

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GISLENE TONETTE SORDI

**IMPACTO ORÇAMENTÁRIO DA INSERÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS
DE BAIXO CUSTO EM UMA ESCOLA PÚBLICA DO ESTADO DO PARANÁ**

LONDRINA

2010

GISLENE TONETTE SORDI

**IMPACTO ORÇAMENTÁRIO DA INSERÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS
DE BAIXO CUSTO EM UMA ESCOLA PÚBLICA DO ESTADO DO PARANÁ**

Monografia apresentada para a obtenção do Título de Especialista em Construção de Obras Públicas no Curso de Pós Graduação em Construção de Obras Públicas da Universidade Federal do Paraná, vinculado ao Programa Residência Técnica da Secretaria de Estado de Obras Públicas/SEOP.

Orientador: Prof.(a) Ms. Thalita Giglio

LONDRINA

2010

TERMO DE APROVAÇÃO

GISLENE TONETTE SORDI

IMPACTO ORÇAMENTÁRIO DA INSERÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS DE BAIXO CUSTO EM UMA ESCOLA PÚBLICA DO ESTADO DO PARANÁ

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Construção de Obras Públicas no Curso de Pós-Graduação em Construção de Obras Públicas da Universidade Federal do Paraná (UFPR), vinculado ao Programa de Residência Técnica da Secretaria de Estado de Obras Públicas (SEOP), pela Comissão formada pelos Professores:

THALITA GIGLIO
Profº. ORIENTADOR

THALITA GIGLIO
Profº. TUTOR

Profº. Hamilton Costa Junior
Coord. Curso Residência Técnica

Londrina, 16 de Dezembro de 2010.

Dedico este trabalho:

À Deus, por seu amor sem igual;

Ao meu esposo Alexandre, pelo carinho e incentivo;

A minha filha Laura, que me faz forte a cada dia;

A minha mãe Milta, essencial em minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pai maravilhoso que me ampara em todos os momentos;

Ao meu esposo Alexandre, pelo apoio e encorajamento, por seu amor e compreensão nos momentos de ausência.

À minha mãe Milta, companheira e amiga de todas as horas.

À minha filha Laura, pelo amor incondicional e momentos de alegria capazes de superar todo cansaço e preocupação.

Aos amigos: Cris, Bárbara, Rê, Silvia, Helder e Helton, companheiros de residência técnica, amigos de verdade, pela amizade, pela força, pelos momentos de descontração, enfim, por todos os momentos inesquecíveis que marcaram minha vida para sempre e em especial à Dona Célia e Família, Candoca, Tereza e Fugiro.

A minha orientadora e tutora: Arquiteta Thalita Giglio, pela disponibilidade, ensinamentos e palavras de encorajamento.

Ao Engenheiro Chefe do Escritório Regional de Londrina: Walmir da Silva Mattos, pelos valiosos ensinamentos pessoais e profissionais, pela amizade e profissionalismo e pela oportunidade de aprender sem reservas.

Ao Engenheiro Flavio Formagio Fonseca, pelas valiosas lições, pela amizade e disponibilidade de transmitir toda sua experiência na fiscalização de obras e orçamentos.

Aos Engenheiros Olavo e Eduardo pela amizade e ensinamentos.

Ao Governo do Estado do Paraná, pelo apoio financeiro concedido durante a pós-graduação e pela criação do programa Residência Técnica, que possibilitou uma experiência única de aplicação dos conhecimentos teóricos na prática.

A Universidade Federal do Paraná, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e à SEOP, por possibilitar o desenvolvimento desta pesquisa.

A Arquiteta Olivia Martins Murara e equipe da diretoria de edificações da SUDE, pelas informações e projetos do Padrão de escolas 023 do Governo do Estado.

Aos coordenadores da residência técnica: Manoel e José Maurino, por conduzir os trabalhos a residência técnica e proporcionar o desenvolvimento de forma tranqüila.

*Um desperdício de energia consumida para
pensar, amar, criar, transformar, sentir, projetar,
executar... Essas energias não se esgotam nunca.*

*Pelo contrário. A humanidade precisa de um
consumo cada vez maior delas. As outras – as que
movem o mundo material, as que resfriam e
aquecem os nossos edifícios – cuidemos delas!*

Lucia Mascaró, 1986

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Arquitetura e Meio Ambiente	15
2.1.1 Energia e Meio Ambiente	15
2.2 Princípios Bioclimáticos da Arquitetura	17
2.2.1 Zona de Conforto.....	21
2.2.2 Ventilação.....	22
2.2.3 Resfriamento Evaporativo	23
2.2.4 Massa Térmica para Resfriamento.....	24
2.2.4.1 Temperatura e Transferência de Calor.....	25
2.2.5 Ar Condicionado.....	28
2.2.6 Umidificação	28
2.2.7 Massa Térmica / Aquecimento Solar.....	29
2.2.8 Aquecimento Solar Passivo.....	30
2.2.9 Aquecimento Artificial.....	31
2.2.10 Combinação de Estratégias Bioclimáticas.....	32
2.3 Estratégias Bioclimáticas de Baixo Custo	32
2.3.1 Uso Eficiente da Energia	33
2.3.2 Coberturas Refletivas (<i>White Roof</i>).....	34
2.3.3 Arborização e Jardins Verticais	36
2.3.4 Desempenho Térmico de Paredes e Revestimentos	38
2.3.5 Aberturas, Ventilação e Iluminação.....	41
3 METODOS DE PESQUISA	43
3.1 Caracterização do Objeto de Estudo- (Padrão 023 do Estado do Paraná)	43
3.2 Características da Região de Estudo	45
3.3 Relatório de Vistoria do Terreno e Implantação do Projeto Padrão 023.....	46
3.4 Estudo das Estratégias Bioclimáticas de Londrina	49
4 ANÁLISE BIOCLIMÁTICA UNV SAN FERNANDO	52
4.1 Aplicações das Estratégias à Unidade Escolar Padrão 023.....	53
4.1.1 Otimização da Ventilação Natural	53
4.1.2 Emprego da Vegetação.....	56
4.1.3 Cobertura e Paredes Externas Refletoras.....	59
4.2 Orçamento Convencional Padrão 023.....	60
5 ADEQUAÇÃO DO ORÇAMENTO COM AS ESTRATÉGIAS PROPOSTAS	62
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	62
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Carta Bioclimática adotada para o Brasil	20
Figura 2: Carta Bioclimática de edificações segundo diagrama de Givoni com plotagem de dados do arquivo do ano climático de referencia (TRY) para o período anual da cidade de Florianópolis, onde aparecem as zonas com as estratégias de projeto a serem consideradas.....	21
Figura 3: Circulação de ar – Ventilação cruzada.....	23
Figura 4: Transferência de calor através de uma janela dupla.....	27
Figura 5: Uma casa com energia solar passiva - Energia que entra = energia que sai + energia armazenada.....	30
Figura 6: Cobertura Refletiva White roof.....	34
Figura 7: Diferença de temperatura entre centro urbano e área rural	35
Figura 8: Exemplo de jardim vertical – empresa Neorex.....	37
Figura 9: Sistema de placas Neorex - Jardins verticais.....	37
Figura 10: Placas para Jardim Vertical G-Sky Green Wall System.....	37
Figura 11: Exemplo de jardim vertical – G-Sky Green Wall System.....	38
Figura 12: Fluxo de calor através de uma parede	39
Figura 13: Temperaturas de superfícies expostas ao sol do meio-dia	41
Figura 14: Implantação de salas de aula com blocos separados por corredor central - Padrão 023 do Estado do Paraná	44
Figura 15: Foto escola padrão 023 - bloco de salas de aula em lados opostos com corredor central	44
Figura 16: Mapa com Zona Bioclimática 3	45
Figura 17: Vista aérea do terreno doado pelo município de Rolândia para UNV San Fernando.....	47
Figura 18: Fotos do terreno doado pelo município de Rolândia para construção da UNV San Fernando	47
Figura 19: Esquema de implantação no terreno	48

Figura 20: Carta Bioclimática para Londrina/Pr.....	50
Figura 21: Circulação de ar entre os blocos – ventos dominantes Leste	54
Figura 22: Sala de aula Padrão 023.....	55
Figura 23: Janela Máximo-ar.....	56
Figura 24: Planta de análise Bioclimática.....	57
Figura 25: Museu Quai Branly Paris-França	58
Figura 26: Mercado Palhano – Londrina	59
Figura 27: Cores do revestimento da fachada - escola padrão 023.....	60
Figura 28: Sala de aula Padrão 023 com alteração das esquadrias de basculante para Máximo-ar	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.....	39
Tabela 2: Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para sistema construtivo convencional em alvenaria.	40
Tabela 3: Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local	42
Tabela 4: Programa de necessidades UNV San Fernando – Rolândia.....	48
Tabela 5: Relatório ANALISYS BIO - % de horas de desconforto por estratégia bioclimática.....	51
Tabela 6: Análise da aplicação das estratégias no edifício	53
Tabela 7: Resumo do orçamento convencional para o padrão 023	61
Tabela 8: Comparativo entre orçamento convencional e com inclusão das estratégias.....	63

SORDI, Gislene Tonette. **Impacto orçamentário da inserção de estratégias bioclimáticas de baixo custo em uma escola pública do estado do Paraná.** . 2010. Pós-Graduação em Construção de Obras Públicas . Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba.

RESUMO

O Crescimento das cidades aliado ao fato de que a construção civil está entre as principais atividades geradoras de degradação ambiental, evidenciam a importância de buscar soluções que minimizem estes impactos. O Projeto é a etapa mais adequada para implantação de diretrizes de sustentabilidade à edificação, uma vez que toda obra é executada seguindo especificações adequadas e este princípio, contribuindo para a preservação do meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações atuais e futuras. Para atingir efetivamente as obras, é necessário que as estratégias propostas possuam valores compatíveis com a realidade financeira da administração pública. Desta forma optou-se pela arquitetura bioclimática, como opção para alavancar os princípios da sustentabilidade nas obras públicas. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo apontar diretrizes de baixo custo e alto índice na melhoria do desempenho térmico em um projeto de escola pública e analisar o seu impacto no orçamento final. A proposta metodológica consiste no estudo das estratégias bioclimáticas para o padrão 023 do governo do Estado e a avaliação das alterações no orçamento, inserindo alguns itens específicos de arquitetura bioclimática. As estratégias que mais impactaram foram a substituição da tipologia de abertura das esquadrias de basculante para máximo-ar, a inclusão de jardins verticais junto a algumas paredes cegas e a pintura da cobertura com tinta refletiva em cores claras. Os impactos gerados ao orçamento foram apresentados de forma pontual e objetiva, visando apresentar para cada estratégia as mudanças orçamentárias.

Palavras-chave:

Sustentabilidade – Arquitetura Bioclimática, Projeto - Construção Civil - Obras Públicas – Conforto térmico –Diretrizes – Estratégias.

SORDI, Gislene Tonette. **Impacto orçamentário da inserção de estratégias bioclimáticas de baixo custo em uma escola pública do estado do Paraná.** . 2010. Pós-Graduação em Construção de Obras Públicas . Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba.

ABSTRACT

The growth of cities and the fact that the building be among the main activities that generate environmental degradation, highlights the importance of seeking solutions to minimize environmental damage. The Project is the most appropriate step for implementation of sustainability guidelines for construction, once all work is performed by following this principle and appropriate specifications, helping to preserve the environment and natural resources, ensuring quality of life for current generations and future. To effectively meet the buildings, it is necessary that the proposed strategies have values compatible with the financial realities of public administration. So the bioclimatic architecture was adopted as an option to meet the principles of sustainability in public buildings. Thus, this work aims to give low-cost solutions and high rate of improvement in thermal performance in a public school project and analyze its impact on the final budget. The proposed methodology is the study of bioclimatic strategies for state government standard 023 and to evaluate changes in the budget by entering a few specific items of bioclimatic architecture. The strategies most notable were the replacement of single hung windows by awning windows; and the inclusion of vertical gardens into some walls and painting the roof with reflective paint. The influences on the budget were illustrated in an objective manner, showing for each strategy their budget changes.

Keywords:

Sustainability. Bioclimatic Architecture. Public Buildings. Thermal comfort. Strategies.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a preservação dos recursos naturais devem constituir um conjunto indissolúvel capaz de tornar compatíveis duas grandes realidades: o crescimento econômico e o direito das gerações futuras usufruírem de um meio ambiente saudável.

Segundo CIB, (2000) *apud* Felix, (2008), a construção sustentável é encarada como uma forma da indústria da construção responder à obtenção do desenvolvimento sustentável, nos vários aspectos: cultural, sócio-econômico e ambiental.

As cidades estão cada vez maiores e com isso cresce também a demanda por serviços públicos. A carência por escolas, hospitais, creches, opções de cultura e lazer, propicia o aumento cada vez maior do número de obras, tornando a cidade em um grande canteiro de obras, que nem sempre se desenvolve de forma consciente com as questões ambientais.

Algumas atitudes com relação à preocupação ambiental, já estão sendo tomadas pelo Governo do Estado do Paraná, como a formulação do plano de atuação baseado na sustentabilidade, que formou uma comissão para conduzir assuntos ligados à área. Segundo o Secretário Julio Araújo Filho "Sociedade sustentável é aquela capaz de satisfazer às próprias necessidades sem reduzir as oportunidades das gerações futuras".

Na tentativa de atender a demanda crescente de alunos nas escolas, o governo do Estado elaborou juntamente com a FUNDEPAR, um padrão para construção de escolas, capaz de reproduzir rapidamente um mesmo projeto para diferentes municípios.

Krüger *et al* (2004) *apud* Dorigo, (2007), apontam a adoção de projetos padrão para edificações escolares como uma das causas de problemas de conforto ambiental, uma vez que a padronização não leva em conta situações locais específicas.

O grande problema deste sistema é o fato de que as diferenças climáticas e características de orientação, insolação e ventilação não têm como ser totalmente exploradas para obtenção do conforto térmico e lumínico, uma vez que a formulação dos blocos nem sempre permitem uma flexibilidade capaz de posicionar os planos

de fachada de forma adequada para captar a melhor insolação e ventilação, além da questão climática que poderia ser melhor explorada através do uso de diferentes materiais para cada região.

O que acaba ocorrendo é uma adequação dos blocos ao terreno procurando aproveitar melhor o espaço sem a possibilidade de modificar em nada o projeto padrão e o sistema construtivo, pois já está tudo pré-estabelecido.

Segundo Dorigo, (2007), a ampliação da rede de ensino público pela repetição das mesmas tipologias pode vir a comprometer diretamente a saúde e o rendimento escolar dos alunos, além de gerar edifícios pouco econômicos e com baixa eficiência energética.s

O lado bom é sem dúvida a praticidade e possibilidade de construir maior número de escolas em menor tempo, o que não seria possível se cada terreno em municípios diferentes recebesse um projeto específico, devido à parte burocrática de aprovação do projeto e trâmites legais, além da carência de profissionais no quadro funcional do governo do Estado para projetar tantas escolas diferentes em um curto espaço de tempo.

Com isso, uma solução possível seria a união da praticidade do sistema padronizado com algumas adequações de ordem bioclimática, que procura integrar a edificação ao clima local, tirando proveito das características climáticas para obtenção de melhores condições de conforto e eficiência energética, tornando o edifício mais sustentável através da própria arquitetura, sem adoção de meios artificiais de resfriamento e aquecimento,

Para Corbella e Yannas, (2003) a arquitetura bioclimática tem como objetivo:

[...] prover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e precise da instalação da menor potência elétrica possível, o que também leva à mínima produção de poluição.

Considerando que as condições ambientais influenciam na qualidade das tarefas realizadas em um edifício, é de grande importância a união do sistema de construção padrão com os princípios bioclimáticos, tendo em vista que esta ação é capaz de tornar as edificações, sobretudo as escolas, mais eficientes

energeticamente, mais sustentáveis com relação aos recursos naturais além de mais saudáveis e confortáveis.

Atualmente no governo do estado do Paraná existem vários padrões estabelecidos, como por exemplo, para quadras cobertas, bibliotecas cidadãos, e escolas. Para as escolas públicas, os padrões mais utilizados são o 010, o 022 e o 023, compostos por salas de aula, laboratórios, salas de informática, administrativo, área de serviço, etc, separados em módulos, que são agrupados conforme a necessidade, dependendo da demanda para aquela região em que será construída.

Para que estas estratégias possam ser executadas efetivamente, é importante inserir alguns itens específicos na planilha orçamentária, para que se torne algo intrínseco ao processo de criação e execução de edifícios públicos mais sustentáveis. Para tanto, é necessário analisar os impactos que a inserção de estratégias bioclimáticas irão causar no orçamento, uma vez que os custos são fator determinante na liberação de uma escola para sua efetiva construção.

As pesquisas serão direcionadas de forma a identificar quais as estratégias mais adequadas para obtenção do conforto térmico e melhoria da eficiência energética com menor custo, para que estas não se tornem algo inexequível, uma vez que mesmo o custo-benefício sendo muito importante, os recursos se tornam limitados devido à demanda elevada e necessidade cada vez maior de recursos para reforma dos edifícios existentes.

Para que a construção de forma mais sustentável seja possível, é importante que haja uma quebra de paradigmas com relação ao processo de projeto, para que a adequação do edifício ao clima local aconteça, analisando a orientação, os planos de fachada com a incidência de insolação direta, a ventilação predominante para a região e as estratégias bioclimáticas capazes de melhorar as condições de conforto do ambiente construído.

Segundo Maciel, (2006), para a maioria dos arquitetos e do público em geral, a arquitetura bioclimática é ainda uma coleção de equipamentos e tecnologias adicionais. Os conceitos bioclimáticos não são realmente partes do partido arquitetônico. Em um estudo desenvolvido no Kuwait, Touman e Al-Ajmi (TOUMAN e AL-AJMI 2005) indicam que negligenciar o clima como uma consideração de projeto é uma das principais razões para falhas no desempenho do edifício.

Sendo assim, diante de todo o contexto relatado e a problemática envolvida, tem-se como objetivo deste estudo, analisar o impacto orçamentário da inclusão de algumas diretrizes bioclimáticas aos projetos padrão, de forma a melhorar o desempenho térmico, e conseqüentemente a eficiência energética, sobretudo das escolas.

A partir desta mudança de pensamento onde o clima é fator determinante para promover uma implantação eficiente, as obras públicas poderão, ao longo do tempo, se tornar um modelo de obra sustentável no Estado do Paraná.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Arquitetura e Meio Ambiente

Nas últimas décadas, as mudanças ambientais ocorridas no mundo colocam os arquitetos e projetistas diante da necessidade de se considerar novos critérios e condicionantes de projeto independente de estilo e movimento arquitetônico, e que levam em consideração a relação arquitetura x meio ambiente como critério básico nos processos de projeto.

A industrialização, a globalização, as mudanças de hábitos em geral, sempre visando o maior conforto, enfim, todo o estilo de vida e de progresso que se tem alcançado nos últimos anos, tem acelerado as transformações ambientais do nosso planeta.

Uma ação direta ao meio ambiente, como a construção de uma edificação por exemplo, gera reações que afetam mais que simplesmente o local onde tal ação foi realizada, trazendo conseqüências a longo prazo que poderão vir a atingir somente as futuras gerações.

Segundo Triana, (2005), a construção de edificações consome 1/6 do fornecimento mundial de água pura, 1/4 de sua colheita de madeira, e 2/5 de seus combustíveis fósseis e materiais manufaturados, como resultado disto, a arquitetura é um dos principais focos de reforma ecológica.

Com isso os responsáveis pela produção da arquitetura, sobretudo os arquitetos e projetistas que são os idealizadores da forma final com todos os conceitos de estética, estilo arquitetônico, configuração formal, materiais e etc, desempenham papel fundamental diante deste cenário, sendo responsáveis pela implantação de conceitos de sustentabilidade aos projetos e obras.

2.1.1 Energia e Meio Ambiente

Para Hinrichs *et al* (2010), entender a energia significa entender os recursos energéticos e suas limitações, bem como as conseqüências ambientais da sua utilização.

A energia é mais bem descrita em termos do que ela pode fazer. Não podemos "ver" a energia, apenas seus efeitos; não podemos fazê-la, apenas usá-la; e não podemos destruí-la, apenas desperdiçá-la (ou seja, usá-la de forma ineficiente). Ao contrário da comida e da moradia, a energia não é valorizada por si própria, mas pelo que pode ser feito com ela. (HINRICHS *et al*, 2010).

Vivemos em uma época de preocupação ambiental onde o efeito do consumo de energia no aquecimento global é um dos motivos mais importantes para adotar políticas de redução do consumo de energia elétrica. Neste sentido, energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico são realidades intimamente conectadas que não podem mais caminhar separadamente.

Os estudos apontam para a cidade, seus edifícios e principalmente a indústria da construção civil como principais consumidores de grande quantidade de energia. O consumo global de energia durante as últimas duas décadas aumentou 25%, onde os edifícios residenciais, comerciais, públicos e de serviços, consomem, atualmente, em média 45% de toda energia elétrica produzida no país. (BEN – Balanço Energético Nacional, 2009). Dados da comunidade Européia, mostram que cerca de 50% dos recursos extraídos da natureza são destinados à indústria da construção civil.

Todos estes dados levam a busca de alternativas mais sustentáveis para o desenvolvimento, pois sabe-se que o uso racional de energia não deve ser obtido pela redução dos serviços, mas pela sua expansão de forma correta e eficiente.

Segundo a Agenda 21 os pressupostos atuais de "reconstruir" as cidades com estratégias ecológicas e visão do entorno, têm sido colocados tanto pelos ambientalistas, quanto pelos urbanistas, por entenderem a importância das cidades e seu papel para o desenvolvimento sustentável.

Para Cunha *et al* (2005), aqueles que tomam as decisões devem estar convencidos da necessidade de estabelecer cotas de redução do consumo, tendo em vista as consequências negativas da ausência de cuidado com os recursos naturais.

Uma das áreas com grande capacidade de exploração é a construção civil, por oferecer condições de planejamento do espaço antes da execução, utilizando por meio da própria arquitetura, os elementos favoráveis do clima para

satisfazer as exigências econômicas e ambientais, reduzindo gastos com energia e aumentando o conforto dos usuários.

... Podemos acreditar no futuro e trabalhar para atingi-lo e preservá-lo ou podemos andar cegamente em círculos, comportando-nos como se um dia não fossem existir mais crianças para herdar nosso legado. A escolha é nossa; a Terra está em jogo. (AL GORE *apud* HINRICHS et al, 2010,).

2.2 Princípios Bioclimáticos da Arquitetura

Segundo Cunha *et al* (2005), não existe uma “Arquitetura Bioclimática” mas a arquitetura simplesmente.

Bioclima é o conjunto de condições climáticas de uma região que exerce alguma influência no desenvolvimento dos seres vivos. A utilização destas condições climáticas na arquitetura deverá ser levada em consideração a partir do desenho arquitetônico e urbano, apontando soluções passivas para a economia de energia e melhoria do conforto.

Soluções passivas são aquelas em que o fluxo da energia térmica ocorre por meios naturais, onde nenhum tipo de equipamento mecânico é utilizado.

Segundo Bogo *et al* (1994),

A Climatologia aplicada à arquitetura teve como pioneiros J. M. FITCH através a sua publicação nos anos quarenta: “American Buildings: the environmental forces that shape it”, reeditada e ampliada em 1972, que lançou as bases dessa aplicação. V. OLGAY e A. OLGAY, na década de sessenta, através da publicação: “Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism”, estenderam a sua aplicação às condições de conforto térmico humano e criaram a expressão PROJETO BIOCLIMÁTICO. Também, B. GIVONI concebeu uma CARTA BIOCLIMÁTICA DA EDIFICAÇÃO, em sua publicação “Man, Climate, and Architecture”, que tem sido adaptada por ele mesmo e por autores tais como: WATSON & LABS (1983) e GONZALEZ (1986).

O que se busca é uma arquitetura mais sustentável, que simplesmente através do desenho arquitetônico, sem outras considerações, além das que dizem respeito ao lugar, ao clima, às orientações, à insolação e à ventilação, podem ser melhoradas as condições do ambiente.

A associação destes conceitos ao projeto do edifício, desde os seus primeiros estágios, tem um potencial ainda mais elevado de conservação de energia mantendo o conforto de seus habitantes. (MACIEL, 2006).

Para Cunha, *et al* (2005), bastaria levar em consideração onde o sol nasce, onde se oculta e com quais inclinações incide em cada época do ano para afirmar que se está fazendo “arquitetura bioclimática”.

Segundo Lamberts, *et al* (1997), os dados climáticos mais difundidos no Brasil são as normais climatológicas, publicadas pelo instituto Nacional de Meteorologia.

As Normais Climatológicas são obtidas através do cálculo das médias de parâmetros meteorológicos, obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Essas médias referem-se a períodos padronizados de 30 (trinta) anos, sucessivamente, de 1901 a 1930, 1931 a 1960 e 1961 a 1990. Como no Brasil, somente a partir de 1910 a atividade de observação meteorológica passou a ser feita de forma sistemática, o primeiro período padrão possível de ser calculado foi o de 1931 a 1960. (INMED – Instituto Nacional de Meteorologia).

Mesmo com o tema da sustentabilidade estando em alta, e com tantas pesquisas em torno do tema da arquitetura bioclimática, são poucos os profissionais que adotam as técnicas como parâmetro base para o projeto.

Para Maciel, (2006), é necessário que os arquitetos comecem a considerar, entre o complexo número de limitantes a serem geridos em projeto, o problema térmico, que envolve a dupla consideração do consumo energético e conforto.

Para que possam ser apresentadas as estratégias bioclimáticas, faz-se necessário definir alguns termos de uso comum nessa tendência arquitetônica conforme Iazard e Guyot (1083), Bardou e Arzoumanian (1984) e Mascaró (1983) apud Bogo et al (1994):

- | | |
|------------------|---|
| i) ATIVO: | “Princípio de captação de energia, armazenamento e/ou distribuição que necessita para o seu funcionamento de aportação de energia exterior e que implica alta tecnologia”; |
| ii) PASSIVO: | “Princípio de captação de energia, armazenamento e/ou distribuição capaz de funcionar sozinho sem aportação de energia exterior e que implica técnica simples”; |
| iii) SOLARIZADA: | “Arquitetura cuja concepção nada deve às técnicas solares e que seus componentes passivos só foram superpostos à envoltória sem que sua forma tenha qualquer caráter específico”; |
| iv) SOLAR: | “Arquitetura em cuja concepção se integram realmente os elementos do sistema de utilização da radiação solar na envoltória edificada”; |

- v) TECNOLOGISMO: “Tendência de integrar à Arquitetura um conjunto de técnicas de helioengenharia destinadas a satisfazer as necessidades de condicionamento de interiores, independentemente da reação da própria Arquitetura”;
- vi) BIOCLIMATISMO: “Princípio de concepção em Arquitetura que pretende utilizar por meio da própria Arquitetura, os elementos favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de bem estar higrotérmico”.

Para uma adequada análise bioclimática é necessário conhecer os diversos fatores relacionados para que se estabeleçam níveis de relação entre eles, tais como: *Fatores Climáticos* que englobam: Radiação solar, com intensidade e duração; ciclo diário e sazonal; temperaturas extremas e médias; umidade relativa do ar, extremas e médias; orientação (solar e ao vento dominante de verão); ventos e brisas: velocidade, duração e frequência; precipitações: chuvas e granizo; iluminância natural: valores com céu claro, com céu parcialmente nublado e com céu encoberto.

Também os *Fatores do Lugar* que envolvem: Localização; geologia; topografia; vegetação; som e ruídos; contaminação ambiental; materiais e locais de construção. Outro fator importante a ser considerado é o *Biofísico*, onde poderão ser avaliados os aspectos térmicos: temperatura úmida e seca; diagrama psicométrico; diagrama bioclimático; ventilação: volume e velocidade de renovação do ar. Os aspectos acústicos com avaliação das fontes e níveis de ruídos externos e internos e níveis de satisfação média. Os aspectos da iluminação natural, compreendendo: disponibilidade de luz diurna através do ano; ciclo diário e sazonal;

A arquitetura bioclimática aponta estratégias para que o profissional possa orientar o trabalho quando estiver projetando ou planejando uma edificação. Durante os anos de 1980 alguns esforços foram feitos para tratar a informação climática em um formato compreensível ao usuário.

Neste sentido, diversos autores buscaram formas de mensurar as informações relativas ao clima. Olgay foi o primeiro a desenvolver um diagrama bioclimático em 1963, chamado Carta Bioclimática. Segundo Maciel, (2006), as cartas bioclimáticas foram desenvolvidas para a análise de dados climáticos para estabelecer estratégias de projeto. Este é um dos primeiros métodos no qual as variáveis da temperatura de bulbo seco e umidade relativa são relacionadas como

parte de uma filosofia para indicação de alternativas de projeto como ventilação e o uso da radiação solar no inverno.

Segundo Lamberts, *et al* (1997), há algum tempo foi desenvolvido um trabalho que faz uma revisão bibliográfica abordando o tema bioclimatologia aplicada à arquitetura, com o objetivo de selecionar uma metodologia bioclimática a ser adotada para o Brasil. Com base nas análises concluiu-se que o trabalho de Givoni de 1992 para países em desenvolvimento é o mais adequado às condições brasileiras.

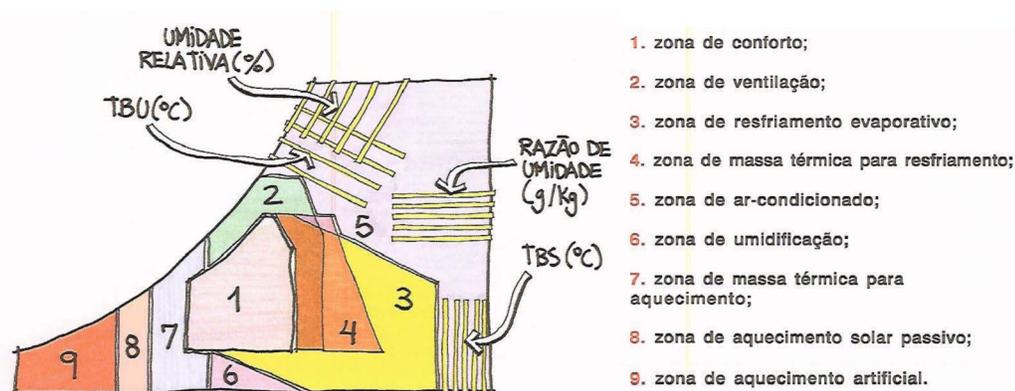


Figura 1: Carta Bioclimática adotada para o Brasil
Fonte: (LAMBERTS, *et al* 1997)

A Carta da figura 1 foi construída sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa. Obtendo os valores destas variáveis para os principais períodos do ano climático da localidade, o arquiteto poderá ter indicações fundamentais sobre a estratégia bioclimática a ser adotada no desenho do edifício. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar exterior podem ser plotados diretamente sobre a carta, onde são identificadas nove zonas de atuação na carta, conforme consta na figura 1. (LAMBERTS *et al* 1997).

Foi desenvolvido no LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), um software denominado ANALYSIS BIO, onde podem ser plotados sobre a carta climática de Givoni os valores com os dados climáticos do local (temperatura e umidade) para um período que pode ser um mês, estação ou o ano inteiro. Como resultado, o software fornece a porcentagem de horas de temperatura dentro da zona de conforto, e a porcentagens de horas a serem resolvidas com estratégias bioclimáticas. O

software, que tem a sua disposição dados climáticos de várias cidades brasileiras, pode usar tanto os dados horários do Ano Climático de Referência (TRY) quanto os valores das Normais Climatológicas, como dados de entrada.

A seguir serão apresentadas as estratégias de projeto de forma geral, para que posteriormente através da plotagem dos dados na Carta Bioclimática do programa ANALYSIS BIO, possam ser apontadas as mais indicadas para as características do microclima local de Londrina e regiões próximas.

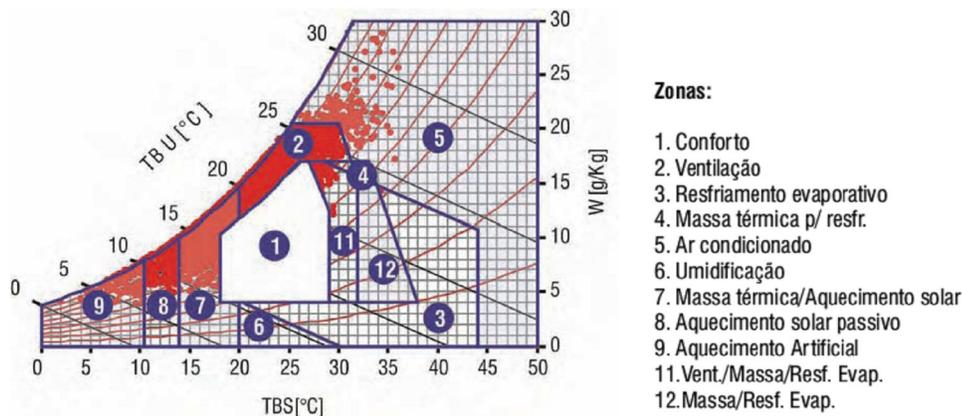


Figura2: Carta Bioclimática de edificações segundo diagrama de Givoni com plotagem de dados do arquivo do ano climático de referência (TRY) para o período anual da cidade de Florianópolis, onde aparecem as zonas com as estratégias de projeto a serem consideradas.

Fonte: Programa ANALYSISBIO do LabEEE/UFSC, 2003.

2.2.1 Zona de Conforto

Os pontos localizados na Zona 1 da figura 2 encontram-se dentro do limite estabelecido para o conforto humano. Para Cunha, *et al* (2005), o Conforto térmico ocorre quando um indivíduo encontra-se em um estado físico e mental de bem estar representado pela ausência de sensações de calor ou de frio.

A arquitetura como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem às condições climáticas externas. (FROTA E CHEFE, 2003).

Segundo a carta psicrométrica os limites estabelecidos para alcançar a zona de conforto são:

- Temperatura de bulbo seco entre 18°C e 29°C;
- Umidade relativa do ar entre 20% e 80%;

- Razão de umidade entre 4g/kg e 17g/kg;
- Volume específico entre 0,83m³/kg e 0,87m³/kg.

As demais zonas demarcadas na carta bioclimática indicam as estratégias de projeto a serem adotadas de acordo com o local. Para os pontos fora da Zona de Conforto indicam-se as seguintes estratégias:

2.2.2 Ventilação

- Temperatura de bulbo seco entre 20°C e 32°C;
- Umidade relativa do ar entre 15% e 100%;
- Razão de umidade entre 4g/kg e 20,5g/kg;
- Volume específico entre 0,85m³/kg e 0,88m³/kg.

Segundo Cunha, *et al* (2005), o fato de o clima local caracterizar-se como subtropical úmido de altitude exige medidas para o controle da umidade do ar. Sobre esse aspecto, a análise bioclimática adotada recomenda a adoção de estratégias de condicionamento através da ventilação.

Ventilação é a ação do vento, movimento do ar. A direção e a velocidade do ar, o efeito do calor, da pressão e da subpressão são coisas que a Geografia Física explica. (MONTENEGRO, 1931).

Conforme o detalhamento apresentado no zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 1998c, p.12) essa “[...] estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes”. (CUNHA, *et al* 2005).

Segundo NBR 15220 (ABNT, 2005), para Zona Bioclimática 3, na qual Londrina está inserida, 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.

A ação dos ventos na edificação é um fator que está interligado a aspectos específicos do sítio de implantação, tais como topografia, vegetação e

massa edificada, elementos esses capazes de proporcionar alterações no fluxo de ar incidente no edifício. (CUNHA, *et al*, 2005).

Para que ocorra a ventilação cruzada, propiciando a renovação do ar, é importante dimensionar as aberturas corretamente, bem como prever a instalação em alturas adequadas, considerando que o ar quente sobe, vai sair através de aberturas mais altas, sendo assim, o ar frio (menos quente) deve entrar por aberturas mais baixas.



Figura 3: Circulação de ar – Ventilação cruzada
Fonte: Montenegro, 1931.

Segundo Cunha *et al* (2005), a eficiência das aberturas para a ventilação natural ainda está condicionada ao dimensionamento das superfícies de entrada do ar.

Para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 recomenda-se aberturas de tamanho médio, com superfície equivalente de 15% a 25% da área de piso. Sendo que, para os climas quente e úmido, a ventilação cruzada é a estratégia de condicionamento térmico passivo mais simples a ser adotada. As aberturas devem permitir a entrada do sol durante o inverno, com vedação interna pesada proporcionando maior inércia térmica. (NBR 15220, ABNT, 2005).

Segundo Lamberts, *et al* (1997), se a temperatura do interior ultrapassar os 29°C ou a umidade relativa for superior a 80%, a ventilação pode melhorar a sensação térmica.

2.2.3 Resfriamento Evaporativo

O resfriamento evaporativo tem como parâmetros básicos:

- Temperatura de bulbo seco entre 20°C e 44°C;

- Temperatura de bulbo úmido entre 10,5°C e 24°C;
- Razão de umidade entre 0g/kg e 17g/kg;

Segundo Lamberts *et al* (2007), resfriamento evaporativo é usado em climas muito quentes e muito secos para baixar a temperatura do ar através da evaporação da água. A evaporação da água pode reduzir a temperatura e simultaneamente aumentar a umidade relativa de um ambiente. (LAMBERTS, *et al* 1997).

Uma das formas de promover o resfriamento evaporativo é a utilização de vegetação e fontes de água, que permitem otimizar as condições de conforto.

Segundo alguns estudos, através da redução da incidência direta da energia solar e do aumento da umidade relativa do ar, a arborização pode gerar a redução de até 4°C de temperatura, especialmente nas zonas de maior poluição do ar. (CUNHA *et al*, 2005).

2.2.4 Massa Térmica para Resfriamento

A massa térmica para resfriamento está situada entre:

- Temperatura de bulbo seco entre 29°C e 38°C;
- Razão de umidade entre 4g/kg e 17g/kg;
- Volume específico entre 0,87m³/kg e 0,89m³/kg.

O uso da inércia térmica de uma edificação pode diminuir a amplitude da temperatura interior em relação à exterior, evitando os picos.

Segundo Lamberts, *et al* (2007) *et al*, usa-se a envoltória da edificação com materiais de maior inércia para evitar a passagem rápida do calor ao interior da edificação.

Bittencourt (2005) *apud* Lamberts, *et al* (2007), diz que a inércia térmica pode ser definida como a característica de um componente do edifício de armazenar calor, transmitindo-o com algum tempo de atraso.

Para Lamberts, *et al* (1997), *et al*, nas escalas meso e microclimática, o arquiteto pode tirar vantagens das propriedades de inércia térmica da terra para amenizar as temperaturas no interior da edificação.

Segundo NBR 15220 (ABNT, 2005), para Zona Bioclimática 3, na qual Londrina e Rolândia está inserida, a adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.

Tendo em vista que os conceitos de transferência de calor estão intimamente ligados às estratégias para zona de massa térmica tanto de resfriamento quanto de aquecimento, algumas propriedades serão brevemente mencionadas.

2.2.4.1 Temperatura e Transferência de Calor

Segundo Hinrichs, *et al* (2010), temperatura é uma propriedade de um corpo, tanto quanto sua cor ou sua forma.

Para Lamberts, *et al* (1997), temperatura é a variável climática mais conhecida e de fácil medição.

As massas de ar influenciam diretamente a variação da temperatura na superfície da Terra, assim como a radiação solar, que produz aumento no ganho térmico conforme atinge a superfície terrestre, variando em consequência do tipo de solo e de vegetação, da topografia e da altitude do local.

Segundo Hinrichs, *et al* (2010), uma das descobertas importantes do século XVIII foi que o calor é somente a transferência de energia entre dois corpos em virtude de uma diferença de temperatura.

O calor não está contido em um corpo, mas é uma manifestação da interação desse corpo com a sua vizinhança. O calor é um “acontecimento”. Ele é imaterial, porém mesmo assim é bem real no que diz respeito ao que pode realizar. (HINRICHS, *et al* 2010).

Segundo Acioli (1994), troca de calor é uma modalidade de transferência de energia, onde o corpo que cede energia é sempre o mais quente.

A transferência de calor ocorre mediante os processos de condução, convecção e/ou radiação.

No Processo de Condução, o calor é transferido mediante colisões moleculares do corpo quente para o corpo frio, sendo que os materiais diferem acentuadamente em sua habilidade de conduzir calor. (HINRICHS, *et al* 2010).

Segundo Acioli (1994), chama-se condução de calor à transferência de energia através dos corpos em consequência da diferença de temperatura. Classificando os metais como bons condutores de calor, a água como ruim e os gases como péssimos condutores.

Sendo assim, podemos chamar de condução o processo de propagação do calor nos sólidos, onde os bons condutores térmicos são aqueles que transmitem facilmente o calor ao longo de toda a sua extensão como os metais. Os maus condutores ou isoladores são aqueles que conduzem dificilmente o calor como a madeira, o plástico, vidro e lã.

Considerando uma parede ou placa, estando as superfícies interna e externa em temperaturas diferentes, haverá uma transferência de calor da face mais quente para a face mais fria, sendo a inércia térmica proporcional à espessura da parede e da sua condutividade térmica.

Neste sentido é importante salientar que para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode ser diferente em função de variáveis como o vento e a umidade local, uma vez que interferem no processo de condução.

A rapidez com que o calor é conduzido por um material depende de uma série de fatores. Quanto maior a diferença de temperatura no material, maior é a taxa de fluxo de calor. Quanto maior a área da parede mais calor será transferido, porém uma parede fina transfere mais calor que uma parede grossa. O tipo de material por meio do qual o calor é transferido também é muito importante, uma vez que a condutividade térmica varia enormemente de um material para outro.

Convecção é o fenômeno da transferência de calor que se observa nos fluidos, gases e líquidos, e acontece em razão da diferença de densidade do fluido. Segundo Hinrichs, *et al* (2010), em um gás ou líquido, as moléculas estão muito distantes para que o calor seja transferido de forma efetiva por condução.

Segundo Acioli, (1994), quando o calor é transmitido de um lugar para outro pelo deslocamento do próprio material fluido aquecido, diz-se que há convecção.

Para Hinrichs, (2010), processos de convecção podem ocorrer naturalmente como resultado das diferenças de densidade ou da convecção forçada pelo uso de ventilador ou da presença do vento.

A transmissão de calor do interior da sala para o exterior, através do vidro, ocorre em três etapas. A primeira dá-se por convecção, do ar da sala para a face interna do vidro; a segunda é por condução através do vidro, de sua face interna para a externa e, finalmente, por convecção, da face externa do vidro para o ar de fora. (ACIOLI, 1994).

Segundo Hinrichs, et al (2010), janelas duplas são bastante eficientes na redução da perda de energia pela convecção forçada, pois se estabelece uma camada isolante de ar parado entre as duas vidraças. (figura 4):

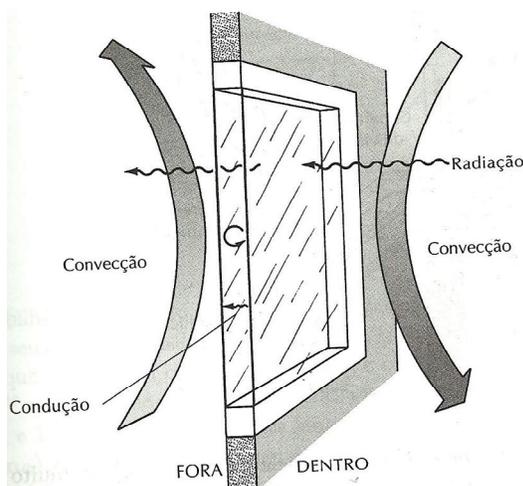


Figura 4: Transferência de calor através de uma janela dupla
Fonte: (HINRICHS, et al 2010).

A Radiação Térmica é um processo de transferência de energia em que esta é transportada por ondas eletromagnéticas, sem quem para isso, seja necessário um meio material. Qualquer corpo que se encontre a uma certa temperatura emite radiação térmica, sendo que um corpo que absorve bem, é também um bom emissor de radiação.

Segundo Hinrichs, et al (2010), estas ondas se propagam a partir do corpo com a velocidade da luz. Alguns tipos de radiação incluem muitas ondas familiares: luz visível, ondas de rádio, microondas, raios-X e radiação infravermelha.

Segundo Lamberts, et al (1997), o comportamento de um ambiente que utiliza a massa térmica de resfriamento como estratégia é a devolução do calor armazenado na estrutura térmica da edificação durante o dia, somente à noite,

quando as temperaturas externas diminuem. De forma complementar, a estrutura térmica resfriada durante a noite mantém-se fria durante a maior parte do dia, reduzindo as temperaturas interiores nestes períodos.

Segundo NBR 15220 (ABNT, 2005), para Zona bioclimática 3, na qual Londrina e Rolândia (PR) estão inseridas, 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.

2.2.5 Ar Condicionado

Se os limites de temperatura e umidade relativa do ar forem tão baixos ou tão elevados que impossibilitem a aplicação de qualquer sistema passivo para aquecimento e resfriamento, será necessária a utilização de meios artificiais de climatização, como o aparelho de ar condicionado.

Segundo Lamberts, *et al* (1997), quando houver uma das seguintes condições ambientais, recomenda-se o uso de aparelhos de ar condicionado para climatização.

- Temperatura de bulbo seco acima de 44°C;
- Temperatura de bulbo úmido acima de 24°C;
- Razão de umidade acima de 20,5g/kg.

É importante salientar que o ar condicionado não se limita à aplicação para estas situações, podendo ser coadjuvante nas zonas anteriormente analisadas.

O importante é priorizar o uso de sistemas de climatização artificiais somente em casos extremos, visando reduzir a dependência do ambiente ao uso deste e conseqüentemente, ao consumo de energia.

2.2.6 Umidificação

Segundo Acioli, (1994), chama-se umidade absoluta, a massa de vapor d'água presente na atmosfera por unidade de volume, e umidade relativa a relação

entre pressão parcial e a pressão de vapor à mesma temperatura, normalmente expressa em porcentagem, sendo que a umidade relativa do ar é 100% se o vapor for saturado e zero se não houver vapor d'água.

Segundo a carta psicrométrica os limites estabelecidos para zona de umidificação são:

- Temperatura de bulbo seco entre 20°C e 30°C;
- Temperatura de bulbo úmido inferior a 10,5°C;
- Razão de umidade entre 0g/kg e 4g/kg.

Quando a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura inferior a 27°C, haverá desconforto térmico devido à secura do ar. Nestes casos, a umidificação do ar melhora a sensação de conforto. (LAMBERTS, *et al* 1997).

Melhorar a umidade relativa do ar no interior da edificação pode ser conseguida de forma simples, com a utilização de recipientes com água e a hermeticidade das aberturas, que ajuda a conservar o vapor proveniente das plantas e das atividades domésticas. (LAMBERTS, *et al* 1997).

2.2.7 Massa Térmica / Aquecimento Solar

Segundo Cunha, *et al* (2005), a massa térmica da envoltória e do interior da edificação contribui para o armazenamento da radiação solar diurna e para a transmissão do calor por condução ao interior durante os períodos mais frios, geralmente à noite.

As condições para zona de massa térmica são:

- Temperatura de bulbo seco entre 14°C e 20°C;
- Umidade relativa entre 0% e 100%.

Sendo assim, o mais indicado é a adoção de fechamentos opacos de alta inércia térmica, bem como a prevenção da perda de calor pelas superfícies transparentes.

Segundo Lamberts, *et al* (2007), dependendo da orientação dos componentes da edificação pode ser usada a Inércia Térmica e/ou aquecimento solar direto do ambiente (através de ganho pelas janelas) para manter o interior da edificação aquecido no inverno.

A massa térmica ideal para a prevenção das variações de temperaturas, é aquela que absorve uma grande quantidade de calor rapidamente e a libera lentamente. (LYLE, 1994 *apud* CUNHA, *et al* 2005).

2.2.8 Aquecimento Solar Passivo

Segundo Cunha, *et al* (2005), o aquecimento solar passivo ocorre quando os processos são capazes de funcionar por si só, sem uso de energia externa ao sistema.

Oitava zona da carta psicrométrica tem como delimitações:

- Temperatura de bulbo seco entre 10,5°C e 14°C;
- Umidade relativa entre 0% e 100%.

No aquecimento solar passivo a casa atua como um coletor de energia solar (figura 5). A energia solar que entra através das janelas de vidro voltadas para o sul (entrada) é igual à energia que deixa a casa (como calor transferido para fora através de paredes, janelas e teto) mais o aumento na energia armazenada no material dentro da casa. (HINRICHS *et al*, 2010).

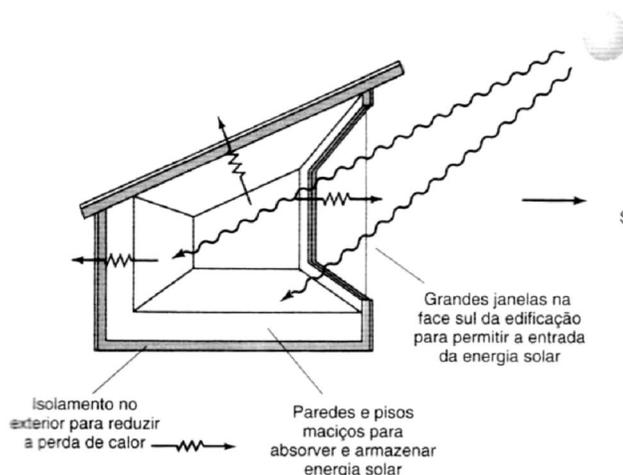


Figura 5: Uma casa com energia solar passiva
 Energia que entra = energia que sai + energia armazenada.
 Fonte: (HINRICHS, *et al* 2010).

A captação direta do sol através das aberturas ou espaços intermediários para aquecer a habitação em dias potencialmente frios, é também uma forma de minimizar o uso de aquecimento artificial, contribuindo para diminuição do uso de energia elétrica.

Segundo Lamberts *et al* (1997), entre 10,5°C e 14°C, o uso de aquecimento solar passivo é o mais indicado.

“ O aquecimento solar passivo pode ser feito utilizando-se diversas técnicas no projeto arquitetônico: A adequada orientação e cor dos fechamentos, o uso de aberturas zenitais (para poder fechar à noite), o emprego de painéis refletores externos, a parede Trombe, os coletores de calor no telhado, a estufa e os coletores de calor de água ou óleo são alguns exemplos encontrados nas diversas bibliografias sobre o assunto.”(LAMBERTS, *et al* 1997).

O sistema de aquecimento solar, segundo Cunha *et al* (2005), cumpre três funções principais: captar e converter a radiação solar em calor, armazenar o calor e distribuí-lo nos ambientes e momentos necessários.

Nos sistemas passivos as três atividades ocorrem de forma espontânea, sem a utilização de fontes de energia externa, somente explorando a própria energia solar dentro do projeto arquitetônico.

2.2.9 Aquecimento Artificial

Em locais em que as temperaturas ficam abaixo de 10,5°C, o aquecimento solar passivo pode não ser suficiente para atingir o conforto, sendo aconselhável a utilização de sistemas de aquecimento artificial. Engloba qualquer ponto da carta com:

- Temperatura de bulbo seco inferior a 10,5°C;
- Umidade relativa entre 0% e 100%.

Segundo Cunha *et al* (2005), o aquecimento artificial deve na concepção bioclimática, ser considerado como um sistema integrado ao aquecimento solar passivo. Seu uso apropriado é, inclusive, capaz de maximizar as estratégias passivas, reduzindo o consumo de energia para o condicionamento artificial, não apenas quanto ao aquecimento, mas também quanto ao resfriamento, como foi visto anteriormente.

Alguns aspectos devem ser levados em consideração, quando da necessidade de utilização de um sistema de aquecimento artificial. Yannas, (1994) *apud* Cunha *et al* (2005), pontuou alguns destes aspectos, sendo:

- a) a escolha da fonte de energia e do tipo de dispositivos a serem empregados, de maneira a definir a eficiência energética e o impacto do sistema no ambiente;
- b) a rapidez da resposta de atendimento às variações das demandas térmicas;

- c) o controle da temperatura efetiva, tendo em vista a economia de energia, potencializando os ganhos térmicos internos a partir da energia solar;
- d) a interação entre o edifício, os ocupantes e o sistema.

2.2.10 Combinação de Estratégias Bioclimáticas

Segundo Lamberts, *et al* 2007, a combinação das estratégias VENTILAÇÃO E/OU MASSA / INÉRCIA TÉRMICA E/OU RESFRIAMENTO EVAPORATIVO é importante para locais com temperaturas altas e umidade relativa baixa. Para climas com temperaturas superiores a 32°C, onde não é mais interessante o uso da ventilação, o ideal é o emprego da inércia térmica combinada com o resfriamento evaporativo.

2.3 Estratégias Bioclimáticas de Baixo Custo

Elaborar um projeto de arquitetura com melhor desempenho ambiental é projetar levando-se em conta o uso eficiente da energia, da água, de materiais certificados e renováveis, o aproveitamento de condições naturais locais, a qualidade ambiental interna e externa, e a utilização consciente dos equipamentos e do edifício pelo usuário.

A incorporação destas diretrizes ao processo de projeto, requer conhecimento e a conscientização dos envolvidos no processo quanto aos ganhos ambientais e econômicos que essa ação é capaz de gerar. Para tanto, é importante analisar o custo-benefício envolvido, uma vez que nem todos os materiais substituídos em prol do ganho ambiental apresentam valor abaixo dos convencionais.

Em se tratando de Obras Públicas, esta relação se torna ainda mais importante, uma vez que na maioria dos casos o orçamento é limitado, os recursos escassos e a demanda grandiosa.

Neste sentido, e tendo em vista que o objetivo maior é atender o maior número possível de obras públicas, proporcionando maior conforto ambiental e a eficiência energética dos edifícios públicos, serão apontadas diretrizes de baixo custo, capazes de oferecer melhoria efetiva do conforto térmico e a redução dos gastos com energia elétrica.

2.3.1 Uso Eficiente da Energia

Segundo Hinrichs *et al* (2010), os esforços de conservação de energia normalmente concentram-se em um ou outro desses fatores. Duas abordagens relacionadas a tais esforços são:

1. O “ajuste técnico”, que consiste na utilização mais eficaz do combustível para desempenhar a mesma tarefa, como, por exemplo, dirigir um carro com um motor mais eficiente, reduzindo a energia requerida por esta atividade.
2. A “mudança no estilo de vida”, que significa usar conscientemente uma menor quantidade de combustíveis, por meio de comportamentos como desligar o ar-condicionado ou dirigir por percursos menores, reduzindo, assim, a frequência da atividade. (HINRICHS, *et al* 2010).

Tendo em vista o alto consumo por energia elétrica nas edificações, é de vital importância um raciocínio econômico voltado para o uso eficiente da energia.

Um exemplo disso é a simples substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes. Uma lâmpada fluorescente de 20 watts produz a mesma quantidade de luz que uma incandescente de 75 watts, e dura dez vezes mais. Segundo Hinrichs *et al* (2010), o custo inicial da lâmpada fluorescente é maior, mas a economia nos custos de eletricidade durante o uso médio de um ano vai pagar o investimento.

Consequentemente será necessário um número menor de usinas hidrelétricas. O investimento na construção de uma planta industrial para a produção de lâmpadas eficientes será muito menor que para a construção de uma usina de geração de eletricidade. (HINRICHS, *et al* 2010).

O uso eficiente da energia também pode ser alcançado de forma passiva, como visto anteriormente, propiciando o melhor aproveitamento possível da iluminação natural, onde o edifício é projetado para se adequar ao espaço natural, aproveitando as melhores condições de insolação e ventilação.

O conforto térmico, também é aliado neste processo, desde que propiciado de forma passiva, controlando a incidência da radiação solar direta e a ação dos ventos, reduzindo o uso de equipamentos artificiais para o aquecimento e a refrigeração do ambiente, reduzindo os gastos com energia elétrica.

2.3.2 Coberturas Refletivas (*White Roof*)

Esta estratégia consiste basicamente em pintar o telhado na cor branca. Esta simples ação trás benefícios surpreendentes ao edifício e ao meio ambiente, conforme esquema detalhado na figura 6:

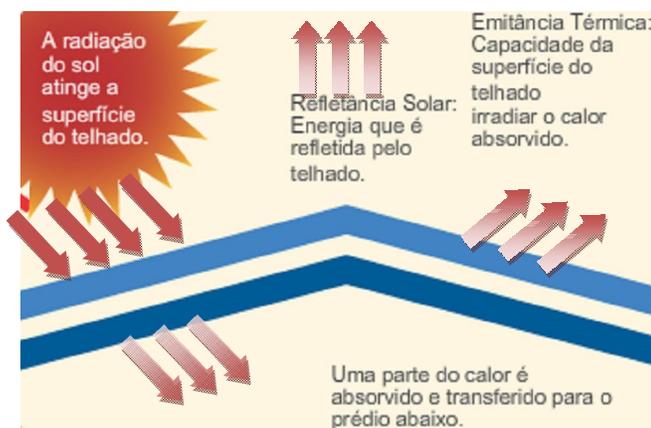


Figura 6: Cobertura Refletiva White roof
Fonte: Green Building Council Brasil

Segundo o Green Building Council (GBC) Brasil a pintura na cor branca diminui em até 30° a temperatura da superfície pintada em um dia de verão. Dados da Environmental Energy Technologies Division, dos Estados Unidos, mostram que os revestimentos brancos são capazes de refletir de 70 a 80% da energia do sol, além de diminuir o gasto com ar-condicionado em até 20%.

O ideal é utilizar um material com propriedades reflexivas, como a tinta desenvolvida com polímeros acrílicos e cargas minerais com pigmentos refletivos em sua formulação. Existem diferentes marcas disponíveis no mercado.

O GBC Brasil iniciou em 2010 uma campanha nacional intitulada: “One Degree Less”, que significa 1 grau a menos, para incentivar a pintura de telhados na cor branca, com objetivo de ajudar a diminuir a temperatura nas chamadas ilhas de calor. O sistema ganhou o nome de cool roofs, ou white roof.

Estudos comprovam que a temperatura nas cidades chega a ser de 1 a 6°C maior que nas zonas rurais (figura7), devido as ilhas de calor que se formam pela retenção e radiação da luz solar pelos edifícios e pelo calor proveniente do uso de energia elétrica. Segundo pesquisador da Lawrence Berkley National Laboratory (CA, EUA), cerca de 25% da superfície de uma cidade consiste de telhados.

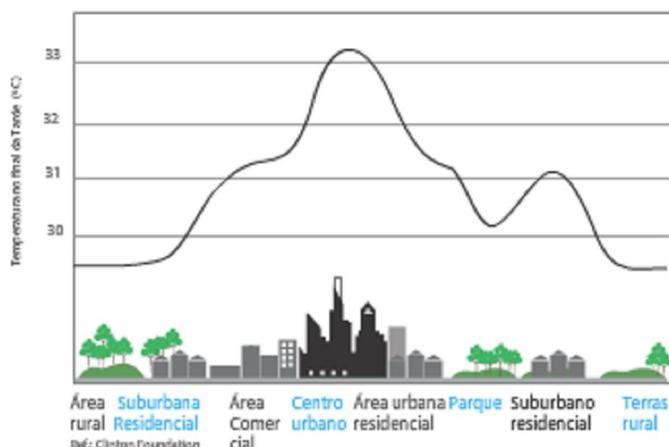


Figura 7: Diferença de temperatura entre centro urbano e área rural
Fonte: Green Building Council Brasil

Dados do laboratório americano Lawrence Berkeley, indicam que cada 100 m² de cobertura plana pintada na cor branca compensa 10 toneladas de emissão de CO₂. A maioria dos tetos planos são escuros e refletem até 20% da luz solar. Pintados de branco ou outra cor clara, com reflexão de 0,60 ou mais, os efeitos da incidência solar diminuiriam.

O uso de cores frias aumenta a reflexão solar em até 0,20 e gera uma compensação de CO₂ de 5 t para cada 100 m², metade dos tetos brancos.

A adoção dos telhados “white roof” – tanto em galpões e fábricas quanto em residências - contemplada na campanha “One Degree Less”, não requer muita especialização, é de fácil aplicação e baixa manutenção.

Os pesquisadores do laboratório americano Lawrence Berkeley estimam que a pintura com cores brancas, tanto em pavimentos quanto em telhados, nas regiões temperada e tropical, podem gerar uma compensação equivalente de 44 bilhões de toneladas de CO₂ emitido. Mais de 50% da população mundial vive em áreas urbanas e prevê-se que em 2040 este percentual atinja 70%. Tetos e pavimentos representam cerca de 60% das superfícies urbanas (tetos equivalem a 20%/25% e pavimentos, 40%).

Para efeito comparativo, um carro emite em média por ano, quatro toneladas de CO₂. Aumentando permanentemente a reflexão solar de telhados e pavimentos em todos os países, seria possível gerar uma compensação equivalente

à emissão de CO₂ de 11 bilhões de carros por ano. O que equivaleria a tirar das ruas cerca de 600 milhões de carros por 18 anos. (Green Building Council Brasil).

Em resumo: os tetos frios reduzem o uso de ar-condicionado, aumentam o conforto dos usuários e desempenho das construções, combatem as ilhas de calor no verão, melhorando a qualidade do ar e o conforto do ambiente urbano, além de reduzir a temperatura global.

2.3.3 Arborização e Jardins Verticais

As áreas verdes são importantes por amenizar o clima, por representarem um imenso repertório formal para a composição dos espaços e ao longo do tempo têm se incorporado em estreita relação com a arquitetura.

Segundo Cunha, *et al* (2005), a arborização exerce papel de vital importância para a qualidade de vida nos centros urbanos. Principalmente por atuar diretamente sobre o clima, a qualidade do ar, o nível de ruídos e a paisagem.

A redução da incidência direta da energia solar e do aumento da umidade relativa do ar, a arborização pode gerar a redução de até 4°C de temperatura, contribuindo para a atenuação das ilhas de calor. (CUNHA, *et al* 2005).

A estratégia de aproveitamento da vegetação como elemento de controle dos fluxos de ar nos espaço exterior e interior é simples e de baixo custo, produzindo resultados efetivos e fácil manutenção. O Fluxo de ar exterior é conduzido através da vegetação para o ambiente interior, criando zonas de pressão e subpressão.

O mais adequado é posicionar algumas espécies de árvores caducifólias de forma estratégica, próximas às fachadas Leste, Oeste e Norte. Desta forma a vegetação de médio porte estará sombreando a fachada no verão e devido à perda das folhas, permitindo a radiação solar direta inverno.

Outra estratégia ligada a vegetação são as paredes jardim, produzidas através de painéis vazados com possibilidade de inserir plantas(figura 8). Ao definir que uma das fachadas oeste terá vegetação como revestimento externo, estaremos reduzindo os ganhos térmicos para o interior da edificação e proporcionando o resfriamento evaporativo, melhorando o microclima local.



Figura 8: Exemplo de jardim vertical – empresa Neorex
Fonte: www.neorex.com.br

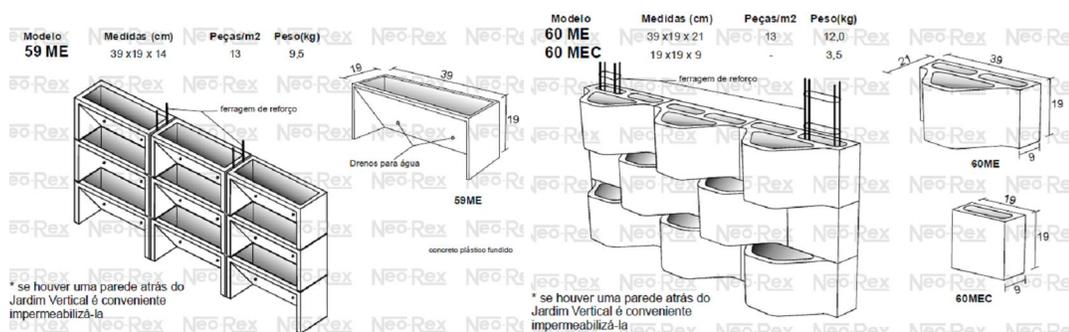


Figura 09: Sistema de placas Neorex - Jardins verticais
Fonte: www.neorex.com.br

As Paredes Jardim ou jardins verticais, purificam o ar e ajudam no equilíbrio térmico, mantendo a temperatura interna mais amena. A manutenção é simples e de baixo custo, uma vez que o sistema de irrigação pode ser instalado diretamente nas placas.



Figura 10: Placas para Jardim Vertical G-Sky Green Wall System
Fonte: <http://www.casosdecasa.com.br>



Figura 11: Exemplo de jardim vertical – G-Sky Green Wall System
Fonte: <http://www.casosdecasa.com.br>

2.3.4 Desempenho Térmico de Paredes e Revestimentos

Ao incidir em um corpo, a radiação térmica tem uma parte absorvida e outra refletida pelo corpo. Corpos escuros absorvem a maior parte da radiação que incide sobre eles, enquanto os corpos claros refletem quase totalmente a radiação térmica incidente.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) apresenta as recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local, indicando diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas e coberturas, conforme tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m ² .K	Atraso térmico - φ Horas	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	φ ≤ 4,3	FS _o ≤ 5,0
	Leve refletora	U ≤ 3,60	φ ≤ 4,3	FS _o ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,20	φ ≥ 6,5	FS _o ≤ 3,5
Coberturas	Leve isolada	U ≤ 2,00	φ ≤ 3,3	FS _o ≤ 6,5
	Leve refletora	U ≤ 2,30.FT	φ ≤ 3,3	FS _o ≤ 6,5
	Pesada	U ≤ 2,00	φ ≥ 6,5	FS _o ≤ 6,5

Fonte: NBR 15220-3 - ABNT (2005)

A figura 12 ilustra o fluxo de calor por condução através de uma parede. A taxa Q_c/t com que o calor é transferido através do material depende das temperaturas em ambos os lados (T_1 e T_2), da área A da parede, da sua espessura S e da sua condutividade térmica k .

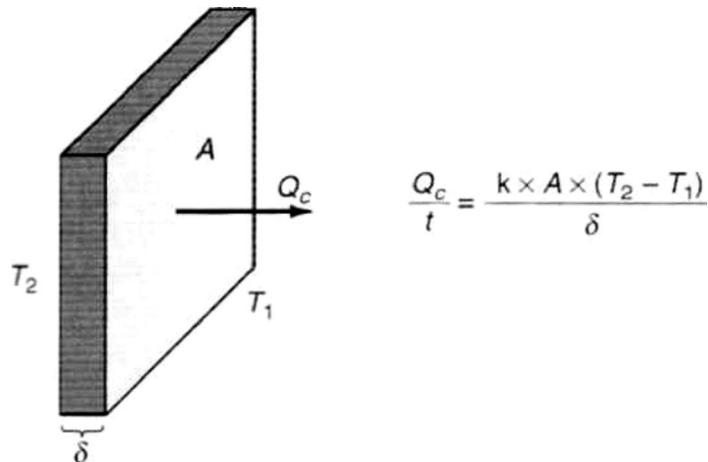
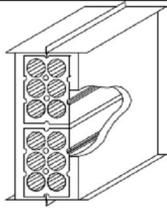


Figura 12: Fluxo de calor através de uma parede
Hinrichs, 2010 *et al.*

Da radiação solar total que incide sobre um corpo opaco, uma parcela é refletida e outra absorvida. A fração absorvida é transformada em calor e é proporcional a uma propriedade da superfície do corpo denominada absorvidade (α). A parcela refletida é determinada pela refletância (ρ) da superfície. (DORNELLES E RORIZ, 2007.).

Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) os valores de referência para Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico do sistema construtivo convencional em alvenaria, de tijolos cerâmicos e emboço são:

Tabela 02 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para sistema construtivo convencional em alvenaria.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,28	168	3,7

Fonte: NBR 15220-3 - ABNT (2005)

A escolha do revestimento que será aplicado na parede, principalmente externamente, pela incidência de radiação solar direta, também tem influência no desempenho térmico, uma vez que cada material apresenta diferentes índices de refletância (ρ) e absorvidade (α).

Segundo Dornelles e Roriz, (2007) as pesquisas comprovam a forte influência do tipo de tinta utilizada na envoltória sobre o desempenho térmico e energético das edificações. Sendo assim, e como a escolha da cor da tinta não envolve custo extra, uma tinta refletiva externa é a característica arquitetônica de controle climático mais eficaz e a maneira mais viável de minimizar as cargas térmicas das edificações. (DORNELLES E RORIZ, 2007).

Segundo Acioli, (1994), pintar de branco o exterior de uma casa, é uma boa medida para evitar a absorção da radiação solar, pois a cor branca reflete bem todos os componentes da radiação visível, evitando sua absorção. O gráfico da figura 13, mostra a relação entre a temperatura de superfícies expostas ao sol do meio dia e a porcentagem de refletância solar. É importante observar que quanto maior a refletância solar, menor a temperatura e que isso ocorre nas cores mais claras, sendo que no caso da tinta preta, por exemplo, com refletância próxima do 0% a temperatura da superfície analisada chegou próxima dos 50°C, o que comprova a colocação de Acioli, (1994), ao afirmar que a pintura branca nas paredes, é uma boa medida para evitar a absorção e diminuir a temperatura interna.

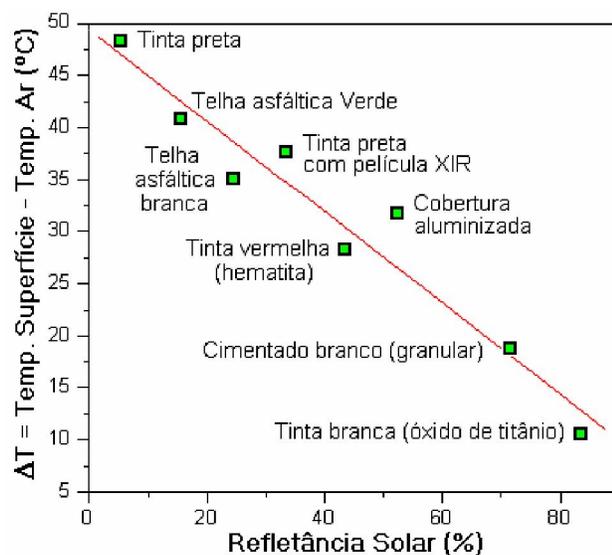


Figura 13: Temperaturas de superfícies expostas ao sol do meio-dia
 Fonte: (Adaptado AKBARI; LEVINSON; BERDAHL, 1996 *apud* DORNELLES E RORIZ, 2007)

2.3.5 Aberturas, Ventilação e Iluminação

As aberturas são elementos básicos da linguagem arquitetônica, responsáveis pela integração do interior do edifício com o exterior, é capaz de proporcionar melhor ventilação e iluminação, controlando as trocas térmicas e a passagem não só de luz, mais também de ruídos e calor.

As condições de conforto de uma edificação são altamente influenciadas pela tipologia das aberturas, suas características de forma geral determinam se o edifício terá boa iluminação e ventilação. Através dos dispositivos de abertura é possível controlar os ganhos térmicos, inserindo, se necessário, anteparos para sombreamento, alterando as dimensões, material e posicionamento em relação à orientação, atingindo com isso melhores condições de conforto e eficiência energética.

Segundo Grillo e Amorim, (2004), no Brasil, a maioria das edificações, pouco identificadas com os princípios bioclimáticos, são dependentes de recursos ativos de resfriamento e iluminação. Devido a janelas inadequadas, ocorre o ingresso excessivo de radiação solar e conseqüente desconforto térmico e lumínico no ambiente.

Segundo a NBR-15220-3 (ABNT, 2005), para a Zona Bioclimática 3, a qual compreende a região do município de Rolândia, objeto deste estudo, as aberturas para ventilação devem ser:

Tabela 3: Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local

ABERTURAS PARA VENTILAÇÃO	A (em % da área de piso)	SOMBREAMENTO DAS ABERTURAS
Médias	$15\% < A < 25\%$	Permitir sol durante o inverno

Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

Segundo Mascaró, (1991), *apud*, Dorigo, (2007), raramente as aberturas – em especial as janelas – são projetadas e dimensionadas para transmitir uma quantidade de luz diurna adequada às atividades que serão desenvolvidas no local. Antes, elas são pensadas para permitir a relação do usuário com o meio exterior durante o dia e para “mostrar” a iluminação artificial à noite, produzindo assim grandes desperdícios de energia e edificações energeticamente pouco eficientes.

3 MÉTODOS DE PESQUISA

Através da revisão bibliográfica foi possível verificar algumas das condicionantes e estratégias mais importantes na aplicação dos conceitos da arquitetura bioclimática em uma edificação, sobretudo na fase de planejamento e projeto, antes de sua efetiva construção.

Para cumprir o objetivo principal deste trabalho optou-se pelo desenvolvimento de um estudo de caso através da adequação térmica de um projeto de uma escola pública no padrão 023 do Estado do Paraná. Através dele, fez-se uma análise do impacto orçamentário a partir de um comparativo de custos entre a construção de forma convencional e com a inserção de algumas estratégias bioclimáticas, sobretudo as de baixo custo e alto desempenho térmico.

3.1 Caracterização do Objeto de Estudo- (Padrão 023 do Estado do Paraná)

A construção de escolas no sistema padronizado surgiu no Brasil a partir da década de 70. A idéia era projetar um padrão único para que pudesse ser repetido em diferentes terrenos de diferentes municípios, alterando apenas a forma de implantação.

Para o estudo de caso, foi feita uma análise do projeto padrão 023 do governo do Estado do Paraná. Este padrão é bastante utilizado na rede pública e representa uma tipologia com salas de aula em blocos voltados para orientações opostas, separados por um corredor central, conforme figura 14. Dessa forma, os módulos podem ser agrupados um após o outro para atender à quantidade de salas de aula necessárias. Nesse padrão os blocos podem ser de um ou dois pavimentos. Neste estudo, o projeto padrão adotado foi o da Unidade Nova San Fernando, a ser inserido na cidade de Rolândia/Pr.

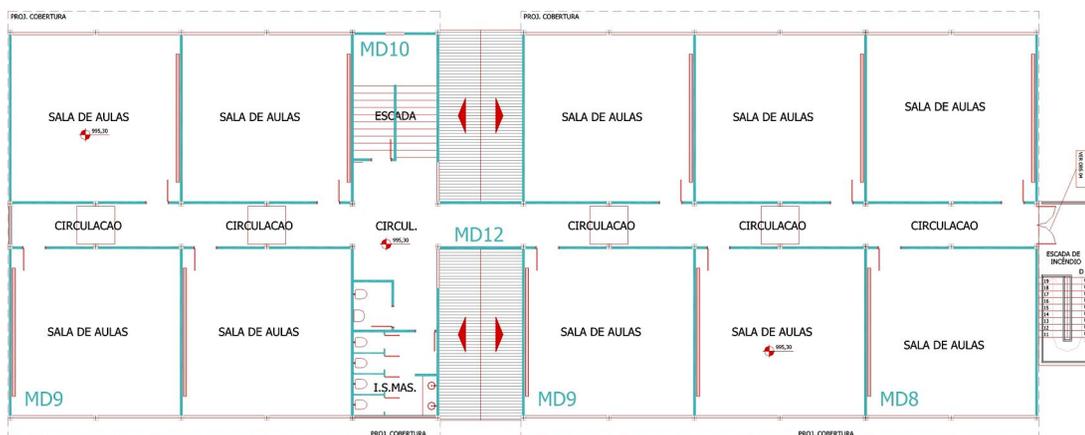


Figura 14: Implantação de salas de aula com blocos separados por corredor central - Padrão 023 do Estado do Paraná
 Fonte: Projeto Padrão UNV San Fernando – SUDE/SEED.



Figura 15: Foto escola padrão 023 - bloco de salas de aula em lados opostos com corredor central – Fonte: Dorigo, 2007.

A Construção de uma nova unidade escolar envolve diversas etapas, desde a doação do terreno por parte do município, o processo de implantação do projeto padrão no terreno, a aprovação deste projeto pelos órgãos competentes, o processo licitatório até sua efetiva construção. A Unidade Nova San Fernando (UNV) do município de Rolândia ainda não teve as obras iniciadas, mais já cumpriu todas as etapas mencionadas.

Tendo em vista que as análises a que este trabalho se propõe referem-se à fase de projeto e orçamento, a UNV San Fernando se enquadra adequadamente na situação proposta para a pesquisa, uma vez que todos os projetos do padrão 023 já foram adequados ao terreno doado pelo município e o orçamento completo da unidade já está concluído, possibilitando o estudo das estratégias e dos custos, para chegar a um comparativo entre o sistema convencional e um com estratégias da arquitetura bioclimática.

3.2 Características da Região de Estudo

O município de Rolândia está situado a 20 Km do município de Londrina. Foi instalado em primeiro de janeiro de 1944, com o desmembramento de Londrina. Segundo dados do IBGE (2010), Rolândia possui 57.870 mil habitantes, sendo 94,62% de população urbana e 5,38% de população rural.

Tendo em vista que Rolândia e Londrina estão inseridas, segundo zoneamento bioclimático brasileiro, na mesma zona bioclimática 3 (figura 16), (ABNT, 2005), os estudos serão realizados com base nos dados climáticos existentes de Londrina.

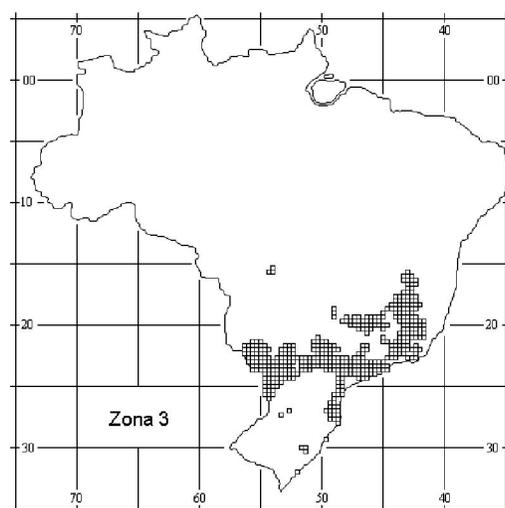


Figura 16: Mapa com Zona Bioclimática 3
Fonte: NBR 15220-3, ABNT (2005)

A cidade de Londrina está situada no norte do Paraná, entre os paralelos 23°08.47. e 23°55.46. de Latitude Sul e entre os meridianos de 50°52.23. e

51°19.11. a Oeste de Greenwich. Apresenta verões quentes e invernos amenos, com índices de umidade relativa do ar em torno de 73% no verão e 67% no inverno, e com a umidade relativa média de ano situada em 68%. O vento dominante na cidade vem da orientação Leste. (LONDRINA, 2001, *apud* GIGLIO, 2005).

O Instituto Agrônômico do Paraná. IAPAR (1994) desenvolveu estudo para o Paraná segundo o sistema de classificação climática de Köppen, baseado na vegetação, temperatura e pluviosidade, utilizando a série de dados do IAPAR até 1998, onde foram identificados dois tipos climáticos: Cfa e Cfb.

Segundo o Instituto Agrônômico do Paraná. IAPAR, (1994), *apud* Giglio, (2005), o tipo climático cfa, classifica o clima de Londrina como subtropical úmido, com média do mês mais frio inferior a 18°C e do mês mais quente superior a 22°C, com verões quentes, geadas pouco freqüentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão. Segundo levantamento pela Secretaria de Planejamento (2001) a temperatura média do mês mais quente em Londrina, é superior a 24°C e a do mês mais frio, inferior a 14,1°C.

A insolação máxima, em qualquer ponto do Paraná, é de aproximadamente 4.400 horas por ano. Entretanto o valor é dificilmente atingido devido à presença de nuvens e barreiras de relevo. (IAPAR, 1994).

Segundo Giglio, (2005), na pesquisa desenvolvida por Barbosa *et al* (1999), chegou-se ao ano climático de referência de Londrina, elaborado conforme método da ASHRAE e a partir de dados fornecidos principalmente pelo Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR). O ano de 1996, dentro do período de 1986 a 1996, foi definido como o ano climático de referência para Londrina, e apresentou temperatura horária anual mais freqüente de 22° C. O ano apresentou média máxima de 27,4° C e a média mínima de 16,2° C.

3.3 Relatório de Vistoria do Terreno e Implantação do Projeto Padrão 023

O Terreno doado pelo município de Rolândia possui 7.677,97m² possui topografia com pequeno declive, necessitando de pequena movimentação de terra, está localizado no bairro Jardim San Fernando, entre as ruas Joaquim Pereira e Francisco Serpelone, o acesso principal se dará pelo prolongamento da rua Eduardo Gretzlsak (figura 17).



Figura 17: Vista aérea do terreno doado pelo município de Rolândia para UNV San Fernando
 Fonte: site google maps – <http://maps.google.com.br/>



Figura 18 Fotos do terreno doado pelo município de Rolândia para construção da UNV San Fernando
 Fonte: Arquivo SEOP ER Londrina

O Projeto padrão 023 utilizado na implantação da unidade nova San Fernando, é o projetado para 20 salas de aula, sendo 10 no pavimento térreo e 10 no 1º pavimento, os blocos são dispostos de forma paralela com circulação longitudinal cortando os blocos até a quadra, conforme esquema de implantação abaixo (figura 19):

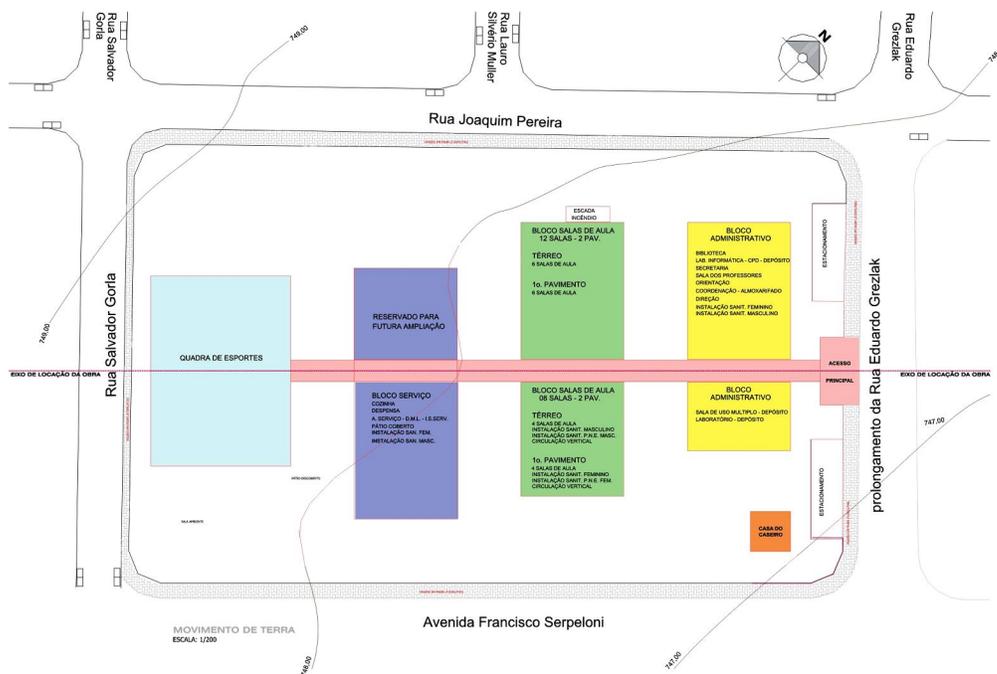


Figura 19: Esquema de implantação no terreno
 Fonte: Adaptado pelo autor - projeto de implantação SUDE

O Programa de necessidades segue o esquema descrito na figura 19, que será melhor visualizado através da tabela abaixo:

Tabela 04: Programa de necessidades UNV San Fernando – Rolândia

BLOCO ADMINISTRATIVO - COR: AMARELO	
TÉRREO:	- Biblioteca
	- Laboratório de informática – CPD – Depósito
	- Secretaria
	- Sala dos Professores
	- Orientação
	- Coordenação - Almojarifado
	- Direção
	- Instalações Sanitárias – masculino e feminino
BLOCO SALAS DE AULA - COR: VERDE	
TÉRREO	10 Salas de aula
	Instalação sanitária masculino
	Instalação sanitária P.N.E.
	Circulação Vertical
	Escada de Incêndio

BLOCO SALAS DE AULA - COR: VERDE

PRIMEIRO PAVIMENTO	10 Salas de aula
	Instalação sanitária feminino
	Instalação sanitária P.N.E.
	Circulação Vertical
	Escada de Incêndio

BLOCO DE SERVIÇO - COR: ROXO

TÉRREO	- Cozinha
	- Despensa
	- Área de Serviço – D.M.L. – Inst. Sanit. Serv.
	- Pátio Coberto
	- Instalações Sanitárias – masculino e feminino

QUADRA DE ESPORTES – COR: AZUL

TÉRREO	- Quadra de Esportes coberta
---------------	------------------------------

CASA DO CASEIRO - COR: LARANJA

TÉRREO	- Sala, Cozinha, 2 quartos, Bwc Social
---------------	--

ACESSO PRINCIPAL E CIRCULAÇÃO - COR: ROSA AMBIENTES:

TÉRREO	- Acesso Principal e Circulação
---------------	---------------------------------

Fonte: Autor

Os projetos padrão do Estado do Paraná utilizam o sistema construtivo convencional com estrutura em concreto armado, estacas e viga baldrame, alvenaria de tijolos com pilares e vigas que recebem chapisco, emboço e reboco e acabamento em pintura acrílica, textura e revestimento cerâmico.

3.4 Estudo das Estratégias Bioclimáticas de Londrina

Para verificar as variáveis climáticas da cidade de Londrina, e as estratégias bioclimáticas a serem aplicadas foi utilizado o programa ANALYSIS BIO (www.labeee.ufsc.br), que conforme visto nos capítulos anteriores, fornece a

porcentagem de horas de temperatura anual dentro da zona de conforto, e a porcentagens de horas a serem resolvidas com estratégias bioclimáticas.

A inserção dos dados climático de Londrina com dados horários anuais de temperatura de bulbo seco e umidade relativa no programa ANALYSIS BIO, forneceu os seguintes dados:

- 49,1 % das temperaturas anuais estão dentro da zona de conforto;
- 50,9 % estão dentro da zona de desconforto;
- 26.1% do desconforto pelo frio;
- 24.7% do desconforto pelo calor;

A partir destes dados o programa relaciona estratégias bioclimáticas, que podem ser aplicadas ao edifício de forma passiva, utilizando recursos do próprio clima, para atingir níveis aceitáveis de conforto.

Através da plotagem dos dados de TRY (ano climático de referência de 1996) para Londrina obteve-se a seguinte carta psicométrica (figura 20):

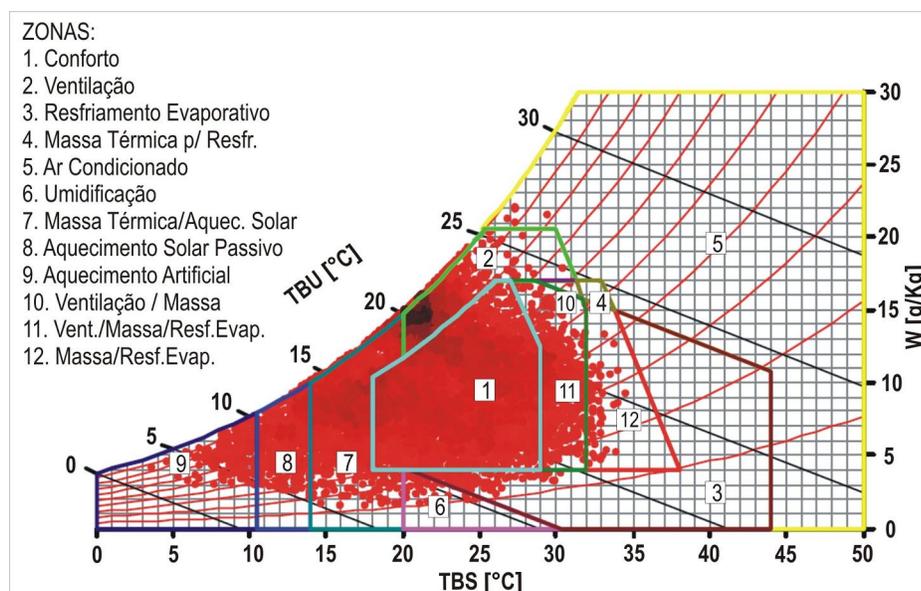


Figura 20: Carta Bioclimática para Londrina/Pr.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir do Programa ANALISYS BIO

O Programa também gera um relatório com as porcentagens de horas de desconforto para cada estratégia bioclimática, o relatório demonstrou os seguintes dados para Londrina:

Tabela 5: Relatório ANALISYS BIO - % de horas de desconforto por estratégia bioclimática.

CALOR	%	FRIO	%
Ventilação	22.2	Alta Inércia Térmica/Aquec.Solar	18.8
Alta Inércia p/ Resfriamento	6.99	Aquecimento Solar Passivo	5.23
Resfriamento Evaporativo	8.11	Aquecimento Artificial	2.04
Ar Condicionado	0.0571	Umidificação	0.548

Fonte: Elaborada pelo autor com base no relatório gerado pelo programa ANALISYS BIO

O Relatório acima mostra que a estratégia que deverá ser mais explorada nos casos de desconforto pelo calor é a ventilação, uma vez que apresenta maior porcentagem de horas anuais em desconforto, sendo 22,2%, na sequência o resfriamento evaporativo com 8,11% e a alta inércia térmica em 6,99% das horas. Esgotando-se todas as estratégias passivas, entra o Ar-condicionado que será utilizado como estratégia somente em casos extremos em 0.0571% das horas.

Quanto ao desconforto por frio, a estratégia mais indicada é a alta inércia térmica para aquecimento solar em 18,8% das horas anuais, na sequência o aquecimento solar passivo com 5,23%, e o aquecimento artificial com 2,04%, estando por último a umidificação que representa 0.548% das horas.

4 ANÁLISE BIOCLIMÁTICA UNV SAN FERNANDO

Tendo em vista que o projeto padrão apresenta-se em forma de módulos agrupados conforme o espaço, foram analisados os módulos dispostos para a Unidade San Fernando, tal qual estão, sem alterar o esquema de implantação proposto.

Na análise do projeto, foram identificadas as seguintes características: bloco de salas de aula em 2 pavimentos, corredor central do 1º pavimento com pé-direito de aproximadamente 6m de altura, contendo duas aberturas zenitais para ventilação e iluminação, cada uma com um vão de 1,60m por 1,60m e cobertas com chapa de policarbonato alveolar incolor cristal.

As salas possuem 49,7 m² e pé-direito de 3,05m, o acabamento superior das lajes é em pintura acrílica e as paredes receberão revestimento cerâmico até 0,80cm de altura, sendo que desta medida até a laje receberão pintura acrílica. Cada sala de aula apresenta 02 janelas de 3,40m de largura por 1,50m de altura, sendo esquadrias de ferro basculantes, com vidros transparentes de 4mm, voltadas para o exterior. Na parede oposta a esta, voltada para a circulação interna, serão fixadas duas faixas horizontais de blocos de tijolos de vidro com ventilação fixa, estes tijolos de vidro captam parte da iluminação vinda das aberturas zenitais.

As estratégias propostas serão apresentadas com base nos dados gerados pelo programa ANALISYS BIO, conforme porcentagens de horas de desconforto para cada estratégia bioclimática. Sendo assim, cada situação de desconforto apresentará as estratégias capazes de aumentar as condições de conforto térmico de forma passiva.

A tabela abaixo demonstra algumas ações capazes de resolver ou amenizar cada situação de desconforto com estratégias simples e de baixo custo:

Tabela 6: Análise da aplicação das estratégias no edifício

C A L O R	
ESTRATÉGIA	APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA NO EDIFÍCIO
VENTILAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamento e posicionamento das esquadrias de forma a captar melhor ventilação – ventos predominantes (Leste); - Substituição das esquadrias basculantes por Máximo-ar com melhor área útil de ventilação - Propiciar a ventilação cruzada;
ALTA INÉRCIA P/ RESFRIAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais com maior inércia térmica – Maior atraso térmico; - Inclusão de paredes jardim nas fachadas expostas a radiação solar direta – fachada (oeste). - Diminuir ganhos térmicos pela cobertura Pintura White Roof - Alterar cor das pastilhas – de Amarelo escuro para cor clara;
RESFRIAMENTO EVAPORATIVO	<ul style="list-style-type: none"> - Plantar árvores com características caducifólias em posição estratégica como elementos de controle de entrada de ventilação, e da radiação solar direta;
AR CONDICIONADO	<ul style="list-style-type: none"> - Por se tratar de escola pública – devido ao custo do equipamento e do aumento dos gastos com energia elétrica, o ar condicionado fica descartado, inserindo o ventilador como opção de ventilação forçada.

F R I O	
ESTRATÉGIA	APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA NO EDIFÍCIO
ALTA INÉRCIA TÉRMICA/AQUEC. SOLAR	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais com maior inércia térmica – Maior atraso térmico, sobretudo nas fachadas com pouca incidência de radiação solar direta, (sul). - Inclusão de paredes jardim nas fachadas sul proporcionando maior atraso térmico.
AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamento das esquadrias de forma a captar melhor radiação; - Permitir a radiação solar direta no inverno; - As árvores com características caducifólias estarão sem folhas no inverno permitindo a incidência de radiação solar direta;
AQUECIMENTO ARTIFICIAL	<ul style="list-style-type: none"> - Por se tratar de escola pública – devido ao custo do equipamento e do aumento dos gastos com energia elétrica, equipamentos de aquecimento artificial ficam descartados, buscando alternativas de forma passiva.
UMIDIFICAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Os blocos com parede jardim produzem aumento da umidade relativa do ar, no entorno imediato.

Fonte: Autor

4.1 Aplicações das Estratégias à Unidade Escolar Padrão 023

4.1.1 Otimização da Ventilação Natural

Na região de Londrina-Rolândia em – 24,7% das horas do ano as pessoas encontram-se em desconforto térmico causado pelo calor. Nesse período, em 90% dessas horas, um bom sistema de ventilação resolve o problema do calor, minimizando os seus efeitos em 22,2% das horas.

Segundo Mermet, *et al* (2005) *apud* Rodrigues, (2008), as funções básicas da ventilação natural são: assegurar a qualidade do ar interior através da *ventilação higiênica*; proporcionar conforto térmico nas épocas quentes através da *ventilação de conforto* e da ventilação noturna sobre a massa do edifício através do *resfriamento*.

Na implantação para UNV San Fernando, os blocos não foram posicionados perpendicularmente aos ventos dominantes (figura 21), porém no projeto paisagístico, foram previstas: áreas verdes com grama, coberturas vegetais de pequeno e médio porte com herbáceas ornamentais e árvores de grande porte, algumas delas com características caducifólias, em que a árvore perde as folhas no inverno permitindo a passagem da radiação solar.

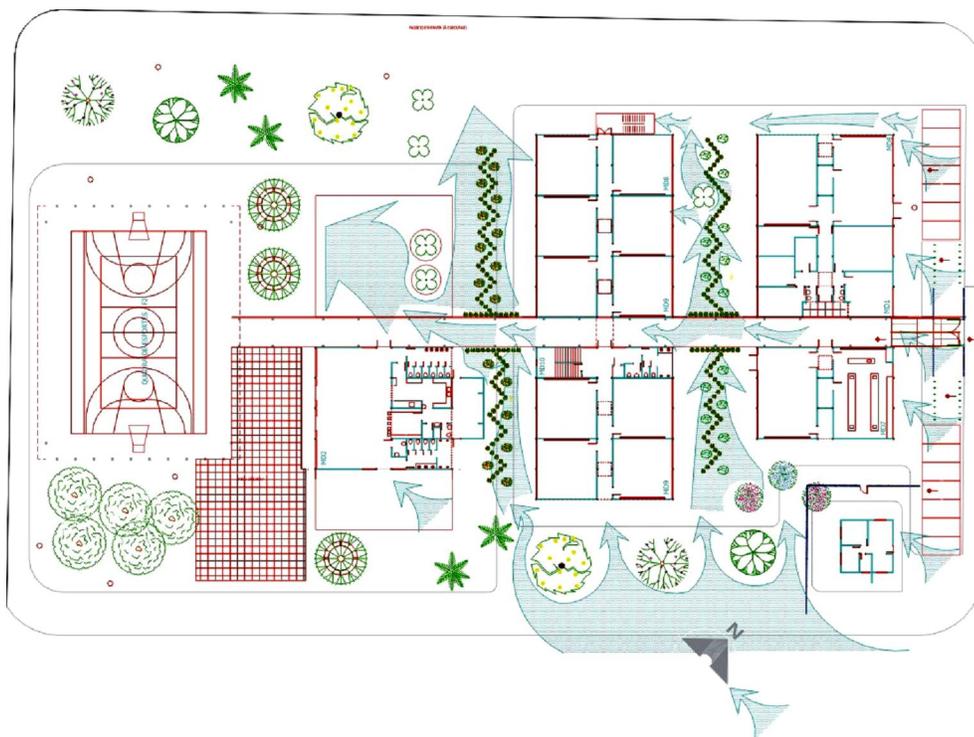


Figura 21: Circulação de ar entre os blocos – ventos dominantes Leste
Fonte: Adaptação autor - Projeto Paisagístico SUDE.

Para verificar se o padrão 023 assegura uma boa ventilação natural foram analisados os parâmetros exigidos na NBR 15220-3 (ABNT, 2005) que apresenta diretrizes construtivas relativas às aberturas para ventilação. Conforme visto nos capítulos anteriores, o ideal para zona bioclimática 3, são aberturas médias com 15

a 25% de área de ventilação. A figura 22 abaixo mostra a área de ventilação encontrada nas salas de aula do padrão 023 empregado na UNV San Fernando de Rolândia:

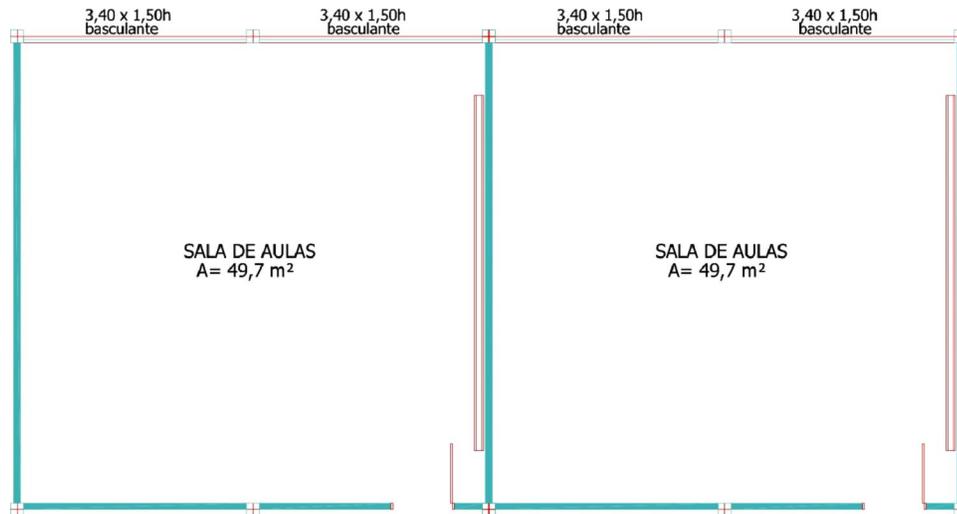


Figura 22: Sala de aula Padrão 023
Fonte : Projeto SUDE

Área de ventilação janela basculante (A_B)

$$A_B = A \times (1 - \cos 60^\circ) = 3,40 \times 1,50 \times (1 - 0,5) = 5,01 \times (0,5)$$

Onde A = área de janela (m^2)

Área útil de ventilação da janela basculante (A_{BU})

$$A_{BU} = A_B \times n = 5,01 (m^2)$$

Onde $n = 2$ janelas por sala.

Porcentagem de área útil de ventilação na sala (A_{BUS})

$$A_{BUS} = \frac{A_{BU}}{A_S} = \frac{5,01}{49,7} \times 100 = 10,08\%$$

Onde A_S = área da sala = $49,7 m^2$.

Os cálculos demonstram que as aberturas do tipo basculante reduzem a área útil de abertura para ventilação, oferecendo uma área útil de ventilação de 10% para área de cada sala de aula, valor este abaixo dos indicados pela NBR 15220-3,

que conforme visto anteriormente indica de 15 a 25% de área de ventilação por ambiente. Mesmo se considerarmos a porta sempre aberta, o fluxo de ventilação que entra é muito pequeno, além de não proceder diretamente do exterior.

Desta forma o mais indicado seria a substituição das esquadrias com sistema de abertura basculante, por outras do tipo máximo-ar, que oferecem ventilação nos ambientes através da abertura que chega a 90 graus, o que também facilita a limpeza das folhas. Em conjunto com as bandeiras e peitoris, proporciona diferentes composições e alinhamentos em fachadas, atendendo aos mais diversos estilos arquitetônicos.

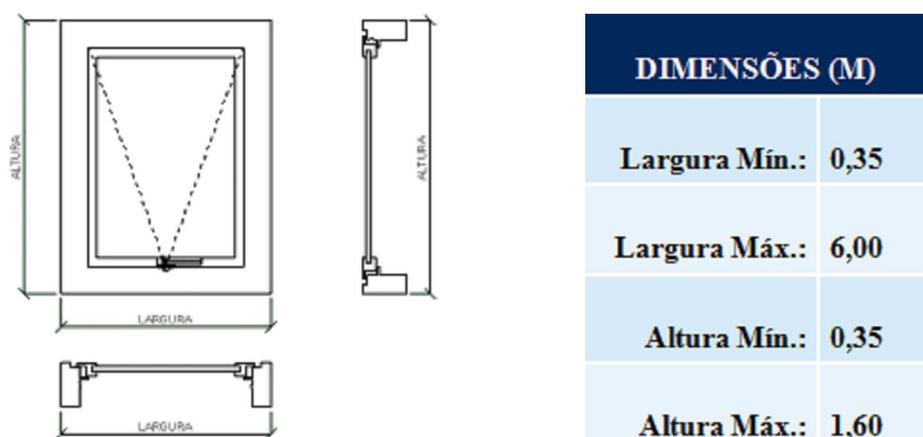


Figura 23: Janela Máximo-ar
Fonte: <http://www.clarisportasejanelas.com.br>

A substituição das esquadrias é umas das estratégias possíveis e de grande resultado, pois melhora efetivamente os níveis de ventilação. Além desta estratégia ainda podem ser analisadas no momento do projeto de implantação, o posicionamento das aberturas com relação aos ventos dominantes, o que melhora significativamente a incidência de ventilação cruzada nos ambientes.

4.1.2 Emprego da Vegetação

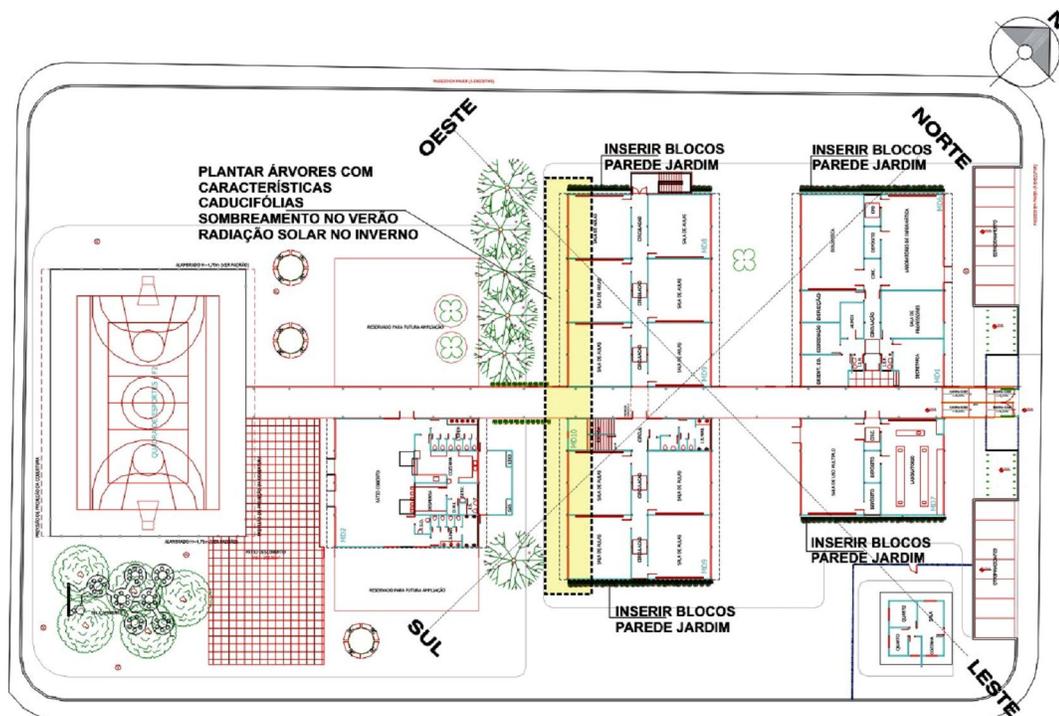


Figura 24: Planta de análise Bioclimática
 Fonte: Adaptação autor – Projeto padrão SUDE

A análise da orientação indica que o bloco de salas de aula possui uma fachada envidraçada voltada para o Oeste, o que no verão proporcionará ganhos térmicos significativo (figura 24). Uma forma de amenizar o problema de forma simples é plantando árvores caducifólias na extensão desta fachada, o que proporcionará sombreamento e resfriamento evaporativo no verão e permitirá a incidência de radiação no inverno.

Outra estratégia adotada é a inclusão de paredes jardim nas fachadas cegas, em que não existem aberturas, com isso aumenta-se a inércia térmica e a umidade relativa do ar do entorno imediato.

Os Jardins verticais podem ser compostos de trepadeiras plantadas no solo ou de espécies diversas plantadas em blocos de concreto ou de fibras como as de coco. O botânico francês Patrick Blanc é considerado o precursor da idéia, cujos experimentos começaram em 1988, concluiu que para as raízes não danificarem as paredes em caso de trepadeiras, é só permitir que as plantas tenham acesso à água com regularidade, se espalhando assim apenas pela superfície.

O trabalho vertical mais marcante de Blanc é a fachada do museu Quai Branly, em Paris, na França (figura 25). A superfície, de 800 metros quadrados, tem 15 mil espécies de plantas, originárias do Japão, da China, dos EUA e da Europa Central.



Figura 25: Museu Quai Branly Paris-França

Fonte: <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/>

A cobertura vegetal proporciona um aumento da espessura da parede, o que dificulta a fuga e a entrada de calor, criando um colchão de ar e barrando a incidência solar através da vegetação. Com isso os níveis de conforto são melhorados tanto no inverno como no verão. Outro aspecto importante é com relação à economia de material, uma vez que este revestimento não exige muito acabamento da parede que fica atrás dos blocos jardim, podendo receber apenas o reboco, sendo possível em alguns casos utilizar diretamente na alvenaria.

Apresenta uma qualidade estética muito interessante, pois a fachada pode receber diferentes espécies com tonalidades diferentes e flores de diversos tipos, a manutenção é simples e não há desgaste com o tempo, não apresentará bolhas, rachaduras e outras patologias. O Sistema de irrigação pode ser inserido por trás dos blocos de forma que acontece automaticamente mantendo as plantas sempre verdes e bonitas. A espécie mais utilizada é a folha de "era" como popularmente é conhecida, mas pode como dito anteriormente receber diferentes trepadeiras e arbustos

Em Londrina está em fase de construção o Mercado Palhano (figura 26), vencedor do prêmio concedido pela Revista Claudia e projeto Planeta Sustentável em Outubro deste ano, foi a 9ª edição do prêmio nacional que destaca iniciativas sustentáveis em produtos, sistemas, ações e construções. O projeto contemplará Madeira de demolição, concreto, tijolos rústicos e uma grande parede jardim em sua fachada, o que ressalta a estratégia como eficiência e agradável.



Figura 26: Mercado Palhano – Londrina

Fonte: Site Mercado Palhano - <http://www.mercadopalhano.com.br>

4.1.3 Cobertura e Paredes Externas Refletoras

A estrutura de cobertura do referido projeto será com tesouras de madeira e a cobertura em telhas cerâmicas. O que se propõe para aumento do desempenho térmico da escola é a pintura das telhas com tinta refletiva em cor clara, conforme o sistema White roof explicado nos capítulos anteriores, atingindo com isso em média 30% na redução da temperatura interna.

Para melhorar o desempenho térmico das estruturas de fechamento, além das paredes jardim, uma estratégia simples é a substituição da cor dos revestimentos cerâmicos que serão empregados nas paredes externas. O padrão prevê que em todas as escolas o revestimento seja na cor amarelo escuro, e vermelho, conforme figura 27 abaixo:



Figura 27: Cores do revestimento da fachada - escola padrão 023
Fonte: ZWIRTES, 2006.

A substituição destas cores, para cores mais claras/refletivas, não iria alterar em nada o orçamento, porém traria alguma melhora na questão do conforto térmico dos ambientes.

4.2 Orçamento Convencional Padrão 023

O Orçamento original para o padrão 023 foi desenvolvido primeiramente pela SUDE - Superintendência de Desenvolvimento Educacional, na cidade de Curitiba e transmitido para a SEOP – Secretaria de Estado de Obras públicas, que revisa o orçamento e dá o aceite para que então passe à liberação de recursos.

O Valor orçado para construção da Unidade Nova San Fernando de Rolândia no padrão 023, com 2 pavimentos, conforme programa de necessidades apresentado nos capítulos anteriores, é de: R\$ 3.441.554,00, conforme resumo apresentado na tabela 7 abaixo:

Tabela 7: Resumo do orçamento convencional para o padrão 023

		DEPARTAMENTO DE PROJETOS E ORÇAMENTOS DIVISÃO DE CUSTOS E ORÇAMENTOS TABELA DE PREÇOS - SEOP2008 ORÇAMENTO ESTIMATIVO					
Protocolo nº: 09.055.779-3 Município: Rolândia Estabelecimento: UNV San Fernando Projeto: PADRÃO FUNDEPAR 023 - CONSTRUÇÃO							
Item	Descrição	Ud	Qtd	Valor Material	Valor Mão de Obra	Valor Total	%
2	IMPLANTAÇÃO ESTRUTURAL	UD	1,00	136.519,17	29.869,57	166.388,74	5,90%
2	IMPLANTAÇÃO ARQUITETÔNICA	UD	1,00	151.091,70	90.272,31	241.364,00	8,56%
3	IMPLANTAÇÃO ELÉTRICA	UD	1,00	77.314,91	29.901,58	107.216,49	3,80%
4	IMPLANTAÇÃO TELEF./LÓGICA	UD	1,00	4.825,81	5.056,40	9.882,21	0,35%
5	IMPLANT.HIDRÁUL. REV. INCÊND	UD	1,00	39.922,69	16.466,76	56.389,45	2,00%
6	MÓDULO 01 - ADMINISTRAÇÃO	UD	1,00	122.831,02	62.631,55	185.462,57	6,57%
7	MÓDULO 02 - SERVIÇOS GERAIS	UD	1,00	180.649,36	77.412,95	258.062,32	9,15%
8	MÓDULO 06 - LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA / BIBLIOTECA	UD	1,00	107.557,98	54.977,12	162.535,10	5,76%
9	MÓDULO 07 - SALA DE USO MÚLTIPLO / LABORATÓRIO FÍSICA - QUÍMICA - BIOLOGIA	UD	1,00	118.481,37	58.120,65	176.602,01	6,26%
10	MÓDULO 08 - 04 SALAS DE AULA	UD	1,00	99.504,36	57.915,31	157.419,67	5,58%
11	MÓDULO 09 - 08 SALAS DE AULA	UD	2,00	396.109,91	234.660,14	630.770,05	22,36%
12	MÓDULO 10 - ESCADA / I.S	UD	1,00	135.194,08	44.926,51	180.120,59	6,39%
13	MÓDULO 12 – CIRC. FECHADA	UD	1,00	7.293,76	2.763,23	10.056,99	0,36%
14	PASSARELA	M	84,27	150.200,21	36.073,90	186.274,11	6,60%
15	CASA DO ZELADOR	UD	1,00	24.658,03	18.173,52	42.831,55	1,52%
16	PISO DE QUADRA C/ COBERTURA - PADRÃO F2/estaca	UD	1,00	204.834,56	35.154,79	239.989,35	0,70%
17	ACESSO TIPO 1	UD	1,00	13.459,52	6.148,16	19.607,68	
18	DESCONTO DE JUNÇÃO DE MÓDULOS (1,6)	UD	1,00	-6.127,81	-3.899,16	-10.026,97	-0,36%
TOTAL GERAL DA OBRA SEM BDI				1.964.320,65	856.625,26	2.820.945,90	100%
PORCENTAGEM DE MATERIAL E MÃO-DE-OBRA				69,63%	30,37%	100,00%	
TOTAL GERAL DA OBRA COM BDI DE 22%						3.441.554,00	
ÁREA CONSTRUÍDA (M2)				3115,31			
VALOR DA OBRA POR M2				R\$ 1.104,72			
PRAZO DE EXECUÇÃO: 360 DIAS CORRIDOS.							
<i>OBS.: os quantitativos referentes às Implantações Elétrica, Telefônica / Lógica, Hidráulica / Prevenção de Incêndios são de responsabilidade de seus respectivos projetistas.</i>							

Fonte: COR SEOP (Coordenadoria de orçamentos)

5 ADEQUAÇÃO DO ORÇAMENTO COM AS ESTRATÉGIAS PROPOSTAS

Para calcular o impacto da inclusão das estratégias bioclimáticas no orçamento, foi necessário repassar todos os itens do orçamento convencional, onde foram selecionados os itens em que seria necessário fazer alguma alteração na quantidade, como por exemplo: chapisco, emboço e pintura externa, que terão as quantidades diminuídas devido a inserção das paredes jardim em algumas paredes cegas nas orientações Oeste e Sul, uma vez que ao receber os blocos de parede jardim, não será necessário dar o acabamento a essas paredes. Também em casos que houve exclusão de algum item para inserção de outro como foi o caso das esquadrias basculantes para as máximo-ar e na inclusão da pintura refletiva para a cobertura.

Houve casos em que não foi necessária nenhuma alteração no orçamento, apenas no memorial descritivo e no detalhamento do projeto, como foi o caso da implantação das árvores em locais estratégicos, e da mudança de cor do revestimento cerâmico das fachadas, uma vez que estes itens já estão orçados e as alterações não representam nenhuma mudança no preço dos serviços.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A inclusão das estratégias bioclimáticas no orçamento se deu da seguinte forma:

- Substituição das esquadrias basculantes por máximo-ar de alumínio:

Que irá proporcionar melhor área de ventilação e propiciar a ventilação cruzada de forma mais eficiente.

- Exclusão da pintura esmalte das esquadrias de ferro basculantes:

Devido a exclusão das esquadrias de ferro.

- Exclusão do chapisco/emboço e textura externa:

Devido a parede jardim não necessitar de acabamento.

- Inclusão de Impermeabilização das paredes sem acabamento:

Para o preparo da base que receberá as plantas trepadeiras, devido a umidade que as mesmas produzem.

- Inclusão de Plantas ornamentais nas paredes face Sul e Oeste – Jardim Vertical:

Durante o orçamento os blocos de concreto para jardim vertical foram descartados devido ao custo elevado, tendo em vista que a proposta deste trabalho é a inclusão de estratégias de baixo custo, optou-se pela inclusão do jardim vertical diretamente nas paredes com plantas trepadeiras. Não foi necessário incluir árvores caducifólias na planilha orçamentária, pois estas já estavam inclusas no orçamento convencional, sendo necessário apenas adequar as informações no memorial descritivo e no projeto de paisagismo, para que as mesmas fossem plantadas nos locais estratégicos, conforme estudo bioclimático da implantação.

- Inclusão de Pintura refletiva em cor clara, nas telhas cerâmicas de toda cobertura.

Para aplicar o conceito do sistema White roof, foi incluída pintura refletiva em toda cobertura.

O item que mais impactou o orçamento foi a pintura refletiva na cobertura, tendo em vista que este item não foi substituído por nenhum outro, sendo apenas acrescentado no orçamento, aumentando o valor total em R\$ 17.327,11.

As demais estratégias de forma geral acresceram ao orçamento: R\$ 8.236,92 que a julgar pelos benefícios ambientais envolvidos não caracteriza um valor muito elevado.

O Panorama final alcançado com a inclusão das estratégias bioclimáticas ao orçamento foi o seguinte:

Tabela 8: Comparativo entre orçamento convencional e com inclusão das estratégias

ORÇAMENTO CONVENCIONAL	ORÇAMENTO COM ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS
R\$ 3.441.554,00	R\$ 3.467.118,03

Fonte: Autor

O percentual de aumento no orçamento final foi menor que 1%, ficando em torno de 0,74%, o que pode ser considerado baixo, tendo em vista os ganhos ambientais, de conforto térmico e melhoria do microclima local.

A substituição das esquadrias caracteriza a alteração com maior impacto ambiental, e sem grandes impactos no orçamento. Para demonstrar a melhoria na ventilação das salas alcançada através da substituição das esquadrias, foi realizado

o cálculo utilizando a mesma área das esquadrias basculantes (figura 28), alterando somente o ângulo de abertura e a modulação das esquadrias, que passam a 6 janelas de 1,13x1,50h, no sistema máximo-ar, com área de abertura maior. Como o ângulo de abertura pode chegar até 90 graus, foi considerado este ângulo para atingir o percentual máximo de ventilação recebida em janelas com este sistema de abertura.

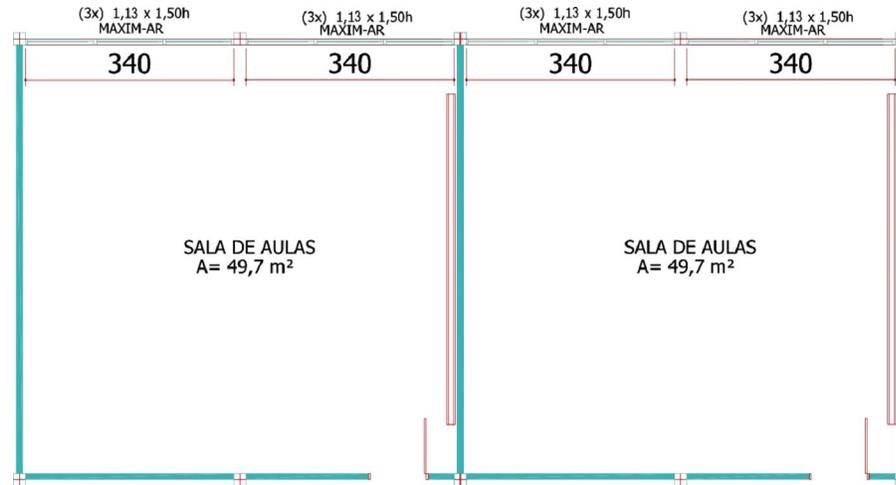


Figura 28: Sala de aula Padrão 023 com alteração das esquadrias de basculante para Máximo-ar
Fonte : adaptação do autor - Projeto SUDE

Área de ventilação janela máximo-ar (A_M)

$$A_M = A \times (1 - \cos 90^\circ) = 1,13 \times 1,50 \times (1 - 0) = 1,695 \times (1)$$

Onde A = área de janela (m^2)

Área útil de ventilação da janela máximo-ar (A_{MU})

$$A_{MU} = A_M \times n = 10,17 (m^2)$$

Onde n = 6 janelas por sala.

Porcentagem de área útil de ventilação na sala (A_{MUS})

$$A_{MUS} = \frac{A_{MU}}{A_S} = \frac{10,17}{49,7} \times 100 = 20,46\%$$

Onde A_S = área da sala = 49,7 m^2 .

A janela com sistema de abertura máximo-ar mostrou-se mais eficiente na entrada de ventilação que a basculante, ultrapassando a porcentagem mínima recomendada pela NBR 15220-3 em 5,46%. Com relação ao orçamento a substituição das esquadrias representou uma diferença de R\$ 8.109,30.

A inclusão das paredes jardim não teve grandes impactos no orçamento, uma vez que através da retirada dos revestimentos, ao inserir a impermeabilização e as plantas, o valor ficou praticamente equiparado, apresentando uma diferença de apenas: R\$ 127,62.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do trabalho foi possível verificar que através da arquitetura bioclimática pode-se tirar vantagens do clima com aplicação correta de elementos ao projeto para controle dos processos de transferência de calor, melhorando o conforto térmico e a eficiência energética dos edifícios.

Entretanto, apesar das vantagens comprovadas da integração dos conceitos bioclimáticos ao projeto do edifício, há uma dificuldade considerável em sua aplicação prática, principalmente nos estágios iniciais de projeto, em que as principais soluções de projeto são definidas. (MACIEL, 2006).

Segundo Rowe (1987) *apud* Maciel (2006), é possível identificar alguns aspectos comuns, tais como a definição de diretrizes para ajudar nos processos de tomada de decisão e o uso de diretrizes básicas como pontos de partida.

A principal problemática envolvida na implementação de estratégias bioclimáticas ao projeto, passa pela idéia de que soluções sustentáveis são sinônimo de alto custo inicial, fazendo com que a exploração das características climáticas sejam descartadas já na fase inicial.

Esta pesquisa demonstrou que é possível adequar a edificação com estratégias bioclimáticas de baixo custo inicial, sem considerar ainda o custo que se irá economizar com energia elétrica, ao longo da fase operacional do edifício.

Entretanto, para que os edifícios sejam de fato bioclimáticos, as ações que se esperam vão além do desenvolvimento ou melhoria de ferramentas de apoio. É fundamental que estes conceitos façam parte da filosofia de projeto do profissional. (MACIEL, 2006).

Quanto à aplicação deste conceito na prática, entende-se que qualquer profissional arquiteto está habilitado à interpretar as características de insolação e ventilação de uma região para um terreno específico, tendo apenas que verificar qual estratégia aplicar a cada módulo.

No caso das obras públicas, sobretudo das escolas, como os projetos padronizados oferecem uma tipologia de reprodução consolidada, é importante que as estratégias bioclimáticas passem a fazer parte do processo de implantação, visando melhorar as condições de conforto e eficiência energética para os módulos implantados.

Conforme dados desta pesquisa foi possível comprovar que mesmo através das estratégias de baixo custo é possível alcançar melhores níveis de conforto e de eficiência energética.

Tendo em vista a continuidade desta pesquisa, sugere-se a avaliação dos percentuais de economia no uso e operação do edifício, para cada uma das estratégias apresentadas. Também seria importante uma revisão da planilha orçamentária com a inclusão de itens mais sustentáveis.

Tendo em vista a implantação das estratégias propostas, o ideal seria a estruturação de um Padrão Bioclimático, onde os serviços e materiais poderiam ser inseridos ou não a cada módulo, dependendo da orientação solar, ventilação predominante e necessidade de proteção com relação aos ganhos térmicos, sempre priorizando o conforto térmico e lumínico dos usuários.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACIOLI, J. L. **Física Básica para Arquitetura: Mecânica, Transmissão de Calor, Acústica**. Brasília. Editora universidade de Brasília, 1994. 330p. il.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 02:135.07-003:1998**: Desempenho Térmico de Edificações . Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.
- _____ **NBR15220 . 3 de 04/2005**: Desempenho Térmico de Edificações . Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.
- BOGO, A.; PIETROBON C. E.; BARBOSA M. J.; GOULART S.; PITTA T.; LAMBERTS R. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. Núcleo de Pesquisa em Construção - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. 1994.
- CADERNO DE DEBATE E SUSTENTABILIDADE AGENDA 21 – **Agenda 21 e a Sustentabilidade das Cidades** – Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável. 2003.
- CORBELLA E YANNAS. **Em Busca de Uma Arquitetura Sustentável para os trópicos, Conforto Ambiental**. Ed. Revan, Rio de Janeiro, 2003, 288 p.
- CUNHA E. G.; ZECHMEISTER, D.; MELO, E. Q.; MASCARÓ, J.J.; VASCONCELLOS, L.; FRANDOLOSO, M. A. **Elementos de Arquitetura de Climatização Natural**: Método Projetual buscando a eficiência energética nas edificações. 2ª edição, 2005, UPF, Passo Fundo, 149 p.

- DORIGO, A. L. **Condições de Luz Natural em Ambientes Escolares – Estudo do Projeto Padrão 023 da Rede Pública de Ensino do Estado do Paraná.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação Em Tecnologia – Curitiba, 2007.
- DORNELLES K. A.; RORIZ M. **Influência das Tintas Imobiliárias Sobre o Desempenho Térmico e Energético de Edificações.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UNICAMP, Campinas-SP. 2007.
- FELIX, L. F. C. **O Processo de Projeto de uma Edificação mais Sustentável: Contribuição Relativa ao Programa Arquitetônico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – 2008.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico, 7a edição.** Nobel, São Paulo, 2003. 243 p.
- GIGLIO, T. G. F. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina - PR -** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina - Londrina, 2005.
- GRILLO, J. C.; AMORIM, C. N. **Janela na edificação: Normas e Indicações para projeto.** Programa de Pós Graduação, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável x Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído 18-21 julho 2004, São Paulo - **ciaCS'04/ENTAC'04.**
- HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. REIS, L. B. **Energia e Meio Ambiente,** tradução técnica Lineu Belico dos Reis, Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire de Mello. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- LENGEN J. V. **Manual do Arquiteto Descalço.** Livraria do Arquiteto. Rio de Janeiro, 2004.

- LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. Projeto: **Tecnologias para construção habitacional mais sustentável**. Documento: **Levantamento do Estado da Arte: Energia**. Projeto Finep, São Paulo – 2007.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. PW, 1997, São Paulo: 192 p. il.
- MACIEL, A. A. **Integração de Conceitos Bioclimáticos ao Projeto Arquitetônico** - Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil- PPGEC – Tese de Doutorado. Florianópolis, 2006.
- MONTENEGRO, G. **Ventilação e Cobertas: Estudo Teórico, Histórico e Descontraído**. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 1984.
- MUELLER, C. M. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto**. São Paulo, 2007. 258p. il. Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) - FAUUSP.
- RODRIGUES, E. A. N. **Janelas x Ventilação: Modelo de Apoio à Escolha de Janelas para Edificações Multifamiliares em Vitória, ES**. Universidade Federal do Espírito Santo - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC/UFES - Dissertação de Mestrado, Vitória, 2008.
- TRIANA M. M. A. **Diretrizes para Incorporar Conceitos de Sustentabilidade no Planejamento e Projeto de Arquitetura Residencial Multifamiliar e Comercial em Florianópolis** – Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) UFSC, Florianópolis - 2005.
- ZWIRTES, D. P. Z. **Avaliação do Desempenho Acústico de Salas de Aula: Estudo de Caso nas Escolas Estaduais do Paraná**. Curitiba, 2006.
- IAPAR. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1994.

- BEM, **Balço Energético Nacional – Relatório 2010**. disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf, acesso em Novembro de 2010.

- **ANAB Brasil - Associação Nacional de Arquitetura Bioecologica**, Disponível em: <http://www.anabbrasil.org/arquitetura.asp>, acesso em Outubro de 2010.

- MERCADO PALHANO – LONDRINA – Disponível em: <http://www.mercadopalhano.com.br>, acesso em Dezembro de 2010.

- MUSEU QUAI BRANLY PARIS-FRANÇA, Disponível em: <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/>, acesso em Dezembro, 2010.

- SEOP/COR. Secretaria de Estado de Obras Públicas - **Coordenadoria de orçamento**. Orçamento Padrão 023 – UNV San Fernando - Curitiba, 2010.

- SUDE - Superintendência de Desenvolvimento Educacional – DED - Diretoria de Edificações Escolares - Projetos Padrão 023 – UNV San Fernando - Curitiba, 2010.