conforme NBR 15220-1	

<p>Roughness:</p> <p>Smooth <input type="text"/></p> <p>Thickness:</p> <p>0.150000 m</p> <p>Conductivity:</p> <p>1.729600 W/m·K</p> <p>Density:</p> <p>2243.000000 kg/m³</p> <p>Specific Heat:</p> <p>837.000000 J/kg·K</p> <p>Thermal Absorptance:</p> <p>0.900000</p> <p>Solar Absorptance:</p> <p>0.650000</p> <p>Visible Absorptance:</p> <p>0.550000</p>	
Reboco de alvenaria + pintura branca externa (1,5cm)	
<p>Roughness:</p> <p>Smooth <input type="text"/></p> <p>Thickness:</p> <p>0.015000 m</p> <p>Conductivity:</p> <p>1.150000 W/m·K</p> <p>Density:</p> <p>2000.000000 kg/m³</p> <p>Specific Heat:</p> <p>1000.000000 J/kg·K</p> <p>Thermal Absorptance:</p> <p>0.900000</p> <p>Solar Absorptance:</p> <p>0.200000</p> <p>Visible Absorptance:</p> <p>0.200000</p>	Conforme NBR 15220-1
Chapa de Drywall (½ polegada)	
<p>Roughness:</p> <p>Smooth <input type="text"/></p> <p>Thickness:</p> <p>0.012700 m</p> <p>Conductivity:</p> <p>0.160000 W/m·K</p> <p>Density:</p> <p>784.900000 kg/m³</p> <p>Specific Heat:</p> <p>830.000000 J/kg·K</p> <p>Thermal Absorptance:</p> <p>0.900000</p> <p>Solar Absorptance:</p> <p>0.400000</p> <p>Visible Absorptance:</p> <p>0.400000</p>	Configuração disponível no software (não havendo descrições isoladas na NBR 15220-1 tendo em vista não atender os pré-requisitos térmicos isoladamente)
Vidro 3 mm	
	Configuração disponível no software

Thickness: <input type="text" value="0.003000"/> m Solar Transmittance At Normal Incidence: <input type="text" value="0.837000"/> Front Side Solar Reflectance At Normal Incidence: <input type="text" value="0.075000"/> Back Side Solar Reflectance At Normal Incidence: <input type="text" value="0.000000"/> Visible Transmittance At Normal Incidence: <input type="text" value="0.898000"/> Front Side Visible Reflectance At Normal Incidence: <input type="text" value="0.081000"/> Back Side Visible Reflectance At Normal Incidence: <input type="text" value="0.000000"/> Infrared Transmittance at Normal Incidence: <input type="text" value="0.000000"/> Front Side Infrared Hemispherical Emissivity: <input type="text" value="0.840000"/> Back Side Infrared Hemispherical Emissivity: <input type="text" value="0.840000"/> Conductivity: <input type="text" value="0.900000"/> W/m·K Dirt Correction Factor For Solar And Visible Transmittance: <input type="text" value="1.000000"/> Solar Diffusing: <input type="checkbox"/> off	
Asfalto	
Material simulando a refletividade superficial dos edifícios no entorno	Conforme NBR 15220-1

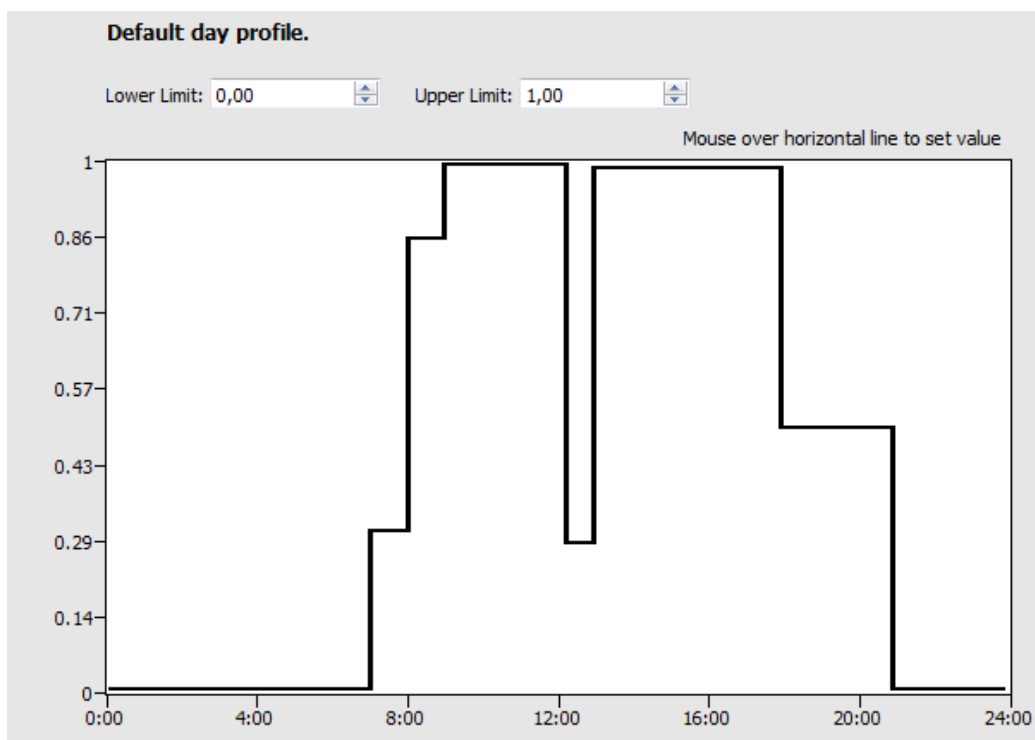
Roughness:	Thickness:
<input type="text" value="Rough"/>	<input type="text" value="0.040000"/> m
Conductivity:	Density:
<input type="text" value="0.700000"/> W/m·K	<input type="text" value="2100.000000"/> kg/m ³
Specific Heat:	Thermal Absorptance:
<input type="text" value="920.000000"/> J/kg·K	<input type="text" value="0.900000"/>
Solar Absorptance:	Visible Absorptance:
<input type="text" value="0.900000"/>	<input type="text" value="0.900000"/>

3. CRONOGRAMA DE HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DO EDIFÍCIO

Horário – Ano Letivo (2 fev – 14 junho e 25 jul – 30 nov)

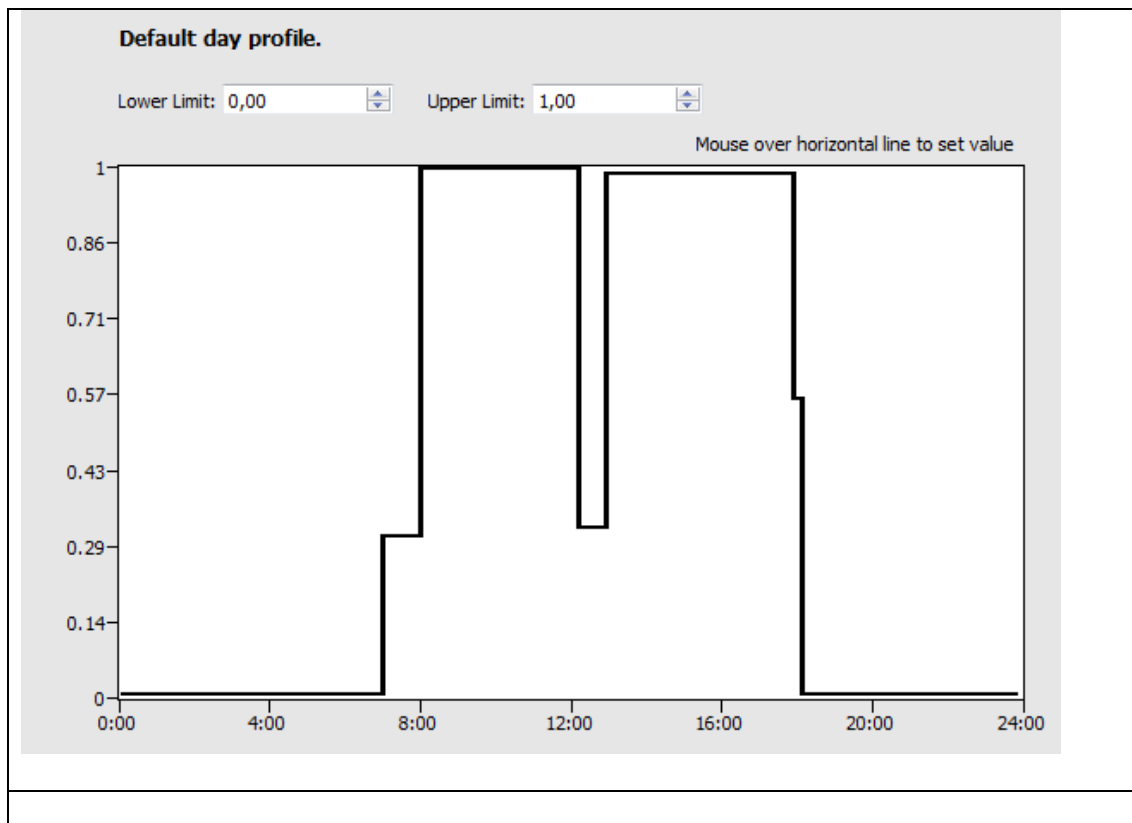
Para salas de aula e laboratório

Calendário de acordo com o calendário acadêmico de 2014, com um mês de férias no meio do ano.



Horário atendimento Secretaria (de 17 jan a 20 dez)

Para secretarias, corredores e banheiros.



4. TIPOS DE ESPAÇOS UTILIZADOS

Memorial de Carga do Edifício

Analisou-se uma sala tipo para encontrar a carga de iluminação e fazer o valor por m².

Valores de área utilizados

Sala de aula (10 m x 5,8m = 58 m²)

Sala de professores (2,45 m x 5,8 m = 14,2 m²)

Corredor (trecho entre os eixos de pilares a cada 10 m)(10 x 3 m = 30 m²)

Carga de iluminação:

Sala de aula: 32 lâmpadas de 40 W = 1280W = 22 W/m²

Sala dos professores: 4 lâmpadas de 40 W = 160W = 11,2 W/m²

Secretaria: mesmo valor das salas dos professores

Corredor: 4 lâmpadas de 40W = 160W = 5,3 W/m²

Carga de pessoas

Sala de aula 35 pessoas/sala = 0,6 pessoas/m²

Sala de professores = 2 pessoas a cada 14,2m² = 0,14 pessoas/m²

O valor de corredor, secretaria e banheiros adotado foi o da metade da sala dos professores = 0,07 pessoas/m²

Carga de equipamentos:

Assume-se que

30W por notebook

180W por projetor

Sala de professores:

2 notebooks/sala = 60W/14,2m² = 4,2 W/m²

Sala de aula:

10 notebooks + projetor = 480W/58m² = 8,3 W/m²

Secretaria:

2 computadores (300W) para 58 m² = aproximou-se o valor para o mesmo de sala de aula

Laboratório de informática:

20 computadores de 300W = 6000 W/58m² = 100 W/m²

Metabolismo:

Adota-se metabolismo constante de 70 W/pessoa em todas as simulações

TIPOS DE ESPAÇOS UTILIZADOS:

Tipo de Espaço	Cronograma (anual)	Ventilação (m/s)	Carga de iluminação (W/m²)	Carga térmica de pessoas (pessoas/m²)*	Carga de equipamentos (W/m²)
@Corredor	"Secretaria"	Vent. natural	5,3	0,07	-
@Lab	"Anoletivo"	Vent. natural	22	0,6	100
@S_Aula	"Anoletivo"	Vent. natural	22	0,6	8,3
@S_professores	"Anoletivo"	Vent. natural	11,2	0,14	4,2
@Secretaria	"Secretaria"	Vent. natural	11,2	0,07	8,3
@Auditório	x	Vent. natural			
@Cobertura	Semcronograma	Vent. natural	-	-	-

* considerando cada pessoa com 70W/m²

Setagem dos Espaços

"B" refere-se a banheiro

"ESC_LATERAL" refere-se a escada lateral

"LAB" refere-se a laboratório

"SAC" refere-se a sacada

"SAULA" refere-se a sala de aula

"SP" refere-se a sala dos professores

"COPA" refere-se a copa do 3° piso