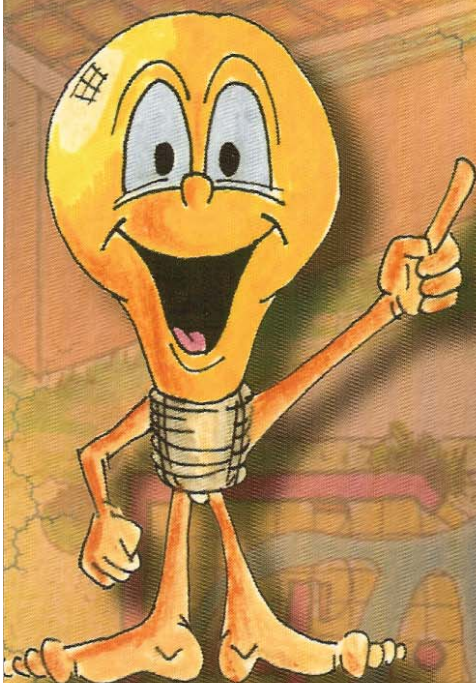


EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA



Roberto Lamberts
Luciano Dutra
Fernando O. R. Pereira

Ilustrações: Luciano Dutra



PROCEL
PROGRAMA DE
QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

PW Editores



Eficiência Energética na Arquitetura

Patrocínio



PROCEL
PROGRAMA DE
COMBATE AO DESPERDÍCIO
DE ENERGIA ELÉTRICA

Curriculum reduzido dos autores

Roberto Lamberts

Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), nasceu em Porto Alegre em 1957.

Formou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 1980. Obteve, pela mesma universidade, o título de Mestre em Engenharia em 1983. Desenvolveu seu programa de Doutorado no período de 1983 a 1988 no *Department of Civil Engineering, The University of Leeds*, Inglaterra.

Foi professor visitante na UFSC em 1988 e 1989 e ingressou no quadro permanente mediante concurso público realizado em 1989. Atualmente, participa dos cursos de pós-graduação em Engenharia Civil (Mestrado), Engenharia Mecânica (Mestrado e Doutorado) e Engenharia de Produção (Mestrado e Doutorado) da UFSC, realizando atividades de orientação e pesquisa nas áreas “*Eficiência Energética do Ambiente Construído, Arquitetura Bioclimática, Conforto Térmico e Desempenho Térmico de Edificações*”.

Luciano Dutra

Pesquisador na área de Eficiência Energética do Ambiente Construído no Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), nasceu em Itajaí em 1967.

Formou-se em Arquitetura e Urbanismo pela UFSC em 1991, desenvolvendo trabalhos de pesquisa em Conforto Ambiental já na fase acadêmica. Seu Projeto de Graduação, sob o título “*Agência Bancária - Edifício Comercial*”, recebeu Menção Honrosa no Concurso Nacional “*Ópera Prima 1991*”, publicado na revista *Projeto*, edição 156 de setembro de 1992, e desenvolvido em co-autoria com Áris Schütz.

Obteve o título de Mestre em Engenharia também pela UFSC em 1994.

Foi professor de Conforto Ambiental na Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB) entre 1993 e 1995. Nesta época desenvolveu diversos trabalhos de design gráfico, entre eles a criação da logomarca do NPC, a criação dos manuais de “*Aplicação de Revestimentos Cerâmicos - Versão para Obra*” da Cerâmica Portobello e a criação das ilustrações para este livro.

Atualmente está finalizando o desenvolvimento de um Multimídia sobre Eficiência Energética na Arquitetura patrocinado pelo RHAE e pelo NPC.

Fernando Oscar Ruttkay Pereira

Professor Titular do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), nasceu em Porto Alegre em 1956.

Formou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 1979. Obteve, pela mesma universidade, o título de Mestre em Engenharia em 1984. Na mesma época recebeu Menção Honrosa no Prêmio Jovem Cientista - 1982, CNPq - “*Conservação de Energia*”, com o trabalho intitulado “*Energia Ambiental: Um Critério para Projeto de Edificações*”.

Ingressou na carreira universitária mediante concurso público realizado em 1982. Desenvolveu seu programa de Doutorado no período de 1988 a 1992 na *School of Architectural Studies, University of Sheffield*, Inglaterra. Atualmente, participa em caráter permanente dos cursos de pós-graduação em Engenharia Civil (Mestrado), Engenharia de Produção (Mestrado e Doutorado) e Engenharia de Segurança no Trabalho (Especialização) da UFSC, realizando atividades de orientação e pesquisa nas áreas “*Insolação e Iluminação no Ambiente Urbano, Sistemas Inovativos de Iluminação Natural, Eficiência Energética do Ambiente Construído e Ensino de Conforto Ambiental e Eficiência Energética em Escolas de Arquitetura*”.

Eficiência Energética na Arquitetura

Roberto Lamberts

Luciano Dutra

Fernando Oscar Ruttkay Pereira

Ilustrações - Luciano Dutra



São Paulo 1997

Edição PW Gráficos e Editores Associados Ltda.
Editores Alex Wissenbach
Vivaldo H. Tsukumo
Produção editorial ProEditores Associados Ltda.
Autores Roberto Lamberts
Luciano Dutra
Fernando Oscar Ruttkay Pereira
*Projeto gráfico
e ilustrações* Luciano Dutra

Copyright © 1997 PW Gráficos e Editores Associados Ltda.

Copyright © 1997 Luciano Dutra/Ilustrações

L223e LAMBERTS, Roberto
Eficiência energética na arquitetura /
Roberto Lamberts, Luciano Dutra/
Fernando Oscar Ruttkay Pereira.
São Paulo: PW, 1997.
192p. il.

Ilustrações: Luciano Dutra.

1. Arquitetura e energia. I. Dutra, Luciano.
II. Pereira, Fernando Oscar Ruttkay. III. Título.

721.001 (CDU-FID nº 316)

722.22

C. A. Cutter

Bibliotecária: Tatiana Douchkin CRB8/586

PREFÁCIO

O PROCEL é um Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, instituído pelo Governo Federal, através da Portaria Interministerial nº 1.877 de 30/12/85, com o objetivo de integrar as ações visando o combate ao desperdício de energia elétrica no país.

O desperdício de energia elétrica em nosso país é bastante elevado. As estatísticas mostram que 42% do consumo dessa energia se dá nas edificações residenciais e comerciais e que seu potencial de conservação em prédios já construídos pode atingir a casa dos 30% e em novas construções esse valor pode chegar a 50%.

O PROCEL sabe que o principal elemento na execução de uma edificação é o arquiteto. Portanto, um programa junto às escolas de arquitetura vem sendo desenvolvido, com o objetivo de esclarecer essa significativa gama de profissionais da importância cada vez maior do uso racional e inteligente da energia. Dentro desse programa encontra-se a divulgação do tema uso eficiente da energia, através do fornecimento de um conjunto de materiais didáticos de apoio a professores e estudantes de arquitetura. Este livro faz parte desse conjunto.

A idéia desta publicação nasceu de uma visita à UFSC, realizada em setembro de 1994, quando o PROCEL - Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica tomou conhecimento do trabalho de um jovem e talentoso arquiteto, Luciano Dutra, que possui o dom da clareza na redação e grande expressividade no desenho. O talento desse profissional e a orientação dos professores Roberto Lamberts e Fernando Ruttkay Pereira, ambos profundos conhecedores do tema abordado neste trabalho, deram origem a este livro. A publicação se propõe a transmitir aos estudantes de arquitetura noções básicas de técnicas de combate ao desperdício de energia elétrica em edificações, a fim de que daqui a alguns anos os novos edifícios possam ser projetados visando sua eficiência energética.

Se levarmos em consideração que nosso objetivo maior é que num futuro próximo os projetos visem o conforto ambiental atrelado à redução do consumo de energia, para que isso ocorra deveremos ter como parceiros prioritários os arquitetos, ficando então caracterizada a grande importância de um livro como este para a formação dessa nova consciência.

Esperamos ter atingido nosso propósito com a edição deste livro e contamos com o apoio de vocês, futuros parceiros, para atingir nosso objetivo maior.

MARIO FERNANDO DE MELO SANTOS
Secretário Executivo do PROCEL

APRESENTAÇÃO

O objetivo deste livro é o de introduzir os principais conceitos relativos ao manejo e controle do consumo de energia nas edificações, tendo como critério central de projeto o conforto dos usuários.

Um dos pressupostos é de que os conceitos físicos básicos precisam ser bem entendidos e assimilados quando se busca aplicar e implementar o controle ambiental de modo inteligente. Para isso, o livro baseia-se intensamente em esquemas e diagramas conceituais e analogias para guiar o leitor ao entendimento intuitivo sobre como o aquecimento, resfriamento e iluminação afetam as pessoas, o projeto das edificações e a energia utilizada pelos principais sistemas mecânicos e elétricos.

Até meados do século XX, o arquiteto se via, de certo modo, obrigado a considerar as condições climáticas para o projeto do envoltório das edificações; era preciso reconhecer com certo detalhe os efeitos positivos e negativos do clima, para o desenvolvimento de estratégias adequadas ao seu aproveitamento ou rejeição.

A rápida evolução tecnológica pós-Revolução Industrial mudou quase tudo. O arquiteto foi literalmente liberado para buscar outros paradigmas que não os resultantes da consideração dos elementos naturais. Embora encontremos nesse período exemplos arquitetônicos notáveis nos quais se identifica a manutenção de princípios bioclimáticos históricos, os desenvolvimentos na área de sistemas estruturais, na produção do vidro e, posteriormente, no advento da luz elétrica contribuíram para retirar a função térmica do envoltório e passá-la aos sistemas mecânicos de aquecimento e refrigeração, e para substituir as aberturas na função de fontes de luz primárias.

O embargo do petróleo em 1973 e o conseqüente aumento dos preços da energia sacudiram a sociedade, forçando todos os setores a reavaliar suas práticas de uso de energia. Medidas emergenciais, como conservar os recursos simplesmente por não usá-los, ou seja, desligando as lâmpadas e ajustando os termostatos, foram as mensagens patrióticas do dia.

O embargo cessou, mas os preços se mantiveram altos; além disso, a sociedade tem sido forçada a encarar e apontar soluções para a crescente degradação ambiental do planeta. Com essa pressão e a oportunidade de uma resposta mais sensível e efetiva para uma mudança de perspectiva no projeto do ambiente construído, a atenção tem se voltado para estratégias de eficiência energética através do uso mais racional dos recursos naturais.

Entretanto, se para o cliente ou investidor o interesse e o apoio a uma posição de uso mais eficiente da energia passam apenas por uma análise de custo/benefício, para o arquiteto a questão é bem diferente. A tarefa assume outra magnitude, exigindo uma reavaliação dos métodos e estratégias de projeto; isso exige a retomada de um conhecimento básico imprescindível para o resgate da função perdida de projetista integrador.

Nesse sentido, este livro é dirigido a todos que atuam na área de projeto, construção e operação do ambiente construído; com uma linguagem adequada tanto para estudantes universitários, em particular dos cursos de arquitetura e engenharia civil, como acadêmicos e pesquisadores e, especialmente, para os profissionais arquitetos, planejadores urbanos e engenheiros, dos quais se espera, na prática, a implementação dos conceitos apresentados.

ROBERTO LAMBERTS

LUCIANO DUTRA

FERNANDO OSCAR RUTTKAY PEREIRA

SUMÁRIO

Capítulo 1: Um Breve Histórico

O CONCEITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	14
A ARQUITETURA VERNÁCULAR	15
O PERÍODO GÓTICO	17
O RENASCIMENTO	17
A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	17
O ESTILO INTERNACIONAL	17
A CRISE DE ENERGIA	18
A ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA	19
A SITUAÇÃO ATUAL	20
CONSUMO NOS SETORES RESIDENCIAL, COMERCIAL E PÚBLICO	21
A NECESSIDADE DE NORMALIZAÇÃO	23
A ATUAÇÃO DE CADA PROFISSIONAL	23
ESTRUTURA DO LIVRO	24
REFERÊNCIAS	26

Capítulo 2: Variáveis Climáticas

MACROCLIMA	28
<i>Radiação Solar</i>	29
<i>Temperatura</i>	33
<i>Vento</i>	34
<i>Umidade</i>	34
MESOCLIMA E MICROCLIMA	34
<i>Radiação Solar</i>	35
<i>Temperatura</i>	37
<i>Vento</i>	37
<i>Umidade</i>	38
REFERÊNCIAS	38

Capítulo 3: Variáveis Humanas

CONFORTO TÉRMICO	40
<i>Mecanismos Termorreguladores</i>	40
<i>Conceito de Conforto</i>	41
<i>Variáveis de Conforto Térmico</i>	41
<i>Variáveis Ambientais</i>	41
<i>Atividade Física</i>	42
<i>Vestimenta</i>	42
<i>Voto Médio Predito</i>	43
CONFORTO VISUAL	44
<i>Nível de Iluminação</i>	45
<i>Contraste</i>	46
<i>Ofuscamento</i>	47
<i>Iluminação Escalar e Vetor Iluminação</i>	48
REFERÊNCIAS	50

Capítulo 4: Variáveis Arquitetônicas

A FORMA	52
A FUNÇÃO	55
FECHAMENTOS	56
<i>Fechamentos Opacos</i>	56
Fase 1 - troca de calor com meio exterior	57
Fase 2 - condução através do fechamento	57
Fase 3 - troca de calor com meio interior	59
Fluxo Térmico	62
Exemplo Numérico	62
Inércia Térmica	63
<i>Fechamentos Transparentes</i>	64
Orientação e Tamanho	65
Tipo de Vidro	66
Vidro Simples (transparente)	68
Vidro Verde	68
Películas e Vidros Absorventes (fumês)	69
Películas e Vidros Reflexivos	69
Plásticos	70
Camadas Múltiplas	70
Uso de Proteções Solares Internas ou Externas	71
Fator Solar	71
Exemplo Numérico	73
SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	74
SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	74
<i>Lâmpadas</i>	75
Incandescentes	75
Descarga Gasosa	76
Fluorescentes	77
Lâmpadas a Vapor de Mercúrio	79
Lâmpadas a Vapor de Sódio	80
<i>Luminárias</i>	82
<i>Reatores</i>	83
<i>Controle da Luz Elétrica</i>	84
Sensores de Ocupação	84
Sistema por Controle Fotoelétrico	84
Sistema de Programação de Tempo	84
CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	86
<i>Ventilação Mecânica</i>	86
<i>Aquecimento</i>	87
Radiador Incandescente	87
Painel Radiador de Baixa Temperatura	88
Convectores Elétricos	88
Bomba de Calor (ar condicionado de janela)	89
Aquecedor Central	89
<i>Resfriamento</i>	90
Ar Condicionado de Janela	90
Minicentraís de Pequeno Porte	91
Multisplit	92
Self Contained	93
Chiller e Fan-Coil	94
CARGA TÉRMICA	95
<i>Exemplo Numérico</i>	95
Condução pelo Fechamento Opaco (Q_{FO})	96
Condução pela Abertura (Q_A)	96

SUMÁRIO

Ganho Solar pelo Vidro (Q_g)	97
Ganho de Calor dos Ocupantes (Q_o)	97
Ganho de Calor por Iluminação Artificial (Q_l)	97
Ganho de Calor por Equipamentos (Q_e)	98
Ganho de Calor por Infiltração de Ar (Q_{iA})	98
Calor Sensível	98
Calor Latente	98
Carga Térmica (CT)	99
REFERÊNCIAS	101

Capítulo 5: A Bioclimatologia

A BIOCLIMATOLOGIA APLICADA À ARQUITETURA	104
1 - Zona de Conforto	106
2 - Ventilação	106
3 - Resfriamento Evaporativo	107
4 - Massa Térmica para Resfriamento	108
5 - Ar Condicionado	108
6 - Umidificação	109
7 - Massa Térmica e Aquecimento Solar	109
8 - Aquecimento Solar Passivo	110
9 - Aquecimento Artificial	110
Interseções entre Estratégias	111
O CLIMA DO BRASIL	112
Equatorial	113
Tropical	113
Tropical de Altitude	113
Semi-Árido	113
Tropical Atlântico	113
Subtropical	113
BIOCLIMATOLOGIA DO BRASIL	114
Avaliação Bioclimática pelo Ano Climático de Referência	114
Porto Alegre	116
Florianópolis	118
Curitiba	120
São Paulo	122
Rio de Janeiro	124
Brasília	126
Salvador	128
São Luís	130
Natal	132
Vitória	134
Maceió	136
Belém	138
Recife	140
Fortaleza	142
Avaliação Bioclimática pelas Normas Climatológicas	144
REFERÊNCIAS	148

Capítulo 6: O Uso Racional da Energia

ARQUITETURA RESIDENCIAL	151
1 - Ventilação	151
Usar a Forma e a Orientação	151
Projetar Espaços Fluidos	152
Promover Ventilação Vertical	152
Elementos que Direcionam o Fluxo de Ar para o Interior	152
2 - Resfriamento Evaporativo e Umidificação	153
Construir Áreas Gramadas ou Arborizadas	153
Resfriamento Evaporativo das Superfícies Edificadas	154
Resfriamento Evaporativo Indireto	155
Umidificação	155
3 - Usar Massa Térmica	156
4 - Aquecimento Solar Passivo	157
Ganho Direto	157
Ganho Indireto	158
5 - Ar Condicionado	159
6 - Aquecimento Artificial	159
7 - Outras Técnicas para Diminuir o Consumo de Energia	159
Uso da Cor	159
Sistema de Aberturas	160
Uso da Vegetação como Sombreamento	162
Uso Racional da Iluminação	163
Aquecimento de Água	163
ARQUITETURA COMERCIAL E PÚBLICA	163
Sistemas de Iluminação	164
Integração com Luz Natural	165
Iluminação de Tarefa	166
Manutenção dos Lumens	166
Sistemas de Controle	167
Tecnologias Eficientes de Iluminação	167
Condicionamento Natural e Artificial	168
SIMULAÇÃO INTEGRADA DE ENERGIA	169
O USO RACIONAL DA ENERGIA	171
REFERÊNCIAS	172

Capítulo 7: Conclusões

ANEXO A: TABELA DE CONDUTIVIDADES	180
ANEXO B: UNIDADES E CONCEITOS FÍSICOS	182
QUANTIDADES TÉRMICAS	182
PRINCÍPIOS TERMODINÂMICOS	183
PSICROMETRIA	186
Processos Psicrométricos	187
REFERÊNCIA	188



É MUITO IMPORTANTE VOCÊ ENTENDER
A RELAÇÃO QUE EXISTE ENTRE O
AMBIENTE CONSTRUÍDO E O CONSUMO DE
ENERGIA! MAS ANTES É NECESSÁRIA UMA
RÁPIDA VISÃO DE ALGUNS FATOS HISTÓRICOS!

No período clássico, Vitruvius⁽¹⁾ entendia a arquitetura como um espaço habitável que deveria equilibrar os aspectos estruturais, funcionais e formais.



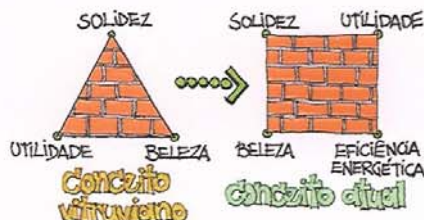
Vitruvius

O CONCEITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Hoje em dia, a arquitetura também deve ser vista como um elemento que precisa ter eficiência energética.

A **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA** pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de

energia. Desta forma, o triângulo conceitual clássico de Vitruvius pode ser acrescido de um vértice (o da eficiência energética), transformando-se no conceito ideal para a arquitetura contemporânea.



Conceito Clássico x Conceito Atual

Muito se tem ouvido falar em economia de energia elétrica em edifícios.

Além das campanhas contra o desperdício que vêm sendo feitas, surgem cada vez mais equipamentos de baixo consumo e maior eficiência energética, como alguns eletrodomésticos...



Lâmpada fluorescente compacta

Entretanto, além da utilização destes recursos tecnológicos, a elaboração de projetos que incluam estudos sobre o comportamento energético do edifício pode melhorar a eficiência da arquitetura.

A ARQUITETURA VERNACULAR

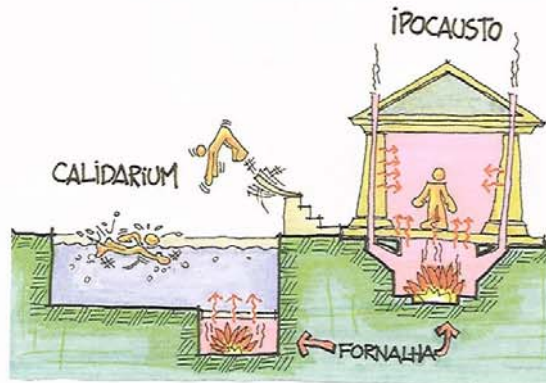
O primeiro princípio utilizado era geralmente aproveitar as características desejáveis do clima enquanto se evitavam as indesejáveis.

Na antiga Roma, o imperador *Ulpiano* criou o *Heliocaminus*, uma lei para garantir ao povo romano do século II d.C. o direito ao sol⁽²⁾.



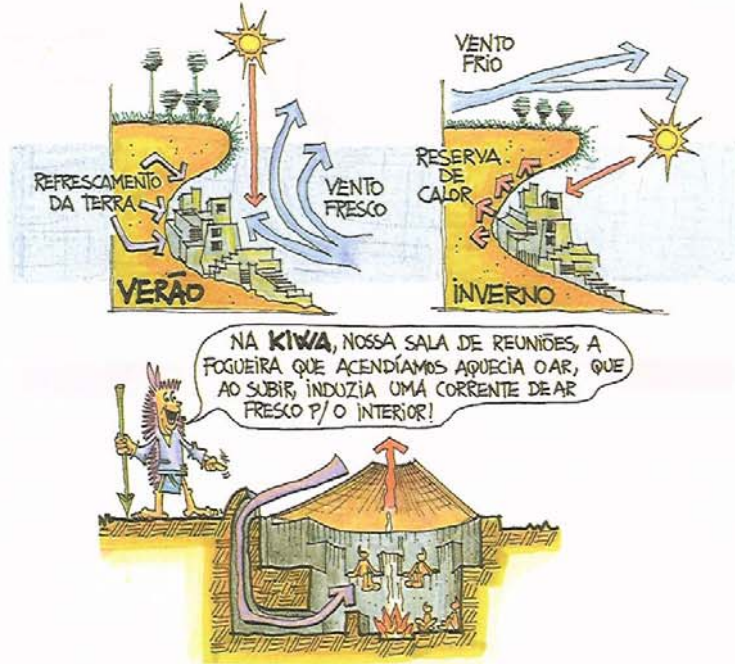
Heliocaminus

Na cidade romana antiga, também existiam sistemas para aquecimento de água conhecidos como *Calidarium* e para aquecimento de ambientes como o *Ipocausto* - túneis subterrâneos onde uma fornalha aquecia o ar, que por sua vez aquecia os ambientes.



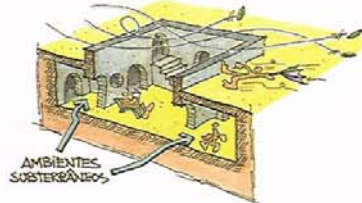
Calidarium e Ipocausto

No deserto do Colorado, nos Estados Unidos, o povo de Mesa Verde construiu suas habitações protegidas do sol pelas encostas de pedra, de forma a sombrear a incidência dos raios solares no verão quente e seco ⁽³⁾. No inverno, a inclinação mais baixa do sol permite sua entrada nas habitações, aquecendo-as durante o dia. O calor armazenado na rocha das encostas durante o dia é devolvido ao interior das habitações à noite, garantindo o *conforto térmico*.



Mesa Verde - Habitações e "Kiwa"

Em climas muito severos como no norte da China, por exemplo, as edificações foram construídas subterrâneas ⁽³⁾. São escolas, mercados, residências, tudo sob a superfície da terra. Vista de cima, a cidade mostra apenas os pátios das casas. A temperatura abaixo da superfície do solo é mais amena, compensando os extremos da temperatura do ar (alta durante o dia e baixa à noite).



Casas subterrâneas no norte da China

O PERÍODO GÓTICO

Até a Idade das Trevas, o arquiteto e o artesão trabalhavam juntos. O conceber e o construir aconteciam simultaneamente. Nas catedrais góticas, a maior parte dos problemas construtivos era resolvida *in loco*.



Arquitetura gótica

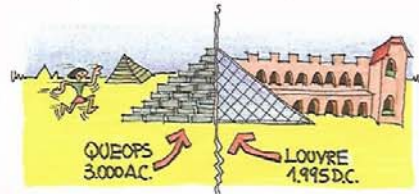
O RENASCIMENTO

Porém, esse quadro mudou no Renascimento com a invenção da perspectiva por Brunelleschi⁽⁴⁾. A dignidade do arquiteto seria considerada a partir de agora tanto maior quanto maior fosse sua desvinculação com o artesão. Isto afastou do projetista um rico vocabulário de soluções arquitetônicas.

A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A Revolução Industrial trouxe um novo elenco de materiais, como o aço e o concreto armado, que desafiaram a tradição de construir em alvenaria de pedra (dominante desde o Egito antigo até o século XIX) no mundo ocidental. No entanto, esta tradição construtiva persistiu até a Segunda Guerra Mundial. A partir daí, as grandes transformações sociais,

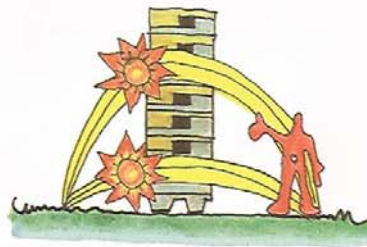
econômicas e técnicas mudaram o quadro da arquitetura violentamente.



Revolução Industrial

O ESTILO INTERNACIONAL

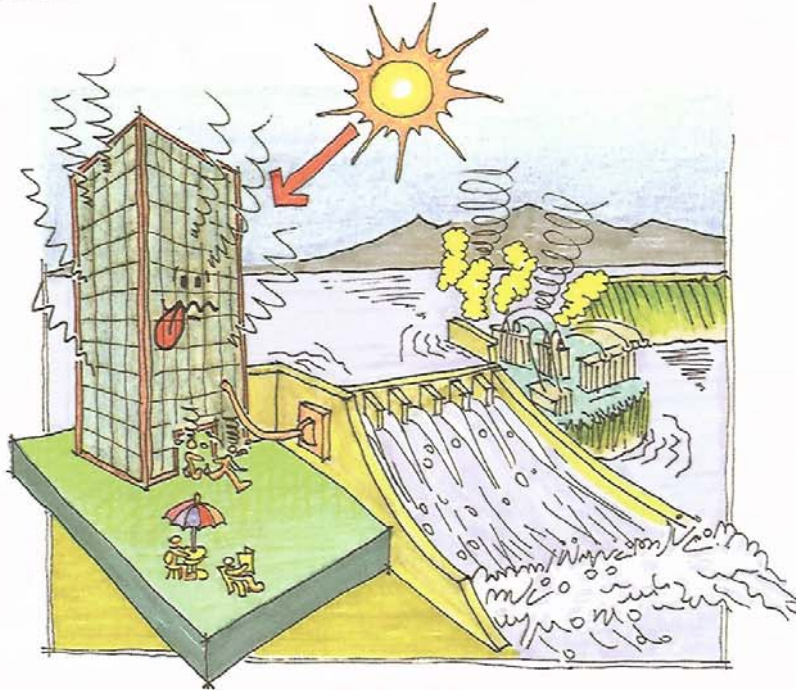
No período entre guerras surgiu o Estilo Internacional, revolucionando por completo os conceitos da arquitetura. Le Corbusier lançou idéias como o esqueleto estrutural, o terraço-jardim, a planta livre, os pilotis e o MODULOR, que relacionava as proporções entre o homem e o espaço arquitetônico projetado⁽⁵⁾.



Modulor de Le Corbusier

Poucos profissionais possuíam as habilidades de Le Corbusier, e se traíram quando limitaram a arquitetura funcionalista a um mero jogo de motivos em fachadas ou a uma luta pela conquista de vãos cada vez maiores em concreto armado. Paralelamente, os avanços de áreas particulares do processo de construção da arquitetura (entre elas o conforto ambiental) não eram mais assimilados pelos arquitetos. Mies van der Rohe, com suas cortinas de vidro, criou um verdadeiro ícone de edifícios de escritórios.

Seu formalismo *clean* foi seguido por várias gerações de profissionais que internacionalizaram o que era distinto para algumas economias. O conseqüente edifício “estufa” foi então exportado como símbolo de poder, assim como sistemas sofisticados de ar condicionado e megaestruturas de aço e concreto, sem sofrer readaptações às características culturais e climáticas do local de destino. A arquitetura estava se prostituindo...



Edifício “estufa”

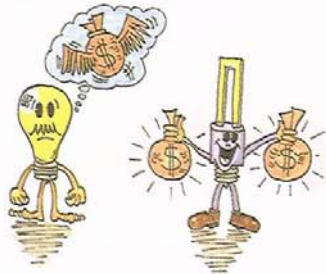
A CRISE DE ENERGIA

Sistemas de iluminação e de climatização artificial passaram a ser largamente utilizados, dando ao projetista uma posição bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima. Foram surgindo verdadeiros colossos arquitetônicos, submetidos a uma hemorragia energética (e econômica). Esta

situação agravou-se com a crise de energia da década de 70 e com o aumento da população nos centros urbanos na década de 80.

Para superar a crise, a produção de eletricidade teve de crescer muito desde então. Entretanto, esta alternativa traz os inconvenientes do impacto ambiental causado por novas usinas, como: as possíveis inundações e deslocamentos de

populações (hidrelétricas), a poluição e os riscos com a segurança pública (termoelétricas e nucleares). Além disso, a exigência de grandes investimentos do governo nestes projetos implica a redução dos investimentos em outras áreas (saúde, educação e habitação), antagonizando a idéia de progresso embutida nessa política.



Lâmpada Incandescente x Fluorescente Compacta

A alternativa que se mostra mais adequada a esse quadro é aumentar a eficiência no uso de energia. Segundo Geller⁽⁶⁾, é mais barato ECONOMIZAR energia do que FORNECÊ-LA, pois se reduz a necessidade de gastos com o setor público, passando aos fabricantes de equipamentos e aos consumidores os investimentos necessários. Também se reduzem, com essa solução, os custos de produção de materiais construtivos, como o aço e o alumínio, tornando seus preços mais baixos no mercado interno e competitivos no externo. Vale a pena ressaltar que a energia elétrica passa por três fases distintas até chegar na edificação: geração, transmissão, distribuição e consumo. Quanto maior for o desempenho dos componentes de cada uma destas fases, menores serão as perdas de energia do processo como um todo. Ao arquiteto cabe a concepção de projetos que possibilitem a execução de edifícios mais eficientes, logrando com essa postura o conforto dos usuários e o uso racional da energia.

A ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA

O século XX tem sido particularmente fértil para a arquitetura e hoje, quando estamos no final do século, o panorama arquitetônico é jovem e pluralista. Estilos como o pós-modernismo, o *high-tech*, o construtivismo e o deconstrutivismo mostram experiências significativas da preocupação crescente dos arquitetos com a melhoria da qualidade das edificações, inclusive considerando aspectos de eficiência energética e de conforto ambiental.

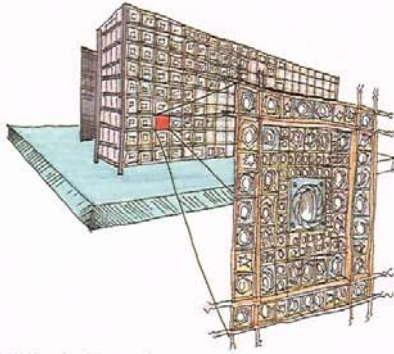
A poderosa cascata no Pavilhão de Sevilha do arquiteto Nicholas Grimshaw, por exemplo, fez com que o edifício consumisse apenas um quarto da energia que seria necessária se fosse climatizado com ar condicionado⁽⁷⁾.



Pavilhão de Sevilha na EXPO - 92

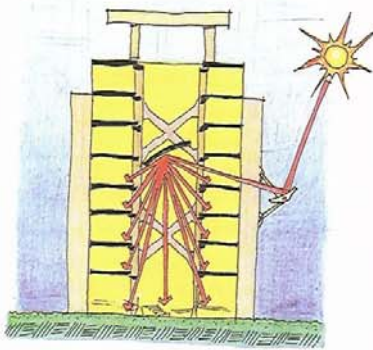
O Instituto do Mundo Árabe de Jean Nouvel teve sua fachada mais importante revestida com dispositivos em forma de diafragma que lembram a tapeçaria árabe⁽⁷⁾. Estes elementos têm sua forma controlada eletronicamente, criando diferentes condições de iluminação e oferecendo proteção contra o sol.

O uso da iluminação natural é também bastante explorado no Hong-Kong and



Instituto do Mundo Árabe com brise em destaque

Shanghai Bank de Norman Foster, que se utiliza da linguagem *high-tech* construindo elementos refletores dentro e fora do edifício⁽⁶⁾. Assim a luz é distribuída pelos diversos andares, aumentando a qualidade do ambiente visual no interior do edifício e reduzindo o consumo de energia para iluminação artificial.

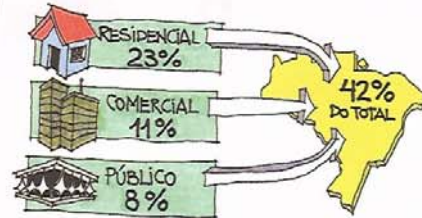


Shanghai Bank

Mas nem tudo é assim! Embora existam vários edifícios que respondem às necessidades de desempenho térmico e visual, também existem muitos exemplos ruins.

A SITUAÇÃO ATUAL

Da energia elétrica consumida no Brasil (229 TWh em 1992), 42% é utilizada por edificações residenciais, comerciais e públicas. Em 1992 isto representou 96 TWh de consumo, o que analogamente equivale a um potencial de energia instalado semelhante a duas hidrelétricas iguais a Itaipu. No setor residencial, o consumo de energia chega a 23% do total nacional, sendo que nos setores comercial e público chega a 11% e 8% respectivamente⁽⁶⁾.



Consumo de energia elétrica no Brasil

Se os arquitetos e engenheiros tivessem mais conhecimento sobre a eficiência energética na arquitetura, ao nível do projeto ou da especificação de materiais e equipamentos, estes valores poderiam ser reduzidos. Além de evitar a necessidade de maior produção de eletricidade no país, isto retornaria em benefício dos usuários como economia nos custos da obra e no consumo de energia.

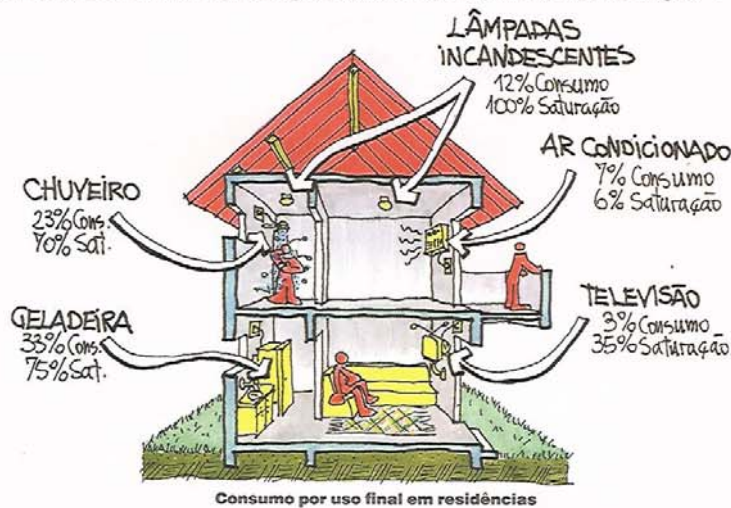
O consumo de energia elétrica no setor residencial foi o que mais cresceu nos últimos anos, sendo que o consumo total de energia no país quase triplicou nos últimos dezoito anos. Neste ritmo, o potencial elétrico instalado no Brasil se tornará insuficiente em breve, tornando inevitável a construção de novas usinas e o conseqüente impacto ambiental. Também é importante ressaltar que as reservas de

combustíveis necessários às usinas termelétricas vão diminuindo com o tempo e que não é possível construir usinas hidrelétricas indefinidamente, pois são limitados os locais que viabilizam sua implantação. Este cenário torna evidente para o mercado futuro de energia elétrica a necessidade de conservação.

CONSUMO NOS SETORES RESIDENCIAL, COMERCIAL E PÚBLICO

É importante que se entenda que em uma indústria a maior parte da energia elétrica consumida provém das máquinas (consumo que independe do projeto arquitetônico), limitando a atuação do arquiteto no sentido de economizar energia. Desta forma, os setores residencial, comercial e público concentram a parte significativa da atuação do projetista em aumentar a eficiência energética nas edificações.

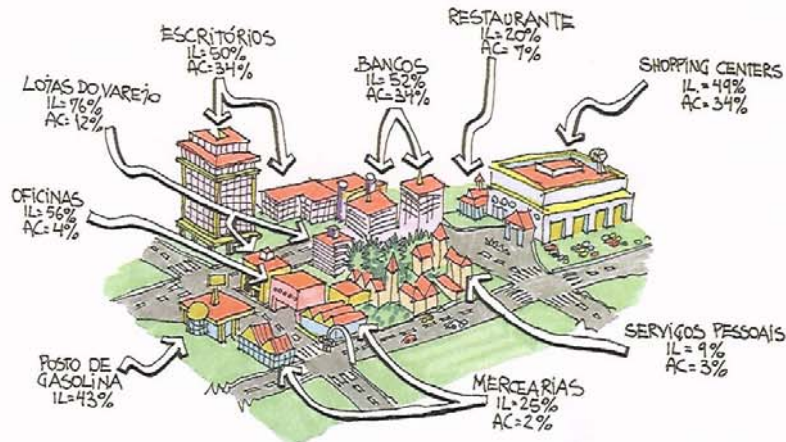
Como já foi dito, do total da produção nacional de energia elétrica, 23% se destinam ao uso em arquitetura residencial. A distribuição deste consumo pode ser vista a seguir⁽⁹⁾.



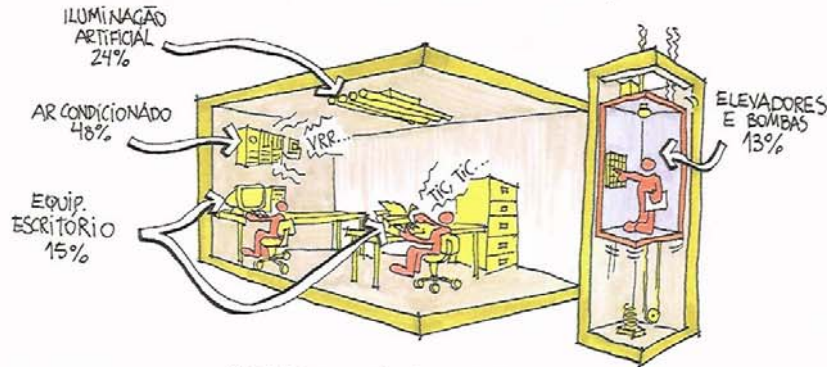
Observa-se que a maior parte da energia consumida em residências (68%) destina-se a geladeiras, chuveiros e lâmpadas. Ao ar condicionado, apenas 7% do total é destinado, porém o uso deste aparelho a nível nacional é ainda pequeno (apenas 6% das residências possuem ar condicionado). Isso indica que, com o desenvolvimento social crescente e a pouca qualidade das construções atuais, a aquisição desse aparelho será cada vez mais significativa, podendo se tornar um problema em breve.

Do total da produção nacional de energia elétrica, 19% são usados em edifícios comerciais e públicos. A distribuição desse consumo segundo o PROCEL⁽¹⁰⁾ pode ser vista na próxima página.

Observa-se que iluminação e ar condicionado são os grandes usos finais da energia nesse setor. Os dados sobre o consumo por metro quadrado para diferentes tipos de uso em edifícios comerciais e públicos no Brasil não são muito fáceis de obter. GELLER ⁽⁶⁾ apresenta os principais usos finais em edifícios comerciais em São Paulo. Observa-se que em média o consumo com iluminação é de 44%, com ar condicionado 20% e com outros equipamentos 36%.



Consumo de energia em edificações comerciais e públicas



Consumo por uso final em edifícios comerciais

Em Salvador, os edifícios comerciais mais antigos (que possuem maior massa térmica) consomem em média 80 kWh/m² ao ano, enquanto que os mais recentes (normalmente envidraçados) consomem em média 130 kWh/m² ao ano ⁽¹¹⁾. No Rio de Janeiro existem edifícios que consomem até 340 kWh/m² ao ano (média feita em quatro edifícios comerciais),

sendo o ar condicionado responsável por 50% deste consumo⁽¹²⁾. Já em Florianópolis a média se situa em 120 kWh/m² ao ano, onde o ar condicionado representa 50% deste valor no verão, chegando a 70% para edifícios envidraçados⁽¹³⁾.

A NECESSIDADE DE NORMALIZAÇÃO

Nos países desenvolvidos, a crise de energia e o alto consumo no setor de edificações levaram à implementação de

normas de eficiência energética em edificações. Atualmente o Brasil participa juntamente com Bangladesh, Botsuana, Índia e Nicarágua, entre outros, da lista de nações que ainda não possuem normas de eficiência energética em edificações. Para que este quadro se reverta é importante o desenvolvimento de normas ligadas à edificação e aos equipamentos responsáveis pelo uso final da energia. Também são necessários o treinamento e a atualização periódicos dos profissionais envolvidos com a edificação com relação ao desenvolvimento tecnológico, para que possam cumprir essas normas.

A ATUAÇÃO DE CADA PROFISSIONAL

É errônea a idéia de associar o trabalho do arquiteto apenas à elaboração do projeto arquitetônico, passando aos outros profissionais a responsabilidade da execução dos projetos complementares e, posteriormente, do edifício. Os problemas precisam ser



Arquiteto como coordenador do processo

corretamente definidos - um processo que tem sido enormemente negligenciado. A matriz de respostas para as diferentes mas inter-relacionadas questões de projeto deve ser coordenada para, ao invés de produzir resultados superpostos, chegar a um resultado integrado. O ideal é que o arquiteto tenha o conhecimento básico de todos os conceitos

relativos ao desempenho energético de edificações para tornar possível e eficiente a multidisciplinaridade de seu projeto.

Os materiais de construção têm uma forte influência sobre as condições de conforto do ambiente interior. A especificação dos materiais exige o entendimento de suas propriedades e de sua adequação às características plásticas do projeto. O uso de isolamento térmico ou proteção solar em paredes, janelas e telhados, o tipo de telha e o tipo de vidro empregado nas janelas devem ser estudados a fim de se evitar ganhos térmicos excessivos e obter melhorias nas condições de conforto no interior. Esta tarefa deve ser balanceada entre engenheiros civis e arquitetos, devendo estes conceitos estar presentes desde as etapas iniciais do projeto arquitetônico.

Um melhor aproveitamento do clima pode ser obtido pelo planejamento apropriado de detalhes da edificação. O paisagismo, a orientação e a escolha da tipologia arquitetônica são fundamentais na adequação do edifício ao clima. Algumas decisões do arquiteto quanto à localização de aberturas, por exemplo, podem melhorar a ventilação cruzada de um ambiente e o ganho de calor solar no inverno. Os dispositivos de sombreamento devem ser usados de maneira a evitar a penetração de radiação solar durante o verão e permitir a entrada da radiação, aquecendo passivamente as salas, nos períodos frios. Além disso, a execução da obra deve ser de acordo com o projeto, garantindo o bom desempenho da edificação. O engenheiro mecânico deve saber dimensionar corretamente o sistema de ar condicionado de um edifício considerando o projeto arquitetônico e os cuidados que o arquiteto teve para redução das cargas térmicas, de forma a evitar desperdício de energia.

O engenheiro eletricitista, ao elaborar o projeto de iluminação, precisa considerar a luz natural e a sua integração com a artificial, bem como especificar luminárias, lâmpadas e reatores mais eficientes e sistemas de controle da iluminação. Também é fundamental a distribuição correta dos pontos de luz, que podem ser direcionados para iluminação de tarefas, possibilitando maior eficiência visual nos ambientes de trabalho e, conseqüentemente, menor consumo de energia.

A energia que a edificação consumirá tem se tornado um forte determinante na decisão dos sistemas de controle ambiental utilizados. A análise do consumo de energia de uma edificação é tão importante para o processo de projeto quanto qualquer das outras ferramentas usadas comumente pelos projetistas. Cabe ao arquiteto coordenar a interlocução dos vários profissionais com o objetivo de melhorar a eficiência energética de sua concepção arquitetônica.

ESTRUTURA DO LIVRO

Após esta breve introdução, onde se participou de diversos momentos históricos, cada qual com suas especificidades culturais, sociais e tecnológicas...



...deve-se lembrar que a arquitetura se encontra hoje em um panorama que torna cada vez mais necessário o controle do consumo de energia. Isto, como já foi dito, induz à necessidade de conceber edificações com melhor eficiência energética. Para que esta realidade se torne possível é urgente aos arquitetos a compreensão do conforto ambiental e, conseqüentemente, o conhecimento das inter-relações de três categorias distintas de variáveis: variáveis climáticas, variáveis humanas e variáveis arquitetônicas. O **segundo capítulo** deste livro apresentará as principais variáveis climáticas de interesse para a arquitetura. A temperatura, o movimento do ar, a umidade relativa e a radiação solar são fatores climáticos que podem ser sabiamente explorados na arquitetura com o intuito de garantir o conforto dos usuários e a conseqüente racionalização do uso da energia.

A seguir, no **terceiro capítulo**, são estudados os conceitos de conforto térmico e visual do homem - variáveis humanas premissas para a eficiência energética na arquitetura.

No **quarto capítulo** estudam-se as principais variáveis arquitetônicas que podem ser trabalhadas como fundamento para projetos de edificações mais adequadas ao clima e às necessidades de conforto do homem. Elementos como a forma e a função arquitetônica, o tipo de fechamentos utilizados na construção e o uso de sistemas artificiais de iluminação e de condicionamento são fatores importantes e decisivos com relação ao desempenho energético da arquitetura.

A seguir será esclarecida a inter-relação de todos estes fatores através da bioclimatologia, tema do **quinto capítulo** do livro. É aí que afloram as questões que tornam possível o controle do consumo de energia de uma edificação. A partir dos

dados climáticos de diversas cidades brasileiras e da carta bioclimática para edificações serão abordadas as estratégias naturais para aumentar a eficiência energética da arquitetura sob o ponto de vista do frio e do calor.

No **sexto capítulo** são vistas as estratégias de projeto mais indicadas para a arquitetura residencial e para a arquitetura comercial. É esclarecida a importância da utilização de sistemas naturais para residências e da otimização dos sistemas artificiais de climatização e iluminação para edifícios comerciais. Ressalta-se a importância dos recursos de simulação para os estudos de consumo de energia em edificações frente à complexidade de trabalhar todas as variáveis simultaneamente.

Após as conclusões sobre o assunto, são acrescentados nos anexos vários conceitos físicos e uma tabela com condutividades térmicas para diversos materiais de construção, utilizada para cálculos de transmitância térmica.

REFERÊNCIAS

1. VITRUVIO, M. L.; [1982]. *Los diez libros de arquitectura*. Editora Iberia S. A., Barcelona.
2. ENARCH'83; [1983]. *Architettura bioclimatica - bioclimatic architecture*. De Luca Editore, Roma, Italy.
3. RUDOFKY, B.; [1981]. *Architecture without architects - a short introduction to non pedigreed architecture*. London: Academy.
4. BICCA, P.; [1984]. *Arquiteto, a máscara e a face*. Projeto Editores Associados, São Paulo, SP.
5. BOESIGER, W.; GIRSBERGER, H.; [1971]. *Le Corbusier 1910-65*. Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona
6. GELLER, H.; [1994]. *O uso eficiente da eletricidade - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*. INEE, ACEEE, Rio de Janeiro, RJ.
7. MEYHÖFER, D.; [1994]. *Contemporary european architects. Vol. 2*. Benedikt Taschen, Germany.
8. AMSONEIT, W; TASCHEN, B; [1994]. *Contemporary european architects. Vol. 1*. Benedikt Taschen, Germany.
9. JANNUZZI, G. M.; SCHIPPER, L.; [1991]. *Structure of electricity in the brazilian household sector*. In: Energy Policy, Butterworth-Heinemann, november.
10. PROCEL; [1988]. *Manual de conservação de energia elétrica em edifícios comerciais e públicos*. Eletrobrás.
11. MASCARENHAS, A. C. R. et al; [1995]. *Conservação de Energia em Edificações Comerciais da Cidade de Salvador*. In: Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS, pp 421-426.
12. LOMARDO, L. L. B.; [1988]. *Consumo de Energia nos Grandes Prédios Comerciais: Estudos de Caso*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Nuclear e Planejamento Energético - UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.
13. TOLEDO, L. M. A.; [1995]. *Uso de Energia Elétrica em Edifícios Públicos e Comerciais de Florianópolis*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, SC.

ESTUDE O CLIMA ANTES
DE TRAÇAR O PRIMEIRO
RABISCO DO PROJETO!!!



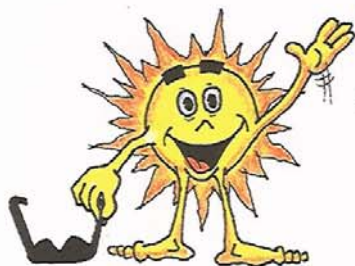
Antes de traçar o primeiro rabisco da concepção arquitetônica que dará origem à edificação, deve-se ter como premissa um estudo do clima e do local do projeto. Este estudo é tão importante quanto o programa de necessidades fornecido pelo cliente. Uma boa arquitetura deverá assistir o programa e a análise climática de forma a responder simultaneamente à eficiência energética e às necessidades de conforto. É importante o conhecimento das diferenças conceituais existentes entre tempo e clima. Tempo é a variação diária das condições atmosféricas, enquanto que clima é a condição média do tempo em uma dada região, baseada em medições (normalmente durante trinta anos). As variações climáticas são atribuídas a elementos de controle, tais como: proximidade à água (pois a água se aquece ou esfria mais rapidamente que a terra); altitude (a temperatura do ar tende a diminuir com o aumento da altitude); barreiras montanhosas e correntes oceânicas.

Os fatores climáticos atuam de forma intrínseca na natureza. A ação simultânea das variáveis climáticas terá influência no espaço arquitetônico construído. Entretanto, por necessidade de tornar esta etapa de análise mais clara e organizada, se achou conveniente dividir o clima em três escalas distintas porém indissociáveis: macroclima, mesoclima e microclima.

MACROCLIMA

As variáveis do macroclima são quantificadas em estações meteorológicas. Podem descrever as características gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações. O conhecimento destas variáveis é fundamental para o projeto de edificações mais adequadas ao conforto do seu ocupante e mais eficientes em termos de consumo de energia.

Os dados climáticos mais difundidos no Brasil são as normais climatológicas, publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia ⁽¹⁴⁾ ⁽¹⁵⁾.



NÃO TENHA MEDO DE RESPEITAR O LOCAL E O CLIMA! A QUANTIDADE DE RESPOSTAS ARQUITETÔNICAS CONTINUARÁ SENDO ENORME E NÃO RESTRINGIRÁ A CRIATIVIDADE DO ARQUITETO!

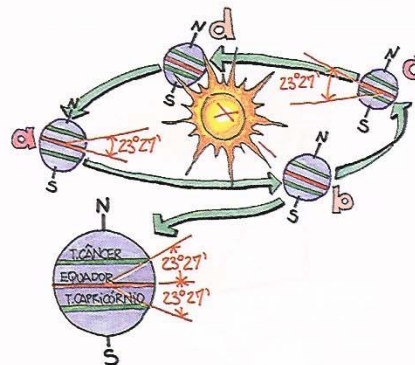
Entretanto, o fato de estes serem compostos por valores médios e extremos limita bastante sua aplicação no estudo da eficiência energética na arquitetura. Devido à variabilidade do tempo meteorológico de dia para dia, e pelo fato de a resposta térmica da edificação estar, muitas vezes, ligada ao dia anterior, a análise das normais, de dias típicos de verão e inverno ou de temperaturas de projeto, não é suficiente para avaliar o desempenho energético de um edifício. O Ano Climático de Referência (TRY, do inglês *Test Reference Year*) é a base de dados mais precisa para uma análise completa da adequação da edificação ao clima local. Fornece a possibilidade de simulação horária do consumo de energia durante um ano, possibilitando a avaliação do custo-benefício de opções mais eficientes. Em Florianópolis foi feito o tratamento dos dados climáticos para algumas cidades do Brasil ⁽¹⁶⁾, para a definição do TRY. Estes dados resultaram em um Ano Climático de Referência para cada cidade, que se mostra muito mais representativo do seu comportamento climático.

RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta. Tanto como fonte de calor quanto como fonte de luz, o Sol é um elemento de extrema importância no estudo da eficiência energética na arquitetura. É possível tirar partido ou evitar a luz e o calor solar em uma edificação, e o critério mais sábio para definir o que fazer é ter como premissas básicas o conforto

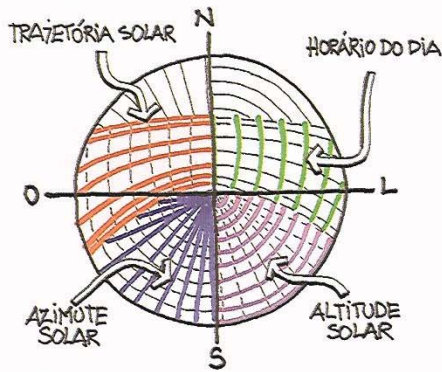
térmico e visual dos ocupantes e a economia de energia. Porém, o que normalmente se faz é adotar um dos enfoques (luz ou calor) como prioridade, deixando o segundo para ser resolvido posteriormente com sistemas artificiais - consumidores em potencial de energia. Para romper esta "tradição", o arquiteto deve compreender de forma integrada os fenômenos térmicos e visuais em uma edificação e, em consequência, as variáveis climáticas das quais estes decorrem.

No movimento de translação, a Terra percorre sua trajetória elíptica em um plano inclinado de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano do equador. É este ângulo que define a posição dos trópicos e isto faz com que os dois hemisférios terrestres recebam quantidades distintas de radiação solar ao longo do ano, caracterizando as estações pelos solstícios de verão e de inverno ("a" e "c") e pelos equinócios de primavera e de outono ("b" e "d").



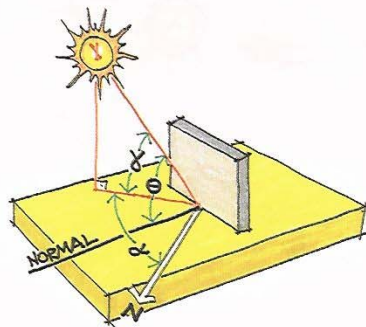
Translação da Terra e localização dos trópicos

A posição do Sol na abóbada celeste pode ser definida através dos ângulos de altitude solar (γ) e de azimute solar (α), ângulos que variam de acordo com a hora do dia e período do ano. De todos os elementos climáticos, a radiação solar é o de comportamento mais conhecido, bastando plotar a altitude e o azimute do sol em uma carta solar para saber onde está o sol em determinado período do ano. O diagrama solar pode ser encontrado em vários sistemas de projeção: estereográfico, equidistante, ortográfico e gnomônico ^{(17) (18)}.

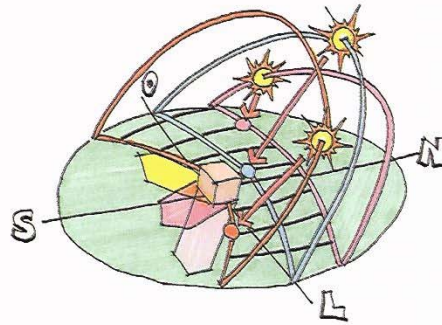


Carta solar

A radiação solar pode ser dividida em direta e difusa. Isto acontece porque, após sua penetração na atmosfera, a radiação começa a sofrer interferências no seu trajeto em direção à superfície terrestre.



Ângulos de altitude solar (γ), azimute solar (α) e incidência (θ)

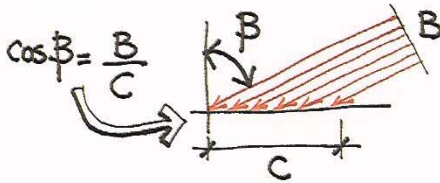


Trajетória do Sol nos solstícios e equinócios

A parcela que atinge diretamente a Terra é chamada radiação direta e sua intensidade depende da altitude solar (γ) e do ângulo de incidência dos raios solares em relação à superfície receptora (θ) ⁽¹⁹⁾.

Além de ser a principal influente nos ganhos térmicos em uma edificação, a radiação solar direta é a fonte de luz mais intensa.

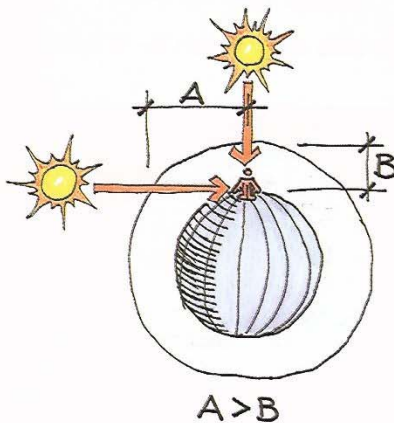
A quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre depende basicamente de três fatores: a lei do cosseno, a dissipação atmosférica e a duração da luz do dia ⁽²⁰⁾. A lei do cosseno estabelece que a intensidade de radiação incidente em uma superfície inclinada é igual à razão entre a intensidade normal e o cosseno do ângulo de incidência.



Lei do cosseno

Quanto menor a altitude solar, mais longo é o trajeto da radiação através da atmosfera e, em consequência, chega menos radiação à superfície terrestre. Esse fenômeno é conhecido como dissipação atmosférica, ou seja, a absorção da radiação solar pelo ozônio, vapores e partículas contidas na atmosfera. É graças a isto que o sol do poente é avermelhado, pois apenas a luz nesta frequência de onda consegue atravessar a camada atmosférica.

De forma semelhante, uma parte da radiação global incidente na atmosfera sofre um espalhamento, tendo sua direção alterada. É a parcela difusa, que é tanto maior, proporcionalmente, quanto mais



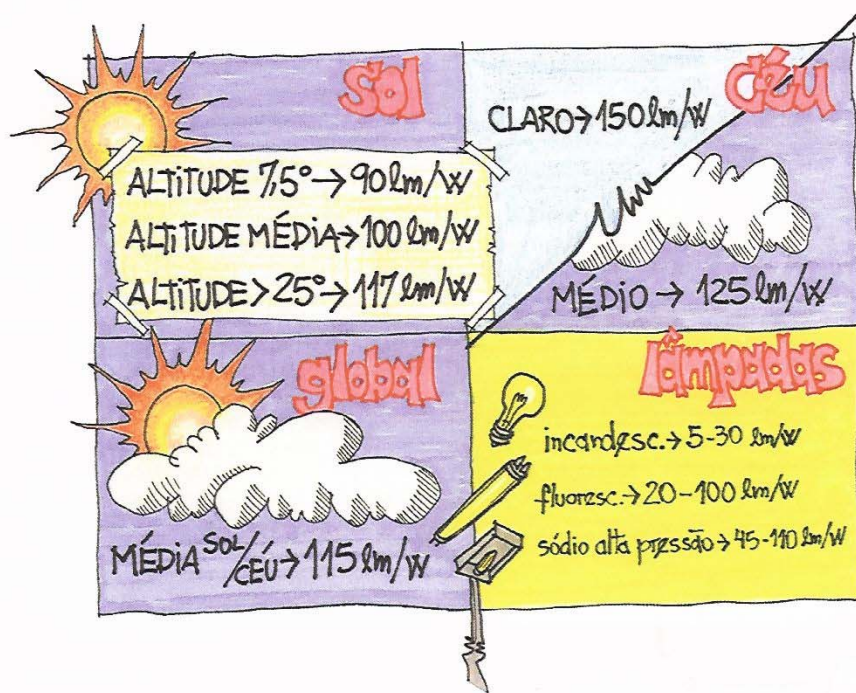
Posição relativa do Sol: poente e a pino

nublado for o céu. Nestes casos, a parcela direta da radiação solar se reduz bastante e todas as fachadas de um edifício tenderão a receber a mesma quantidade de radiação difusa.

Na escala macroclimática, a obtenção dos dados de radiação solar deveria ser feita por medições, de preferência já separando a radiação em suas parcelas direta e difusa. Estes valores poderiam ser medidos diretamente para as superfícies verticais e horizontais (o ideal) ou medidos apenas para as superfícies horizontais, sendo corrigidos posteriormente para as verticais, através de métodos de cálculo. Porém, o que se utiliza normalmente no Brasil são as normais climatológicas (valores médios de horas de sol) ou estimativas feitas a partir dos valores de nebulosidade do Ano Climático de Referência. A medição da radiação solar poderia evitar toda a imprecisão de trabalhar com os dados de nebulosidade, que são registrados de forma visual (sem instrumentos), ficando à mercê da sensibilidade do olho de quem faz a observação. Infelizmente ainda são poucas as estações que medem a radiação solar instantânea (W/m^2) no Brasil. Entre outras pode-se destacar a estação do Labsolar da UFSC, que está integrada a uma rede internacional de medições (BSRN - Base Line Surface Radiation Network).

A luz solar direta ilumina uma superfície normal com 60.000 a 100.000 lux⁽²¹⁾. Este valor é muito intenso para ser usado diretamente sobre o plano de trabalho. Por este motivo muitos projetistas preferem excluir completamente a luz direta do sol no interior. Devido à sua importância como aquecimento solar passivo, a radiação solar direta é muitas vezes considerada indesejável para iluminação pela sua componente térmica. Esta concepção é errônea. Como pode ser visto na figura

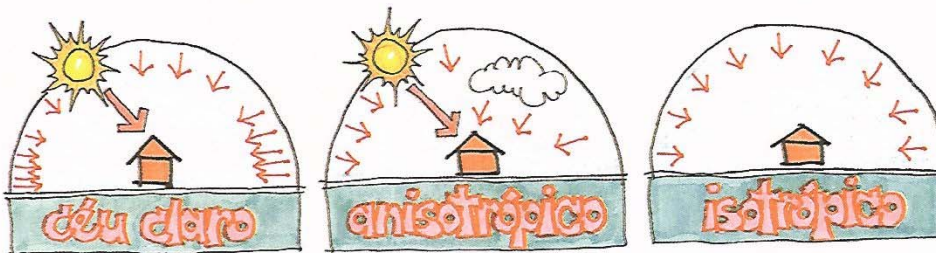
abaixo, a eficácia luminosa da luz natural direta é maior que muitas das alternativas de luz artificial conhecidas. A luz natural direta também introduz menor quantidade de calor por lúmen para o interior de um edifício que a maioria das lâmpadas. Isto mostra que a luz natural pode ser uma estratégia atrativa para diminuir a carga de resfriamento necessária em edifícios por causa de iluminação artificial, assumindo-se que pode ser distribuída e largamente utilizada para este fim ⁽²²⁾.



Eficácia luminosa de diversas fontes de luz

Com relação à luz difusa, é consideravelmente mais baixa que a resultante da luz solar direta, variando entre 5.000 e 20.000 lux para céu encoberto. Com céu limpo, o pequeno tamanho das partículas existentes na atmosfera permite apenas a refração do comprimento de onda da luz azul do espectro, dando ao céu esta cor. Com céu nublado, o vapor de água em suspensão refrata e reflete todos os comprimentos de onda em todas as direções, resultando em luz difusa de cor branca na abóbada celeste.

Embora quantificáveis, tanto a radiação solar quanto a luz natural podem variar enormemente de um instante para outro. Para simplificar esta variação são criados modelos padrões que representam alguns tipos de céu, basicamente o céu limpo (claro), o céu parcialmente nublado (anisotrópico) e o céu nublado (isotrópico). No caso do céu limpo, a radiação direta é preponderante, vinda diretamente do Sol, e a radiação difusa é mais intensa ao redor do Sol e próxima do horizonte. Com relação à luz, o céu e a atmosfera são claros e a luminância varia em relação ao zênite, ao horizonte e à posição do Sol. No caso do céu nublado, há um turvamento da abóbada celeste e o Sol não está visível. A distribuição da radiação e a luminância tendem a ser mais uniformes neste caso. O modelo que considera o céu parcialmente nublado é o mais próximo da realidade, pois representa a maior parte dos dias.



Modelos para céu claro, anisotrópico e isotrópico

TEMPERATURA

É a variável climática mais conhecida e de fácil medição. A variação da temperatura na superfície da Terra resulta basicamente dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação do sol de local para local. Quando a velocidade dos fluxos de ar é pequena, a temperatura é conseqüente, na sua maior parte, dos ganhos térmicos solares do local. Nestes casos a radiação solar que atinge a superfície terrestre é recebida de forma distinta, em conseqüência do tipo de solo e de vegetação, da topografia e da altitude do local. Quando a velocidade do ar é alta, a influência dos fatores locais na temperatura do ar é bem menor. Através dos dados climáticos obtidos nas normais

climatológicas ou em Anos Climáticos (TRY), pode-se conhecer o comportamento da temperatura do ar para um determinado local ao longo do ano. O tratamento dos dados climáticos pode fornecer valores de temperatura média, mínima e máxima mais prováveis para cada período do ano e, desta forma, proporcionar ao arquiteto os dados necessários para a identificação dos períodos de maior probabilidade de desconforto e, conseqüentemente, onde se faz importante sua intervenção a nível de projeto.

É importante ressaltar que, para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode ser diferente em função de variáveis como o vento e a umidade do local.

VENTO

Em uma região climática pode haver variações significativas de direção e de velocidade do movimento do ar. Isto acontece principalmente pelas diferenças de temperatura entre as massas de ar, o que provoca o seu deslocamento da área de maior pressão (ar mais frio e pesado) para a área de menor pressão (ar quente e leve).

A velocidade e a direção do vento são geralmente medidas a 10 m de altura nas estações meteorológicas. Quando possível, estas estações se localizam em regiões abertas, longe dos obstáculos urbanos, pois o movimento de ar sofre grande influência da rugosidade da superfície.

Através de diagramas do tipo “rosa-dos-ventos”, o arquiteto pode conhecer as probabilidades de ocorrência de vento para as principais orientações e sua velocidade. Este instrumento pode auxiliar o projetista na colocação de aberturas, de forma a aproveitar o vento fresco no período quente e evitar o vento forte no período frio.

UMIDADE

A pressão de vapor é a variável climática mais estável ao longo do dia. A umidade do ar resulta da evaporação da água contida nos mares, rios, lagos e na terra, bem como da evapotranspiração dos vegetais.

O ar a uma certa temperatura pode conter uma determinada quantidade de água. Quanto maior a temperatura do ar, menor sua densidade e, em consequência, maior quantidade de água poderá conter. Se o conteúdo de água evaporada no ar é o maior possível para aquela temperatura, diz-se que o ar está saturado. Nesta

condição, qualquer quantidade de água a mais em estado de vapor condensará. É deste fenômeno que se originam a névoa, o orvalho e a chuva. Quando o conteúdo de vapor de água no ar é menor que o máximo possível para aquela temperatura, diz-se que esta proporção (em percentual) é a umidade relativa do ar.

A umidade relativa tende a aumentar quando há diminuição da temperatura e a diminuir quando há aumento da temperatura. Nos locais com alta umidade, a transmissão de radiação solar é reduzida porque o vapor de água e as nuvens a absorvem e redistribuem na atmosfera, refletindo uma parte de volta ao espaço. Em locais com ar muito seco, os dias tendem a ser muito quentes e as noites frias; já em locais úmidos, as temperaturas extremas tendem a ser atenuadas. A umidade do ar atua diretamente na capacidade da pele de evaporar o suor. Deve-se compreender que em altas umidades relativas temos mais dificuldades em evaporar o suor, aumentando a sensação de desconforto térmico. É importante ao arquiteto observar este par de informações - temperatura e umidade - e seu comportamento conjugado ao longo do ano.

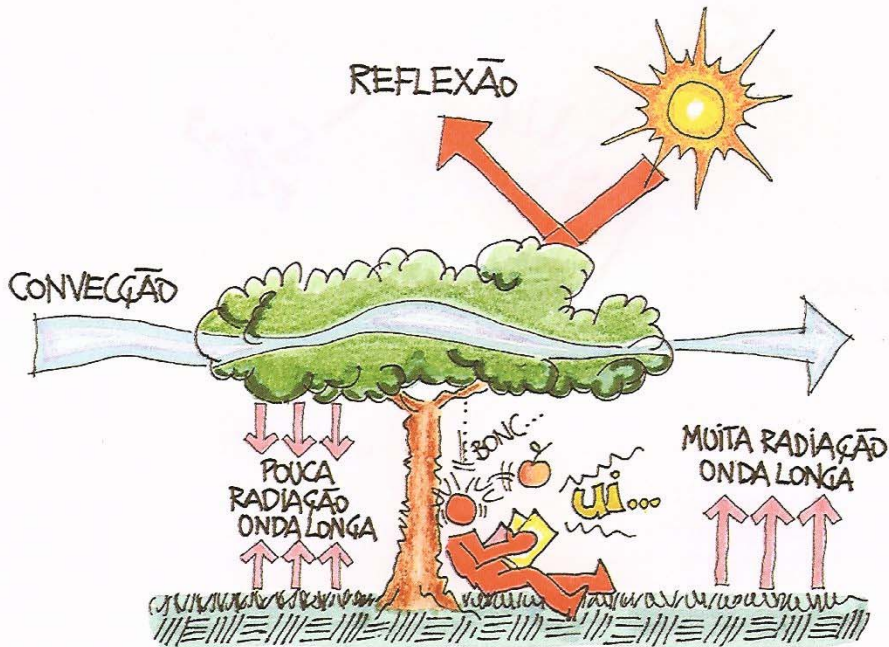
MESOCLIMA E MICROCLIMA

Chegando mais próximas ao nível da edificação, têm-se as escalas meso e microclimáticas. Alguns tipos de mesoclima podem ser identificados facilmente, como por exemplo: o litoral, o campo, as florestas, os vales, as cidades e as regiões montanhosas. É aqui que variáveis como a vegetação, a topografia, o tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais irão influenciar nas condições locais de clima. De forma

semelhante, porém bem mais perto da edificação, tem-se o microclima. Este pode ser concebido e alterado pelo arquiteto. O estudo das variáveis desta escala é fundamental para o lançamento do projeto, pois uma série de particularidades climáticas do local pode induzir a soluções arquitetônicas mais adequadas ao bem-estar das pessoas e à eficiência energética.

RADIAÇÃO SOLAR

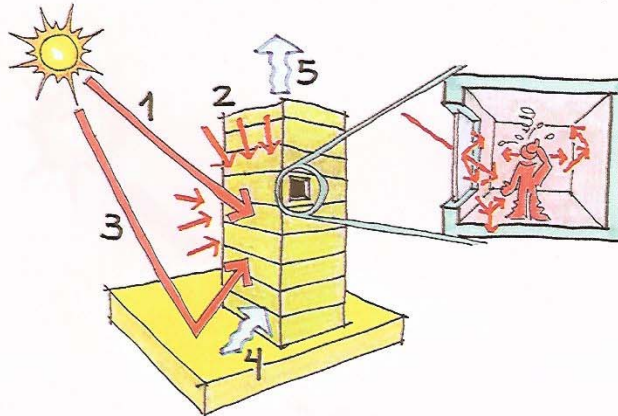
Nas escalas meso e microclimáticas, a radiação solar pode ser interceptada pelos elementos vegetais e topográficos do local. A vegetação é diferente de outras possíveis obstruções no bloqueio da radiação solar. As árvores com folhas caducas, por exemplo, podem sombrear a edificação no verão, enquanto que no inverno permitem a passagem do sol. Em locais arborizados, a vegetação pode interceptar entre 60% e 90% da radiação solar, causando uma redução substancial da temperatura da superfície do solo ⁽²³⁾. Isto acontece porque o vegetal absorve parte da radiação solar para seu metabolismo (fotossíntese). A parcela de calor emitida da árvore para o solo também é bem menor que a céu aberto. Além disso, o movimento do ar entre as folhas retira grande parte do calor absorvido do sol.



Árvore e radiação solar

A radiação solar é um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios. Na escala da edificação, a transferência de calor por radiação pode ser dividida em cinco partes principais: radiação solar direta (onda curta) (1), radiação solar difusa (onda curta) (2), radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta) (3), radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa) (4) e radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa) (5) ⁽²⁴⁾ (figura abaixo). As duas primeiras (1 e 2) são variáveis macroclimáticas. A radiação de onda curta refletida pelo solo e pelo entorno (3) depende das características da superfície refletora (albedo). O albedo é uma variável adimensional, relativa a cada tipo de superfície refletora. Quanto maior o albedo, maior a capacidade da superfície de refletir a radiação - uma superfície gramada, por exemplo, tem albedo de 0,2, que significa que apenas 20% da radiação solar incidente é refletida. Após receber a radiação solar, o solo se aquecerá, emitindo em seguida radiação térmica de onda longa (4). Este fenômeno também ocorre com a edificação (5).

A radiação solar de onda curta que entra por uma abertura no edifício incide nos corpos, que se aquecem e emitem radiação de onda longa. O vidro, sendo praticamente opaco à radiação de onda longa, não permite que o calor encontre passagem para o exterior, superaquecendo o ambiente interno. Este fenômeno é conhecido como efeito estufa e é o maior transformador da radiação solar em calor no interior de uma edificação ⁽²⁵⁾.



Trocas de calor em edifícios e efeito estufa

Além dos fenômenos térmicos, a radiação solar é a principal fonte de luz natural. Uma parte da luz que penetra em um edifício, principalmente sua parcela direta, é absorvida e convertida em calor. Na escala microclimática se pode tirar partido de fontes indiretas de luz. Quando uma superfície refletora é iluminada por uma fonte de luz primária como a luz solar ou a luz do céu, resulta em uma fonte indireta de luz. A qualidade desta luz é virtualmente idêntica à luz do céu admitida através de uma abertura de tamanho similar. Se a superfície refletora for diretamente iluminada pelo sol, sua luminância pode atingir entre 5.000 e 10.000 cd/m^2 , ou seja, luminância superior à da abóbada celeste (entre 500 e 2.000 cd/m^2). De forma similar, um material translúcido pode ser utilizado como uma fonte indireta de luz.

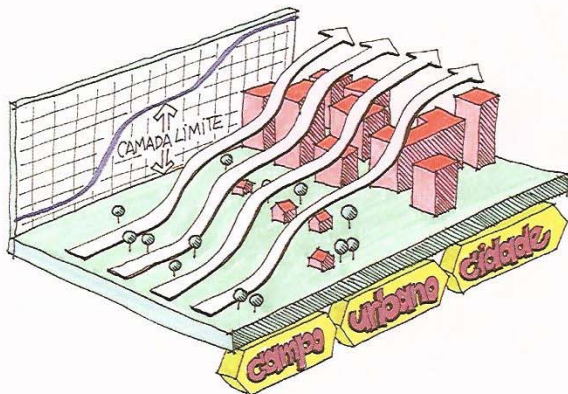
TEMPERATURA

Nas escalas meso e microclimáticas, o arquiteto pode tirar vantagens das propriedades de inércia térmica da terra para amenizar as temperaturas no interior da edificação. O solo se mantém em temperaturas mais amenas que o ar exterior. Após ser aquecida pelo sol, a terra retém o calor por muito mais tempo que uma habitação convencional. Esta característica é conhecida como inércia térmica. A terra ganha ou perde calor lentamente se submetida a temperaturas respectivamente mais altas ou mais baixas. O calor armazenado no solo pode ser útil em locais onde as noites são frias mas os dias são quentes, ou seja, onde há grande amplitude diária de temperatura. Se a edificação for integrada à terra (edificações semi-enterradas, taludes, coberturas com terra), poderá absorver esse calor nos horários mais frios do dia, possibilitando conforto aos usuários. Esta solução pode ser bastante vantajosa nos climas desérticos, onde as amplitudes térmicas diárias são muito grandes.

VENTO

As condições do vento local podem ser alteradas com a presença de vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais. Pode-se tirar partido do perfil topográfico de um terreno para canalizar os ventos, desviando-os ou trazendo-os para a edificação.

O movimento do ar também sofre grande influência da rugosidade da superfície. Em geral a velocidade do vento aumenta com a altitude. Devido aos obstáculos encontrados na cidade (como edifícios, por exemplo), a velocidade média do vento é mais baixa que em locais abertos (campo). O tamanho dos obstáculos influencia no gradiente vertical.



Vento e rugosidade do terreno

Também há mais turbulência e direcionamento mais variável no vento da cidade que em campo aberto. É importante lembrar que o desenho urbano pode canalizar o fluxo de ar de maneira a evitar o vento indesejável e aproveitar o desejável. Alguns obstáculos podem ser implantados na escala microclimática para obstruir a passagem do vento. No desenho paisagístico também se pode pensar na vegetação como proteção dos ventos fortes ou como condutoras das brisas de verão para a arquitetura ⁽²⁶⁾.

UMIDADE

A umidade pode ser modificada nas escalas mais próximas à edificação na presença de água ou de vegetação. Nas proximidades das massas de água (lagos, fontes, espelhos de água) o ar se umidifica, podendo ser utilizado para refrescar as edificações. Já o vegetal umedece o ar do seu entorno pela evapotranspiração. Pode ser útil em locais onde o clima é muito seco. Uma superfície gramada, por exemplo, reflete menor quantidade de radiação que uma superfície seca da mesma cor, em parte por absorver o calor para seu metabolismo, em parte pela sua evapotranspiração e em parte pela facilidade de dissipação do calor por convecção entre as folhas.

Dito de forma mais sintética, o arquiteto deve ter uma idéia sobre o comportamento das variáveis climáticas do local do projeto ao longo do ano. Desta forma poderá calçar-se de dados suficientes para identificar os períodos de maior probabilidade de desconforto e, conseqüentemente, onde se faz importante sua intervenção a nível de projeto.

REFERÊNCIAS

14. Normais Climatológicas, (1931-1960); [1979]. Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, RJ.
15. Normais Climatológicas, (1961-1990); [1992]. Departamento Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF.
16. GOULART, S. V. G.; [1993]. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, SC.
17. FONSECA, M. R.; [1983]. Desenho solar. Ed. Projeto, IAB, Bahia.
18. SZOKOLAY, S. V.; [1980]. *Environment science handbook for architects and builders*. The Construction Press Ltd., Lancaster, UK.
19. EVANS, J. M.; SCHILLER, S.; [1994]. *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. 3ª ed. Serie de Ediciones Previas. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Buenos Aires, Argentina.
20. KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V.; [1977]. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Paraninfo S. A., Madrid, Espanha.
21. PEREIRA, F. O. R.; [1993]. Luz solar direta: Tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia da energia na edificação. In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Florianópolis, SC, pp 257-267.
22. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES; [1992]. *Energy conscious design: a primer for architects*. B. T. Batsford Ltd., London, UK.
23. OLGAY, V.; [1973]. *Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4ª ed. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
24. McCLUNEY, W. R.; [1993]. The benefits of using window shades. *ASHRAE Journal*, November/93, pp. 20-27.
25. ROMERO, M. A. B.; [1988]. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. Ed. Projeto, São Paulo, SP.

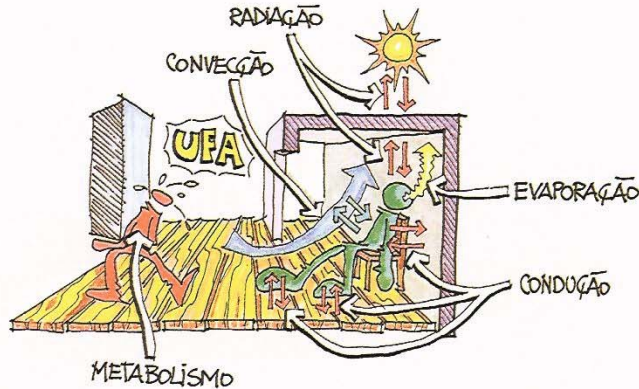
Embora o clima seja bem distinto em qualquer região da Terra, o ser humano é biologicamente parecido em todo o mundo, sendo adaptável a diferentes condições climáticas ao se utilizar de mecanismos culturais como a vestimenta, a arquitetura e a tecnologia. Antes de entender o funcionamento destes mecanismos é fundamental o estudo das variáveis humanas relevantes ao tema deste livro: o conforto térmico e o conforto visual. A importância destas variáveis se baseia na premissa de que existe uma forte correlação entre conforto e consumo de energia.



CONFORTO TÉRMICO



homem é um ser homeotérmico, ou seja, a temperatura interna do organismo tende a permanecer constante independentemente das condições do clima. Com o uso do oxigênio, o organismo promove a queima das calorías existentes nos alimentos (processo conhecido como metabolismo), transformando-as em energia. Assim é gerado o calor interno do corpo. Entretanto, sempre existem trocas térmicas entre o corpo humano e o meio. Na figura abaixo observa-se que estas trocas podem ocorrer por condução, convecção, radiação e evaporação.



Trocas térmicas entre o corpo humano e o meio

MECANISMOS TERMORREGULADORES

Havendo ganho ou perda de calor, pode ocorrer uma tendência ao aumento ou à diminuição da temperatura interna do organismo (situada por volta de 37°C), podendo causar danos à saúde e até mesmo a morte. Por este motivo existem mecanismos com a finalidade de manter a temperatura interna constante, chamados termorreguladores, ativados quando as condições térmicas do meio ultrapassam certas faixas. Na presença de frio, os mecanismos

termorreguladores são ativados com o objetivo de evitar perdas térmicas do corpo ou aumentar a produção interna de calor. O primeiro mecanismo termorregulador a ser disparado é a vasoconstrição periférica, ou seja, os vasos capilares mais próximos à pele se contraem, enquanto os mais próximos aos órgãos internos se dilatam. Desta forma a pele se resfria, atingindo uma temperatura o mais próxima possível à do meio, evitando perdas de calor por radiação e por convecção⁽²⁶⁾. O segundo mecanismo termorregulador ativado na presença de frio é o arrepio. O movimento muscular que provoca o arrepio aquece a pele por atrito, além de

aumentar sua rugosidade, evitando perdas de calor por convecção. Após o arrepio, se o frio ainda for agressivo, haverá o aumento do metabolismo entre 30% e 100%, que pode se manifestar pelo tremor dos músculos. Assim o calor produzido internamente será maior, compensando as perdas do organismo para o meio. A partir daí o homem lança mão de mecanismos instintivos (como curvar o corpo, diminuindo a área de exposição da pele) e culturais (como esfregar as mãos, fazer alguma atividade física ou ingerir alguma bebida quente) e faz uso de suas habilidades (tecer roupas e construir abrigos) para melhor se adaptar ao meio. No caso de calor, o primeiro mecanismo termorregulador a ser disparado é a vasodilatação periférica, que, ao contrário da vasoconstrição periférica, aumenta a temperatura da pele, incrementando perdas de calor por convecção e por radiação. O segundo mecanismo disparado é também o mais importante para a sensação de conforto térmico: o suor. Os poros sempre estão produzindo o suor, que vai sendo evaporado no seu interior. Esta evaporação incrementa as perdas de calor do corpo. Quando a temperatura da pele aumenta muito ou quando o ar está muito úmido, o suor não pode ser totalmente evaporado, ficando na superfície.

Também pode haver a redução automática do metabolismo a fim de diminuir a produção interna de calor no organismo.

CONCEITO DE CONFORTO

Segundo a ASHRAE ⁽²⁷⁾, conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e

suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

VARIÁVEIS DE CONFORTO TÉRMICO

• Variáveis Ambientais

Do meio se pode extrair os valores de temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar, através de instrumentos como o termômetro de bulbo seco, o termômetro de globo, o psicrômetro giratório e o anemômetro.

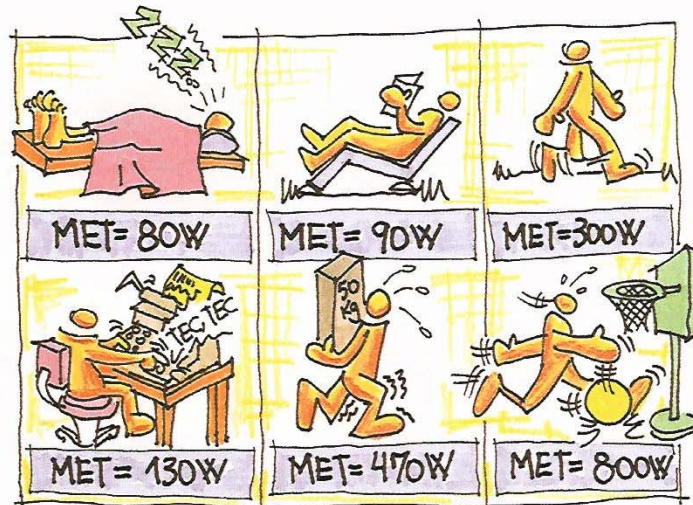


Instrumentos de medição

Além destas variáveis (ambientais), a atividade física e a vestimenta também interagem na sensação de conforto térmico do homem.

• Atividade Física

Quanto maior a atividade física, tanto maior será o calor gerado por metabolismo. É importante ao arquiteto saber a função de sua arquitetura de forma a prever o nível de atividade realizado no seu interior, tirando daí algumas premissas sobre a sensação de conforto térmico das pessoas. Em academias de ginástica, por exemplo, onde a atividade física é muito intensa, é recomendável o uso abundante de ventilação (tanto para resfriamento quanto para higiene do ar). Já em uma sala de aula, embora se deva ter boa ventilação, é necessário dosificar os fluxos de ar de forma a evitar que atrapalhem a atenção ou que façam voar papéis. Na figura abaixo são apresentados os valores de metabolismo para algumas atividades físicas segundo a norma ISO 7730 ⁽²⁸⁾. Para obter mais detalhes sobre atividades físicas e seu respectivo metabolismo é interessante recorrer à ASHRAE ⁽²⁷⁾ ou à ISO 7730 ⁽²⁸⁾.



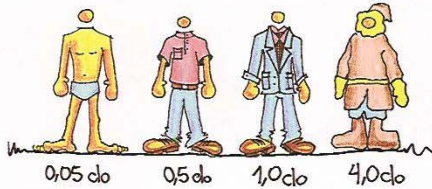
Atividades físicas e respectivo metabolismo

• Vestimenta

A resistência térmica da roupa também é de grande importância na sensação de conforto térmico do homem. Esta variável é medida em "clo": do inglês *clothing*. A pele troca calor por condução, convecção e radiação com a roupa, que por sua vez troca calor com o ar por convecção e com

outras superfícies por radiação. Quanto maior a resistência térmica da roupa, tanto menor serão suas trocas de calor com o meio. Poderia parecer estranho o fato de em climas muito quentes e secos se utilizar roupas longas. Neste caso, o suor evaporado permanece entre a pele e a roupa, criando um microclima mais ameno, além de diminuir as perdas de líquido do corpo por evaporação. Na figura

seguinte estão os valores dos índices de resistência térmica de alguns tipos de vestimenta. Maiores detalhes poderão também ser obtidos na ASHRAE ⁽²⁸⁾ ou na ISO 7730 ⁽²⁹⁾.



Resistência térmica de algumas vestimentas

VOTO MÉDIO PREDITO

Fanger ⁽²⁹⁾ derivou uma equação geral de conforto para calcular a combinação das variáveis ambientais incluindo temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade

relativa, temperatura do ar, atividade física e vestimenta. Através de trabalho experimental, Fanger avaliou pessoas de diferentes nacionalidades, idades e sexos, obtendo o voto médio predito (PMV - *predicted mean vote*) para determinadas condições ambientais. O voto médio predito consiste em um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. O PMV para conforto térmico é zero, para o frio é negativo e para o calor é positivo. A partir daí, foi implementado o conceito de porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD - *predicted percentage of dissatisfied*). A norma ISO 7730 de 1984 adotou as pesquisas de Fanger, recomendando que, para espaços de ocupação humana termicamente moderados, o PPD deve ser menor que 10%, o que corresponde a uma faixa do PMV de -0,5 a +0,5. Na figura abaixo observa-se a curva a que chegou Fanger ao relacionar o PMV e o PPD ⁽²⁹⁾.

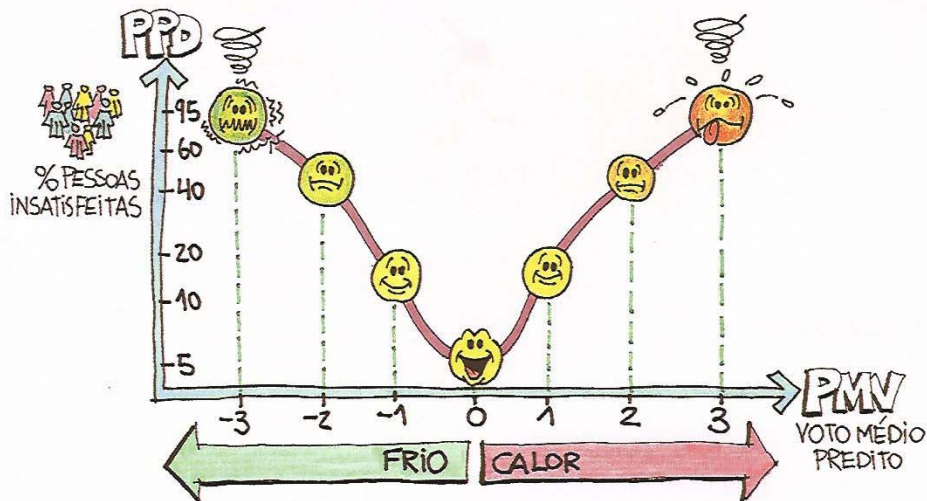
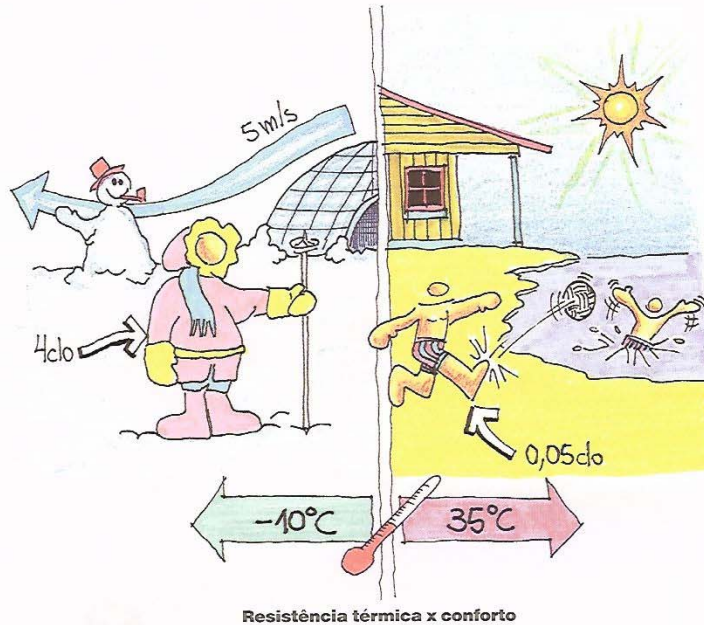


Gráfico PMV x PPD

Na figura abaixo observa-se que a resistência térmica da roupa influencia bastante na sensação de conforto de uma pessoa. Em climas muito frios, por exemplo, além de necessitar de roupas com maior resistência térmica, talvez seja preciso que a pessoa aumente seu metabolismo, praticando alguma atividade física, para sentir conforto térmico.



CONFORTO VISUAL

O conforto visual é o principal determinante da necessidade de iluminação em um edifício. A boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento. Os ambientes construídos (internos e externos) são iluminados para permitir o desenvolvimento de tarefas visuais (leitura, visão, manufatura, consertos etc.). É portanto muito importante que se saiba o que influencia a habilidade das pessoas em desempenhar estas tarefas. A consideração dos aspectos fundamentais a respeito da iluminação de ambientes a nível de projeto é, sem dúvida, a medida mais efetiva no controle das qualidades visuais destes ambientes. Conforto visual é entendido como a existência de um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes. Estas condições, que estão relacionadas aos requisitos necessários para a ocorrência tranqüila do processo visual (visão), podem ser classificadas como seguem⁽³⁰⁾:

- iluminância suficiente;
- boa distribuição de iluminâncias;
- ausência de ofuscamento;
- contrastes adequados (proporção de luminâncias);
- bom padrão e direção de sombras.

Deve-se ressaltar que a boa distribuição de iluminâncias não é sinônimo de uniformidade e que o contraste e o padrão das sombras dependem da tarefa visual.

NÍVEL DE ILUMINAÇÃO

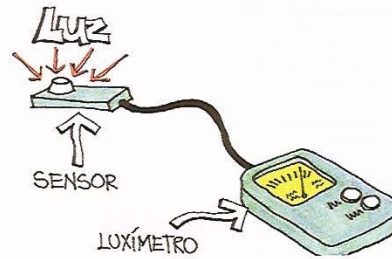
É importante balancear a qualidade e a quantidade de iluminação em um ambiente, bem como escolher adequadamente a fonte de luz natural ou artificial. Torna-se difícil, no entanto, estimar as preferências humanas à iluminação, visto que este fator é subjetivo e varia conforme o sexo e a idade da pessoa, a hora do dia e as relações contextuais com o local. O emprego preferencial da luz natural permite às pessoas maior tolerância à variação do nível de iluminação. Também se pode dizer que, quanto mais complicada a tarefa a ser desempenhada em um ambiente e quanto mais velha for a pessoa, tanto maior deverá ser o nível de iluminação de um local. A iluminação insuficiente pode causar fadiga, dor de cabeça e irritabilidade, além de provocar erros e acidentes ⁽³⁰⁾.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NB 57, fixa as iluminâncias mínimas a serem atingidas em função do tipo de tarefa visual ⁽³¹⁾.

De forma simplificada pode ser feita uma verificação inicial do nível de iluminação necessário em um ambiente conforme a tabela abaixo. Entretanto, para uma verificação mais precisa, os valores constantes na NB 57 devem ser seguidos.

Classificação	Nível de iluminação a ser obtido	Tarefa
Baixa	100 a 200 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Circulação • Reconhecimento facial • Leitura casual • Armazenamento • Refeição • Terminais de vídeo
Média	300 a 500 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura/escrita de documentos com alto contraste • Participação de conferências
Alta	500 a 1.000 lux	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura/escrita de documentos com fontes pequenas e de baixo contraste • Desenho técnico

O sensor a ser utilizado para desenvolver as medições de nível de iluminação é uma fotocélula (elemento sensível à luz). O aparelho geralmente destinado a estas medições é chamado luxímetro.



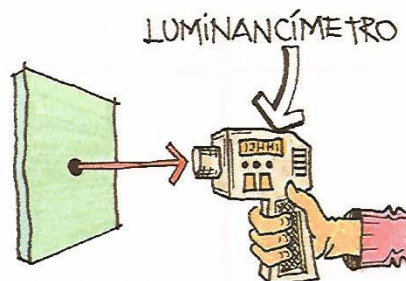
CONTRASTE

Contraste é definido como a diferença entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto. Em pleno dia podemos perceber diferenças de luminâncias de até 1%, mas sob condições precárias de iluminação até diferenças de 10% podem passar despercebidas. A sensibilidade ao contraste melhora com o aumento da luminância, que por sua vez é função da iluminação, até certos limites (possibilidade de ocorrer ofuscamento). Uma aplicação importante da sensibilidade ao contraste é a iluminação de sinalização de emergência tipo “saída”. No caso de incêndio deve haver um alto contraste entre o sinal e o ambiente cheio de fumaça para permitir que o mesmo seja visível.

A avaliação do contraste pode ser feita de forma simplificada observando-se as seguintes taxas de proporção de luminâncias:

Proporção	Relação
Entre a tarefa e o entorno imediato	3:1
Entre a tarefa e superfícies escuras mais afastadas	10:1
Entre a tarefa e superfícies claras mais afastadas	0,1:1
Entre a fonte de luz (natural ou artificial) e superfícies adjacentes	20:1
Máximo contraste em qualquer parte do campo de visão	40:1

As luminâncias podem ser medidas por um fotômetro especial chamado luminancímetro. Tal instrumento mede luz proveniente de um ângulo sólido que varia de 20° até 0,33°. Os levantamentos da distribuição de luminâncias no campo de visão mantido por uma pessoa, no desenvolvimento de determinada tarefa visual, podem ser úteis na solução de problemas visuais existentes.



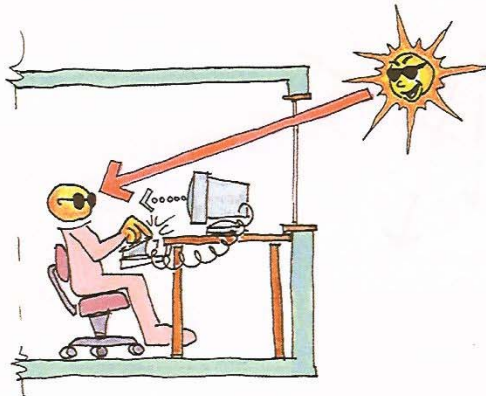
OFUSCAMENTO

Quando o processo de adaptação não transcorre normalmente devido a uma variação muito grande da iluminação e/ou a uma velocidade muito grande, experimenta-se uma perturbação, desconforto ou até perda na visibilidade, que é chamada ofuscamento. O ofuscamento pode ocorrer devido a dois efeitos distintos:

- contraste: caso a proporção entre as luminâncias de objetos do campo visual seja maior do que 10:1;
- saturação: o olho é saturado com luz em excesso; esta saturação ocorre normalmente quando a luminância média da cena excede 25.000 cd/m².

Os ofuscamentos podem ser classificados como desconfortáveis ou perturbadores e inabilitadores (figura abaixo). Os primeiros não impedem necessariamente o desenvolvimento da tarefa visual. São atribuídos à tendência do olho de se fixar em objetos ou pontos brilhantes dentro do campo visual (fontes de luz ou reflexos intensos em superfícies muito polidas). O grau de desconforto produzido por luminárias é função de quatro parâmetros: luminância da fonte, tamanho da fonte, ângulo entre a fonte e a linha de visão do observador e a capacidade de adaptação do observador. O ofuscamento inabilitador impede o desenvolvimento da tarefa visual, o que pode ser muito perigoso em certas circunstâncias. Este tipo de ofuscamento pode ocorrer de três maneiras:

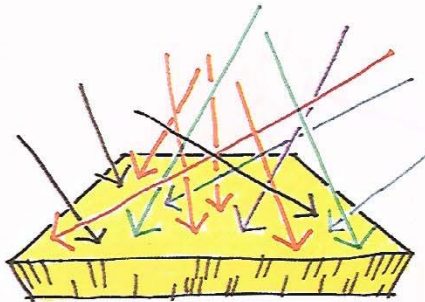
- Espalhamento de luz pelo cristalino, produzindo uma luminância na retina, encobrindo a imagem da cena;
- Tempo insuficiente para o olho adaptar-se a uma diferença de luminâncias;
- Imagens fantasmas produzidas por *flash* de câmeras fotográficas, visão do Sol, faróis; o processo de adaptação retinal lento sofre um distúrbio devido à luz excessiva; o cérebro se confunde e continua a ver imagens da fonte de luz, alternando o positivo e negativo numa frequência decrescente; a visão é restaurada após cinco a dez minutos.



Tipos de ofuscamento

ILUMINAÇÃO ESCALAR E VETOR ILUMINAÇÃO

As condições de iluminação são usualmente descritas, medidas ou especificadas em termos de iluminância num dado plano, mais freqüentemente num plano de trabalho horizontal (tomada a uma altura entre 0,75 e 0,90 m) e, em algumas vezes, vertical ou inclinado. Em outras palavras, iluminação planar. Entretanto, isto não descreve totalmente as condições de iluminação. Uma certa iluminação pode ser produzida por um estreito raio de luz, vindo de uma determinada direção, ou por um ambiente onde a luz vem de todas as direções. Um sensor de luz plano registra a luz proveniente de um hemisfério e não distingue entre um raio de luz e um ambiente difuso. Existem certos ambientes, tais como praças de esporte, palcos, museus, estradas etc., onde o objeto central da tarefa visual é essencialmente tridimensional; nestes casos a iluminação planar oferece pouca informação sobre as reais condições de iluminação.



Iluminação planar



Iluminação no plano de trabalho

* Iluminação escalar é a iluminância média recebida por uma pequena esfera, proveniente de todas as direções, isto é, o fluxo total incidente na esfera dividido pela sua superfície (medido em lux).

* Vetor iluminação é uma figura composta, apresentando magnitude e direção. Sua magnitude é a diferença máxima de iluminação entre dois pontos diametralmente opostos na superfície de uma pequena esfera. Sua direção é dada pelo diâmetro que liga os dois pontos que apresentam a máxima diferença.

Em geral a iluminação uniformemente distribuída no plano de trabalho é desejada em ambientes industriais e comerciais, associada com efeitos direcionais e sombras da iluminação geral, para acentuar a profundidade e forma dos objetos. As sombras resultantes estão diretamente associadas a características de direcionalidade e intensidade do campo luminoso.

A taxa Vetor Iluminação/Iluminação Escalar, associada com a direção do vetor, é um parâmetro utilizado para estimar a direcionalidade da luz e suas qualidades de modelação de objetos. Esta taxa pode ser determinada para qualquer ponto no espaço e, teoricamente, varia entre 0 e 4, sendo que, na prática, os valores se situam entre 0,25 e 3,5. Um valor alto é necessário para revelar forma e textura e pode resultar num ambiente mais dramático, entretanto pode dificultar o reconhecimento de certos detalhes (por exemplo, feições). Em ambientes difusos, valores baixos para vetor/escalar podem ser mais agradáveis, mas não apresentam boa definição de sombras.



Ambiente Dramático x Ambiente Difuso

Todas as condições físicas da luz, analisadas anteriormente, podem ser resultantes de fontes de luz natural ou artificial. Salvo algumas exceções (câmaras escuras, boates, cinemas etc.), a maioria dos espaços ocupados pelo homem necessita abundantemente de luz. A luz natural é qualitativamente superior à luz artificial. Sua variabilidade, por exemplo, permite ao homem a percepção espaço-temporal do lugar onde se encontra. O jogo de intensidades diferenciadas de luz, sombras e de reprodução das cores constitui informações espaço-temporais que a luz natural fornece ao homem, fundamentais ao funcionamento do seu relógio biológico.

A iluminação artificial, embora mais limitada, permite ao homem estender suas atividades em momentos em que a luz natural não é suficiente (a noite, por exemplo). Isto tudo faz com que o arquiteto necessite pensar em iluminação de forma a integrar fontes de luz naturais e artificiais. Assim, além de conceber ambientes mais agradáveis, onde o conforto visual é sempre possível, o projetista pode (como se verá mais adiante) tornar seu projeto mais eficiente com relação ao consumo de energia elétrica necessária para o sistema de iluminação artificial.

Após estes conceitos, é importante ressaltar que o conforto térmico e o conforto visual devem ser considerados em conjunto no projeto arquitetônico. Esta visão integrada torna possível o bom desempenho energético da arquitetura, que, sendo adequada às necessidades do usuário, consumirá menor quantidade de energia para condicionamento térmico e iluminação.

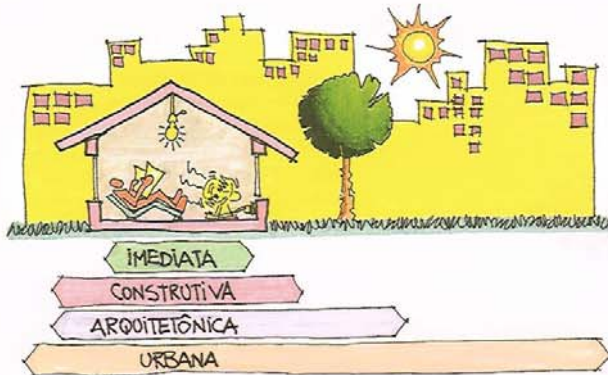
REFERÊNCIAS

26. RAMON, F.; [1980]. *Ropa, sudor y arquitecturas*. H. Blume Ediciones. Madrid, Espanha.
27. ASHRAE; [1993]. *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.
28. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 7730; [1984]. *Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. Geneva.
29. FANGER. P. O.; [1972]. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill, New York, USA.
30. EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE - GENERAL FOR ENERGY; [1994]. *Daylighting in buildings*. Energy Research Group, School of Architecture, University College Dublin Richview Clonskeagh, Dublin, Ireland.
31. ABNT; [1991]. NB 57 - *Iluminância de interiores*.

Desde o início de sua história a arquitetura surge como uma forma de possibilitar ao homem um habitat seguro e através do qual ele possa se defender também das hostilidades climáticas do meio. Primeiro ocupando cavernas e posteriormente fazendo arquitetura, o ser humano foi tornando seu abrigo cada vez mais adequado às suas necessidades - uma espécie de filtro a ser concebido pelo arquiteto de forma a responder, entre outras questões, aos problemas de adaptação do homem ao ambiente.

Para que isto se torne possível, é necessário o estudo de variáveis arquitetônicas como a forma, a função, os tipos de fechamento e os sistemas de condicionamento (climatização e iluminação). Estas variáveis interagem simultaneamente com o meio ambiente e com o homem.

Do arquiteto dependem a adequação da forma arquitetônica à sua função (e vice-versa) e a correta especificação dos fechamentos e sistemas de condicionamento utilizados no projeto. O projeto consciente deve buscar tirar partido de cada uma destas variáveis para garantir ao edifício uma perfeita interação entre o homem e o meio em todas as escalas (urbana, arquitetônica, construtiva e imediata).



Escalas da edificação

A FORMA

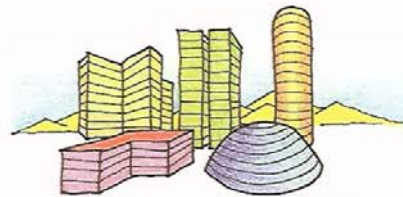
A forma arquitetônica pode ter grande influência no conforto ambiental em uma edificação e no seu consumo de energia, visto que interfere diretamente sobre os fluxos de ar no interior e no exterior e, também, na quantidade de luz e calor solar recebidos pelo edifício. A luz natural, além de ser uma variável ambiental, pode ser enfocada como elemento de projeto. Seu caráter simbólico, por exemplo, foi explorado com maestria nas catedrais do período gótico, onde a luz representava a própria divindade.

Com relação ao conforto térmico, a influência da forma arquitetônica já foi evidenciada em vários locais do mundo, como na cidade de Marrakesh, em Marrocos, onde as edificações foram construídas de forma a canalizar para o interior da cidade a brisa que vem do mar (úmida e refrescante). Da mesma maneira, o vento quente continental é desviado pela forma das edificações, possibilitando conforto na escala urbana ⁽³²⁾.



Traçado urbano em Marrakesh

A quantidade de radiação solar que incide em cada superfície externa de uma arquitetura é variável segundo a orientação e a época do ano. Isto significa que o mesmo volume de espaço interior pode ter formas diversas, apresentando comportamentos térmicos e visuais distintos (figura abaixo). Assim, a forma arquitetônica é uma importante variável para as condições interiores de conforto e, em consequência, para o desempenho energético da edificação. Apenas a diferente distribuição das janelas em um volume dado, por exemplo, colocando-as em outra superfície ou modificando a área de envidraçamento, já implica variações térmicas e visuais do microclima interno ⁽³³⁾.



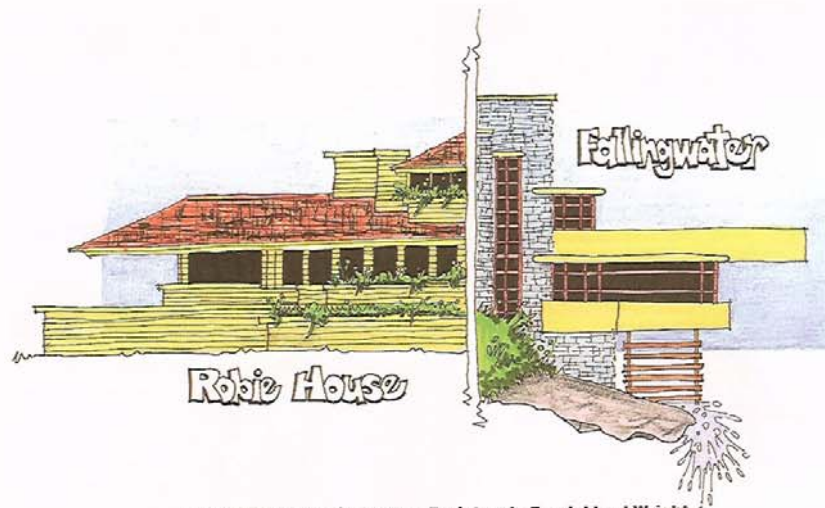
Diversas formas para um mesmo volume

A influência da forma arquitetônica no conforto térmico também pode ser observada no iglu (cuja forma hemisférica diminui a superfície de contato com o ar exterior, minimizando perdas de calor) e no chalé das montanhas (cuja cobertura altamente inclinada evita o acúmulo de neve, promovendo maior exposição aos raios solares).



Iglu e chalé nas montanhas

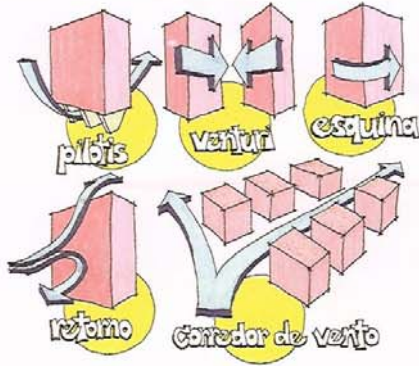
No início do século, Frank Lloyd Wright criou a expressão arquitetura orgânica. Seus projetos buscavam se adequar completamente ao entorno, respeitando os elementos naturais do local. Wright elaborou também as *prairie houses* (casas de campo), onde os telhados generosos permitiam grandes áreas de sombra ao longo do dia, além de serem o principal elemento orquestrador da volumetria arquitetônica. Nos projetos de Wright se percebe o uso amplo da iluminação natural no sentido de criar espaços aconchegantes e de destacar elementos da própria arquitetura de interiores.



Robie House e Fallingwater - Projetos de Frank Lloyd Wright

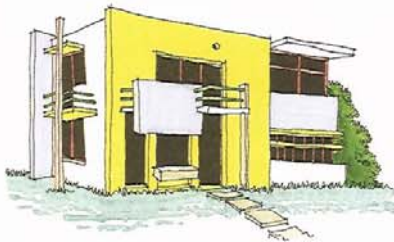
Le Corbusier, com a utilização de pilotis, permitia à arquitetura descolar-se do solo, incrementando a permeabilidade à circulação de pedestres e à ventilação no térreo. Além

do efeito dos pilotis, a arquitetura pode interferir no movimento do ar de outras formas.



Influência da forma no movimento de ar

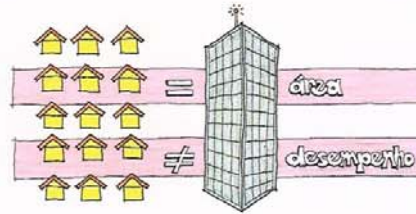
Um dos efeitos de iluminação mais interessantes na história da arquitetura foi defendido pelo movimento *De Stijl*, mais conhecido como neoplasticismo⁽³⁴⁾. Na Casa Schröder de Rietveld não há janelas, mas sim aberturas com um papel ativo em oposição ao fechamento das superfícies das paredes. Estes fechamentos são planos que ora se aproximam, ora se afastam, realçando frestas para passagem da luz natural, que valoriza os espaços interiores.



Casa Schröder de Rietveld

Além da orientação e da forma do volume, os materiais dos fechamentos externos são importantes para definir a estrutura térmica e a qualidade da iluminação natural na habitação.

Ao se projetar um conjunto de habitações, podem ser distinguidas várias soluções volumétricas. Por exemplo: é possível compor todos os volumes separadamente como casas isoladas, ou construir um único edifício residencial.



Casas isoladas x edifício residencial

Existem desigualdades formais nas duas soluções da figura e, conseqüentemente, desigualdades térmicas e visuais. Na primeira solução, todas as superfícies externas estão expostas à radiação solar e à ventilação. Neste caso é possível receber luz e calor solar também pela cobertura. Na segunda solução existem unidades mais expostas e outras menos expostas, de forma a criar comportamentos térmicos e visuais diferentes. Também é evidente que a mudança de orientação das construções alterará mais o desempenho térmico do edifício do que o da casa isolada. Isto acontece porque, em uma casa isolada, a cobertura é responsável pela maior parte dos ganhos de calor. Esses ganhos não são influenciados pela mudança de orientação.

Esta complexidade de soluções arquitetônicas aliada à diversidade

climática do Brasil torna inevitável a necessidade de simulação das edificações. Apenas assim se pode ter uma idéia precisa do real comportamento térmico e eficiência energética de uma futura arquitetura.

A FUNÇÃO

Alguns arquitetos consideram que a função é consequência da forma, outros que a forma segue a função. No entanto, a alternativa mais correta seria considerar ambas com a mesma prioridade desde o início do projeto. Embora a função a que se destina um edifício possa estar atrelada a uma forma preconcebida, é capaz, no entanto, de sofrer modificações após a ocupação e a consequente apropriação espacial. É possível que uma arquitetura funcional acabe por se tornar desconfortável e ineficiente durante o desempenho de tarefas no seu interior. Para evitar isto, o arquiteto deve entender, além das relações térmicas, acústicas e visuais, as relações antropométricas e proxêmicas entre o homem e o espaço⁽³⁵⁾.

A função arquitetônica, um dos vértices do triângulo clássico vitruviano, interage com a forma e com a eficiência energética de um edifício. O mesmo projeto arquitetônico, se destinado a fins distintos como comércio ou habitação, por exemplo, pode resultar em comportamentos energéticos diferentes. Isto vem provar que o estudo da função arquitetônica é primordial na escolha de determinado critério ou estratégia bioclimática a ser adotada. As funções residencial, comercial e pública são distintas do ponto de vista da dependência do clima e, conseqüentemente, do consumo de energia. O horário de funcionamento de um edifício comercial ou público, em geral durante o dia, expõe

constantemente os usuários aos efeitos do calor do sol. Isto aliado a ganhos internos elevados (iluminação e equipamentos) vem refletir no uso quase constante de aparelhos de ar condicionado. O fato usual da não previsão da incidência da luz natural leva as funções comercial e pública a dependerem excessivamente da iluminação artificial, mesmo durante o dia, aumentando a conta de energia elétrica, que, no entanto, não é paga diretamente pelo seu usuário. Em *shopping centers*, a exclusão da luz natural pode se justificar nas vitrines, em função da possível deterioração dos produtos expostos. Mas nas circulações a luz natural deveria ser explorada, reduzindo o consumo de energia com sistemas de iluminação artificial. Em alguns ambientes, como salas de aula, bibliotecas e escritórios, a qualidade da luz natural é importante para a boa definição de cores. Já em uma residência a luz natural é tratada com maior importância, pois, além do seu valor poético na definição dos espaços, é fundamental para a economia de energia e é paga diretamente pelo morador. Também se torna mais viável a instalação de sistemas passivos de esfriamento em residências, visto que sua relação com o espaço exterior é quase sempre mais efetiva que em edificações comerciais e públicas. Resta então a pergunta: de que forma o arquiteto deve atuar em cada um destes setores com relação à eficiência energética?

Numa arquitetura residencial cabe ao arquiteto ser o conselheiro do seu cliente, alertando sobre o necessário uso de algumas estratégias de esfriamento ou aquecimento passivo ou ativo e explorando sabiamente a iluminação natural, sempre bem-vinda pelo usuário.

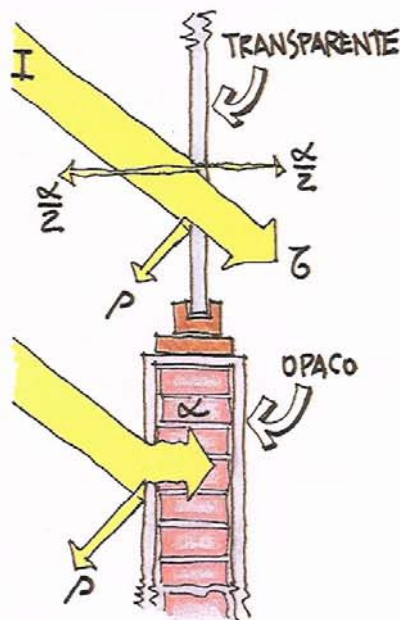
Nos setores comercial e público, embora a utilização de sistemas naturais de condicionamento e iluminação não seja

explorada, estes aparecem como opção para economizar energia. O uso de sistemas naturais de condicionamento, sempre que possível, evitará a dependência exclusiva dos sistemas artificiais. E a iluminação natural pode ser utilizada em praticamente toda a jornada de trabalho, visto que o horário de serviço é normalmente diurno. Quanto aos sistemas artificiais de iluminação e condicionamento, sua utilização pode ser exigida em virtude de algumas configurações e apropriações espaciais do ambiente interior. O arquiteto deve ter em mente os conceitos destes sistemas, conhecendo sua eficiência e adequação para cada caso. Na arquitetura, a eficiência energética não significa desprover os espaços interiores de luz artificial ou de ar condicionado (consumidores em potencial de energia), mas sim saber quando e o quanto são necessários.

FECHAMENTOS

Em uma arquitetura, as trocas de energia (luz ou calor) entre os meios exterior e interior têm como cerne o envelope construtivo, que envolve o ser humano. No estudo desse "envelope" deve-se considerar, simultaneamente, todos os fatores que intervêm no problema. Um deles é a radiação solar, diante da qual os materiais de construção se comportam de modo distinto. É, portanto, conveniente distinguir o envelope construtivo em duas partes: os fechamentos opacos e os transparentes. A principal diferença entre os dois é justamente sua capacidade (transparentes) ou incapacidade (opacos) de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

A parcela da radiação transmitida para o interior atuará nas condições de conforto de forma instantânea, sendo portanto a principal fração dos ganhos térmicos em ambientes.

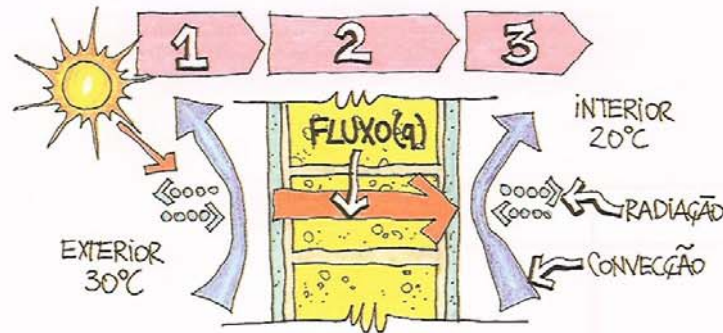


Transmissão da radiação nos fechamentos opacos e transparentes

Entendendo os conceitos de transmissão de calor e o comportamento térmico dos fechamentos, o arquiteto poderá dimensionar e especificar corretamente as aberturas e os materiais a serem empregados na obra.

FECHAMENTOS OPACOS

Em um fechamento opaco, a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior. O sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria. Para melhor entendimento do fenômeno, pode-se subdividi-lo em três fases:



As três fases da transmissão de calor nos fechamentos opacos

• **Fase 1 - troca de calor com meio exterior**

Supondo as temperaturas dos meios interior e exterior conforme a figura, a superfície externa do fechamento irá receber calor do meio por convecção e radiação, caracterizando a primeira fase da transmissão de calor. Haverá o incremento da temperatura desta superfície, em uma proporção que dependerá da sua resistência superficial externa (R_{se}). O valor de R_{se} é uma função da velocidade do vento e, de forma simplificada, é adotado $0,04 [m^2K/W]$ ⁽³⁶⁾.

A radiação incidente no fechamento opaco terá uma parcela refletida e outra absorvida, cujo valor dependerá respectivamente da refletividade (ρ) e da absortividade (α) do material.

$$\alpha + \rho = 1$$

Analisando a absortividade pode-se dizer que os materiais de construção são seletivos à radiação de onda curta

(radiação solar) e a principal determinante desta característica é sua cor superficial (tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Absortividade em função da cor

CORES	α
Escuras	0,7 a 0,9
Médias (tijolos)	0,5 a 0,7
Claros	0,2 a 0,5

Se a absortividade de um material for 0,8, por exemplo, significa que 80% da energia sobre ele incidente será absorvida e 20% será refletida.

• **Fase 2 - condução através do fechamento**

Com a elevação da temperatura da superfície externa do fechamento, haverá um diferencial entre esta e a temperatura da superfície interna, que se traduzirá na troca de calor entre as duas. Nesta fase a troca térmica será por condução e a intensidade do fluxo de calor pelo material

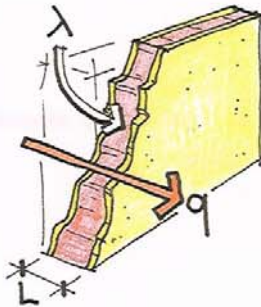
dependerá da condutividade térmica (λ) - propriedade que depende da densidade do material e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo (tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Condutividade térmica de alguns materiais

MATERIAL	λ [W/mK]
Concreto	1,50
Tijolo	0,65
Madeira	0,14
Isopor	0,03

Quanto maior for o valor de λ , tanto maior será a quantidade de calor transferida entre as superfícies. No Anexo A podem ser encontrados os valores de condutividade térmica para diversos materiais de construção.

Outra variável importante nesse processo é a espessura do fechamento (L), que deve ser medida em metros. Através da espessura se pode calcular o valor da resistência térmica (R) - propriedade do material em resistir à passagem de calor.



$$R = L / \lambda \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Pode-se reduzir consideravelmente as trocas de calor em um fechamento opaco empregando materiais com condutividades mais baixas ou até construindo fechamentos com múltiplas camadas, podendo uma das quais ser uma câmara de ar. Dentro da câmara as trocas térmicas são por convecção e radiação, em vez da condução. A convecção depende da inclinação do fechamento e da direção do fluxo.

Já a troca térmica por radiação depende da emissividade da superfície do material em contato com a camada de ar (ϵ). A emissividade é uma propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica é emitida por unidade de tempo. É importante destacar que esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor. Os materiais de construção podem ser organizados em dois grupos bem definidos: os metálicos, com emissividades compreendidas entre 0,05 e 0,30; e os não metálicos, cujas emissividades variam de 0,85 a 0,90 (tabela 4.3). Se uma chapa metálica, por exemplo, cuja emissividade é 0,20 for pintada com tinta não-metálica de qualquer tipo, sua emissividade passará a ser 0,90, correspondente aos materiais não-metálicos. De forma simplificada, pode-se utilizar os seguintes valores de emissividades:

Tabela 4.3 - Emissividade de alguns materiais

MATERIAL	ϵ
Alumínio polido	0,05
Ferro galvanizado	0,20
Demais materiais de construção	0,90

A resistência de uma câmara de ar pode ser obtida na seguinte tabela:

Tabela 4.4 - Resistência térmica de câmaras de ar não-ventiladas, com largura muito maior que a espessura

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura da câmara de ar (mm)	Resistência térmica R_{ar} [m^2 K/W]		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
Superfície não-refletores (caso geral) $\varepsilon > 0,8$	10 - 20	0,14	0,13	0,15
	21 - 50	0,16	0,14	0,18
	>50	0,17	0,14	0,21
Uma superfície refletora $\varepsilon < 0,2$	10 - 20	0,29	0,23	0,29
	21 - 50	0,37	0,25	0,43
	>50	0,34	0,27	0,61

• Fase 3 - troca de calor com meio interior

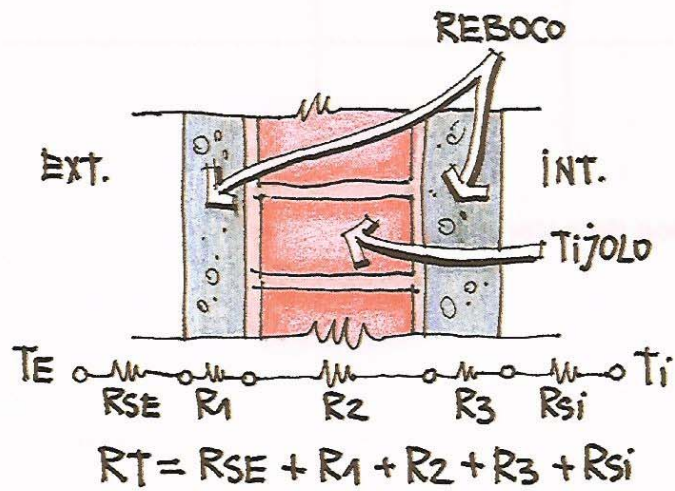
Na terceira fase do processo, tal como na primeira, as trocas térmicas voltam a ser por convecção e por radiação. Com a chegada do calor, a temperatura da superfície interna do fechamento irá aumentar em relação à temperatura do ar. As perdas de calor por convecção dependerão da resistência superficial interna do fechamento (R_{si}) e as perdas por radiação, da emissividade superficial do material (ε). O valor de R_{si} pode ser obtido da tabela a seguir ⁽³⁶⁾.

Tabela 4.5 - Resistência térmica superficial

R_{si} [m^2 . K/W]			R_{se} [m^2 . K/W]		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Cada uma das camadas de um fechamento tem uma resistência térmica distinta. O inverso da resistência total do fechamento (que inclui a resistência das duas superfícies: R_{si} e R_{se}) é

a sua transmitância térmica (U). O cálculo da transmitância térmica é o ponto mais importante deste estudo, pois através desta variável se pode avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente a transmissão de calor, tendo subsídios inclusive para comparar diversas opções de fechamentos.



$$U = \frac{1}{R_T} \text{ [w/m}^2\text{K]}$$

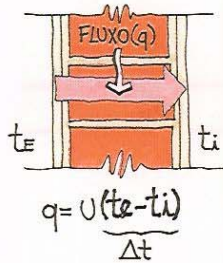
Na tabela 4.6, têm-se os valores de transmitância térmica para os principais fechamentos utilizados na construção civil ⁽³⁷⁾.

Tabela 4.6 - Transmitância térmica das principais soluções construtivas de uso corrente no Brasil

Elemento	Tipo	U (W/m ² K)
Paredes	Tijolo 6 furos espessura 12,5 cm	2,39
	Tijolo 6 furos espessura 17 cm (deitado)	2,08
	Tijolo 8 furos rebocado 12,5 cm	2,49
	Tijolo 4 furos rebocado 12,5 cm	2,59
	Tijolo maciço aparente 9 cm	4,04
	Tijolo maciço rebocado 12 cm	3,57
	Tijolo maciço rebocado 26 cm	2,45
Janelas	Vidro comum 3 mm	5,79
Cobertura	Laje concreto 10 cm + fibrocimento	
	Verão - não ventilado	2,04
	Verão - bem ventilado	2,04
	Inverno - não ventilado	2,86
	Inverno - bem ventilado	3,89
	Laje concreto 10 cm + cerâmica	
	Verão - não ventilado	2,04
	Verão - bem ventilado	2,04
	Inverno - não ventilado	2,87
	Inverno - bem ventilado	3,89
	Forro pinus 1 cm + fibrocimento	
	Verão - não ventilado	2,00
	Verão - bem ventilado	2,00
	Inverno - não ventilado	2,79
	Inverno - bem ventilado	3,75
	Forro pinus 1 cm + cerâmica	
	Verão - não ventilado	2,01
	Verão - bem ventilado	2,01
	Inverno - não ventilado	2,79
	Inverno - bem ventilado	3,75
Forro pinus 1 cm + fibrocimento + alumínio polido		
Verão - não ventilado	1,11	
Verão - bem ventilado	1,11	
Inverno - não ventilado	2,04	
Inverno - bem ventilado	3,75	

• Fluxo Térmico

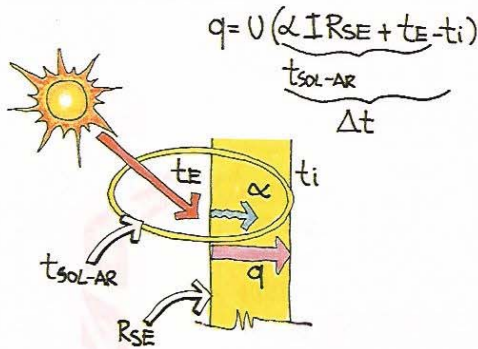
O objetivo principal de um arquiteto na especificação de um tipo de fechamento é evitar as perdas de calor excessivas no inverno e também os ganhos elevados no verão. No inverno, considerando a temperatura interior maior que a exterior, pode-se dizer que o fluxo de calor total por um fechamento é equacionado por:



onde:

- q → fluxo total de calor (W/m²);
- U → transmitância térmica (W/m² K);
- Δt → diferença entre as temperaturas exterior e interior (°C ou K, já que a variação nas escalas Kelvin e Celsius são iguais)

No verão, a temperatura do ar exterior tende a ser superior à do ar interior e a incidência do sol nos fechamentos opacos pode incrementar o fluxo de calor para dentro do ambiente. Por este motivo o equacionamento do fluxo térmico passa a ser ⁽³⁸⁾:



onde:

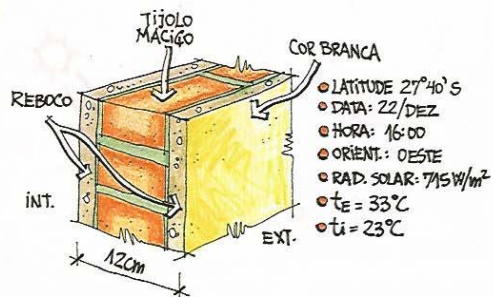
- α → absorptividade da superfície externa do fechamento;
- I → radiação solar (W/m²);
- R_{se} → resistência superficial externa (m² K/W).

A radiação solar é uma função da orientação do fechamento, da latitude do local do projeto, do dia do ano e da hora do dia, e pode ser obtida em tabelas com valores para céu claro ⁽³⁹⁾. Também pode ser obtida a partir do Ano Climático de Referência (TRY) ⁽⁴⁰⁾, desde que este contenha valores de radiação ou uma estimativa da radiação solar horária na superfície horizontal feita a partir da nebulosidade. Neste caso, a conversão dos valores de radiação para a superfície horizontal em valores corrigidos para a vertical pode ser feita através de algoritmos como os descritos por Duffie & Beckman ⁽⁴¹⁾.

• Exemplo Numérico

Para o entendimento do procedimento de cálculo do fluxo térmico em fechamentos, o seguinte exemplo pode ser observado, em que se calcula o fluxo de calor através de um fechamento de tijolo maciço com reboco.

Consideraram-se as seguintes características para este fechamento:



- Local: Florianópolis (latitude = 27°40' Sul)
- Data: 22 de dezembro, 16:00 horas
- Orientação: oeste
- Temperatura externa: 33°C
- Temperatura interna: 23°C

O primeiro passo é descobrir o valor da radiação solar a que está submetido o fechamento (I). Adotou-se o valor encontrado nas tabelas para céu claro. A radiação solar é da ordem de 715 W/m² para a orientação e a data em questão. A data e o horário escolhido representam o momento mais extremo de calor no ano, útil para o cálculo posterior da carga térmica do ambiente. Pela tabela 4.6 o valor da transmitância térmica do fechamento (U) é 3,57 W/m²K. Como o cálculo é feito para o verão, o fluxo térmico que atravessa o fechamento opaco (q_{FO}) é calculado pela equação:

$$q_{FO} = U(\alpha I R_{se} + t_e - t_i) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Tem-se então que:

- $\alpha = 0,3$ (superfície de cor branca - tabela 4.1);
- $I = 715 \text{ W/m}^2$;
- $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- $t_e = 33^\circ\text{C}$ (adotada);
- $t_i = 23^\circ\text{C}$ (adotada);
- $U = 3,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ (tabela 4.6).

Fazendo o cálculo chega-se ao valor do fluxo térmico:

$$q_{FO} = 66,33 \text{ W/m}^2.$$

O fluxo térmico total que atravessa o fechamento será:

- $Q_{FO} = q_{FO} \times A \text{ [W]}$ ∴ onde:
- A = área do fechamento (m²).

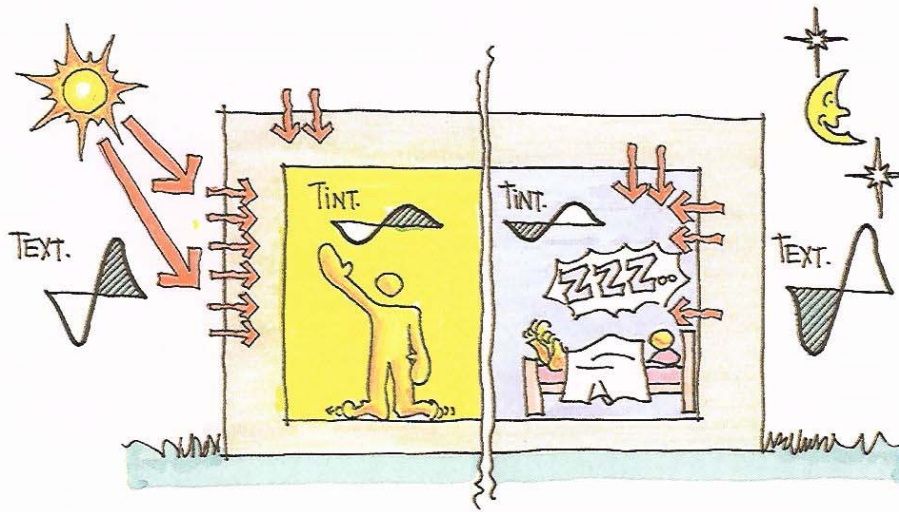
Isto significa que 66,33 watts de calor estão penetrando no ambiente para cada metro quadrado do fechamento. Obtendo os valores do fluxo térmico pode-se ter idéia sobre sua contribuição para a quantidade de calor que entra ou sai de um ambiente por condução nos fechamentos. O valor deste exemplo aparecerá mais tarde no cálculo da

carga térmica do ambiente onde será somado às trocas de calor pelas aberturas, aos ganhos térmicos internos e à influência da infiltração de ar. Com isso se pode estimar a quantidade total de calor que deverá ser retirada do ambiente por refrigeração.

Materiais como a cortiça, o isopor, a lã de vidro e o concreto celular, entre outros, são isolantes térmicos. Estes materiais possuem baixas densidades, ou seja, são bastante porosos. A capacidade de reduzir a transferência de calor se dá ao fato de o ar parado contido nesses poros ter baixa condutividade térmica (λ).

• Inércia Térmica

Outra característica importante dos fechamentos é sua inércia térmica. Em princípio, os fechamentos absorvem calor tanto do exterior quanto do interior, dependendo de onde o ar tem a maior temperatura. Ao conduzir o calor para o outro extremo, o material retém uma parte no seu interior, conseqüência de sua massa térmica. Quanto maior a massa térmica, maior o calor retido, e este pode ser devolvido ao interior quando a temperatura do ar for menor que a da superfície. Supondo uma localidade onde as temperaturas oscilam entre valores altos durante o dia e baixos à noite, pode-se utilizar a massa térmica dos fechamentos para acumular calor durante o dia (do ar e do sol), retê-lo, e mais tarde (à noite) devolvê-lo ao interior. Haverá uma diminuição da amplitude da temperatura interna, que oscilará de forma amortecida. O pico da temperatura acontecerá algumas horas após o fechamento estar submetido ao pico da temperatura externa, que constitui o tempo de retardo térmico. A figura adiante é ilustrativa desta situação, onde se percebem o amortecimento e o retardo térmico na temperatura interior em comparação à temperatura exterior. Com isto o microclima interno é bem mais ameno que o clima do exterior.



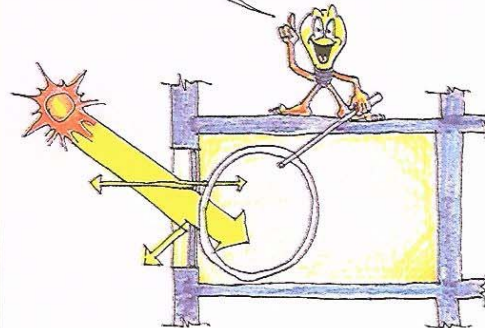
Inércia térmica (amortecimento e retardo)

FECHAMENTOS TRANSPARENTES

As principais trocas térmicas em uma edificação acontecem geralmente nestes fechamentos, que compreendem janelas, clarabóias e qualquer outro elemento transparente na arquitetura.

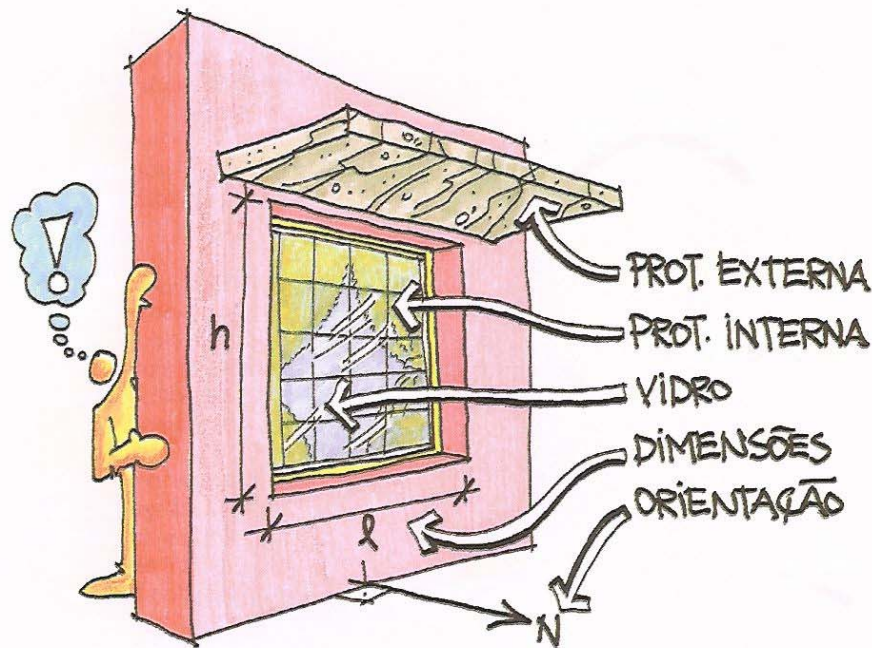
Nos fechamentos transparentes podem ocorrer os três tipos básicos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. Com relação às duas primeiras, o comportamento é semelhante ao dos fechamentos opacos, acrescentando aos transparentes a possibilidade do controle das trocas de ar entre interior e exterior, basicamente ao abri-los ou fechá-los. A radiação é que se torna o principal fator devido à sua parcela diretamente transmitida para o interior (inexistente nos fechamentos opacos), que depende da transmissividade do vidro (τ).

O PRINCIPAL PROBLEMA NOS PERÍODOS QUENTES, É CONTROLAR AS PARCELAS TRANSMITIDA DIRETAMENTE E ABSORVIDA E REEMITIDA PARA O INTERIOR PELOS FECHAMENTOS TRANSPARENTES.



No projeto arquitetônico, as principais variáveis que podem alterar o aporte de calor pela abertura são ⁽⁴²⁾:

- orientação e tamanho da abertura;
- tipo de vidro;
- uso de proteções solares internas e externas.



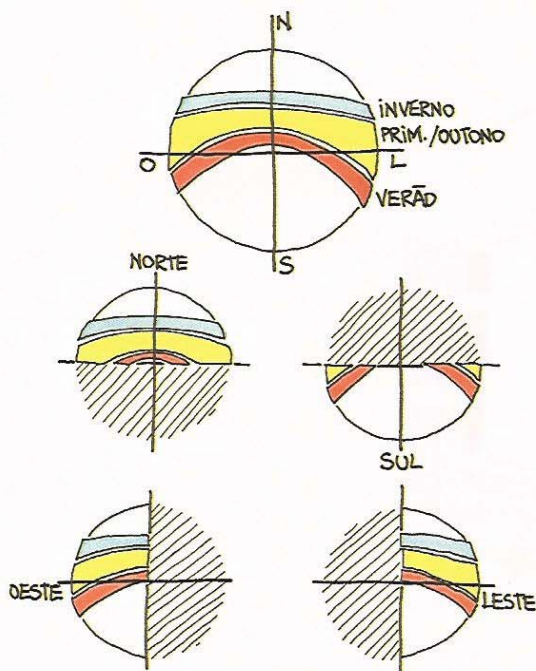
Variáveis da abertura

• Orientação e Tamanho

A orientação e o tamanho da abertura irão determinar sua exposição ao sol. Quanto maior uma abertura, maior a quantidade de calor que pode entrar ou sair do ambiente. Outro fator importante no dimensionamento é a luz natural. Deve-se pensar o calor e a luz de forma integrada. A orientação da fachada, por exemplo, pode expor aberturas de dimensões idênticas a quantidades de calor solar e iluminação distintas. A trajetória do sol na abóbada celeste é diferente para cada orientação e para cada latitude. O que normalmente se faz é obter os valores de radiação solar para a abertura em questão diretamente de tabelas com valores para céu claro -

representativos dos valores máximos de radiação solar para o local ⁽³⁹⁾. De forma mais completa e precisa pode-se utilizar valores de radiação horários, como os existentes no Ano Climático de Referência (TRY) para a localidade ⁽⁴⁰⁾.

Pode-se ter uma idéia visual sobre a insolação de uma fachada a partir da carta solar. Analisando a altura e o azimute solar pode-se saber quando o sol está incidindo diretamente em uma fachada. Também se pode saber qual o ângulo de incidência da radiação solar, que interfere na quantidade de calor e de luz solar direta que entra pela abertura. Na figura seguinte tem-se um exemplo para a carta solar de Florianópolis, feita por projeção equidistante (latitude = 27°40' Sul).



Carta solar para Florianópolis: ângulo de incidência e horas de sol

- LESTE - sol todas as manhãs em todas as estações;

- OESTE - sol todas as tardes em todas as estações;

- NORTE - sol mais baixo durante todo o dia no inverno e em boa parte da primavera e outono; sol mais alto no verão, que incide poucas horas do dia;

- SUL - sol inexistente no inverno; sol pouco presente no outono e na primavera, no início e final do dia; sol mais presente no verão, no início e final do dia, desaparecendo por volta do meio-dia para a fachada.

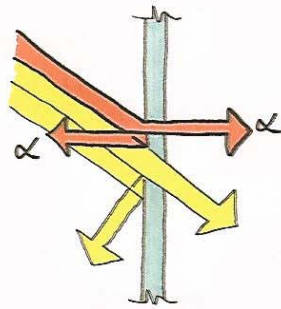
• Tipo de Vidro

Vários propósitos podem servir de argumento na escolha do tipo de vidro a ser utilizado em uma abertura. Entre eles o controle da radiação solar, que pode ser resumido em:

- Admitir ou bloquear a luz natural;
- Admitir ou bloquear o calor solar;
- Permitir ou bloquear as perdas de calor do interior;
- Permitir o contato visual entre interior e exterior.

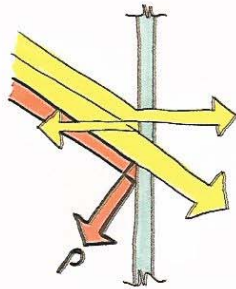
Os vidros têm geralmente alta transmitância térmica (U), ou seja, são bons condutores de calor. Entretanto são os únicos materiais de construção com capacidade para controlar de forma racional a radiação solar (luz e calor).

A radiação solar incidente em um fechamento transparente pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior, dependendo da absorvidade (α), refletividade (ρ) e transmissividade (τ) do vidro, respectivamente. A parcela absorvida se converte em calor no interior do vidro e pode ser reemitida tanto para o exterior quanto para o interior na forma de radiação de onda longa.



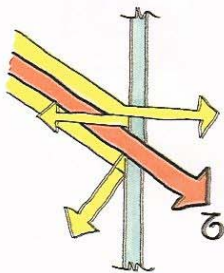
Vidro x parcela absorvida

Quanto maior for o ângulo de incidência da radiação solar, maior tenderá a ser a parcela refletida pelo vidro.



Vidro x parcela refletida

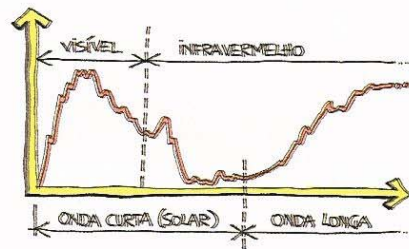
Uma parte da radiação solar é transmitida diretamente para o interior pela transparência do vidro.



Vidro x parcela transmitida

Existem vidros dos mais diferentes tipos, que possuem capacidades distintas em absorver, refletir ou transmitir a radiação solar. Isto depende das características ópticas do material (α , ρ e τ), que variam com o comprimento de onda da radiação e com o ângulo de incidência. Alguns resultados de medições para vidros nacionais são apresentados por Labaki *et al* ⁽⁴³⁾.

No espectro solar há duas regiões de particular importância para o estudo do comportamento dos fechamentos transparentes: a região de onda curta (OC) e a de onda longa (OL). As ondas curtas se subdividem em visíveis (380 a 770 nm) e infravermelhas (760 a 3.000 nm) e as ondas longas são radiações infravermelhas emitidas por corpos aquecidos (>3.000 nm) ⁽⁴⁴⁾.



Espectro solar

Pode-se classificar os tipos de vidro mais usados na construção civil basicamente em cinco categorias ⁽⁴⁵⁾:

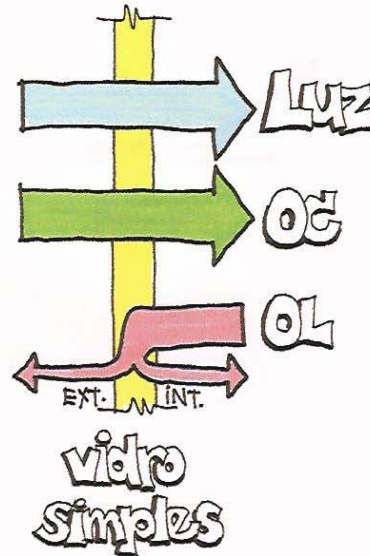
- vidro simples (transparente);
- vidro verde;
- películas e vidros absorventes (fumês);
- películas e vidros reflexivos;
- plásticos.

• **Vidro Simples (transparente)**

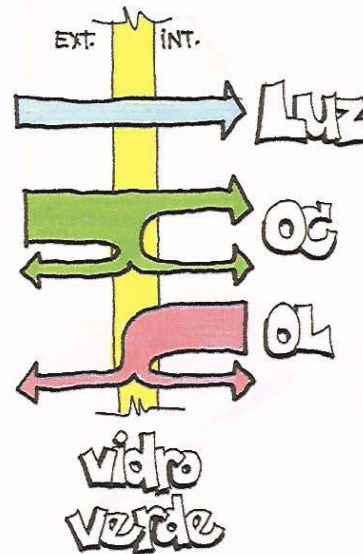
Os vidros simples são os de emprego mais comum nas edificações no Brasil, em virtude de seu baixo custo e disponibilidade no mercado. Entretanto, são altamente transparentes a ondas curtas e opacos a ondas longas. Isto se traduz em boa visibilidade, porém alta transmissividade da radiação solar para o interior. Também são pouco reflexivos em ambas as regiões do espectro (ondas curtas e longas). O fato de o vidro ser opaco à onda longa causa o fenômeno conhecido por efeito estufa. Em outras palavras: uma vez transmitido para dentro, o calor encontra dificuldades em sair pelo vidro, sendo então acumulado no ambiente interior. A figura ao lado sintetiza o comportamento do vidro simples frente à luz, às ondas curtas e às ondas longas. Este tipo de gráfico comparativo ilustrará cada tipo de vidro a seguir, podendo servir de base para a escolha entre uma ou outra opção.

• **Vidro Verde**

Este vidro é também conhecido como absorvente. É levemente pigmentado para diminuir a transmissão da onda curta com somente um pequeno aumento na absorção da parte visível.



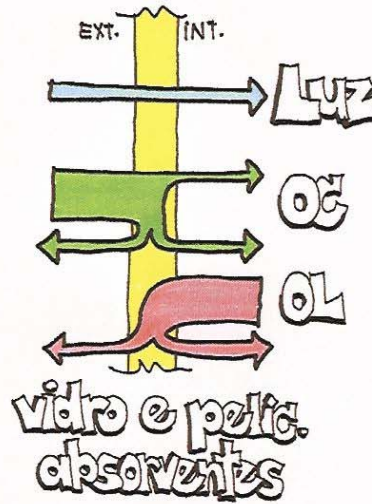
Comportamento do vidro simples à onda curta, onda longa e luz visível



Comportamento do vidro verde à onda curta, onda longa e luz visível

• **Películas e Vidros Absorventes (fumês)**

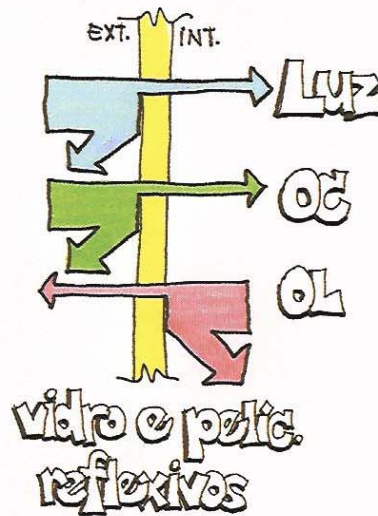
O objetivo do vidro ou da película absorvente é diminuir a transmissão da onda curta. Contudo, isto é feito com o aumento da absorção nesse comprimento de onda, que diminui bastante a transmissividade visível (visibilidade). Esta solução pode implicar gastos desnecessários de energia para iluminação artificial. Como o vidro simples, estes tipos de película e vidro são também altamente absorventes à radiação de onda longa e pouco reflexivos tanto à onda longa quanto à onda curta.



Comportamento das películas e vidros absorventes à onda curta, onda longa e luz visível

• **Películas e Vidros Reflexivos**

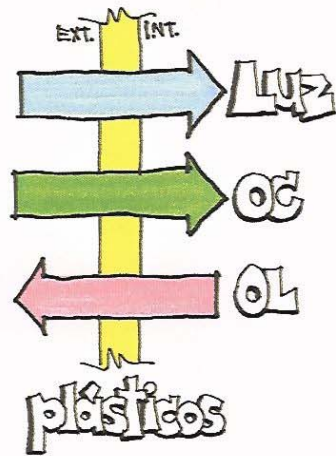
As películas reflexivas são compostas por uma camada metálica em um substrato transparente, produzindo uma aparência de espelho. Os vidros reflexivos já vêm com uma espécie de película reflexiva incorporada na sua constituição. Existem películas mais reflexivas à onda longa, outras mais reflexivas à onda curta, e também películas reflexivas em ambos os espectros. Pode-se dizer que as películas reflexivas à onda curta reduzem o ingresso de calor ao interior e que as reflexivas à onda longa reduzem as perdas de calor para o exterior. Este tipo de película ou vidro também tem reduções na sua capacidade de transmitir a radiação visível.



Comportamento das películas e vidros reflexivos à onda curta, onda longa e luz visível

• **Plásticos**

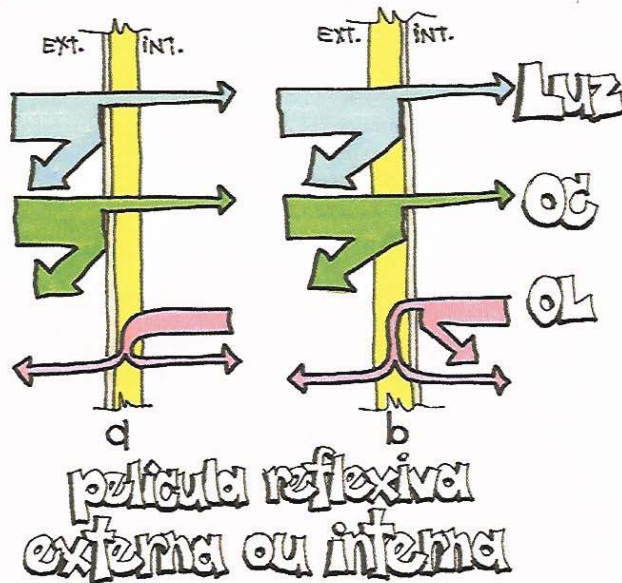
Atualmente, alguns materiais plásticos como o policarbonato e o acrílico começam a entrar no mercado dos fechamentos transparentes. São altamente transparentes à radiação de onda longa. Isto reduz o efeito estufa, comum a vidros, aumentando a perda de calor para o exterior.



• **Camadas Múltiplas**

A resposta espectral de múltiplas camadas de um mesmo material difere pouco da utilização de uma só camada. Entretanto, combinando dois ou mais tipos, como em um sanduíche, pode-se produzir uma resposta totalmente diferente. Por exemplo: uma camada de vidro com película reflexiva. Colocando-se a camada reflexiva na superfície externa, a onda longa vinda do interior é absorvida e o calor é dissipado para cada lado por convecção e para o interior por reirradiação (figura a). Ao contrário, colocando-se a camada reflexiva no lado de dentro, a onda longa é refletida, evitando-se perdas de calor em climas frios (figura b).

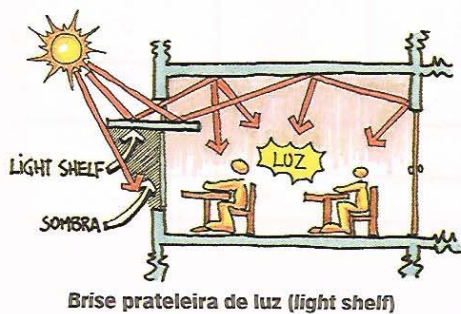
Comportamento dos plásticos à onda curta, onda longa e luz visível



Exemplo de camadas múltiplas

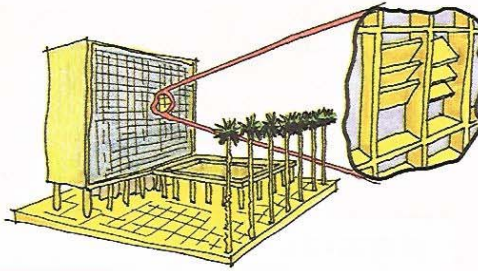
• Uso de Proteções Solares Internas ou Externas

O uso de proteções solares em uma abertura é um recurso importante para reduzir os ganhos térmicos. Entretanto, deve-se tomar o devido cuidado com a iluminação natural, que não deve ser prejudicada. As proteções solares internas são basicamente as cortinas e as persianas. São bastante flexíveis sob o ponto de vista de operação, bastando abri-las ou fechá-las conforme a necessidade. Porém, as proteções internas não evitam o efeito estufa, pois o calor solar que as atinge se transforma em radiação de onda longa, permanecendo na sua maior parte no ambiente interior. A opção por uma proteção externa pode ser a mais adequada se houver um dimensionamento que garanta a redução da incidência da radiação solar, quando necessária, sem interferir na luz natural. A proteção tipo *light shelf* (figura abaixo) tem este objetivo. O *light shelf* é um elemento que divide a abertura em duas porções horizontais, sendo a superior destinada à iluminação e a inferior à visão e ventilação. Intercepta a radiação direta do sol e redireciona a luz para o forro; dessa forma, reduz o ganho de calor solar e uniformiza a distribuição de luz natural nos interiores.



A proteção externa bloqueia a radiação direta antes de esta penetrar pelo vidro, evitando o efeito estufa. Pode-se especificar proteções solares externas fixas ou móveis e seu projeto pode ser feito segundo diversos métodos, destacando-se o de Olgyay ⁽⁴⁶⁾.

É importante salientar que as proteções externas também interferem na definição da fachada arquitetônica. Podem ser pensadas como elemento compositivo da fachada e se tirar partido desta idéia para conceber, inclusive, a linguagem arquitetônica do edifício.



Edifício sede do Ministério da Saúde Pública no Rio de Janeiro - Le Corbusier

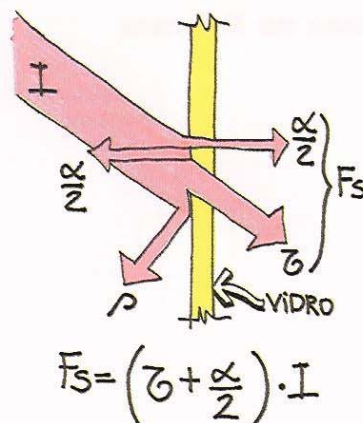
• Fator Solar

Para saber a quantidade de calor que penetra em um ambiente através de uma janela ou sistema de abertura (janela com *brise* ou cortina, por exemplo) é importante conhecer o conceito de fator solar (F_s).

O fator solar de uma abertura pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela incide. Este valor é característico para cada tipo de abertura e varia com o ângulo de incidência da radiação solar. Para o vidro simples, com a incidência direta da radiação solar normal à superfície, o fator solar é aproximadamente 0,87 ⁽⁴⁷⁾. Isto significa que 87% da radiação solar incidente sobre a janela com vidro simples

e sem proteção penetra no interior. A maior parte é transmitida diretamente ao interior, somando-se a 50% da parcela da radiação absorvida pelo vidro (figura ao lado).

Utilizando sistemas de aberturas com fatores solares baixos controla-se a entrada de calor para o interior. Deve-se ponderar a iluminação natural nestes casos, que não pode ser reduzida na mesma proporção da entrada de calor. Outras formas de aproveitamento da luz natural podem ser utilizadas (zenitais ou indiretas), ou mesmo empregar algum tipo de proteção que bloqueie o calor mas permita o ingresso da luz (vidro especial, *brise* tipo *light shelf* etc.). Nas tabelas 4.7 e 4.8 são apresentados os fatores solares para alguns tipos de vidro e proteções solares externas e internas mais comuns, respectivamente.



Transmissão direta + 50% absorvida

Tabela 4.7 - Valores de fator solar (F_s) para aberturas com diferentes superfícies separadoras

SUPERFÍCIES SEPARADORAS		F_s	REFERÊNCIAS
VIDROS	Transparente (simples) 3 mm	0,87	47
	Transparente (simples) 6 mm	0,83	47
	Transparente (duplo) 3 mm	0,75	47, 51
	Cinza (fumê) 3 mm	0,72	47
	6 mm	0,60	47
	Verde 3 mm	0,72	52
	6 mm	0,60	52
	Reflexivo 3 mm	0,26 - 0,37	49, 52
PELÍCULAS	Reflexiva	0,25 - 0,50	47
	Absorvente	0,40 - 0,50	49
ACRÍLICO	Claro	0,85	47
	Cinza ou bronze	0,64	47
	Refletido	0,18	47
POLICARBONATO	Claro	0,85	47
	Cinza ou bronze	0,64	47
DOMOS	Claro	0,70	47
	Translúcido	0,40	47
TIJOLO DE VIDRO		0,56	47

Os valores das tabelas são apenas para referência. Devido à grande evolução na tecnologia de vidros e à diversidade de tratamentos ópticos possíveis (fator solar; transmissividade visível), deve-se consultar os catálogos específicos de cada fabricante.

Errata:

pág. 72: na ilustração, a equação correta é:

$$F_s = \left(\zeta + \frac{\alpha}{2} \right)$$

pág. 101: referência 44:

BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K.; [1993].

Daylighting in architecture. James & James Ltd, London, UK.

pág. 133: na tabela 5.9, o valor correto de Conforto é 14,7.

pág. 165: na ilustração, onde se lê *light-shelf*, leia-se *light shelf* e onde se lê *telhado com shedy* leia-se *telhado com shed*.

Tabela 4.8 - Valores de fator solar (F_s) para aberturas com diferentes proteções solares

PROTEÇÕES SOLARES	F_s	REFERÊNCIAS
INTERNAS	• Cortina translúcida	0,50 - 0,75
	• Cortina semitranslúcida	0,40 - 0,60
	• Cortina opaca	0,35 - 0,60
	• Persiana inclinada 45°	0,64
	• Persiana fechada	0,54
EXTERNAS	• Toldo 45° translúcido ***	0,36
	• Toldo 45° opaco ***	0,20
	• Venezianas (mad./plást.)	0,09
	• Esteira de madeira	0,09
	• Venezianas horizontais**	0,19
	• Brise horizontal***	0,25
	• Light shelf (espelhada)*	0,58
	• "Tampão" de madeira	0,70

* Com vidro duplo, horizontal, metade da abertura com insolação direta.

** Com vidro duplo, branca e a razão largura/espacamento = 1,0.

*** Toda a abertura está sombreada

• Exemplo Numérico

O exemplo numérico a seguir pode esclarecer como é o comportamento de um fechamento transparente frente às trocas térmicas. Considerando uma abertura composta de um vidro simples com 3 mm de espessura exposta à mesma situação a que foi submetido o fechamento opaco do item anterior, tem-se que:

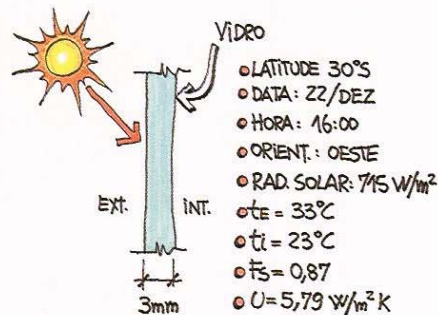
- $I = 715 \text{ W/m}^2$
- $F_s = 0,87$ (para vidro simples de 3mm ⁽⁴⁷⁾);
- $U = 5,79 \text{ W/m}^2 \text{ K}$;
- $t_e = 33^\circ\text{C}$
- $t_i = 23^\circ\text{C}$

O valor do fluxo térmico que atravessa a abertura por condução é:

- $q_A = U (t_e - t_i) = 57,9 \text{ W/m}^2$

E o ganho solar pelo vidro será:

- $q_s = F_s \times I \cong 622 \text{ W/m}^2$



Exemplo numérico: fechamento transparente

Percebe-se que o fluxo por condução na abertura analisada é praticamente igual ao do fechamento opaco do exemplo anterior. A grande diferença está na radiação que atravessa o vidro diretamente. Somando os dois valores tem-se que o ganho total pela janela (por condução e radiação) é quase oito vezes superior ao ganho do fechamento opaco, para cada metro quadrado de fechamento externo. Desta observação se pode concluir que os fechamentos transparentes são os principais elementos de ganhos ou perdas térmicas em edificações.

SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

O aquecimento de água pode representar uma grande fatia do consumo de eletricidade em edificações. Os sistemas mais comuns são:

- o chuveiro elétrico;
- o aquecedor elétrico de passagem;
- o aquecedor elétrico de acumulação;
- o aquecedor a gás de passagem;
- o aquecedor a gás de acumulação;
- o aquecedor solar de acumulação com *backup* elétrico.

A grande maioria das residências brasileiras utiliza chuveiro elétrico e o seu consumo representa cerca de 1/4 do consumo total da residência ⁽⁴⁸⁾. O nível de conforto proporcionado é pequeno, mas são inquestionáveis o baixo preço desse equipamento e sua facilidade de instalação e manutenção. Entretanto, a ausência de instalação de água quente na maioria das casas dificulta a incorporação de outras formas de aquecimento de água. Isto faz com que à medida que o usuário busque maior conforto maiores potências sejam instaladas, gerando sérios problemas para o setor elétrico.

Os sistemas de aquecimento elétrico instantâneos (chuveiro elétrico e aquecedor elétrico de passagem) exigem investimentos elevados com infra-estrutura elétrica tanto por parte do usuário quanto por parte da concessionária de energia - respectivamente pela sobrecarga na instalação elétrica e pela concentração do consumo em horários de ponta (normalmente às 19:00 horas), que representa um acréscimo considerável na demanda de energia. O arquiteto deveria prever a instalação de

canalizações para água quente nos projetos, permitindo com isso o emprego de sistemas de aquecimento a gás ou solar. Estas instalações devem ser bem isoladas termicamente, necessidade também presente no depósito de água em sistemas de acumulação.

No caso particular do aquecimento solar, deve-se orientar as superfícies coletoras de calor de forma a aproveitar ao máximo a radiação do sol, incorporando-as à arquitetura. Normalmente o coletor deve ser orientado ao norte (para o hemisfério sul), sendo sua inclinação dependente da disponibilidade de sol da região e do período do ano. Na maioria das vezes a inclinação do coletor tem valor próximo ao da latitude do local.

SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A luz natural sempre foi a principal fonte de iluminação na arquitetura. Entretanto, após a descoberta da eletricidade e a invenção da lâmpada por Edison, a iluminação artificial se tornou cada vez mais inseparável da edificação. Sem ela não seriam possíveis os edifícios de grande área construída e muitos pavimentos, onde a luz natural não consegue vencer a profundidade em planta para iluminar alguns ambientes interiores.



Iluminação artificial em espaços enclausurados

A luz artificial também permite ao homem utilizar as edificações à noite para dar continuidade a suas atividades ou se divertir, indo a bares, *shopping centers* ou mesmo lendo um livro. É importante, no entanto, salientar que não é tão simples empregar a luz artificial de forma eficiente. Um bom projeto de iluminação deve garantir às pessoas a possibilidade de executar atividades visuais com o máximo de precisão e segurança e com o menor esforço.

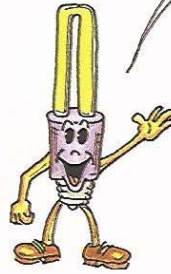
Para aumentar a eficiência energética e a qualidade dos ambientes em uma edificação, deve-se pensar na complementaridade que existe entre a luz artificial e a luz natural. O projetista precisa considerar a integração entre os dois tipos de fonte de luz e, para isso, é fundamental o conhecimento básico tanto da luz natural quanto dos tipos de equipamentos de iluminação a serem utilizados na arquitetura. Ao nível de projeto de iluminação, uma de suas principais decisões é a definição dos sistemas artificial e natural. Cada componente desses sistemas (lâmpadas, luminárias, reatores, sistemas de controle, janelas etc.) tem desempenho e qualidades diferentes, que dependem do tipo de tecnologia empregada na sua fabricação. A eficiência do sistema de iluminação artificial adotado no projeto depende do desempenho particular de todos os elementos envolvidos, bem como da integração feita com o sistema de iluminação natural.

LÂMPADAS

Atualmente existem diferentes tipos de lâmpada para as mais diversas aplicações. Para o uso em edificações residenciais e comerciais, no entanto, as lâmpadas elétricas podem ser classificadas em dois grupos básicos:

- irradiação por efeito térmico (incandescentes);
- descarga em gases e vapores (fluorescentes, vapor de mercúrio, de sódio etc.).

É IMPORTANTE FRISAR QUE A PESQUISA E O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS TEM LEVADO A EQUIPAMENTOS COM MENOR CONSUMO DE ENERGIA !

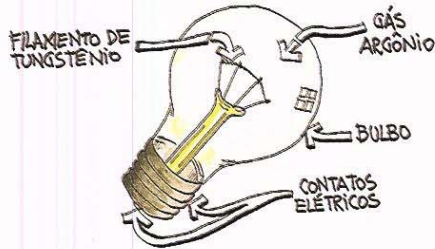


• Incandescentes

As lâmpadas incandescentes são as mais comuns. Embora de vida útil bastante curta, seu custo inicial é baixo. Seu princípio de funcionamento é produzir luz pela elevação da temperatura de um filamento, geralmente o tungstênio, ao ser submetido à corrente elétrica. O tamanho reduzido, o funcionamento imediato e a desnecessidade de aparelhagem auxiliar (exceto as lâmpadas halógenas) são algumas das principais vantagens deste tipo de lâmpada. Em contrapartida, a eficiência luminosa é bem baixa nestas lâmpadas. Existe uma elevada dissipação de calor, que se traduz no desperdício de energia. Além disso, deve-se tomar cuidado com a possibilidade de ofuscamento, resultante de sua alta luminância.

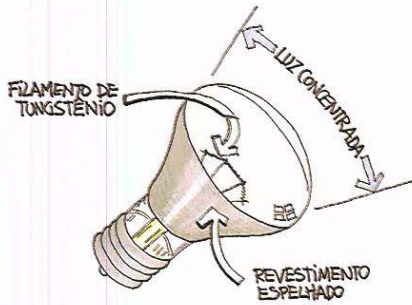
Empregam-se, em edificações residenciais e comerciais, basicamente três tipos de lâmpada incandescente: incandescente comum, refletora (espelhada) e halógena.

As incandescentes comuns são as mais conhecidas e de tecnologia mais antiga. Apresentam-se em bulbos claros ou leitosos. A alta temperatura do filamento causa evaporação do tungstênio, que se deposita no bulbo, escurecendo-o e produzindo uma depreciação do fluxo luminoso e duração curta (1.000 horas). Apesar do custo inicial baixo, seu custo global (operação, manutenção e inicial) é alto.



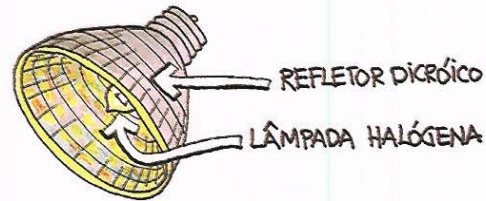
Lâmpada incandescente comum

As lâmpadas espelhadas possuem refletor interno para melhorar o direcionamento da luz. A área espelhada funciona como uma luminária, com a vantagem de não necessitar limpeza ou sofrer deterioração. O refletor pode ter um perfil parabólico ou elíptico, sendo este último especialmente importante quando a lâmpada está embutida numa luminária de corpo profundo e aletas antifuscantes. O redirecionamento da luz, que, ao contrário, seria emitida para os lados ou para cima, pode melhorar a eficiência da instalação.



Lâmpada incandescente espelhada

As lâmpadas halógenas possuem, além dos gases tradicionais, um halogênio (normalmente iodo) no interior do bulbo. Com a ajuda do bulbo de quartzo, que suporta elevadas temperaturas, evitando assim a condensação, o tungstênio evaporado combina-se com o halogênio. Quando em contato com o filamento, o tungstênio da mistura é redepositado no filamento e o halogênio continua sua tarefa no ciclo regenerativo. Estas lâmpadas apresentam um decaimento do fluxo luminoso muito pequeno, uma maior eficiência, vida útil de 2.000 horas e dimensões bem reduzidas. Algumas lâmpadas halógenas são equipadas com um refletor multifacetado coberto com uma película dicróica. Trata-se de um filtro químico que reflete grande parte da radiação visível e transmite para trás da lâmpada cerca de 65% da radiação infravermelha (térmica), proporcionando, desta forma, uma luz mais "fria" que aquela obtida com refletores comuns. As lâmpadas halógenas são de 12 V e necessitam de transformadores para uso na rede elétrica.



Lâmpada halógena e refletor dicróico

• **Descarga Gasosa**

Esta classificação inclui, para as edificações comerciais e residenciais, basicamente as lâmpadas fluorescentes comuns, as compactas e as lâmpadas de vapor de mercúrio. O filamento não existe nas lâmpadas de descarga gasosa. A luz é produzida pela excitação de um gás (pela

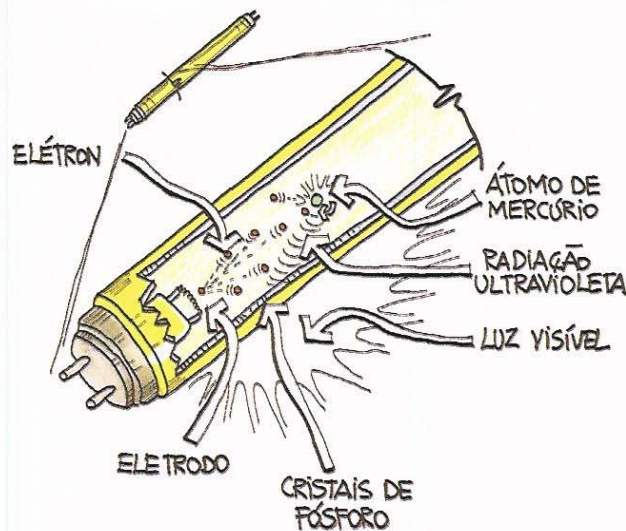
passagem de energia elétrica) contido entre dois eletrodos. Desta forma é produzida radiação ultravioleta (invisível), que, ao atingir as paredes internas do bulbo (revestidas por substância fluorescente, como os cristais de fósforo), é transformada em luz. Devido ao seu princípio de funcionamento, as lâmpadas de descarga gasosa requerem alguns dispositivos auxiliares, como reatores e *starters*. Uma das desvantagens das lâmpadas de descarga é o efeito estroboscópico que produzem. As lâmpadas piscam na mesma frequência da tensão de alimentação (60 Hz). Um motor cujo eixo gire em velocidade alta (3.600 rpm, por exemplo) pode parecer estar parado e causar algum acidente de trabalho. Por este motivo, em locais onde haja a possibilidade de ocorrer este problema, é recomendado o uso de pelo menos duas lâmpadas ligadas em circuitos diferentes ou com reator duplo, que terão suas piscadas defasadas, evitando o efeito estroboscópico.

Atualmente, a qualidade do gás e do revestimento no interior das lâmpadas tem

sido aprimorada, proporcionando grande melhoria na reprodução das cores e na redução do tamanho das lâmpadas. Produtos relativamente novos, como o *heater cutout* para reatores magnéticos, que desliga o circuito aquecido depois que a lâmpada liga, e os reatores eletrônicos de alta frequência, são disponíveis e aceitos no mercado, além de serem uma técnica eficiente de economia de energia.

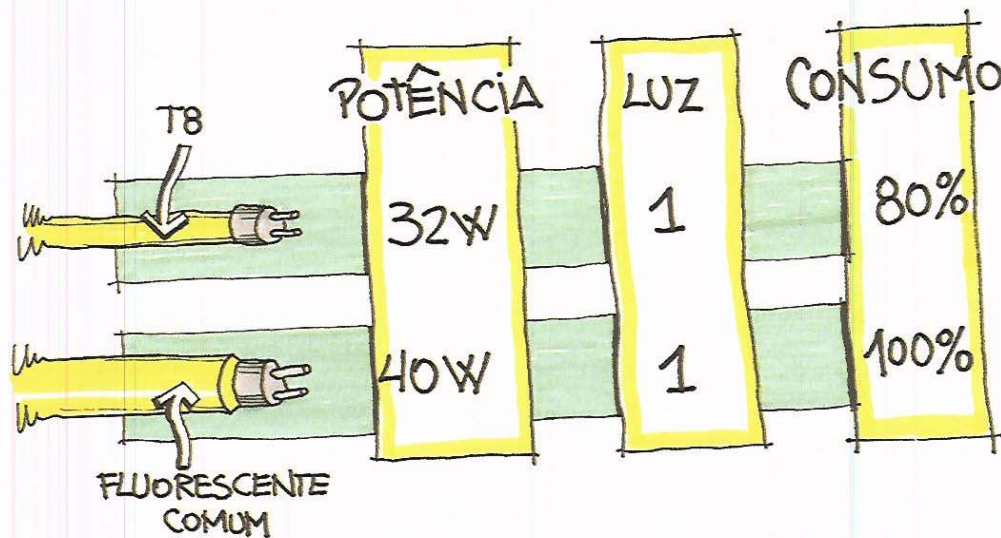
• Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são geralmente de forma tubular, com um eletrodo em cada ponta, contendo vapor de mercúrio em baixa pressão. O reator tem a finalidade de fornecer alta voltagem inicial para começar a descarga e rapidamente limitar a corrente para manter a descarga com segurança. A função do *starter* é proporcionar a tensão necessária para haver a descarga inicial do gás, através de pulsações de corrente, ionizando o caminho da descarga para que a lâmpada passe a operar.



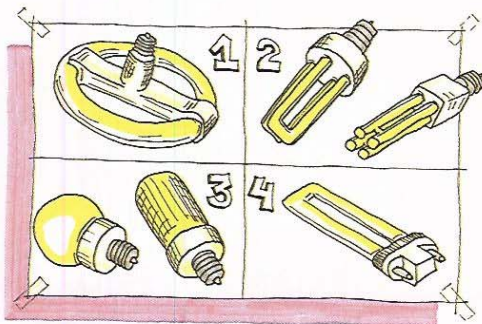
Esquema de funcionamento da lâmpada fluorescente

Em geral, as lâmpadas fluorescentes possuem boa eficiência luminosa (quatro a seis vezes maior que as incandescentes) e vida média alta (6.000 a 9.000 horas). O fato de apresentarem baixa luminância é vantajoso, pois reduz a possibilidade de ofuscamento. A fluorescente T8 é mais eficiente por ter menor diâmetro, menor potência (32 W) e fluxo luminoso equivalente ao da fluorescente comum (T12) de 40 W, sendo boa alternativa para edificações comerciais.



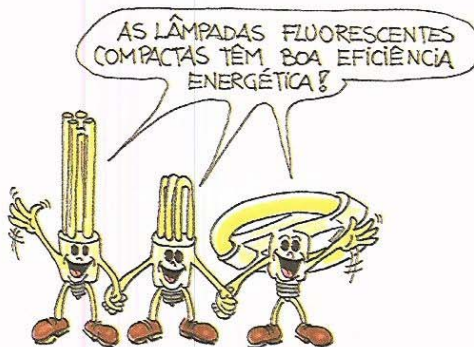
Lâmpada fluorescente T8 (32 W) x T12 (40 W)

Outro tipo de lâmpada é a fluorescente compacta, que tem sido desenvolvida para uso em diversas situações em que tradicionalmente se utilizam lâmpadas incandescentes. É composta basicamente de um pequeno bulbo fluorescente, possuindo em alguns modelos os dispositivos de partida (reatores e starters) incorporados ao seu invólucro compacto. Atualmente se encontram no mercado quatro tipos básicos de fluorescente compacta:



Tipos de lâmpada fluorescente compacta

1. forma circular com diâmetro padrão (26 mm), com *starter* e reator incorporados;
2. forma compacta com dois ou mais tubos paralelos interconectados, com *starter* e reator incorporados;
3. forma compacta com invólucro adicional, com reator e *starter* incorporados;
4. forma compacta com dois ou mais tubos paralelos interconectados, sem dispositivos de partida incorporados.



• Lâmpadas a Vapor de Mercúrio

Este tipo de lâmpada é indicado para a iluminação de grandes áreas internas (armazéns, depósitos etc.) ou externas. Tem boa eficiência luminosa (45 a 65 lm/W) e sua luz tem aparência branco-azulada. Nestas lâmpadas, o vapor de mercúrio está submetido a alta pressão no interior de um pequeno tubo (tubo de descarga). Este tubo está contido num bulbo, que ajuda a manter constante a temperatura da lâmpada. Também se pode revestir o bulbo com pós fluorescentes para melhorar a qualidade cromática da luz emitida. Como as lâmpadas fluorescentes, as lâmpadas a vapor de mercúrio (exceto a do tipo mista) exigem aparelhagem auxiliar para funcionamento. Um tipo especial destas lâmpadas é conhecido como luz mista e consiste da lâmpada de bulbo fluorescente com o tubo de descarga ligado em série com um filamento de tungstênio. A radiação das duas fontes mistura-se harmoniosamente, produzindo uma luz branca difusa de cor agradável. O filamento age como reator, dispensando o emprego deste e permitindo que a lâmpada seja ligada diretamente na rede. Isto facilita a modernização de instalações de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de luz mista, que têm o dobro de eficiência e são cinco a seis vezes mais duráveis.

As principais vantagens das lâmpadas a vapor de mercúrio são sua duração (6.000 a 9.000 horas), a luminância média (que evita o ofuscamento), o volume pequeno, a boa eficiência luminosa e o fato de serem oferecidas em potências elevadas. Uma lâmpada de mercúrio de 400 W tem luminosidade equivalente a dez lâmpadas fluorescentes de 40 W e ocupa espaço bem mais reduzido.

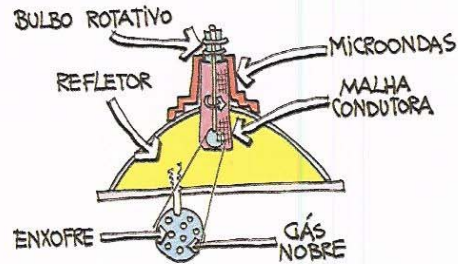
Suas principais desvantagens são a pouca qualidade na reprodução de cores, o custo inicial elevado (que pode ser, no entanto, amortizado pela eficiência e vida útil) e o tempo longo de acendimento (pode levar de quatro a cinco minutos para atingir o fluxo luminoso máximo).

• Lâmpadas a Vapor de Sódio

A lâmpada a vapor de sódio pode ser de baixa ou de alta pressão. Na de baixa pressão o tubo de descarga interno contém sódio e uma mistura de gases inertes (neônio e argônio) com os eletrodos nas extremidades. Esta lâmpada caracteriza-se por emitir uma radiação monocromática, centrada no amarelo, elevada eficiência luminosa (160 a 180 lm/W) e longa vida média. Desta forma, este tipo de lâmpada encontra sua aplicação em grandes espaços externos, onde a reprodução da cor não é necessária e o reconhecimento por contrastes é predominante (auto-estradas, vias de tráfego, estacionamentos, pátios de manobras etc.). Na lâmpada a vapor de sódio de alta pressão, o tubo de descarga contém um excesso de sódio. Ao contrário das lâmpadas de baixa pressão, a de alta pressão proporciona uma reprodução de cor razoável e apresenta uma eficiência luminosa que pode chegar até 130 lm/W. Com tonalidade alaranjada agradável, estas lâmpadas têm um emprego crescente para todos os tipos de iluminação externa e iluminação industrial de grande altura.

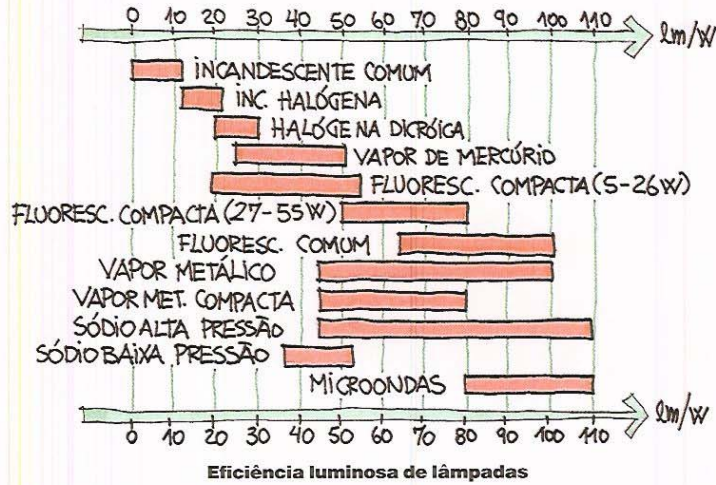
As lâmpadas a vapor de sódio necessitam de aparelhagem auxiliar para operação, o que representa um custo inicial elevado. Levam de cinco a oito minutos para atingir 80% do seu fluxo luminoso máximo e têm duração média notável (6.000 a 9.000 horas).

Atualmente as evoluções tecnológicas têm levado ao desenvolvimento de lâmpadas sem eletrodos. Em outubro de 1994 foi apresentada uma nova lâmpada nos Estados Unidos: a lâmpada de microondas (*sulfur microwave lamp*), representando uma revolução nas pesquisas de tecnologia de iluminação⁽⁵³⁾. Esta lâmpada contém uma mistura de gás argônio com enxofre, que é convertida numa espécie de plasma ao ser submetida a microondas (2,45 Ghz), emitindo luz. Sua eficiência luminosa atinge a faixa de 110 lm/W (equivalente à eficiência da lâmpada a vapor de sódio de alta pressão) e sua durabilidade atinge 10.000 horas. A luz emitida é de excelente qualidade e tem espectro semelhante ao da luz do sol. Quanto à aplicação, pela sua grande eficiência e pela semelhança à luz do dia, será indicada em iluminação de rua, de armazéns, fábricas, *shopping centers*, mercados e teatros.



Lâmpada a microondas

A figura seguinte⁽⁵⁴⁾ e a tabela 4.9 podem servir na orientação para escolha da lâmpada mais adequada para cada situação.



Para entender a tabela é necessário considerar a seguinte simbologia:

Rendimento cromático:

- ☺ = bom
- ☹ = regular
- ⊗ = ruim

Eficiência luminosa (lúmen/watt):

- ☺ = mais de 80 lm/W
- ☹ = 50 a 80 lm/W
- ⊗ = 15 a 50 lm/W

Vida média (horas):

- ☺ = mais de 10.000 h
- ☹ = de 2.000 a 10.000 h
- ⊗ = menos de 2.000 h

Energia consumida:

- ☺ = pouca
- ☹ = regular
- ⊗ = muita

Custo inicial:

- ☺ = baixo
- ☹ = médio
- ⊗ = alto

Custo total:

- ☺ = baixo
- ☹ = médio
- ⊗ = alto

Tabela 4.9 - Orientação para comparação e escolha de lâmpadas

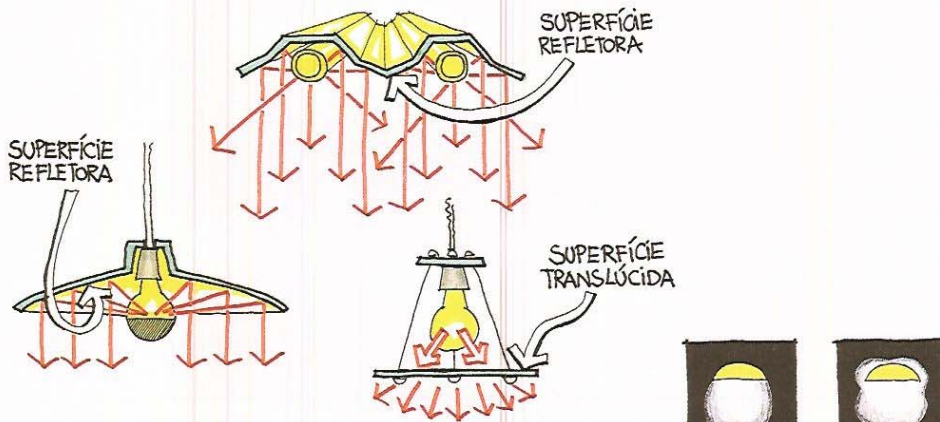
LÂMPADA	RENDIMENTO CROMÁTICO	EFICIÊNCIA LUMINOSA	VIDA MÉDIA	ENERGIA CONSUMIDA	CUSTO INICIAL	CUSTO TOTAL
incandescente	☹	⊗	⊗	⊗	☺	⊗
halógena	☺	⊗	⊗	⊗	☹	⊗
fluorescente	☹	☹	☹	☹	☹	☹
vapor de mercúrio	☹	☹	☹	☹	☹	☹
luz mista	☹	⊗	☹	⊗	☹	⊗
vapor de sódio	⊗	☹	☹	☺	⊗	☺
microondas	☺	☺	☺	☺	⊗	☺

LUMINÁRIAS

Uma luminária eficiente otimiza o desempenho do sistema de iluminação artificial. Ao avaliar uma luminária, sua eficiência e suas características de emissão são de considerável importância. A eficiência de uma luminária pode ser obtida pela sua fração de emissão de luz (FEL) ou rendimento, dada por ⁽⁵⁵⁾:

$$FEL = \frac{\text{LUZ EMITIDA P/LUMINÁRIA}}{\text{LUZ EMITIDA P/LÂMPADA}} (\%)$$

Isto se explica pelo fato de uma parte da luz emitida pela lâmpada ser absorvida pela luminária, enquanto o restante é emitido ao espaço. O valor da fração de emissão da luz da luminária depende dos materiais empregados na sua construção, da refletância das suas superfícies, de sua forma, dos dispositivos usados para proteger as lâmpadas e do seu estado de conservação. Quando se avalia a distribuição da luz a partir da luminária, deve-se considerar como ela controla o brilho, assim como a proporção dos lumens da lâmpada que chegam ao plano de trabalho. A luminária pode modificar (controlar, distribuir e filtrar) o



Tipos de luminária

fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas: desviá-lo para certas direções (defletores) ou reduzir a quantidade de luz em certas direções para diminuir o ofuscamento (difusores).

A figura ao lado apresenta a classificação proposta pela CIE (*Commission Internationale d'Eclairage*) de luminárias para iluminação geral, de acordo com o direcionamento do fluxo luminoso ⁽⁴⁴⁾.

Classificação das luminárias conforme a CIE

REATORES

Outro elemento importante no desempenho de uma lâmpada fluorescente é o reator. Este componente consome uma parcela significativa de energia por aquecimento. Basicamente três modelos existem no mercado: o reator convencional, o reator de partida rápida e o reator eletrônico. O modelo convencional é utilizado para apenas uma lâmpada e exige algum dispositivo auxiliar para o acendimento da lâmpada (interruptor auxiliar ou *starter*). A lâmpada atendida por esse reator geralmente pisca por algum tempo antes de acender. O reator de partida rápida (um pouco mais econômico que o convencional) pode acender até duas lâmpadas e não necessita de dispositivo auxiliar para partida. A tabela 4.10 mostra o consumo de energia para os dois tipos de reator.

Tabela 4.10 - Perdas de energia em reatores (W)

Lâmpada	Reator	
	Convencional	Partida rápida
1 x 20 W	7 - 10	-
2 x 20 W	-	16 - 18
1 x 40 W	10 - 15	15 - 19
2 x 40 W	24	23
2 x 65 W	32	-
2 x 110 W	-	35

Atualmente também existem no mercado reatores eletrônicos, bem mais econômicos que os outros dois modelos. Estes equipamentos apresentam perdas reduzidas e até negativas, por funcionarem em altas frequências. Outra vantagem é a possibilidade de utilização de um único reator para até quatro lâmpadas fluorescentes. Pela tabela se percebe que a solução mais comum em edifícios - luminária com duas lâmpadas de 40 W - pode ser substituída por uma opção bem mais econômica - luminária com duas lâmpadas de 32 W (tipo T8) e reator eletrônico. Os consumos comparativos de energia serão:

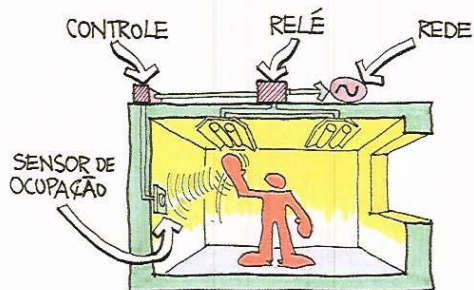
- 2 x 40 W - reator convencional → consumo de 104 W/h (40 W + 40 W + 24 W);
- 2 x 40 W - reator de partida rápida → consumo de 103 W/h (40 W + 40 W + 23 W);
- 2 x 32 W - reator eletrônico → consumo de 64 W/h (32 W + 32 W).

CONTROLE DA LUZ ELÉTRICA

A função de um sistema de controle de luz é fornecer a quantidade adequada de luz onde e quando ela é necessária, enquanto minimiza o consumo de energia elétrica. O controle da luz elétrica pode ser feito através de vários dispositivos. A distribuição racional dos circuitos permitirá acionamentos independentes das luminárias, proporcionando a redução do consumo de energia. O controle pode ser ainda automático, através de sensores de ocupação, sistemas com controle fotoelétrico e sistemas de programação de tempo⁽⁴⁴⁾.

• Sensores de Ocupação

Os sensores de ocupação são dispositivos de controle que respondem à presença e à ausência de pessoas no campo de ação do sensor. O sistema consiste em um detector de movimento (que usa ondas ultra-sônicas ou de radiação infravermelha), uma unidade de controle eletrônica e um interruptor controlável (relé). O detector de movimento sente o movimento e envia o sinal apropriado para a unidade de controle. A unidade de controle, então, processa o sinal de entrada para fechar ou abrir o relé que controla a potência da luz.

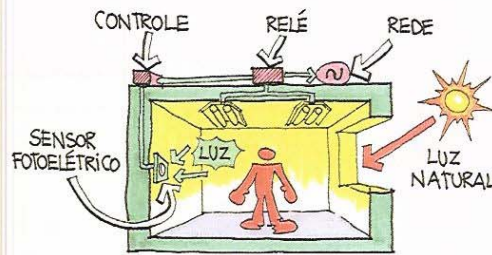


Sensores de ocupação

• Sistema por Controle

Fotoelétrico

Este sistema possui sensores que identificam a presença de luz natural, fazendo a devida diminuição ou até mesmo bloqueio da luz artificial através de *dimers* controlados automaticamente. Quanto maior a quantidade de luz natural disponível no ambiente, menor será a potência elétrica fornecida às lâmpadas e vice-versa.



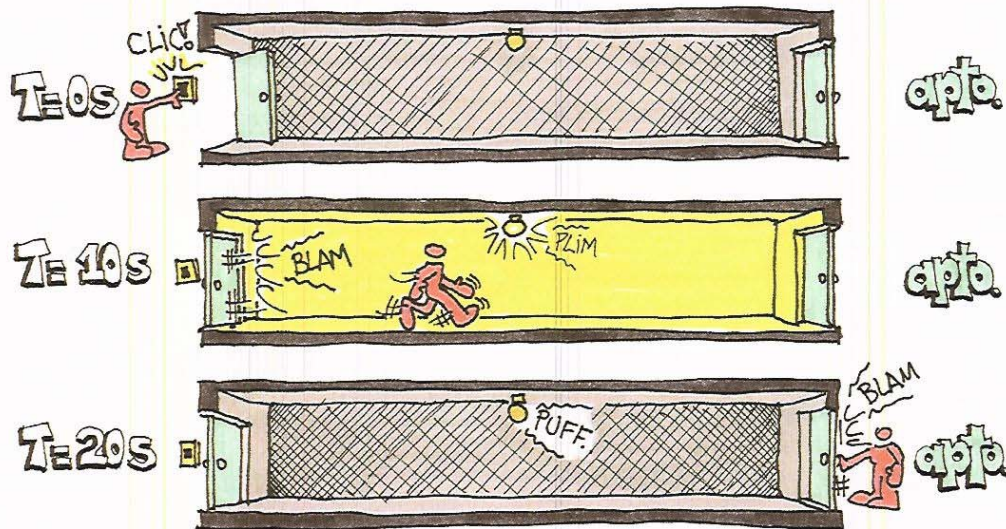
Sistema com controle fotoelétrico

• Sistema de Programação de Tempo

Estes sistemas são projetados para reduzir o desperdício de luz, gerenciando eficientemente o ligar e o desligar dos sistemas de iluminação em edifícios. Funcionam através do desligamento ou diminuição da luz durante os horários quando não há ocupantes num ambiente do edifício ou quando há trabalhadores desempenhando tarefas que não requerem níveis mais altos de luz, isto é, tarefas de limpeza após o horário comercial.

O controle da luz elétrica também pode ser feito individualmente, através de temporizadores e *dimers*. Os temporizadores ou minuterias são muito usados nos corredores de edifícios. A

pessoa que entra no prédio ativa o temporizador, que acende as lâmpadas por um período de tempo preestabelecido, suficiente para o usuário chegar ao seu local de destino. Após o tempo programado, o temporizador desativa as lâmpadas, evitando o desperdício de energia.



Funcionamento da minuteria

Os *dimers* são bastante conhecidos e controlam, através de um circuito eletrônico, a potência fornecida à lâmpada. Da mesma forma como se controla o volume de um rádio, uma pessoa pode controlar o brilho de uma lâmpada de zero a 100% através do *dimer*. Este aparelho é normalmente encontrado para lâmpadas incandescentes. Com a utilização de reatores eletrônicos e de alguns modelos de reatores eletromagnéticos, pode-se também empregar *dimers* específicos para lâmpadas fluorescentes.

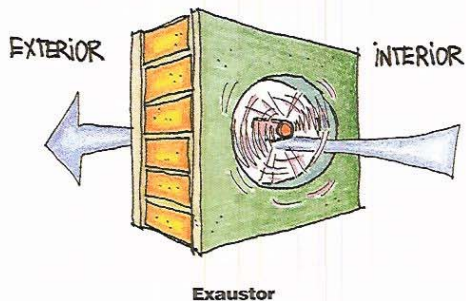
É importante ressaltar que, na arquitetura residencial e, principalmente, na arquitetura comercial, o uso de sistemas de controle da iluminação artificial e a adequada especificação do tipo de lâmpada e de luminária são premissas básicas ao bom projeto luminotécnico e, em conseqüência, ao conforto visual das pessoas e à eficiência energética do edifício.

CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL

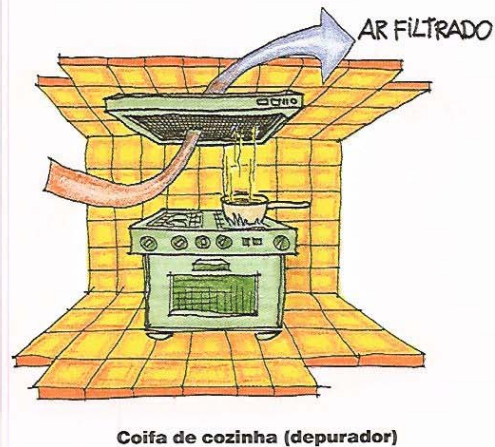
Os sistemas artificiais para resfriamento ou aquecimento são estratégias de projeto que, tal como os sistemas naturais, devem ser levadas em consideração desde a decisão sobre o partido arquitetônico a ser adotado. Nem sempre é possível tirar partido apenas dos recursos naturais para promover o conforto térmico dos usuários. Em função do clima local e da própria função a que se destina a arquitetura, é muitas vezes inevitável o uso de sistemas artificiais de climatização, como ventiladores, aquecedores e ar condicionado. Em edifícios comerciais e públicos, por exemplo, o uso de climatização ativa é praticamente obrigatório, pois o desconforto pode significar perda de clientes ou baixa produtividade. Por estes motivos é tão importante o arquiteto saber empregar os sistemas artificiais nos seus projetos. Uma vantagem de ter esta visão é poder usar racionalmente os equipamentos, evitando desperdício de energia. Outro ponto importante é que, conhecendo os diversos tipos de sistema de climatização existentes no mercado e as características básicas de cada um, o arquiteto pode “falar” uma linguagem comum com os projetistas de cada sistema. Deve-se também entender a diferença conceitual entre ventilação e infiltração. A primeira representa uma exigência nos ambientes interiores, configurando-se como a renovação de ar necessária para os usuários. Ao contrário, a infiltração (ar que penetra por frestas) aparece como um problema para o aquecimento artificial e a refrigeração. O ar infiltrado geralmente está em condições indesejáveis de temperatura e umidade relativa, podendo causar a diminuição da eficiência do equipamento de climatização. Os sistemas de climatização artificial de uso mais comum na arquitetura são os de ventilação mecânica, os de aquecimento e os de refrigeração ⁽⁵⁶⁾.

VENTILAÇÃO MECÂNICA

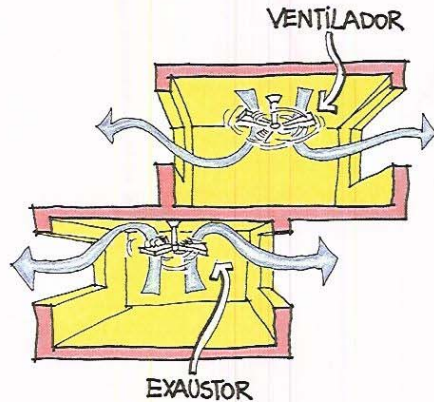
Os sistemas de ventilação mecânica são basicamente de dois tipos: os exaustores e os ventiladores. A exaustão é normalmente utilizada em ambientes onde há alguma fonte de contaminação do ar (cozinhas, banheiros, laboratórios etc.). Os exaustores criam uma pressão negativa que suga o ar quente ou impuro, arremessando-o para fora do ambiente.



Também existem aparelhos para filtrar o ar, conhecidos como depuradores. A desvantagem destes sistemas é que apenas filtram o ar, deixando o calor no ambiente.



A ventilação mecânica de um ambiente pode ser feita com ventiladores móveis ou fixos no teto, e estes últimos podem ser especificados pelos arquitetos. Os ventiladores de teto, além de circular e refrescar o ar, podem funcionar como exaustores, afastando insetos e fumaça.



Ventilador de teto

As vantagens desse sistema são a economia de energia, o baixo custo, a facilidade de instalação e o fato de refrescar o usuário sem alterar a temperatura do ar. Isto acontece porque a convecção criada pelo ventilador ajuda na evaporação do suor e na remoção do calor da pele, aumentando a sensação de conforto do usuário.

AQUECIMENTO

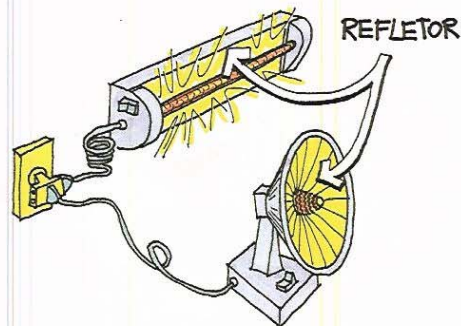
Para aquecer um ambiente de forma passiva se utilizam basicamente dois princípios: evitar as perdas de calor e incrementar os ganhos térmicos do exterior. Porém, estes princípios nem sempre são suficientes, levando o usuário ao aquecimento artificial do interior. A gama de aquecedores artificiais é enorme, indo desde lareiras até aparelhos de ar condicionado (ciclo reverso).

Os sistemas mais simples são de aquecimento local ou direto. A fonte de energia para estes sistemas pode ser a eletricidade, o gás, o óleo ou combustíveis sólidos (lenha, carvão etc.), sendo estes últimos mais usados em sistemas de aquecimento central. No caso de lareiras ou fogões a lenha, o calor continua sendo emitido por radiação mesmo após o fogo ser apagado, devido à inércia térmica dos materiais normalmente empregados na sua construção (pedra ou tijolo).

Apesar dos vários tipos disponíveis, o aquecimento elétrico é hoje o mais difundido pela facilidade de instalação, baixo custo do transporte de energia, maneabilidade simples e ausência de combustão. Baseia-se no aquecimento provocado pela corrente elétrica que passa através de uma resistência. Praticamente todos os aquecedores elétricos emitem calor por convecção e por radiação, e os principais tipos disponíveis no mercado são:

- **Radiador Incandescente**

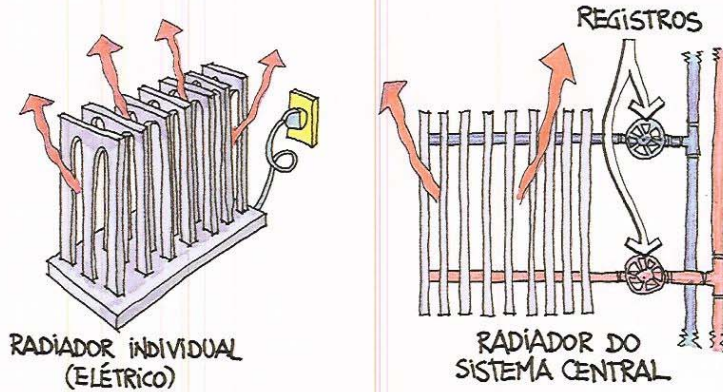
A corrente elétrica aquece um elemento cerâmico que irradia calor através de um refletor parabólico. A maior parte do calor (80%) é emitida por radiação⁽⁵⁵⁾.



Radiador incandescente

• **Painel Radiador de Baixa Temperatura**

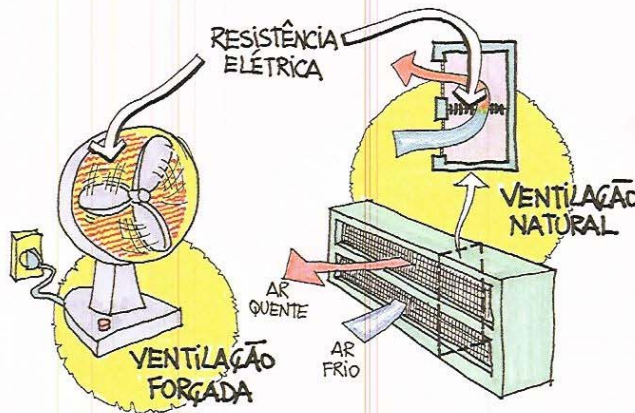
Neste caso, a resistência elétrica se situa no interior de um tubo fino imerso em água ou em óleo que, aquecidos, circulam pelo radiador. A principal vantagem desse aquecedor é sua baixa temperatura superficial (por volta de 50°C), que evita acidentes por queimaduras.



Painel radiador de baixa temperatura

• **Convector Elétrico**

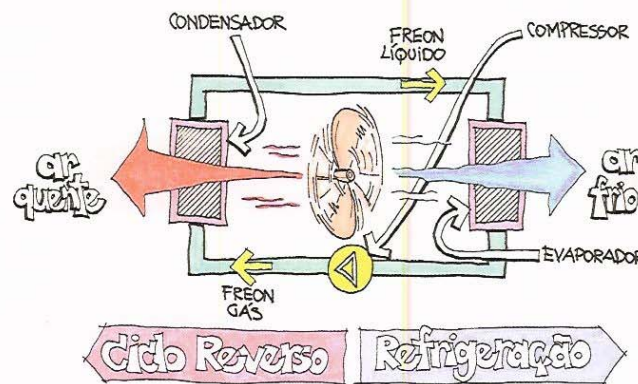
Existem basicamente dois tipos de convector elétrico: com ventilação forçada ou natural. O convector elétrico com ventilação forçada funciona de maneira semelhante a um secador de cabelos. O ar é forçado a passar por uma resistência aquecida, se aquece e é direcionado para o ambiente. O modelo com ventilação natural consiste basicamente de uma resistência elétrica aquecida situada no interior de um invólucro. O ar ambiente é induzido (por convecção natural) a passar pela resistência, onde é aquecido e devolvido ao ambiente.



Convector elétrico com ventilação forçada e ventilação natural

• **Bomba de Calor (ar condicionado de janela)**

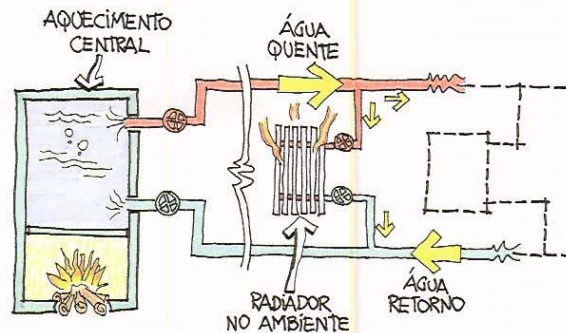
A bomba de calor é um sistema do mesmo tipo usado para refrigeração, porém em ciclo reverso. Seu princípio de funcionamento se baseia na passagem de um gás refrigerante (normalmente o freon) por uma tubulação que o submete a uma alta pressão no lado quente do sistema (condensador) e a baixa pressão no lado frio do sistema (evaporador). Se o ar for forçado a passar pelo evaporador, se resfriará, e se for forçado a passar pelo condensador (ciclo reverso), se aquecerá. A partir daí resta fazer o ar aquecido (ou resfriado) circular pelo ambiente interno. As principais vantagens deste sistema são o baixo consumo de energia em comparação com os aquecedores a resistência e a possibilidade de, se revertido o fluxo do ar, poder ser utilizado também para refrigeração. A principal limitação da bomba de calor é a impossibilidade de funcionamento em situações em que a temperatura do ar externo é inferior a 4°C.



Esquema da bomba de calor

• **Aquecedor Central**

Em algumas situações pode-se preferir o aquecimento central em vez do uso de aparelhos individuais. O que se tem a fazer nestes casos é basicamente aquecer água ou ar em local



Esquema de aquecimento central

separado dos ambientes a serem aquecidos e distribuir o fluido para os ambientes através de tubulações. O fluido circula por radiadores instalados no interior dos ambientes, que emite calor para o ar por convecção e por radiação. A escala do aquecedor central pode variar desde pequenas casas até grandes edificações (hotéis, edifícios públicos ou comerciais etc.). A produção de calor é geralmente feita em *boilers* (para água quente) ou fornalhas (para ar quente). Raramente a eletricidade é utilizada em sistemas centrais, preferindo-se a utilização de combustíveis (óleo, gás, carvão, lenha etc.) ou até mesmo de fontes renováveis de energia (solar, eólica, biogás, biomassa etc.).

RESFRIAMENTO

Em edificações públicas e comerciais, o ar condicionado é hoje em dia o sistema mais empregado para climatização. Consiste em controlar simultaneamente a temperatura, umidade, pureza e distribuição do ar para atender as necessidades em um ambiente. Isto significa que o ar ficará compatível com as necessidades térmicas e ambientais de um recinto independentemente das condições externas.

Embora consuma energia, o ar condicionado é indispensável em algumas edificações. Observam-se aplicações importantes em hospitais, salas de recuperação e outros ambientes que exigem condições especiais, não encontradas no ar externo. Em salas de computadores, por exemplo, o ar condicionado é fundamental pelo fato de alguns componentes eletrônicos apresentarem falhas quando aquecidos. Em edifícios comerciais, o uso de ar condicionado decorre, muitas vezes, da necessidade de aumentar as condições

interiores de conforto e, conseqüentemente, de produtividade. Nestes edifícios, o isolamento do ar exterior pode evitar a poluição sonora e ambiental, principalmente nos grandes centros urbanos.

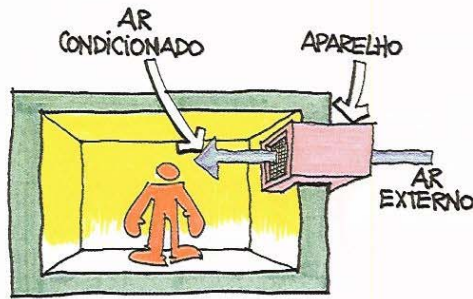
O possível uso do ar condicionado deve inserir-se no contexto do projeto arquitetônico desde o início, com o intuito de evitar desagradáveis modificações no desenho original em virtude da instalação posterior do sistema.

Fatores como a racionalização dos espaços internos e de energia e a economia nos custos da construção fazem necessário o entrosamento entre o arquiteto e os profissionais do ar condicionado. Para que esse intercâmbio de idéias seja palpável, é importante ao arquiteto ter noções sobre os diversos tipos de ar condicionado existentes no mercado. Atualmente, os sistemas normalmente utilizados em edificações são:

- ar condicionado de janela;
- minicentrais;
- minicentrais do tipo *multisplit*;
- *self contained*;
- *chiller* e *fan-coil*.
- Dependendo do tipo, os sistemas de ar condicionado podem ser utilizados apenas para refrigerar ou para refrigerar e aquecer (ciclo reverso).

• Ar Condicionado de Janela

Este é o aparelho mais simples e compacto, pois possui o condensador e o evaporador sob o mesmo invólucro. O ar externo é puxado através da unidade, onde é condicionado e imediatamente entregue ao ambiente interior. O ar a ser tratado pode constituir-se de uma mistura com o ar interno ou ser totalmente proveniente do exterior.



Ar condicionado de janela

Sua instalação compreende uma abertura na parede voltada para o ambiente externo, preferencialmente no centro da parede de menor largura. Esta orientação busca uniformizar a temperatura interna do ambiente. Aconselha-se uma altura média de 1,70 m. Sempre que possível, deve ser colocado um ponto de dreno para a água condensada.

Em virtude de o rendimento do aparelho estar associado a trocas térmicas, sua exposição à radiação solar, seu encapsulamento ou outra forma de estagnação do fluxo de ar comprometem muito (até 30%) sua capacidade de refrigeração, gerando desgaste e consumo excessivos. Os últimos lançamentos apresentam compressores rotativos, em vez dos alternativos. A vantagem está na redução do consumo de energia e do peso. Estes aparelhos apresentam o menor custo para aquisição e instalação e possuem manutenção simples. Também são bastante flexíveis para mudanças de posição e remanejamento, além da vantagem de aquecimento por ciclo reverso em alguns modelos. Entretanto, algumas desvantagens também são presentes no ar condicionado de janela, como o alto nível de ruído, a exigência de paredes externas para o ambiente ao qual se destina e a

conseqüente alteração da fachada arquitetônica. São fornecidos modelos com capacidade de refrigeração conforme tabela a seguir.

Tabela 4.11 - Capacidade de refrigeração de aparelhos de ar condicionado de janela

Watt	BTU/h	TR
2.200 a 8.800	7.500 a 30.000	0,625 a 2,5

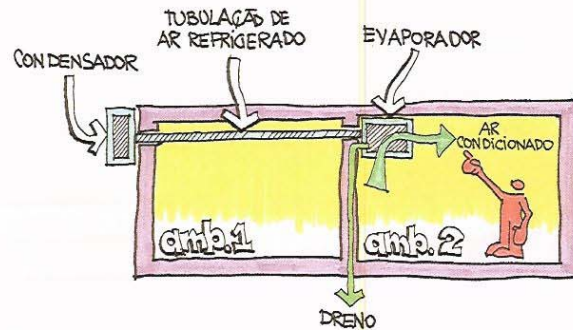
Uma opção mais sofisticada em relação ao tipo de janela são as minicentraís de pequeno porte.

• Minicentraís de Pequeno

Porte

Este tipo de ar condicionado pode atender espaços sem paredes voltadas para o exterior, pois possui as unidades evaporadora e condensadora separadas, podendo estar distanciadas até 30 m entre si. A condensadora deve ser alocada em um lugar bem ventilado e sem exposição à radiação solar. Como é a principal fonte de ruído, sua posição deve ser bem estudada. O evaporador, instalado no interior do ambiente que se quer condicionar, se interliga ao condensador por uma tubulação de gás refrigerante que implica a abertura de um orifício na parede de apenas 8 cm de diâmetro. Faz-se necessário também um ponto elétrico monofásico e um ponto de dreno para o evaporador.

As principais vantagens deste tipo em relação ao de janela são o baixo nível de ruído e a possibilidade de condicionar espaços interiores sem paredes externas. Quanto às desvantagens, são basicamente o custo bem mais elevado e a manutenção mais complexa, que requer profissionais especializados.



Minicentral de pequeno porte

As minicentraís são fornecidas com capacidades de refrigeração de:

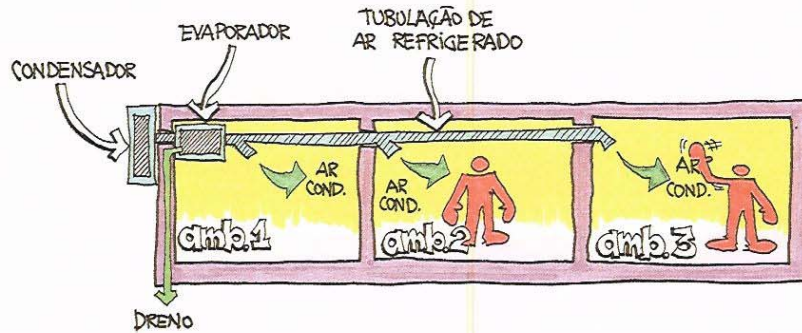
Tabela 4.12 - Capacidade de refrigeração de minicentraís

Watt	BTU/h	TR
3.515 a 8.800	12.000 a 30.000	1 a 2,5

Se o ambiente a ser condicionado é composto por vários compartimentos, como lojas com subdivisões internas ou escritórios, galerias, lanchonetes, pequenas agências bancárias etc., recomenda-se o uso de minicentraís do tipo *multisplit*.

• **Multisplit**

Com capacidade de refrigeração bem superior à das minicentraís de pequeno porte, o *multisplit* é o equipamento de menor porte projetado para trabalhar de forma ambiente ou dutado. Para espaços maiores pode-se combinar várias unidades dispostas estrategicamente, reduzindo o custo de instalação de redes de dutos (pertinente a uma única unidade de maior porte). A instalação destes aparelhos segue as premissas apresentadas para minicentraís, porém requer um ponto elétrico trifásico.



Multisplit

A vantagem deste sistema é a climatização de vários ambientes simultaneamente. Sua principal desvantagem é possuir um único termostato, implicando a variação das temperaturas dos ambientes segundo a variação da carga térmica em um único ponto.

A capacidade de refrigeração de um *multisplit* é geralmente de:

Tabela 4.13 - Capacidade de refrigeração de aparelhos tipo *multisplit*

Watt	BTU/h	TR
11.720	40.000	3,33

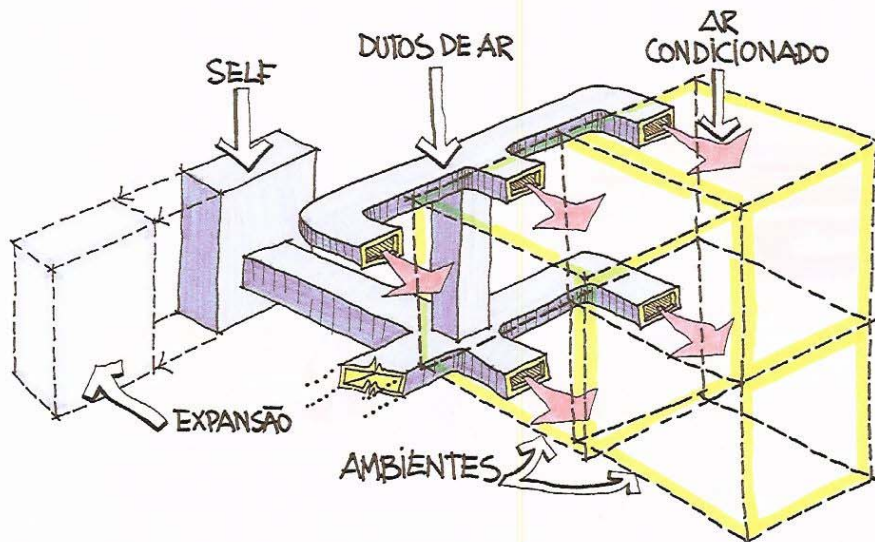
Se o ambiente a ser condicionado é mais externo, possuindo carga térmica maior, como em bancos, edifícios de escritórios, restaurantes etc., pode-se utilizar uma rede de dutos através de um equipamento conhecido como *self contained*.

• Self Contained

O *self contained* é um equipamento orientado para rede de dutos, ainda que também possa ser usado com grelha difusora diretamente no ambiente. É essencialmente trifásico. A principal desvantagem desse sistema é não possuir ciclo reverso. Entretanto, pode produzir aquecimento no ambiente mediante adaptação de resistência elétrica.

No mercado, encontram-se basicamente três modelos distintos:

- *self* com condensadora de ar incorporada: análogo a um grande aparelho de janela;
- *self* com condensadora de ar remota: disposição semelhante às minicentraís;
- *self* com condensação a água: requer uma linha alimentadora de água.



Self contained

O *self contained* possui capacidade de refrigeração entre:

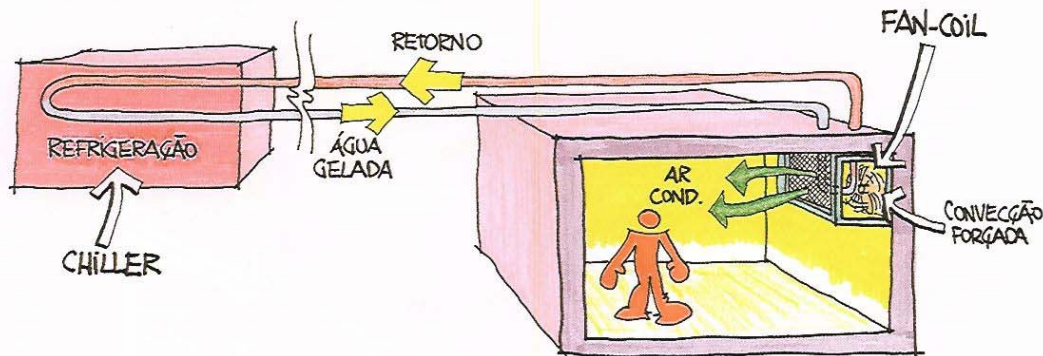
Tabela 4.14 - Capacidade de refrigeração de aparelhos *self contained*

Watt	BTU/h	TR
17.900 a 64.300	62.500 a 225.000	5 a 18

• Chiller e Fan-coil

Os sistemas compostos por *chillers* estão associados a uma rede de distribuição de água gelada para unidades conhecidas por *fan-coil*. O *fan-coil* é análogo à unidade evaporadora, tendo a função de forçar a passagem de ar pelos tubos de água gelada, jogando ar frio para o ambiente interior. Estes sistemas normalmente apenas refrigeram. O aquecimento implica o emprego de caldeiras associadas aos *fan-coils*. O dimensionamento e a instalação desse tipo de ar condicionado são bastante complexos, exigindo projetos detalhados e profissionais gabaritados. Em regiões onde a tarifa de energia é diferenciada para cada período do dia, o *chiller* pode ser usado para acumular água gelada ou gelo nos horários em que a energia é mais barata (à noite) para posterior uso durante o dia e, principalmente, nos horários de pico, reduzindo assim a demanda a ser contratada.

Chillers e *fan-coils* são muito utilizados em *shopping center*, devido à sua capacidade para condicionar espaços interiores bastante amplos e complexos.



Chiller e fan-coil

CARGA TÉRMICA

Após o conhecimento de todas as variáveis (climáticas, humanas e arquitetônicas) pode-se, através do cálculo da carga térmica, saber a quantidade de calor total que deverá ser extraída ou fornecida ao ar do ambiente para se poder mantê-lo em condições desejáveis de temperatura e umidade. Com este cálculo é possível dimensionar um sistema para resfriamento ou para aquecimento do ambiente interior.

Os principais fatores ou fontes térmicas a considerar no levantamento de carga térmica são:

- **CLIMÁTICAS:**
 - insolação - depende da orientação e do tipo de janela e respectivas proteções solares utilizadas;
 - temperatura do ar externo;
 - umidade do ar externo.
- **HUMANAS:**
 - ocupantes - o calor gerado pelos ocupantes depende de sua atividade física (metabolismo) e do número de pessoas usuárias do ambiente.
- **ARQUITETÔNICAS:**
 - fechamentos opacos - todos os fechamentos opacos (paredes, pisos, tetos) podem ser fontes de ganhos ou perdas térmicas do ambiente por condução entre os meios exterior e interior;
 - fechamentos transparentes - atuam através dos ganhos de calor por insolação e das trocas entre os meios externo e interno por condução;
 - iluminação artificial - a iluminação artificial também gera calor, que deve ser considerado como integrante da carga térmica;
 - outras fontes de calor - como computadores, máquinas e outros

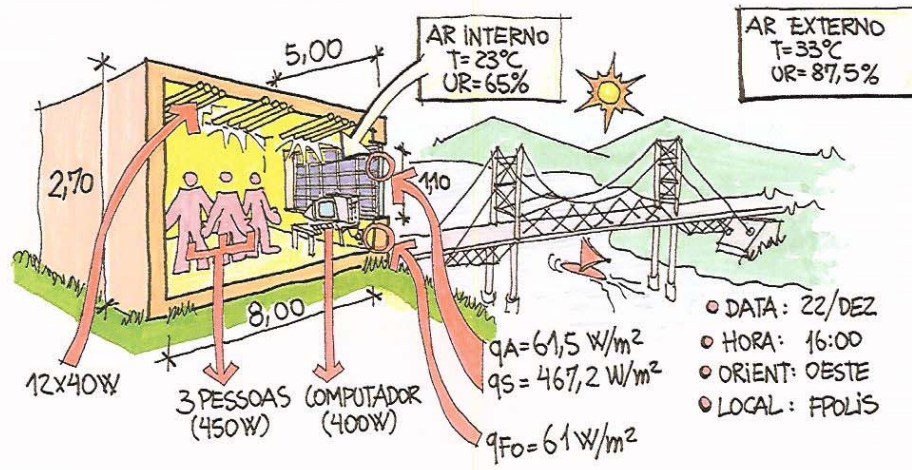
equipamentos que podem gerar calor no ambiente;

- infiltração e renovação - as condições de temperatura e umidade do ar externo podem significar um acréscimo razoável na carga térmica do ambiente por infiltração (por frestas) ou renovação, principalmente se forem muito diferentes das condições do ar interno.

EXEMPLO NUMÉRICO

Um exemplo numérico pode esclarecer melhor como a estimativa da carga térmica é feita.

Na figura a seguir tem-se o ambiente sob análise para o cálculo da carga térmica. É uma sala comercial localizada na cidade de Florianópolis e voltada para oeste. A sala procura representar um ambiente típico de trabalho, com dimensões de 5 por 8 m (40 m²) e pé-direito de 2,70 m. A parede exterior está na menor dimensão (5 m) e é vazada por uma janela com largura de 5 m e altura de 1,10 m. O material das paredes é o tijolo maciço rebocado com 12 cm de espessura total (tabela 4.6) e o vidro utilizado na abertura é simples com 3 mm de espessura. Prevêem-se no interior a ocupação por três pessoas, o uso de um computador e o total de doze lâmpadas fluorescentes comuns (40 W) para iluminação artificial. A data de cálculo é o dia 22 de dezembro (solstício de verão) às 16:00 horas, quando a radiação solar assume o valor mais crítico durante o dia para a cidade. A seqüência de cálculos a seguir pode ser utilizada para a estimativa da carga térmica do ambiente.



Exemplo numérico de carga térmica

• **Condução pelo Fechamento Opaco (Q_{FO})**

Como já explicado no exemplo numérico de fechamentos opacos, tem-se que:

• $q_{FO} = 66,33 \text{ W/m}^2$.

A área total de fechamento opaco da parede externa será, descontando a área de abertura:

• $A_{FO} = (5 \times 2,70) - (5 \times 1,10) = 8 \text{ m}^2$.

Então, o ganho de calor pelo fechamento opaco será:

• $Q_{FO} = q_{FO} \times A_{FO} = 66,33 \times 8 = 530,64 \text{ W}$.

Este é o valor do ganho térmico pela parte opaca da parede externa para a situação analisada.

• **Condução pela Abertura (Q_A)**

Como já calculado no exemplo numérico de fechamentos transparentes tem-se que:

• $q_A = 57,9 \text{ W/m}^2$.

A área de abertura é:

• $A_A = 5 \times 1,10 = 5,50 \text{ m}^2$.

Então, o fluxo total de calor que atravessa a abertura por condução será:

- $Q_A = q_A \times A_A = 57,9 \times 5,5 = 318,45 \text{ W}$.

• Ganho Solar pelo Vidro (Q_s)

E o ganho térmico solar pela janela será, conforme já visto em fechamentos transparentes:

- $q_s = 622 \text{ W/m}^2$.

Fazendo o cálculo para toda a área envidraçada da parede exterior tem-se:

- $Q_s = q_s \times A_A = 622 \times 5,5 = 3.421 \text{ W}$.

A abertura contribui então com 318,45 W de calor ganhos por condução e com 3.421 W de calor ganhos diretamente do sol, totalizando 3.739,45 W.

• Ganho de Calor dos Ocupantes (Q_o)

Adotaram-se para a sala três ocupantes. Segundo a norma ISO 7730 ⁽³⁶⁾, uma pessoa em atividade leve (normalmente exercida em ambientes desse tipo) produz aproximadamente 150 W de calor. O calor total produzido pelos ocupantes da sala será então:

- $Q_o = 150 \times 3 = 450 \text{ W}$.

• Ganho de Calor por Iluminação Artificial (Q_i)

Como já foi especificado, esta sala é iluminada por doze lâmpadas fluorescentes de 40 W. Deve-se considerar, além do calor dissipado pelas lâmpadas (Q_L), o calor perdido pelos reatores (Q_r). Supondo reatores de partida rápida para cada duas lâmpadas, tem-se pela tabela 4.10 que as perdas de calor serão da ordem de 23 W por reator. Então:

- $Q_r = 23 \times 6 = 138 \text{ W}$.

E o calor dissipado pelas lâmpadas será:

- $Q_L = 12 \times 40 = 480 \text{ W}$.

O ganho de calor total por iluminação artificial será:

- $Q_i = Q_r + Q_L = 138 + 480 = 618 \text{ W}$.

• Ganho de Calor por Equipamentos (Q_E)

Também haverá uma certa quantidade de calor sendo ganha diretamente dos equipamentos instalados no ambiente. No caso do exemplo tem-se um computador cuja parcela de calor cedido ao ambiente será:

- $Q_E \cong 400 \text{ W}$.

• Ganho de Calor por Infiltração de Ar (Q_{IA})

Adota-se regularmente um certo número de trocas de ar para o ambiente, que depende da estanqueidade das aberturas ao ar. Neste caso se adotou uma infiltração de 10% do volume total de ar do ambiente a cada hora (0,1). É importante compreender que esta infiltração acontecerá pelas frestas e se traduzirá em dois tipos distintos de ganhos de calor para efeito de cálculo de carga térmica: calor sensível e calor latente. Conforme explicado no Anexo B, o calor sensível está relacionado basicamente à diferença de temperatura entre interior e exterior e o calor latente incorpora o conceito de troca de estado da água contida no ar.

• Calor Sensível

O calor sensível (Q_{SE}) pode ser calculado por:

- $Q_{SE} = \rho c V \Delta t \text{ [W]}$

onde: $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ (densidade do ar);

$c = 1.000 \text{ J/kg K}$ (calor específico do ar);

$V =$ volume de ar trocado no ambiente a cada segundo;

$\Delta t =$ diferença de temperatura entre interior e exterior.

O valor de V será:

- $V = (\text{infiltração} \times \text{volume da sala}) \div 3.600$
- $V = (0,1 \times 5,00 \times 8,00 \times 2,70) \div 3.600 = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$.

O calor sensível será então:

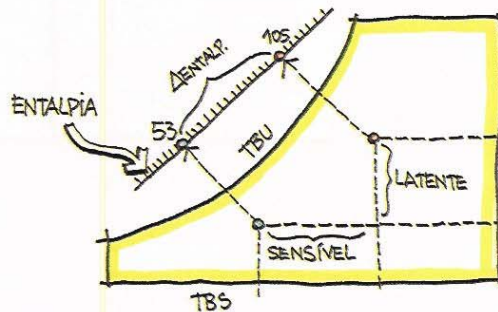
- $Q_{SE} = 1,2 \times 1.000 \times 0,003 \times (33 - 23) = 36 \text{ W}$.

• Calor Latente

Um pouco mais complicado de calcular, o calor latente indica a quantidade de energia que deverá ser gasta para alterar a temperatura e a umidade do ar que infiltra no ambiente a

partir do exterior de forma a deixá-lo em condições iguais ao ar interior. Este cálculo exige conhecimentos mais aprofundados da carta psicrométrica e dos conceitos de entalpia. Resumidamente, multiplica-se a diferença entálpica entre o ar externo e o interno pelo volume de ar trocado.

O cálculo pode ser feito como a seguir:



Carta psicrométrica com entalpias das duas condições (exterior e interior)

- Ar externo: $t_e = 33\text{ °C}$; U.R. = 87,5% → Entalpia = 105 kJ/kg de ar seco
- Ar interno: $t_e = 23\text{ °C}$; U.R. = 65% → Entalpia = 53 kJ/kg de ar seco.

A diferença entálpica será então:

- $105 - 53 = 52\text{ kJ/kg} = 52.000\text{ J/kg}$ de ar seco.

Para calcular o calor latente (Q_{LA}) se faz:

- $Q_{LA} = 52.000 \times V \times \rho = 187,2\text{ W}$.

O total de calor que entra no ambiente por infiltração será para este caso:

- $Q_{ia} = Q_{SE} + Q_{LA} = 223,2\text{ W}$.

• Carga Térmica (CT)

A carga térmica (CT) para o ambiente será então:

- $CT = Q_{FO} + Q_A + Q_s + Q_o + Q_i + Q_E + Q_{ia}$
- $CT \cong 5.960\text{ W}$.

Deve-se dizer que, embora este seja o valor de pico, é o que se utiliza para o dimensionamento de aparelhos de climatização. A partir dos valores explanados se pode identificar a contribuição de cada elemento analisado:

Tabela 4.15 - Contribuição de cada elemento do projeto na carga térmica

ELEMENTO	CONTRIBUIÇÃO DE CALOR
Parede externa	9%
Abertura	63%
Ocupantes	7%
Iluminação artificial	10%
Equipamentos	7%
Infiltração	4%

É importante ressaltar que o procedimento aqui descrito é extremamente simplificado. Para avaliações mais precisas de carga térmica, deve-se consultar bibliografias específicas ⁽⁴⁷⁾ ⁽⁵⁷⁾ ou utilizar um programa de simulação sofisticado como, por exemplo, o DOE 2.1E, BLAST ou ESP. No caso do ambiente acima, se poderia empregar um aparelho de ar condicionado de janela com 24.000 BTU/h ou 1,7 TR.

A especificação de um sistema de ar condicionado deve também ponderar a relação custo/benefício. Um sistema central, por exemplo, consome menos energia para climatizar uma edificação do que uma solução equivalente com aparelhos de janela. Suas vantagens são, entre outras, o menor consumo de energia, o não comprometimento da fachada arquitetônica, a maior durabilidade e confiabilidade, bem como o menor nível de ruído no interior dos espaços condicionados. Entretanto, os aparelhos de janela tornam-se atrativos pela sua simplicidade. Qualquer pessoa pode comprar um aparelho de janela e instalá-lo sem necessitar de um projeto específico. No setor residencial, principalmente, o uso de aparelhos de janela possibilita climatizar apenas alguns ambientes, considerados mais nobres (quarto e estar, por exemplo), justificando esta alternativa. Outro fator a ser considerado é a versatilidade do uso do aparelho de janela em relação às preferências pessoais dos usuários. Em outras palavras: em um edifício comercial, por exemplo, algumas pessoas podem preferir não usar o ar condicionado, deixando abertas as janelas, enquanto outras podem usar o aparelho de sua sala de forma a aquecer ou resfriar o ambiente de acordo com suas necessidades de conforto.

Ao nível do consumo de energia, pode-se comparar de forma prática os aparelhos de ar condicionado através do seu EER (*energy efficient ratio*), que é um conceito de índice de eficiência. O EER relaciona a quantidade de energia elétrica consumida para gerar energia térmica de aquecimento ou refrigeração e sua unidade é BTU/h/W. Na década de 80, o EER para os aparelhos de ar condicionado de janela no Brasil era da ordem de 6,5 a 7,5 BTU/h/W ⁽⁶⁸⁾. Atualmente, este valor subiu para a faixa de 8 a 9 BTU/h/W. As melhorias tecnológicas recentes (como, por exemplo, a introdução dos compressores rotativos) mostram que a indústria busca melhorar ainda mais estes índices. O crescimento do EER significa menor quantidade de energia consumida para refrigeração, o que denota a utilidade deste índice para a escolha de máquinas mais eficientes entre as disponíveis no mercado.

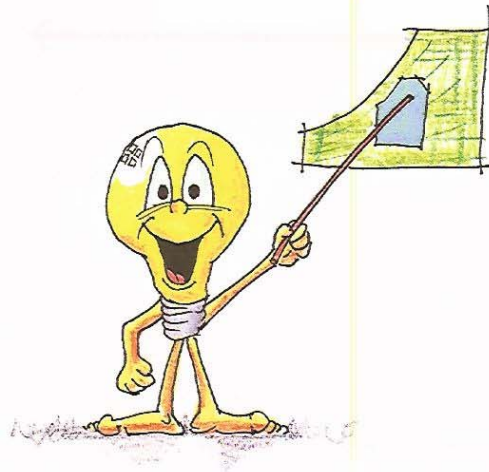
Em breve será lançado pelo PROCEL o selo de eficiência dos condicionadores de ar, o que tornará bem mais fácil ao usuário optar por aparelhos mais eficientes.

REFERÊNCIAS

32. ROMERO, M. A. B.; [1988]. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. Editora Projeto, São Paulo, SP.
33. RIVERO, R.; [1985]. *Arquitetura e clima*. Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, RS.
34. ZEVI, B.; [1984]. *A linguagem moderna da arquitetura*. Publicações Dom Quixote, Lisboa, Portugal.
35. HALL, E. T.; [1981]. *A dimensão oculta*. Livraria Francisco Alves Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ.
36. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 6946/1; [1976]. *Thermal insulation - calculation methods - part 1: steady state thermal properties of buildings components and building elements*.
37. GHISI, E.; [1994]. *Melhoria nas condições de conforto térmico de edificações*. Relatório de Bolsa de Iniciação Científica - CNPq, Florianópolis, SC.
38. SZOKOLAY, S. V.; [1987]. *Thermal design of buildings*. RAI Education Division, Red Hill, Austrália.
39. FROTA, A. B.; SCHISSER, S. R.; [1988]. *Manual de conforto térmico*. Editora Nobel. São Paulo, SP.
40. GOULART, S. V. G.; [1993]. *Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, SC.
41. DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A.; [1991]. *Solar engineering of thermal processes*. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, USA.
42. KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V.; [1977]. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Paraninfo S. A., Madrid, Espanha.
43. LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; [1995]. *Os vidros e o conforto ambiental*. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS, pp. 215-220.
44. BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K.; [1993]. James & James Ltd, London, UK.
45. MOORE, F.; [1991]. *Concepts and practice of architectural daylighting*. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
46. OLGAY, V.; OLGAY, A.; [1976]. *Solar control & shading devices*. Princeton University Press, Princeton, USA.
47. ASHRAE; [1993]. *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, USA.
48. JANNUZZI, G. M.; SCHIPPER, L.; [1991]. *Structure of electricity in the brazilian household sector*. In: Energy Policy. Butterworth-Heinemann.
49. AROZTEGUI, J.M. [1983]. *Desempenho Térmico de Janelas*. Caderno Técnico, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, Porto Alegre, RS.

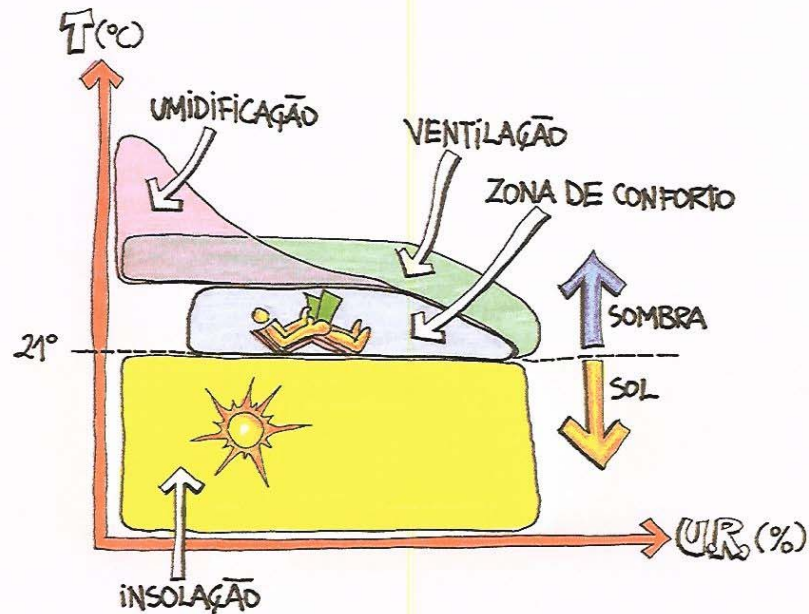
50. SHUKUYA, M. & KIMURA, K. [1987]. *Passive method to determine shading coefficient using two naturally ventilated and transparent boxes*. ASHRAE Transactions, Vol. 93(2), pp. 23-40.
51. PEREIRA, F.O.R. & SHARPLES, S. [1991]. *The development of a device for measuring solar heat gain and shading coefficients of windows in scale models*. Energy and Buildings, Vol. 17, pp. 271-281.
52. WINDOWS AND DAYLIGHTING GROUP [1992]. *Window 4.0: A PC Program for Analyzing Window Thermal Performance*. LBL - 32091, Lawrence Berkeley Laboratory. Berkeley, USA.
53. BORG, N.; [1994]. *Promising artificial sunlight in a highly efficient way*. In: International Association for Energy-Efficient Lighting (IAEEL), Newsletter 3/94, no. 8, vol. 3.
54. ELEY ASSOCIATES; [1993]. *Advanced lighting guidelines: 1993*. U. S. Department of Energy, California Energy Commission, Electric Power Research Institute.
55. SZOKOLAY, S. V.; [1980]. *Environment science handbook for architects and builders*. The Construction Press Ltd, Lancaster, UK.
56. SNYDER, J. C.; CATANESE, A.; [1984]. *Introdução à arquitetura*. Editora Campus Ltda., Rio de Janeiro, RJ.
57. McQUISTON, F. C.; SPITLER, J. D.; [1992]. *Cooling and heating load calculation manual*. 2ª ed. ASHRAE. Atlanta, USA.
58. GELLER, H.; [1994]. *O uso eficiente da eletricidade - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*. INEE, ACEEE, Rio de Janeiro, RJ.

Após o reconhecimento das variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas, deve-se achar um meio de entender os efeitos destes fatores na arquitetura e em sua eficiência energética. Pode-se tirar partido ou evitar os efeitos destas variáveis, por intermédio da edificação, de forma a obter um ambiente interior com determinadas condições de conforto para os usuários. Isso pode ser feito de duas maneiras. A primeira, com o emprego dos já citados sistemas de climatização e iluminação artificial. A segunda, incorporando estratégias naturais de aquecimento, resfriamento e iluminação naturais. É importante ao arquiteto integrar o uso de sistemas naturais e artificiais, ponderando os limites de exequibilidade e a relação custo/benefícios de cada solução. Se as estratégias naturais forem as mais adequadas, deve-se conhecer, primeiramente, a bioclimatologia, que aplica os estudos do clima (climatologia) às relações com os seres vivos ⁽⁵⁹⁾. Conhecendo os conceitos básicos que envolvem o clima e o conforto, pode-se compreender a importância da bioclimatologia aplicada à arquitetura.



A BIOCLIMATOLOGIA APLICADA À ARQUITETURA

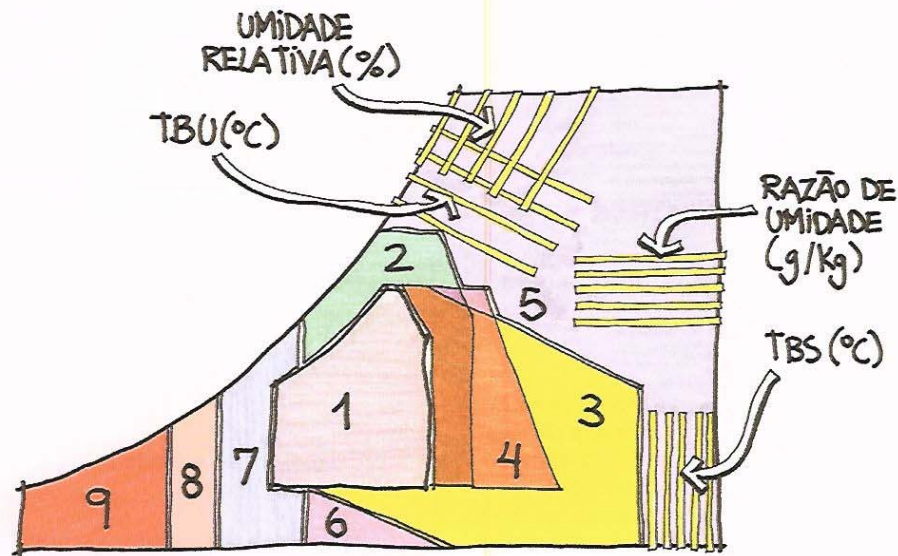
Na década de 60, os irmãos Olgyay aplicaram a bioclimatologia na arquitetura considerando o conforto térmico humano e criaram a expressão *projeto bioclimático* ⁽⁶⁰⁾. A arquitetura assim concebida busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem. Também foi desenvolvido por Olgyay um diagrama bioclimático que propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima.



Carta bioclimática de Olgyay

Foi em 1969 que Givoni concebeu uma carta bioclimática para edifícios que corrigia algumas limitações do diagrama idealizado por Olgyay. A carta de Givoni se baseia em temperaturas internas do edifício, propondo estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima, enquanto que Olgyay aplicava seu diagrama estritamente para as condições externas. Em seu trabalho mais recente (1992), Givoni explica que o clima interno em edifícios não condicionados reage mais largamente à variação do clima externo e à experiência de uso dos habitantes ⁽⁶¹⁾. Pessoas que moram em edifícios sem condicionamento e naturalmente ventilados aceitam usualmente uma grande variação de temperatura e velocidade do ar como situação normal, demonstrando assim a sua aclimação. Givoni concebeu, então, uma carta bioclimática adequada para países em desenvolvimento, na qual os limites máximos de conforto da sua carta anterior foram expandidos. Recentemente foi desenvolvido um trabalho

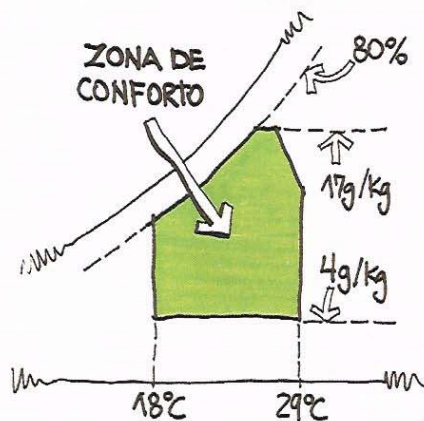
que faz uma revisão bibliográfica abordando o tema bioclimatologia aplicada à arquitetura, com o objetivo de selecionar uma metodologia bioclimática a ser adotada para o Brasil ⁽⁶²⁾. Neste estudo foram analisadas as metodologias de vários autores, entre eles Watson e Labs ⁽⁶³⁾, Olgay ⁽⁶⁴⁾, Givoni ⁽⁶¹⁾ e Szokolay ⁽⁶⁵⁾. Com base nas análises concluiu-se que o trabalho de Givoni de 1992 para países em desenvolvimento é o mais adequado às condições brasileiras.



Carta bioclimática adotada para o Brasil

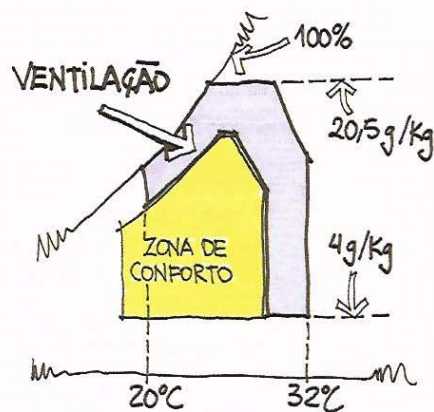
A carta da figura acima é construída sobre o diagrama psicrométrico, que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa. Obtendo os valores destas variáveis para os principais períodos do ano climático da localidade, o arquiteto poderá ter indicações fundamentais sobre a estratégia bioclimática a ser adotada no desenho do edifício. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar exterior podem ser plotados diretamente sobre a carta (conforme será explicado mais adiante), onde são identificadas nove zonas de atuação na carta, conforme a seqüência:

1. zona de conforto;
2. zona de ventilação;
3. zona de resfriamento evaporativo;
4. zona de massa térmica para resfriamento;
5. zona de ar-condicionado;
6. zona de umidificação;
7. zona de massa térmica para aquecimento;
8. zona de aquecimento solar passivo;
9. zona de aquecimento artificial.

1 - ZONA DE CONFORTO

Zona de conforto

Nas condições delimitadas por esta zona haverá uma grande probabilidade de que as pessoas se sintam em conforto térmico no ambiente interior. Percebe-se que o organismo humano pode estar em conforto mesmo em diversos limites de umidade relativa (entre 20% e 80%) e de temperatura (entre 18°C e 29°C), em países em desenvolvimento, segundo Givoni. Quando o ambiente interior estiver com temperatura próxima a 18°C, deve-se evitar o impacto do vento, que pode produzir desconforto. Em situações de temperatura próxima a 29°C é importante controlar a incidência de radiação solar sobre as pessoas, evitando assim o excesso de calor. Analisando esta situação pelo método de Fanger ⁽⁶⁶⁾ conclui-se que o conforto térmico só é possível próximo aos 29°C se as pessoas estiverem vestindo roupas leves e submetidas a pequena quantidade de ventilação. Isto vem reforçar a idéia de Givoni de que em países em desenvolvimento estes costumes permitem a aclimação das pessoas até limites de temperatura e umidade relativa mais amplos em relação aos países desenvolvidos.

2 - VENTILAÇÃO

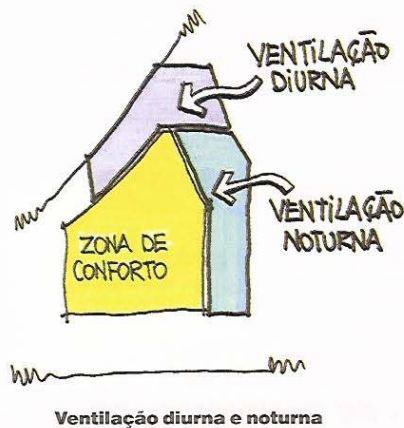
Zona de ventilação

Se a temperatura do interior ultrapassar os 29°C ou a umidade relativa for superior a 80%, a ventilação pode melhorar a sensação térmica.

No clima quente e úmido, a ventilação cruzada é a estratégia mais simples a ser adotada, fazendo, porém, que a temperatura interior acompanhe a variação da temperatura exterior. Supondo que a velocidade máxima permitida para o ar interior é da ordem de 2 m/s, a ventilação é aplicável até o limite de temperatura exterior de 32°C, pois a partir daí os ganhos térmicos por convecção tornam esta estratégia indesejável.

Em todos os casos, os espaços exteriores devem ser amplos, evitando barreiras edificadas para favorecer a boa distribuição do movimento do ar.

Em regiões onde a temperatura diurna é maior que 29°C e a umidade relativa é inferior a 60%, o resfriamento convectivo noturno é mais adequado.

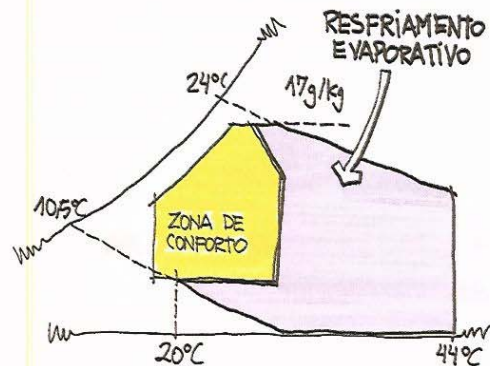


Esta estratégia é aplicável principalmente em regiões áridas, onde a temperatura diurna é de 30°C a 36°C e a temperatura noturna se situa por volta de 20°C. Mesmo que seja mais confortável, a ventilação diurna é indesejável nesta situação, pois implica calor adicional a ser armazenado na edificação, aumentando a temperatura interior noturna. O princípio bioclimático se resume a controlar a ventilação durante o dia para reduzir o ingresso de ar quente e incrementar a ventilação noturna, aproveitando o ar mais fresco para resfriar o interior.

Em regiões áridas, onde a temperatura diurna é superior a 36°C, a ventilação noturna não é suficiente para o conforto. Outros sistemas de resfriamento (ar condicionado, resfriamento evaporativo ou massa térmica) são necessários. Mesmo assim o resfriamento convectivo não deve ser descartado, pois pode significar a redução do tempo de uso dos outros sistemas.

As soluções arquitetônicas mais utilizadas são: ventilação da cobertura, ventilação cruzada, ventilação sob a casa e o uso de captadores de vento, todas fartamente ilustradas em diversas bibliografias ^{(63) (67) (68) (69)}.

3 - RESFRIAMENTO EVAPORATIVO



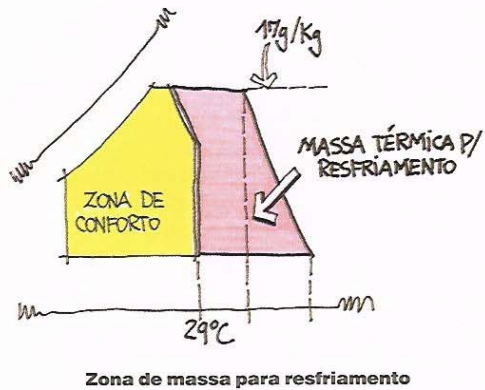
A evaporação da água pode reduzir a temperatura e simultaneamente aumentar a umidade relativa de um ambiente. Um exemplo deste recurso é a típica fonte dos pátios árabes. Em épocas quentes e secas também a vegetação permite otimizar as condições de conforto por resfriamento evaporativo (evapotranspiração do vegetal).

Com o resfriamento direto dos espaços interiores através da evaporação se requer boa taxa de ventilação para evitar o acúmulo de vapor de água. Levando em conta este fator, pode-se sugerir que o resfriamento evaporativo é aconselhável apenas quando a temperatura de bulbo úmido (TBU) máxima não excede os 24°C e a temperatura de bulbo seco (TBS) máxima não ultrapassa os 44°C para países em desenvolvimento.

Exemplos de resfriamento evaporativo direto são o uso de vegetação, fontes de água ou outro recurso que se fundamente na evaporação da água diretamente no ambiente que se quer resfriar.

Também existe a forma indireta, como acontece ao se empregar tanques de água sombreados no telhado. Neste caso, a temperatura da água inicialmente é igual à do ambiente interior. Com a evaporação, a água perderá calor, diminuindo a temperatura do teto e, conseqüentemente, a temperatura radiante média do interior. A forma indireta de resfriamento evaporativo pode ser aplicada em edificações de um pavimento ou no último andar de edificações de vários pavimentos.

4 - MASSA TÉRMICA PARA RESFRIAMENTO



O uso da inércia térmica de uma edificação pode diminuir a amplitude da temperatura interior em relação à exterior, evitando os picos. Esta solução pode ser empregada com sucesso em locais onde as condições de temperatura e umidade relativa se situam entre os limites da zona de massa térmica da figura acima.

O comportamento de temperatura em um ambiente que se utilize desta estratégia é o seguinte:

- O calor armazenado na estrutura térmica da edificação durante o dia é devolvido ao

ambiente 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.

Além do uso da massa térmica dos fechamentos, pode-se tirar partido também da massa térmica da terra ou de emprego de materiais isolantes nas construções.

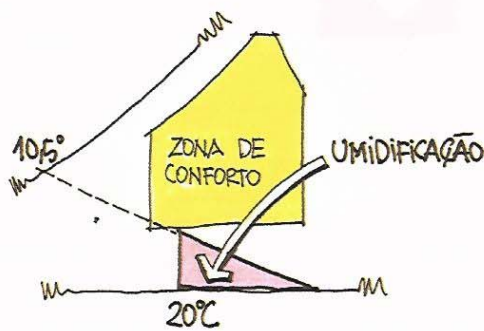
5 - AR CONDICIONADO



Em algumas regiões o clima pode ser muito severo, ultrapassando os limites de temperatura e umidade relativa que tornam possível a aplicação de algum sistema passivo para resfriamento. Nestes casos - quando a temperatura de bulbo seco for maior que 44°C e a de bulbo úmido for superior a 24°C - recomenda-se o uso de aparelhos de ar condicionado para climatização. É importante frisar que o ar condicionado não se limita à aplicação para estas situações, podendo ser coadjuvante nas zonas anteriormente analisadas.

Da mesma forma, o uso dos sistemas naturais de resfriamento pode não ser suficiente nestas condições extremas, mas eles poderão, se empregados conjuntamente ao ar condicionado, reduzir a dependência do ambiente ao uso deste e, conseqüentemente, ao consumo de energia.

6 - UMIDIFICAÇÃO



Zona de umidificação

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 ainda que possa produzir um efeito de resfriamento evaporativo indesejável. As baixas taxas de renovação de ar permitem manter o vapor de água a níveis confortáveis com mínima evaporação e resfriamento.

Alguns recursos simples podem ser empregados no interior dos ambientes, como a utilização de recipientes com água e a hermeticidade das aberturas, que ajuda a conservar o vapor proveniente das plantas e das atividades domésticas.

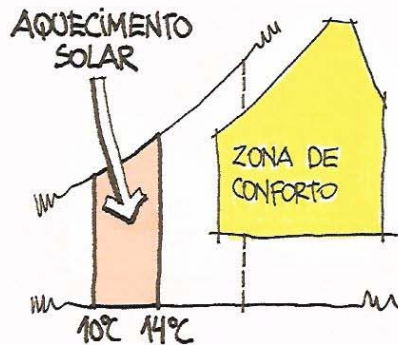
7 - MASSA TÉRMICA E AQUECIMENTO SOLAR



Zona de massa térmica e aquecimento solar

Nessa região da carta, situada entre 14°C e 20°C, pode-se utilizar a massa térmica junto ao aquecimento solar passivo ou o aquecimento solar passivo com isolamento térmico. A primeira alternativa (massa térmica com ganho solar) pode compensar as baixas temperaturas pelo armazenamento do calor solar, que fica retido nas paredes da edificação e pode ser devolvido ao interior nos horários mais frios, geralmente à noite. Na segunda opção (aquecimento solar com isolamento térmico), pode-se evitar as perdas de calor da edificação para o exterior (normalmente mais acentuadas pela cobertura e aberturas) enquanto se aproveitam os ganhos de calor internos (pessoas, aparelhos elétricos, cozinha, banho), aumentando a temperatura interior.

8 - AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO

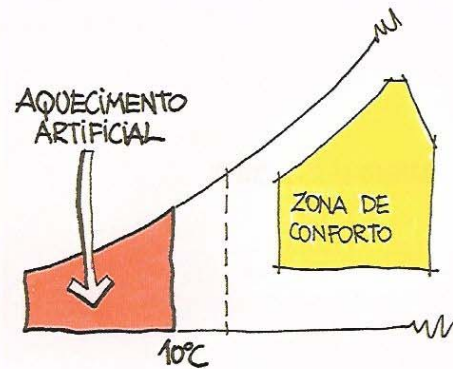


Zona de aquecimento solar passivo

Entre 10,5°C e 14°C, o uso de aquecimento solar passivo é o mais indicado. Nesta região é recomendado o isolamento térmico do edifício de forma mais rigorosa, pois as perdas de calor tenderão a ser muito grandes. O edifício deve incorporar superfícies envidraçadas orientadas ao sol, aberturas reduzidas nas orientações menos favoráveis e proporções apropriadas de espaços exteriores para conseguir sol no inverno.

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 controláveis (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.

9 - AQUECIMENTO ARTIFICIAL

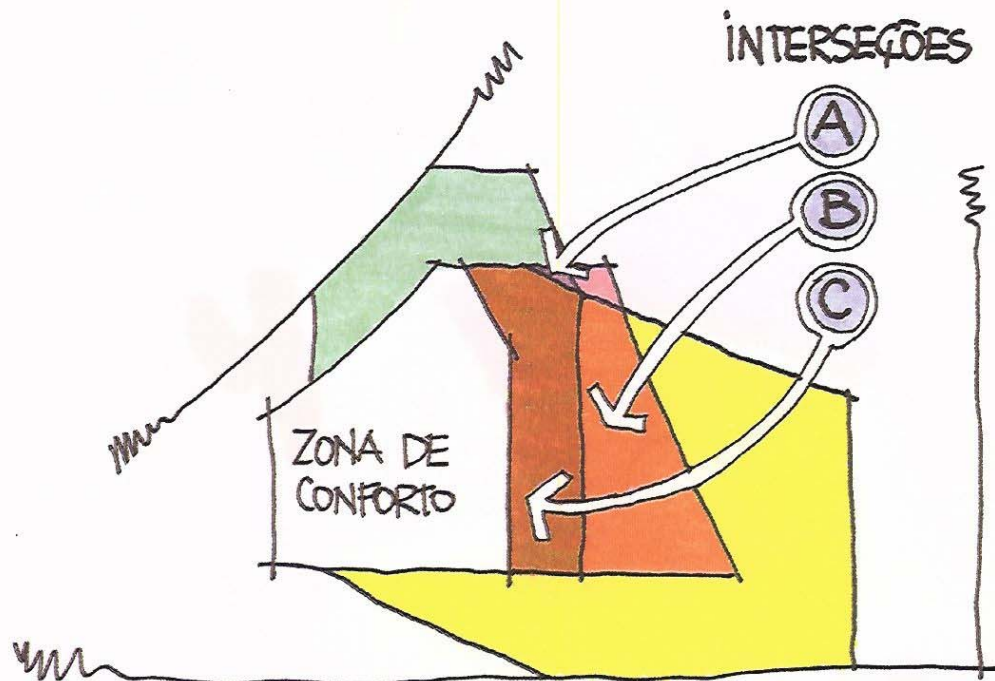


Zona de aquecimento artificial

Em locais muito frios, com temperaturas normalmente inferiores a 10,5°C, o aquecimento solar passivo pode não ser suficiente para conforto. Nestes casos, o uso de aquecimento artificial é adequado. Convém lembrar que o uso em conjunto dos dois sistemas (artificial e solar passivo) é aconselhável, pois reduz a dependência do consumo de energia para condicionamento.

INTERSEÇÕES ENTRE ESTRATÉGIAS

Entre as zonas de ventilação (2), de resfriamento evaporativo (3) e de massa térmica para resfriamento (4) acontecem algumas interseções, conforme a figura abaixo.



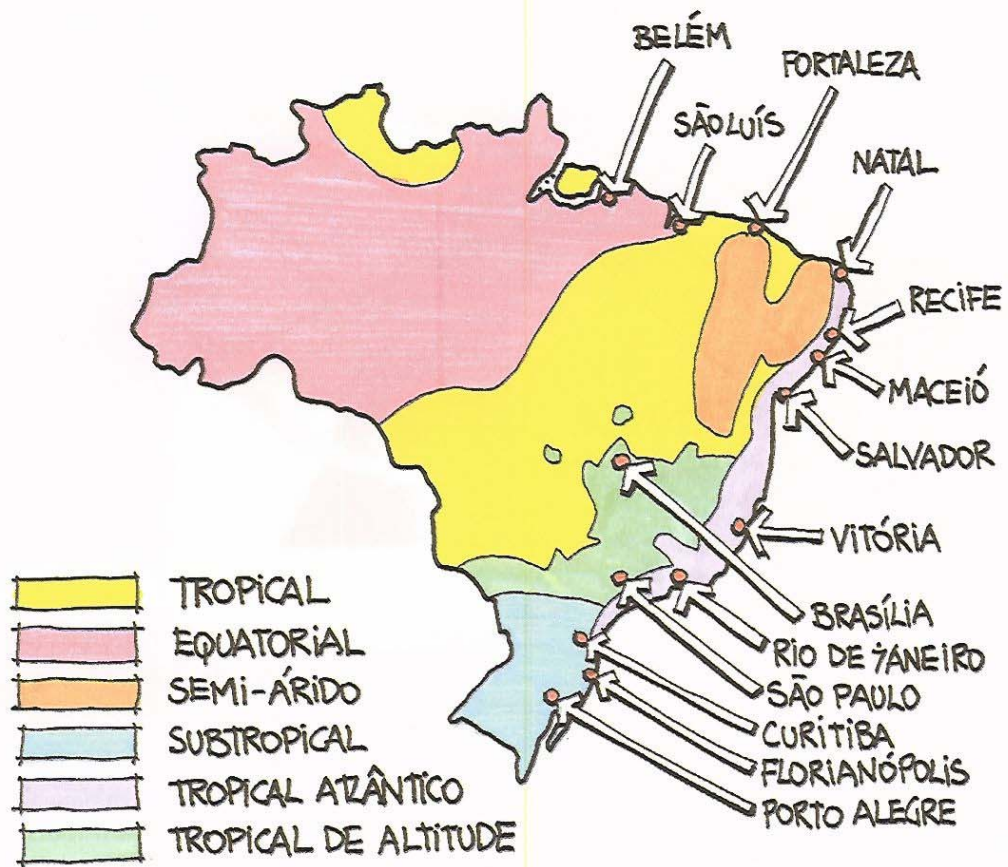
Interseção entre ventilação, massa e resfriamento evaporativo

A região A representa a interseção entre a zona de ventilação e a zona de massa térmica para resfriamento. Para esta situação se pode adotar ambas as estratégias, inclusive simultaneamente.

Seguindo o mesmo raciocínio, na região B se pode utilizar os benefícios da massa térmica para resfriamento ou do resfriamento evaporativo. E, na região C, as três estratégias podem ser aplicadas separadamente ou em conjunto.

O CLIMA DO BRASIL

Devido ao seu imenso território e ao fato de se localizar entre os dois trópicos, o Brasil possui um clima bastante variado. Para simplificar o entendimento dessa variabilidade climática adotou-se a divisão do clima brasileiro em seis regiões básicas, conforme a figura abaixo ⁽⁷⁰⁾. As cidades que se apresentam no mapa são as que já possuem TRY.



Mapa do Brasil com seis regiões climáticas

As características básicas de cada tipo climático são as seguintes:

EQUATORIAL

O clima equatorial compreende toda a Amazônia e possui temperaturas médias entre 24°C e 26°C, com amplitude térmica anual de até 3°C. Nesta região a chuva é abundante e bem distribuída (normalmente maior que 2.500 mm/ano).

TROPICAL

No clima tropical o verão é quente e chuvoso e o inverno quente e seco. Apresenta temperaturas médias acima de 20°C e amplitude térmica anual de até 7°C. As chuvas oscilam entre 1.000 mm/ano e 1.500 mm/ano.

TROPICAL DE ALTITUDE

Neste clima as temperaturas médias se situam na faixa de 18°C a 22°C. No verão as chuvas são mais intensas (entre 1.000 mm/ano e 1.800 mm/ano) e no inverno pode gear devido às massas frias que se originam da massa polar atlântica. O clima tropical de altitude se estende entre o norte do Paraná e o sul do Mato Grosso do Sul, nas regiões mais altas do planalto atlântico.

SEMI-ÁRIDO

É a região climática mais seca do país, caracterizada por temperaturas médias muito altas (em torno dos 27°C). As chuvas são muito escassas (menos que 800 mm/ano) e a amplitude térmica anual é por volta de 5°C.

TROPICAL ATLÂNTICO

Este tipo de clima é característico das regiões litorâneas do Brasil, onde as temperaturas médias variam entre 18°C e 26°C. As chuvas são abundantes (1.200 mm/ano), concentrando-se no verão para as regiões mais ao sul e no inverno e outono para as regiões de latitudes mais baixas (próximas ao equador). A amplitude térmica varia de região para região. Mais ao norte, a semelhança entre as estações de inverno e de verão (diferenciadas apenas pela presença da chuva, mais constante no inverno) resulta em baixas amplitudes térmicas ao longo do ano. Conforme a latitude aumenta, cresce também a amplitude térmica anual, diferenciando bem as estações.

SUBTROPICAL

Neste tipo climático, as temperaturas médias se situam, normalmente, abaixo dos 20°C e a amplitude anual varia de 9°C a 13°C. As chuvas são fartas e bem distribuídas (entre 1.500 mm/ano e 2.000 mm/ano). O inverno é rigoroso nas áreas mais elevadas, onde pode ocorrer neve.

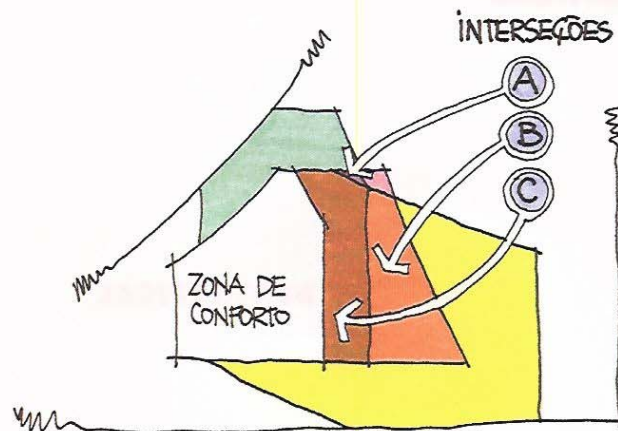
BIOCLIMATOLOGIA DO BRASIL

Apesar de se ter uma visão panorâmica sobre o clima brasileiro, isto não é suficiente para a aplicação de estratégias bioclimáticas em projetos para uma determinada localidade. É necessário fazer a análise bioclimática do local a partir dos dados climáticos disponíveis. O ideal é utilizar o Ano Climático de Referência (TRY), que possui valores horários. Caso não se disponha do TRY, pode-se também usar as normais climatológicas ⁽⁷¹⁾ ⁽⁷²⁾, que possuem valores médios para várias localidades do Brasil.

AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA PELO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA

Através do Ano Climático de Referência, que contém valores horários de temperatura e umidade relativa, entre outros, pode-se plotar os dados de diversas cidades brasileiras diretamente sobre a carta bioclimática, obtendo-se quais as estratégias mais adequadas para cada período do ano. As cartas bioclimáticas com as estratégias foram construídas para cada uma das cidades analisadas e fornecem uma indicação visual sobre o comportamento climático ao longo do ano. Para visualizar essas indicações de forma prática tem-se, nas tabelas 5.1 a 5.14, os percentuais das horas do ano em que ocorre conforto ou desconforto térmico e onde as estratégias de projeto são necessárias para algumas cidades brasileiras.

Para entender as tabelas é necessário lembrar que há algumas interseções entre estratégias na carta bioclimática, conforme a figura seguinte.



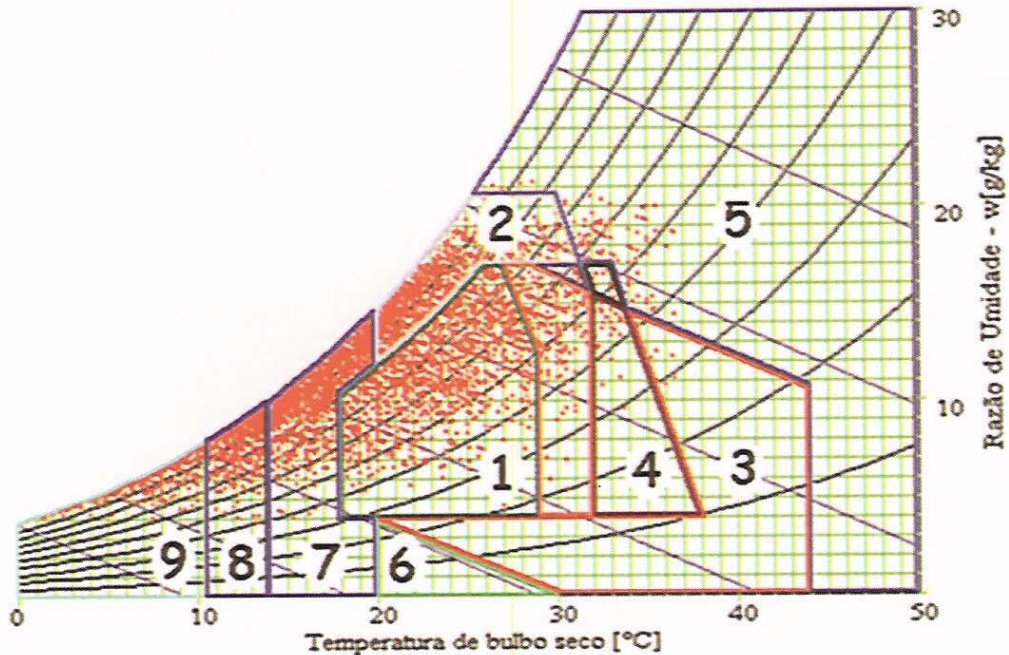
Carta bioclimática com suas interseções

Como já foi visto oportunamente, na região A, pode-se utilizar ventilação ou massa térmica para resfriamento. Em B, as estratégias indicadas podem ser massa térmica para resfriamento ou resfriamento evaporativo, e na região C as três estratégias podem ser empregadas.

Para construir as tabelas se mostrou necessário simplificar alguns termos conforme lista a seguir:

V	→	Ventilação
RE	→	Resfriamento Evaporativo
MR	→	Massa térmica para Resfriamento
AC	→	Ar Condicionado
U	→	Umidificação
V/MR	→	Ventilação/Massa térmica para Resfriamento
V/MR/RE	→	Ventilação/Massa para Resfriamento/ Resfriamento Evaporativo
MR/RE	→	Massa térmica para Resfriamento/ Resfriamento Evaporativo
MA/AS	→	Massa térmica para Aquecimento/ Aquecimento Solar
AS	→	Aquecimento Solar
AA	→	Aquecimento Artificial

As tabelas foram organizadas de forma a considerar as interseções. Para saber o total de horas em que é adequada a ventilação, por exemplo, deve-se somar todos os campos onde a palavra ventilação aparece. Da mesma forma deve-se proceder para as estratégias de resfriamento evaporativo, massa para resfriamento e aquecimento solar passivo. Passa-se a seguir à análise particular de cada uma das catorze cidades cujo Ano Climático de Referência (TRY) já é disponível.

PORTO ALEGRE

Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Porto Alegre

Observando a carta da figura acima, se percebe a grande variação climática a que se submete Porto Alegre ao longo do ano. A mancha alongada, constituída por pontos vermelhos que representam cada hora do ano, percorre desde a região onde é indicado o aquecimento artificial até o início da zona de ar condicionado. Extraíndo da carta os percentuais respectivos a cada zona, tem-se que em 22,4% das horas do ano haverá conforto térmico em Porto Alegre, enquanto que no restante (77,5%) o desconforto se divide em 25,9% provocado pelo calor e 51,6% pelo frio. Segundo a tabela 5.1, as quatro principais estratégias a serem adotadas são, em ordem de importância:

1. Massa térmica para aquecimento com aquecimento solar passivo (33,7%);
2. Ventilação (19,5%);
3. Aquecimento solar passivo (11,7%);
4. Aquecimento artificial (6%).

Tabela 5.1 - Estratégias bioclimáticas para Porto Alegre (%)

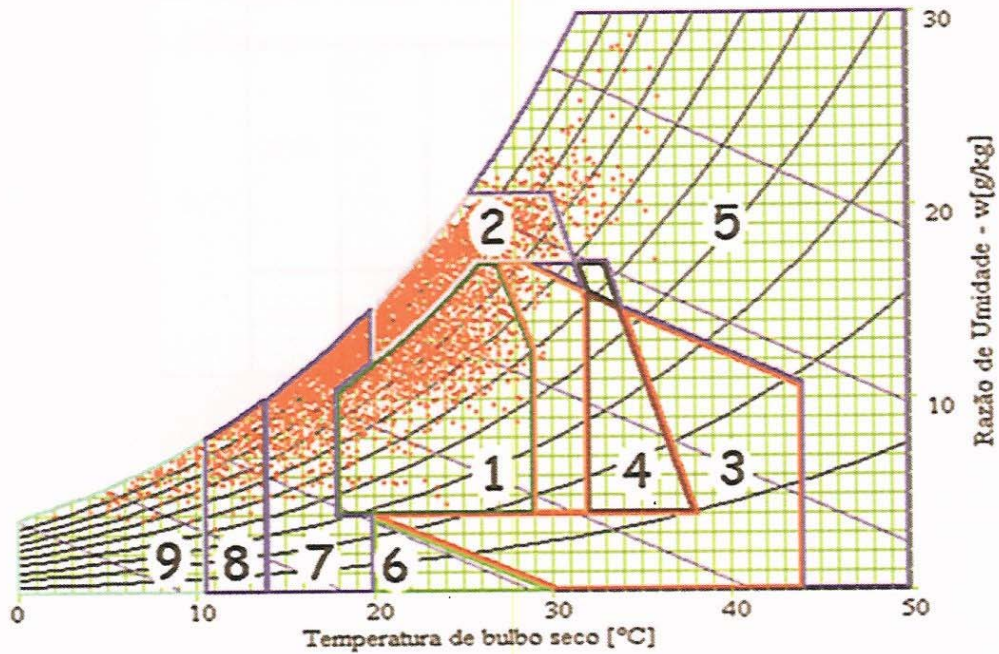
CONFORTO				22,4
DESCONFORTO	Calor	V	19,5	25,9
		RE	0,3	
		MR	0,1	
		AC	1,4	
		U	0	
		V, MR	0,2	
		V, MR, RE	3,7	
	MR, RE	0,5	51,6	
	Frio	MA, AS		33,7
		AS		11,7
AA		6		
				77,5

Um projeto arquitetônico que utilize a massa térmica para aquecimento, explorando o calor solar, estará resolvendo o problema de desconforto por frio em pelo menos 33,7% das horas do ano. Nos períodos quentes, a ventilação é a estratégia mais adequada em 19,5% das horas do ano. Também se pode dizer que o uso da ventilação atenderá às regiões de interseção entre esta estratégia e duas outras (massa para resfriamento e resfriamento evaporativo), totalizando 23,4% (19,5% + 3,7% + 0,2%) das horas do ano.

Em 11,7% das horas do ano o frio é muito intenso e a massa térmica para aquecimento não é suficiente. Nestes períodos se sugerem o incremento dos ganhos solares e a utilização de isolamento térmico para reduzir as perdas de calor, principalmente à noite. Em alguns casos (6% das horas do ano) o aquecimento artificial será necessário.

A arquitetura a ser projetada em Porto Alegre tem como premissas básicas de conforto térmico duas estratégias antagônicas: massa térmica e ventilação. Deve-se considerar que as soluções que permitem o uso farto da ventilação no verão não podem prejudicar o armazenamento de calor por massa térmica no inverno, e vice-versa. Recomenda-se o estudo de sistemas de aberturas que possam cumprir duas finalidades: ventilar a edificação no verão e ser passíveis de isolamento térmico no inverno, evitando perdas de calor.

FLORIANÓPOLIS



Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Florianópolis

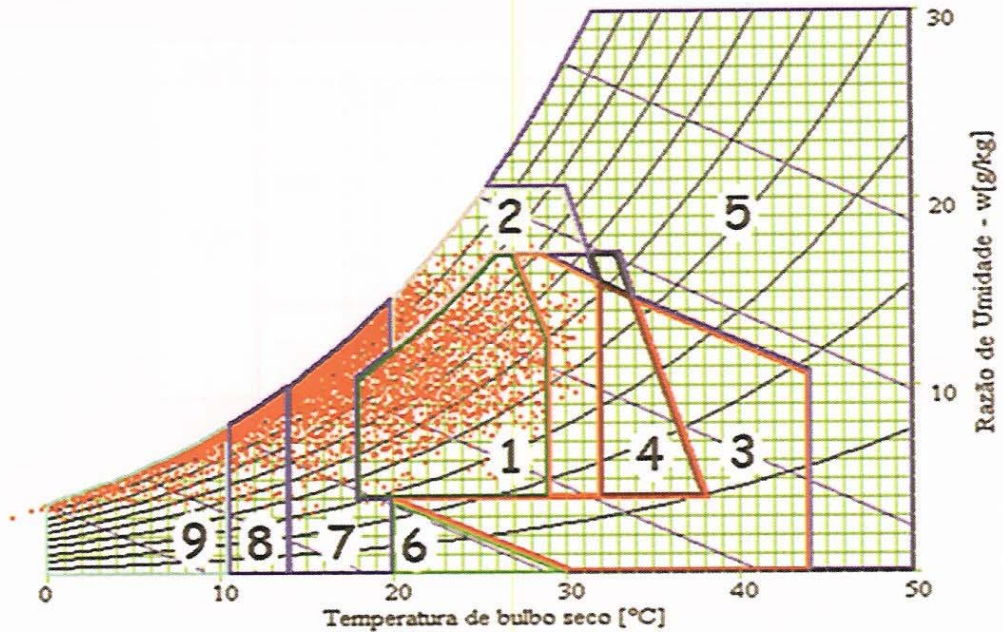
Tal como em Porto Alegre, a carta bioclimática para Florianópolis também possui os pontos que representam as horas do ano distribuídos na forma de uma mancha alongada entre as zonas de aquecimento artificial e ar condicionado. Há conforto térmico em 20,8% das horas do ano. As estratégias mais adequadas para os períodos de desconforto (79,1% das horas do ano) são:

1. Ventilação (35,5%);
2. Massa térmica para aquecimento e aquecimento solar (35,4%).

Tabela 5.2 - Estratégias bioclimáticas para Florianópolis (%)

CONFORTO				20,8
DESCONFORTO	Calor	V	35,5	38,3
		RE	0	
		MR	0	
		AC	1,7	
		U	0	
		V, MR	0	
		V, MR, RE	0,9	
	MR, RE	0	79,1	
	Frio	MA, AS		35,4
		AS		3,8
AA		1,5		

Afiguram-se nesta cidade duas estratégias distintas: a necessidade de ventilação nos períodos quentes e de massa térmica e aquecimento solar nos períodos frios. Como em Porto Alegre, a dificuldade em solucionar estas duas indicações contrárias sublinha a importância de conceber o envelope construtivo a partir dos dois conceitos, de forma simultânea. Deve-se explorar o máximo possível da ventilação nos períodos de calor, proporcionando aberturas amplas e sombreadas e incluindo soluções de projeto como a possibilidade de ventilação cruzada e outras alternativas ilustradas no capítulo subsequente. O uso da massa térmica para aquecimento traz a necessidade de instalar as aberturas de forma a usufruir o sol nos períodos frios, com a incorporação de isolamento térmico para evitar perdas de calor à noite.

CURITIBA

Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Curitiba

A carta bioclimática para Curitiba indica visualmente maior necessidade de aquecimento que nas duas cidades anteriores. Curitiba tem proporções de horas de conforto e de desconforto (20,9% e 79%, respectivamente) semelhantes às da cidade de Florianópolis. Ocorre entretanto que a maior parte do desconforto é causada por frio (73,1% das horas do ano) - é a cidade mais fria de todas as analisadas. Nesta cidade, um projeto arquitetônico deve garantir a utilização de quatro estratégias bioclimáticas principais:

1. Massa para aquecimento e aquecimento solar (42,4%);
2. Aquecimento solar (18,8%);
3. Aquecimento artificial (11,7%);
4. Ventilação (5,1%).

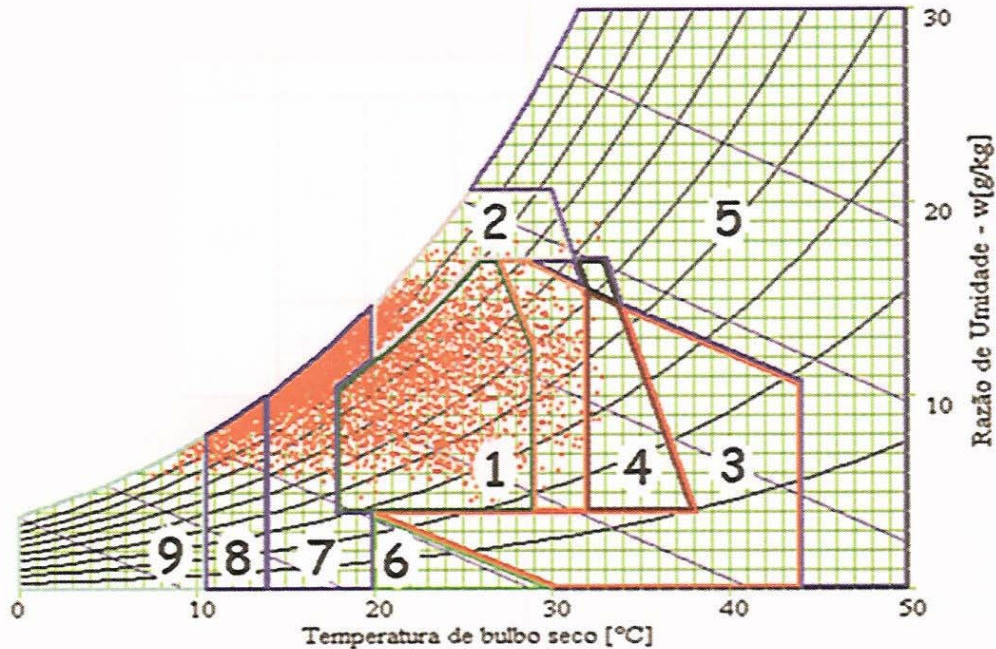
Tabela 5.3 - Estratégias bioclimáticas para Curitiba (%)

CONFORTO					20,9
DESCONFORTO	Calor	V	5,1	5,9	79,0
		RE	0		
		MR	0		
		AC	0		
		U	0		
		V, MR	0		
		V, MR, RE	0,7		
	MR, RE	0			
	Frio	MA, AS	42,4	73,1	
		AS	18,8		
AA		11,7			

É necessário aproveitar ao máximo o calor do sol, em combinação com o uso de massa térmica nos fechamentos. Em 11,7% das horas do ano, o frio interno exigirá aquecimento artificial. Nestes casos deve-se observar a eficiência do equipamento utilizado e isolar adequadamente o envelope construtivo.

Quanto à ventilação, poderá resolver os problemas de desconforto térmico por calor em 5,1% das horas do ano.

SÃO PAULO



Carta bioclimática com as estratégias indicadas para São Paulo

Na carta bioclimática há uma grande concentração de pontos na região de aquecimento, principalmente na zona de massa térmica. A análise na carta indica que 27,1% das horas do ano são confortáveis e 72,8% são desconfortáveis por frio (59,3%) ou calor (13,4%), sendo as estratégias mais indicadas as seguintes:

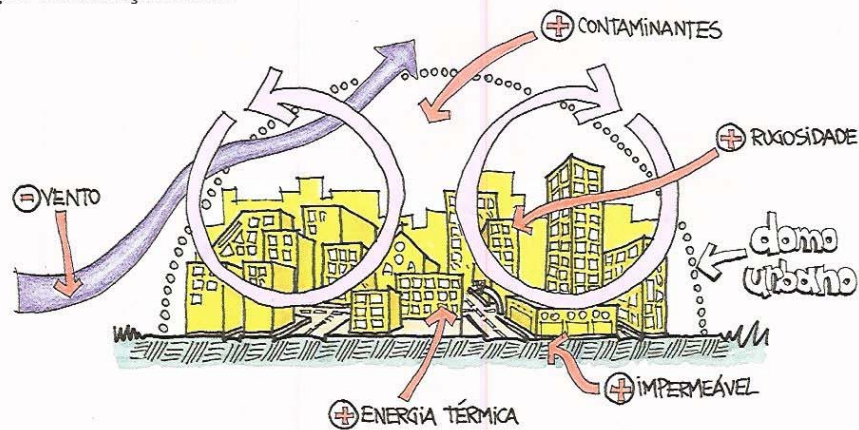
1. Massa térmica para aquecimento e aquecimento solar (48,1%);
2. Ventilação (10,8%);
3. Aquecimento solar (10,4%).

Uma arquitetura que utilize massa térmica e que explore o calor do sol será eficiente, em termos de conforto térmico, em 58,5% das horas do ano (48,1% + 10,4%). Deve-se também permitir a ventilação nas épocas mais quentes (10,8% das horas do ano). É válido frisar que os dados para a cidade são provenientes de estações meteorológicas localizadas em aeroportos e, dessa maneira, expostas a condições climáticas diferentes das que existem no ambiente urbano. Nesta megalópole é bastante comum o efeito conhecido como “ilha de calor”. Fatores como a alta densidade habitacional, a verticalização dos edifícios, a

Tabela 5.4 - Estratégias bioclimáticas para São Paulo (%)

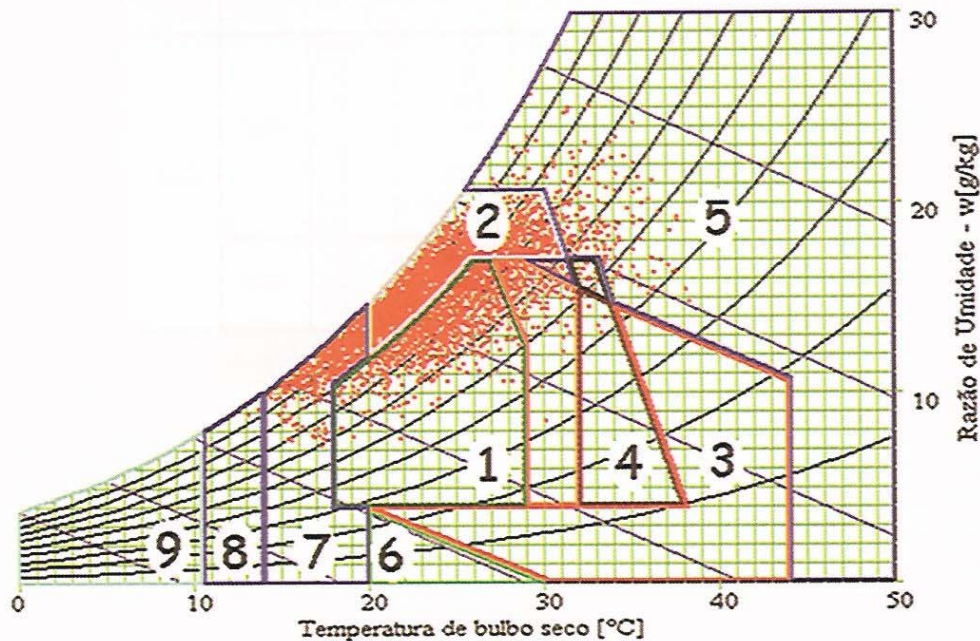
CONFORTO					27,1
DESCONFORTO	Calor	V	10,8	13,4	72,8
		RE	0		
		MR	0		
		AC	0		
		U	0		
	Frio	V, MR	0		
		V, MR, RE	2,4		
		MR, RE	0,1		
		MA, AS	48,1	59,3	
		AS	10,4		
AA	0,7				

pequena quantidade de vegetação e a poluição presente na cidade, entre outros, são responsáveis por alterações nas características microclimáticas desse ambiente. O solo normalmente construído com cimento ou asfalto é praticamente impermeável às águas da chuva em comparação à terra ou a superfícies cobertas com vegetais. A água rapidamente é escoada para a rede de esgotos e, com isso, é perdida sua possibilidade de evaporação, que reduziria a temperatura da superfície do solo. Além disso, a rugosidade do terreno urbano influencia o movimento de ar sobre a cidade, reduzindo a ventilação e favorecendo o acúmulo de calor - fato agravado pela poluição, que aumenta a densidade do ar e sua absorção da radiação solar.



Nesse caso, pode-se dizer que os valores indicados na tabela certamente sofreriam algumas alterações se os dados fossem medidos diretamente no ambiente urbano. Os percentuais expostos indicariam maior necessidade de ventilação e menor necessidade de massa térmica e de aquecimento solar.

RIO DE JANEIRO



Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Rio de Janeiro

Na carta bioclimática para o Rio de Janeiro se percebe a concentração de pontos principalmente nas regiões de massa térmica para aquecimento, ventilação e conforto térmico, com alguns pontos localizados na região de ar condicionado. Nesta cidade, um projeto arquitetônico deve considerar, basicamente, duas principais estratégias:

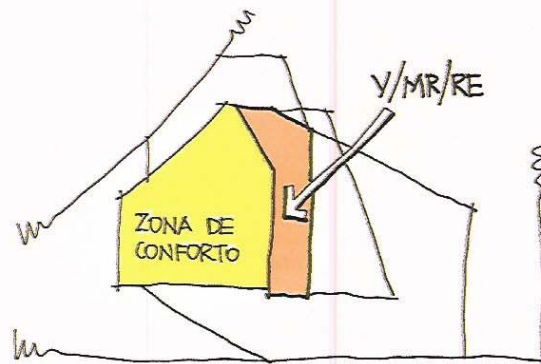
1. Ventilação (57%);
2. Massa térmica para aquecimento e aquecimento solar (14,8%).

Os mesmos cuidados já comentados para as cidades de Porto Alegre, Florianópolis e São Paulo a respeito da contradição entre as duas principais estratégias (ventilação e massa térmica para aquecimento) são válidos também para o Rio de Janeiro. O conceito de “ilha de calor” também é válido aqui. Tal como em São Paulo, o calor pode estar sendo subestimado em função de medições feitas em condições diferentes da realidade do ambiente urbano. Porém, segundo a tabela de percentuais, uma arquitetura concebida para

Tabela 5.5 - Estratégias bioclimáticas para Rio de Janeiro (%)

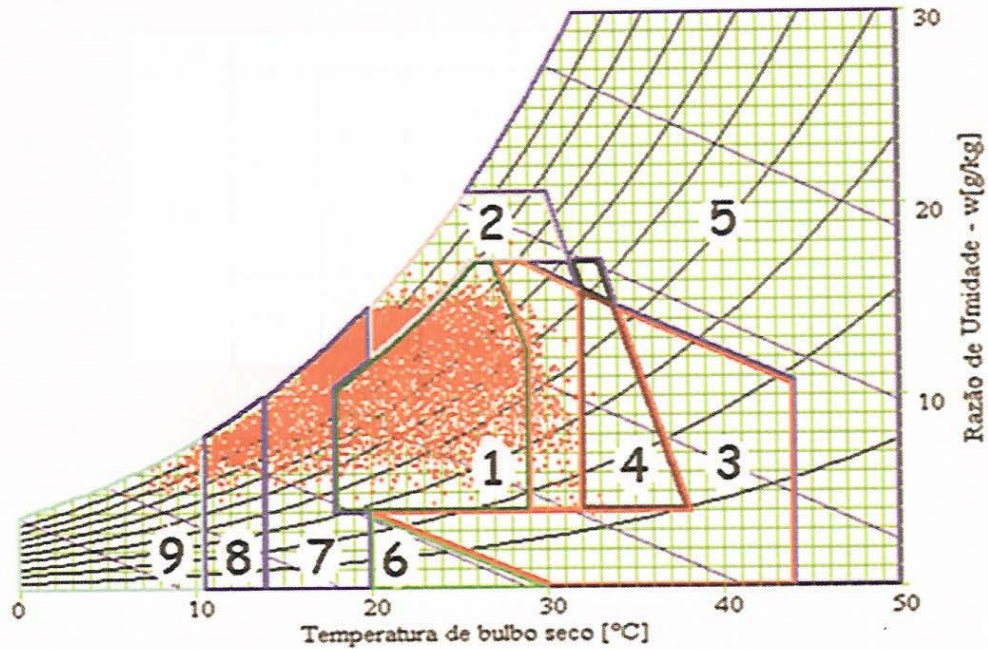
CONFORTO					20,3
DESCONFORTO	Calor	V	57	64,4	79,6
		RE	0		
		MR	0,1		
		AC	3		
		U	0		
	Frio	V, MR	0,4	15,1	
		V, MR, RE	3,6		
		MR, RE	0,1		
		MA, AS	14,8		
		AS	0		
AA	0,2				

ter muita ventilação natural possibilitará conforto térmico em 61% das horas do ano (57% + 0,4% + 3,6%), que representam a quase totalidade das horas em que há desconforto por calor. Esta solução garante à arquitetura carioca a quase total independência de ar condicionado, que passa a ser necessário em apenas 3% das horas do ano. Como a ventilação é uma das três estratégias que solucionam a interseção da figura a seguir, pode-se afirmar que sua adoção no projeto elimina a necessidade de utilização de massa para resfriamento e de resfriamento evaporativo.



Interseção MR, V e RE

O uso de massa para aquecimento junto ao aquecimento solar é aconselhável em 14,8% das horas do ano. Para que essa estratégia não seja anulada pelas soluções de projeto que favorecem a ventilação, é necessário o uso de isolamento térmico operável nas aberturas e na cobertura, ou também a adoção de *brises* móveis ou vegetação com folhas caducas, permitindo a insolação das janelas no período frio.

BRASÍLIA

Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Brasília

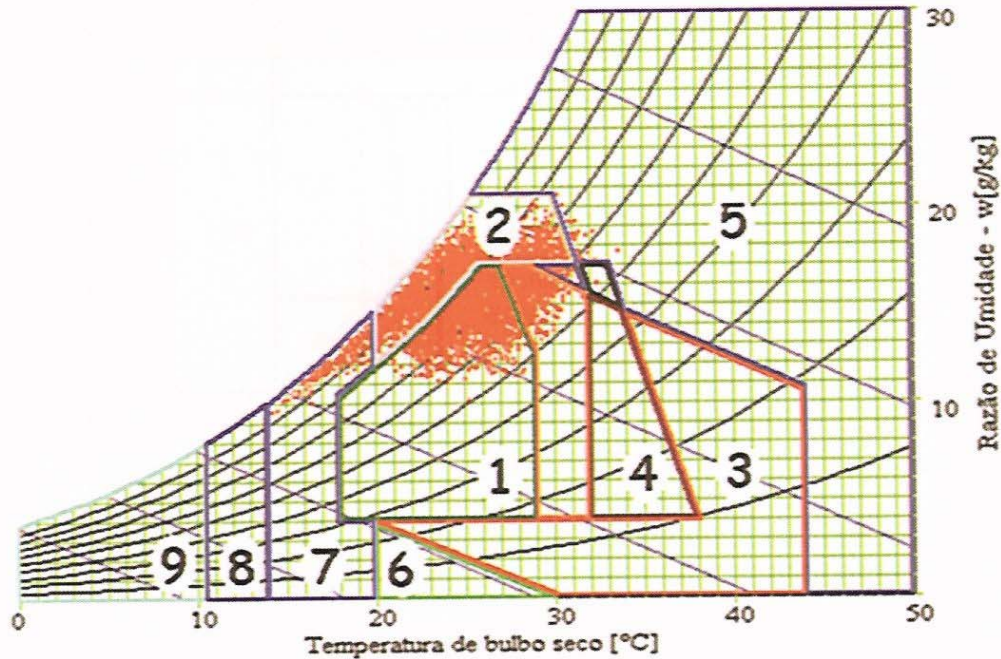
Percebe-se, na carta bioclimática para Brasília, uma grande concentração de pontos na zona de conforto térmico, que se traduz em percentual da ordem de 43,6% das horas do ano - é a cidade mais confortável das estudadas, segundo a análise feita a partir do TRY. Nas horas desconfortáveis, o frio é mais problemático (41,1%). As principais estratégias indicadas pela tabela são:

1. Massa térmica para aquecimento e aquecimento solar (33,9%);
2. Ventilação (12,6%);
3. Aquecimento solar (6,1%).

Tabela 5.6 - Estratégias bioclimáticas para Brasília (%)

CONFORTO					43,6
DESCONFORTO	Calor	V	12,6	15,2	56,3
		RE	0		
		MR	0		
		AC	0		
		U	0		
		V, MR	0		
	V, MR, RE	2,5			
	MR, RE	0			
	Frio	MA, AS	33,9	41,1	
		AS	6,1		
AA		0,9			

Percebe-se que Brasília sugere a aplicação de soluções de projeto de forma semelhante à indicada para São Paulo, pois a mesma seqüência de estratégias principais é sugerida. Deve-se priorizar o uso de massa térmica para aquecimento, associado ao ganho de calor solar. Nos períodos quentes a ventilação é a estratégia bioclimática mais indicada, resolvendo 15,1% (12,6% + 2,5%) das horas do ano.

SALVADOR

Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Salvador

Para a cidade de Salvador, a carta bioclimática mostra uma mancha compacta de pontos vermelhos (representativos das horas do ano) situados na sua maior parte entre 20°C e 30°C e acima de 50% de umidade relativa. Visualmente já se destaca a estratégia de ventilação como a mais indicada para solucionar o desconforto térmico. Em percentuais, o conforto térmico em Salvador representa 37,8% das horas do ano e o desconforto 62,1%, subdividido em 58,5% de calor e apenas 3,6% de frio. As principais estratégias bioclimáticas indicadas são:

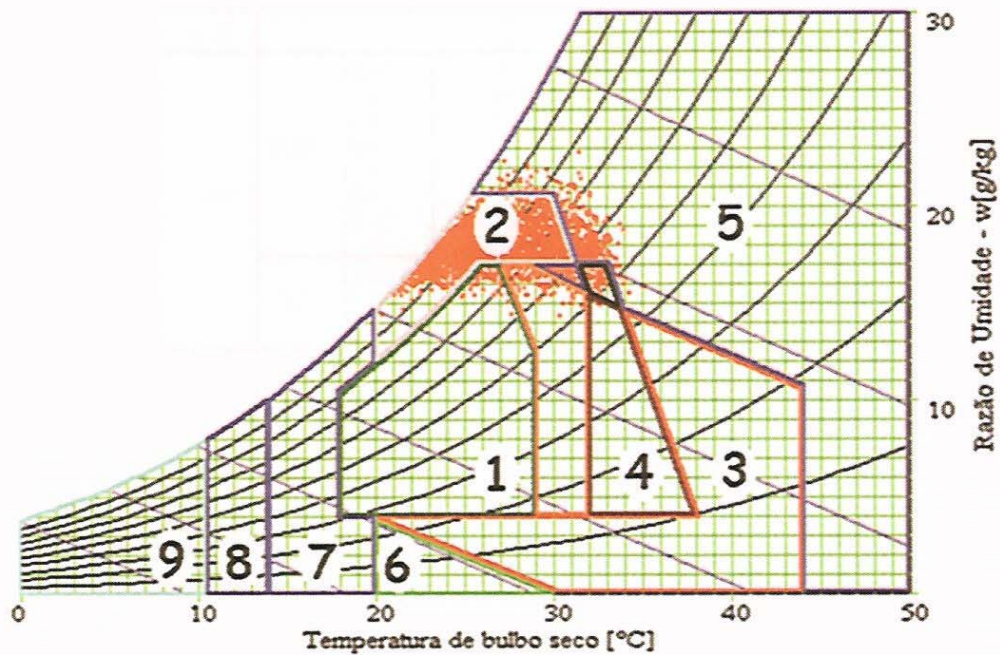
1. Ventilação (45,5%);
2. Ventilação e massa térmica para resfriamento (11,6%).

Tabela 5.7- Estratégias bioclimáticas para Salvador (%)

CONFORTO				37,8
DESCONFORTO	Calor	V	45,5	58,5
		RE	0	
		MR	0	
		AC	0,3	
		U	0	
		V, MR	0,9	
	Frio	V, MR, RE	11,6	3,6
		MR, RE	0	
		MA, AS	3	
		AS	0	
	AA	0,5		
				62,1

Em Salvador o calor é o principal problema, e pode ser resolvido aplicando-se à arquitetura a ventilação natural. Esta estratégia pode ser utilizada para estabelecer conforto térmico no ambiente interior em 58% (45,5% + 0,9% + 11,6%) das horas do ano, resolvendo a quase totalidade do desconforto por calor e evitando a necessidade de aplicação de outras estratégias de resfriamento. Segundo a tabela, há necessidade de aquecimento solar e massa térmica para aquecimento em 3% das horas do ano. Sendo esta estratégia construtivamente oposta em relação à ventilação e pelo fato de ser necessária em um período de tempo desprezível ao longo do ano (equivalente a apenas dez dias em média), não se justifica sua adoção no projeto.

SÃO LUÍS



Carta bioclimática com as estratégias indicadas para São Luís

A carta bioclimática para a cidade mostra uma enorme concentração de pontos na zona de ventilação mais superior e nas suas proximidades. Já aqui fica clara a necessidade extrema desta estratégia em projeto. Segundo a tabela, o conforto térmico está presente em apenas 1,4% das horas do ano, sendo o restante das horas (98,5%) desconfortáveis por calor. O frio é praticamente ausente na cidade e as principais estratégias para resfriamento indicadas são:

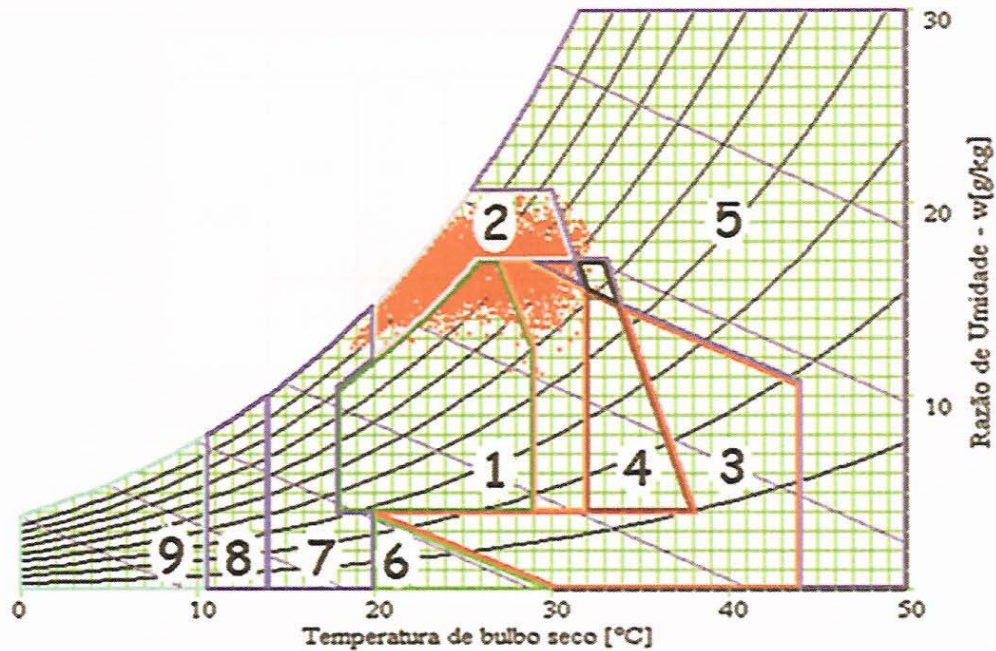
1. Ventilação (82%);
2. Ar condicionado (10%).

Tabela 5.8 - Estratégias bioclimáticas para São Luís (%)

CONFORTO					1,4
DESCONFORTO	Calor	V	82	98,5	98,5
		RE	0		
		MR	1,1		
		AC	10		
		U	0		
		V, MR	1,7		
		V, MR, RE	3,4		
	MR, RE	0,1			
	Frio	MA, AS	0	0	
		AS	0		
AA		0			

Considerando as interseções, a ventilação resolve 87,2% das horas do ano (82% + 1,7% + 3,4% + 0,1%), sendo indispensável para conseguir conforto térmico no interior das edificações. As edificações em São Luís devem possuir grandes aberturas sombreadas, que possibilitem ventilar o interior ao longo de todo o dia e também à noite. Outras estratégias de ventilação (ilustradas no próximo capítulo), como o uso de lanternins, a construção de espaços fluidos e a ventilação sob o piso, também são aconselháveis. Em segundo lugar, surge a necessidade de ar condicionado em 10% das horas do ano. Neste caso deve-se isolar termicamente as aberturas e evitar a infiltração de ar. É interessante observar esta duplicidade de operação necessária às aberturas em São Luís: devem permitir ampla ventilação em boa parte do ano e também ser estanques em alguns períodos (quando o ar condicionado é necessário).

NATAL



Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Natal

De clima semelhante, porém um pouco mais ameno que o de São Luís, Natal também apresenta concentrações de pontos na parte superior da zona de ventilação na carta bioclimática. O conforto térmico é presente em 14,7% das horas anuais. O desconforto (85,2% das horas do ano) é provocado na sua grande maioria (84,7% das horas anuais) por calor e apenas por um período insignificante (0,5% das horas do ano) pelo frio. As estratégias mais destacadas segundo a tabela de percentuais são:

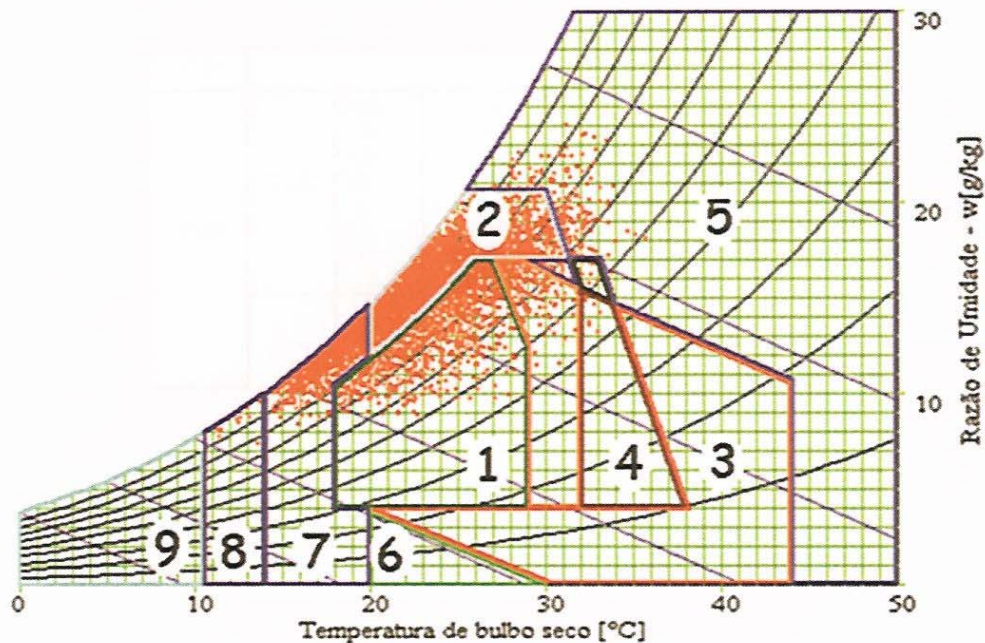
1. Ventilação (68,4%);
2. Ventilação, massa para resfriamento e resfriamento evaporativo (13,6%).

Tabela 5.9 - Estratégias bioclimáticas para Natal (%)

CONFORTO					17,7
DESCONFORTO	Calor	V	68,4	84,7	85,2
		RE	0		
		MR	0,1		
		AC	0,9		
		U	0		
		V, MR	1,5		
	Frio	V, MR, RE	13,6	0,5	
		MR, RE	0		
		MA, AS	0,5		
		AS	0		
AA	0				

É importante reconhecer que as interseções entre as estratégias de ventilação, massa para resfriamento e resfriamento evaporativo aceitam qualquer qualquer destas estratégias bioclimáticas para estabelecimento de conforto térmico. Isto significa que a ventilação natural é adequada em cada uma das três principais zonas de atuação indicadas na tabela. Uma arquitetura com boa ventilação natural pode resolver os problemas de desconforto por calor em Natal, sendo termicamente confortável em 83,5% das horas do ano (68,4% + 1,5% + 13,6%).

VITÓRIA



Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Vitória

O comportamento climático de Vitória é semelhante ao do Rio de Janeiro, fato explicável pela proximidade geográfica entre as duas cidades e de ambas com o mar. A mancha de pontos plotados na carta bioclimática é alongada, distribuindo-se normalmente entre as temperaturas de 14°C e 33°C e em umidades relativas superiores a 50%. O conforto é presente em 17,8% das horas do ano e o desconforto em 82,1%, sendo 64% de calor e 18% de frio. As principais estratégias de projeto a serem adotadas na cidade são:

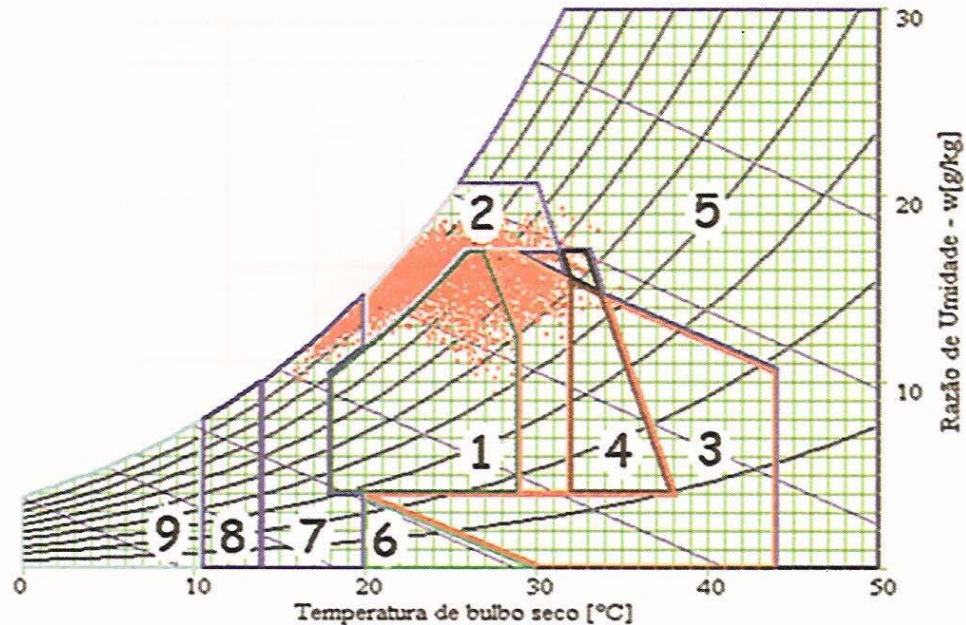
1. Ventilação (56,9%);
2. Massa térmica com aquecimento solar (17,8%).

Tabela 5.10 - Estratégias bioclimáticas para Vitória (%)

CONFORTO					17,8
DESCONFORTO	Calor	V	56,9	64	82,1
		RE	0		
		MR	0,1		
		AC	2,7		
		U	0		
		V, MR	0,4		
		V, MR, RE	3,7		
	MR, RE	0,1			
	Frio	MA, AS	17,8	18	
		AS	0,1		
AA		0			

A ventilação resolverá os problemas de desconforto por calor em até 61% das horas do ano, considerando-se as interseções entre estratégias. Os mesmos cuidados devem ser tomados com a aplicação das duas principais estratégias indicadas - ventilação e massa com aquecimento solar -, evitando-se a diminuição de eficiência da segunda com o emprego de isolamento térmico nas aberturas para os períodos frios.

MACEIÓ



Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Maceió

Na carta bioclimática para a cidade se percebe uma concentração de pontos geralmente entre as temperaturas de 17°C e 32°C e com umidades relativas superiores a 40%. Novamente a estratégia de ventilação se mostra a mais indicada, percebendo-se entretanto a necessidade de aquecimento em algumas horas do ano. Em valores percentuais, o conforto se estabelece em 17,8% das horas do ano e o desconforto térmico, em 82,1% das horas do ano, subdividindo-se em 76,1% de calor e apenas 6% de frio. A análise dos percentuais indica como estratégias mais recomendadas:

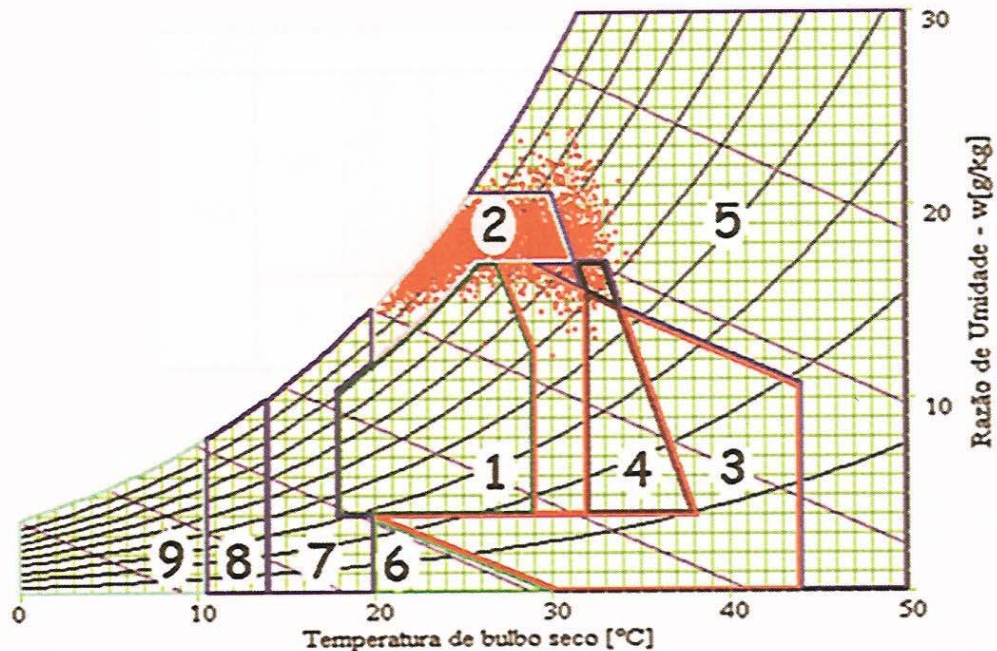
1. Ventilação (60,4%);
2. Ventilação, massa para resfriamento e resfriamento evaporativo (14,1%);
3. Massa térmica com aquecimento solar (5,4%).

Tabela 5.11 - Estratégias bioclimáticas para Maceió (%)

CONFORTO					17,8
DESCONFORTO	Calor	V	60,4	76,1	82,1
		RE	0		
		MR	0,1		
		AC	0,4		
		U	0		
		V, MR	0,5		
	Frio	V, MR, RE	14,1	6	
		MR, RE	0,2		
		MA, AS	5,4		
		AS	0		
	AA	0,5			

A ventilação continua sendo a grande solução para o desconforto térmico, resolvendo 75% das horas do ano (60,4% + 0,5% + 14,1%).

A estratégia de massa térmica com aquecimento solar, indicada para 5,4% das horas do ano, pode ter seu desempenho diminuído em função de se conceber o projeto de forma a priorizar a ventilação. O que se deve fazer, como já descrito em análises anteriores, é garantir às aberturas a possibilidade de isolamento térmico nos períodos mais frios, o que evitará perdas de calor.

BELÉM

Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Belém

Em Belém se percebe uma grande concentração de pontos sobre a zona de ventilação, representando a grande necessidade desta estratégia para a cidade. A umidade relativa é bastante alta (normalmente acima dos 50%) e as temperaturas nunca são inferiores a 20°C. O clima é rigoroso, mostrando a necessidade de ar condicionado para várias horas do ano. A distribuição dos pontos é bastante semelhante à já vista para São Luís.

O conforto térmico é quase ausente na capital paraense, representando apenas 0,7% das horas do ano, e o desconforto é provocado integralmente pelo calor (99,2% das horas do ano). As estratégias bioclimáticas mais indicadas são:

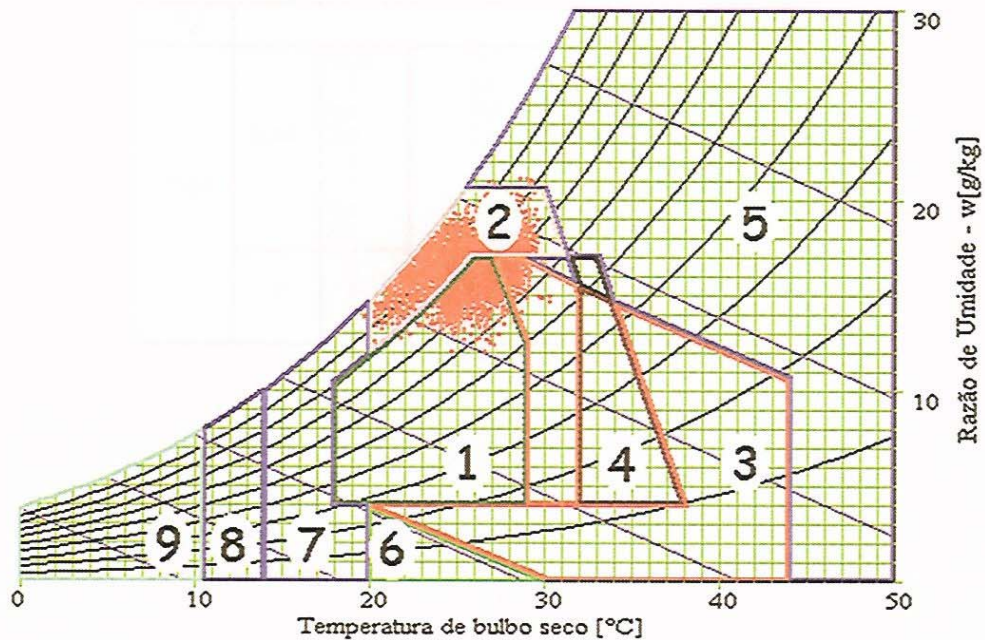
1. Ventilação (85,6%);
2. Ar condicionado (9,2%).

Tabela 5.12 - Estratégias bioclimáticas para Belém (%)

CONFORTO					0,7
DESCONFORTO	Calor	V	85,6	99,2	99,2
		RE	0		
		MR	0,6		
		AC	9,2		
		U	0		
		V, MR	1		
	V, MR, RE	2,4			
	MR, RE	0,2			
	Frio	MA, AS	0	0	
		AS	0		
AA		0			

A principal estratégia a ser adotada é a ventilação, que, considerando as interseções entre as zonas de resfriamento, pode estabelecer conforto térmico em até 89% das horas do ano (85,6% + 2,4% + 1%). A adoção desta estratégia representa a quase totalidade da solução do problema de desconforto térmico ao longo do ano. As aberturas das edificações devem ser generosas, de forma a captar o vento e permitir a ventilação cruzada dos espaços internos. Também é importante o emprego de proteções solares nas aberturas, principalmente árvores bem localizadas ou *brises*, evitando os ganhos de calor solar. Outras estratégias de ventilação, como por exemplo a construção de lanternins ou a instalação de aberturas zenitais (ilustradas no próximo capítulo), também serão bem-vindas. Nota-se a necessidade de ar condicionado em 9,2% das horas do ano. Tal como já explicado na análise de São Luís, é importante que as aberturas, embora priorizem a ventilação, sejam passíveis de isolamento e estanqueidade à infiltração de ar nos períodos em que a refrigeração é desejável. Aqui ressalta-se um exemplo em que a integração entre sistemas naturais e artificiais é a maneira mais adequada para obter conforto térmico ao longo de todo o ano.

RECIFE



Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Recife

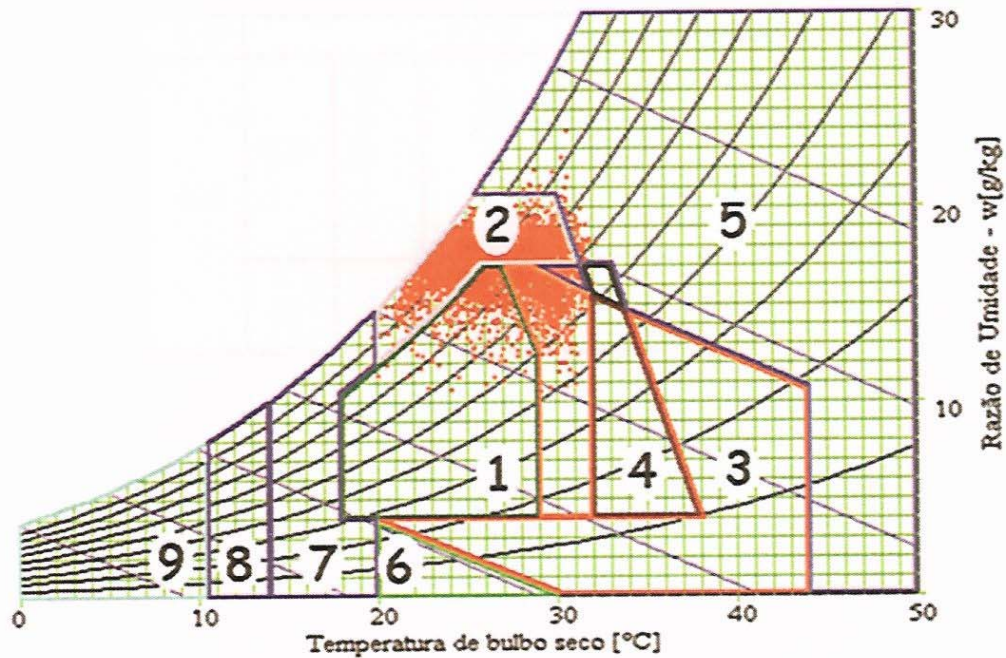
Um pouco mais ameno que em Belém, o clima de Recife apresenta temperaturas geralmente entre 20°C e 29°C, e umidades relativas quase sempre superiores a 60%. O conforto térmico atinge 31,6% das horas do ano e o desconforto, totalmente provocado pelo calor, chega a 68,3% das horas do ano. Segundo a tabela 5.13, as estratégias que se destacam são:

1. Ventilação (60,8%);
2. Ventilação, massa para resfriamento e resfriamento evaporativo (7,1%).

Tabela 5.13 - Estratégias bioclimáticas para Recife (%)

CONFORTO					31,6
DESCONFORTO	Calor	V	60,8	68,3	68,3
		RE	0		
		MR	0		
		AC	0,1		
		U	0		
		V, MR	0		
		V, MR, RE	7,1		
	MR, RE	0			
	Frio	MA, AS	0	0	
		AS	0		
AA		0			

Considerando as interseções entre as estratégias de resfriamento, pode-se constatar que a ventilação é a mais indicada, resolvendo o problema de desconforto praticamente na sua totalidade, que representa 67,9% das horas do ano (60,8% + 7,1%). Aproveitar ao máximo o vento na edificação é recomendável, além de prover as aberturas com proteções solares adequadas.

FORTALEZA

Carta bioclimática com as estratégias indicadas para Fortaleza

A capital cearense também apresenta a maior parte das horas do ano concentrada na zona de ventilação, conforme a carta bioclimática. As temperaturas se situam normalmente entre 20°C e 31°C, enquanto a umidade relativa é quase sempre maior que 50%. As estratégias bioclimáticas mais destacadas são:

1. Ventilação (68,5%);
2. Ventilação, massa para resfriamento e resfriamento evaporativo (15,8%).

Tabela 5.14 - Estratégias bioclimáticas para Fortaleza (%)

CONFORTO					12,9
DESCONFORTO	Calor	V	68,5	87	87
		RE	0		
		MR	0		
		AC	1,1		
		U	0		
		V, MR	1,5		
		V, MR, RE	15,8		
	MR, RE	0			
	Frio	MA, AS	0	0	
		AS	0		
AA		0			

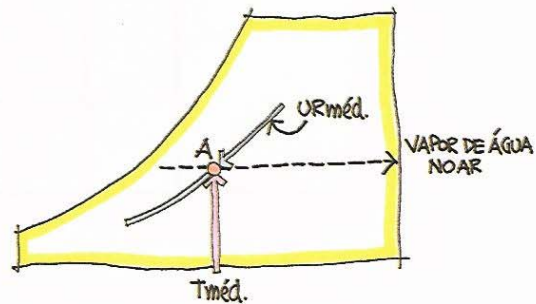
Novamente a ventilação aparece como a estratégia de projeto mais eficaz, solucionando o problema de calor em até 85,8% das horas do ano (68,5% + 15,8% + 1,5%). É desnecessário o uso da massa térmica para resfriamento ou do resfriamento evaporativo, visto que a ventilação também resolve a interseção entre essas estratégias. Recomendam-se os mesmos princípios de projeto já citados em várias outras cidades: aberturas amplas e sombreadas, direcionadas de forma a captar o vento; adoção de ventilação cruzada e ventilação vertical; construção de espaços internos fluidos; etc.

AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA PELAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS

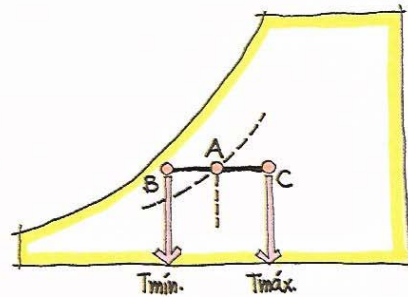
Para a avaliação bioclimática pelas normais serão necessários os valores mensais de:

- média, média das máximas, média das mínimas, máxima e mínima absoluta de temperatura do ar;
- umidade relativa média.

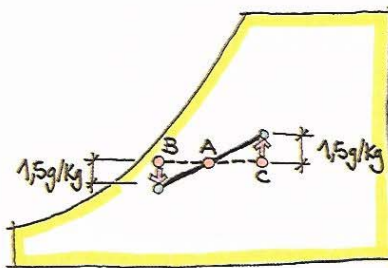
A partir desses dados, escolhe-se um mês e traça-se na carta psicrométrica uma linha vertical correspondente à sua temperatura média até atingir a curva da sua umidade relativa média. O ponto de interseção (A) indica, no eixo da direita, a quantidade de vapor de água no ar.



A partir do ponto A traça-se uma linha horizontal até encontrar as linhas verticais correspondentes às temperaturas média das máximas e média das mínimas (pontos B e C das figuras ao lado, respectivamente).



Considerando a variação média mensal de 3 g/kg no conteúdo de umidade diário (valor médio para o Brasil), toma-se a linha correspondente à quantidade de vapor, inclinada de acordo com a variação. Para isso, o conteúdo de umidade do ponto B deve ser diminuído em 1,5 g/kg, e no ponto C, acrescido do mesmo valor. Unindo os novos pontos obtidos, tem-se a linha correspondente ao mês em questão.



Repetindo esse procedimento para os doze meses do ano, obtêm-se doze retas. A relação das doze linhas com as zonas da carta psicrométrica fornece uma indicação visual do comportamento climático da cidade. Mas, a fim de obter a efetividade de cada zona bioclimática, os seguintes procedimentos podem ser tomados:

- mede-se o comprimento total das doze linhas;
- medem-se as porções de linhas que se encontram dentro de cada zona bioclimática (zona de conforto, zona de ventilação etc.);
- obtém-se o somatório correspondente a cada zona;
- os percentuais de conforto térmico e de cada estratégia são obtidos pela comparação dos respectivos somatórios com o comprimento total das doze linhas.

Analisando de forma exemplificativa a cidade de Florianópolis, obtiveram-se os seguintes dados:



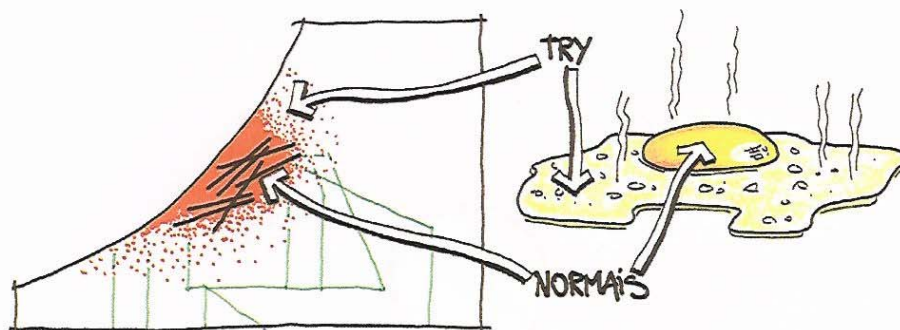
Carta bioclimática para Florianópolis com os dados das normais

Tabela 5.15 - Percentuais de cada estratégia bioclimática para Florianópolis

ZONA BIOCLIMÁTICA	COMPRIENTO (esc. livre)	PERCENTUAL
CONFORTO	20,3	40
DESCONFORTO	30,5	60
FRIO	17,4	34,25
CALOR	13,1	25,75
VENTILAÇÃO	11,6	22,8
MASSA/VENT./RESF. EVAP.	1,5	2,95
MASSA COM AQUEC. SOLAR	16,45	32,38
AQUEC. SOLAR	0,95	1,87
TOTAL	50,8	100%

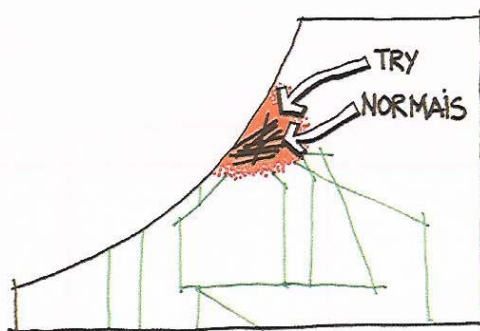
Comparando os valores de percentuais obtidos pelas normais com os obtidos pelo TRY constata-se que, a partir das normais, tende-se a superestimar o conforto e a subestimar as estratégias bioclimáticas em Florianópolis.

A mesma relação que existe entre a clara e a gema em um ovo frito pode sumarizar, de forma figurativa, a relação existente entre a carta bioclimática feita a partir do TRY e a partir das normais. As normais, por empregarem valores médios, tendem a concentrar as linhas representativas do ano na região correspondente ao centro de gravidade da mancha proveniente das 8.760 horas analisadas pelo TRY.



TRY x normais

No caso particular de Florianópolis houve alterações significativas entre os resultados devido à grande amplitude anual de temperatura e umidade, que faz a mancha das horas do ano distribuir-se por grande área na carta. Em cidades com variações de temperatura e umidade relativa reduzidas ao longo do ano (São Luís, por exemplo), os resultados obtidos pelas normais e pelo TRY terão maior semelhança.



TRY x normais em cidades com pouca variação climática anual

Partindo-se das análises das catorze cidades, algumas conclusões podem ser destacadas. Primeiramente quanto ao uso do ar condicionado, que se mostra imprescindível apenas em algumas cidades das regiões Norte e Nordeste, enquanto nas outras regiões seu uso geralmente pode ser substituído por alternativas mais econômicas, como a ventilação ou a massa térmica para resfriamento.

Em todo o Brasil, a estratégia que mais se destaca é a ventilação, seguida pela massa térmica com aquecimento solar passivo, indicada para os períodos frios na maioria das cidades. Em muitos casos, ambas as estratégias são indicadas, devendo-se tomar cuidados com a execução das aberturas.

Quanto ao aquecimento solar e ao artificial, só foram sugeridos em poucos casos. Deve-se considerar, entretanto, que o TRY só foi obtido para um número limitado de cidades (catorze). As cidades mais frias do Brasil não aparecem, e certamente indicariam maiores percentuais dessas estratégias ao longo do ano.

Também se deve observar que boa parte das horas mais frias do ano se apresenta em horários noturnos, quando o nível de atividade das pessoas é bem reduzido e a tolerância a temperaturas mais baixas é maior quando se dorme (devido ao isolamento térmico proporcionado pelo cobertor e pelo colchão).

O ponto mais importante é a grande diversidade climática do Brasil, que ficaria ainda mais saliente se fossem obtidos os Anos Climáticos de Referência de outras cidades. Contraindo esta diversidade, as edificações brasileiras vêm sendo construídas de forma quase sempre padronizada, incorporando muitas vezes linguagens de outras culturas ou espalhando uma mesma tipologia por cidades de comportamentos climáticos distintos como Curitiba e São Luís, por exemplo.

A partir dessas observações, a arquitetura deveria ser conduzida de forma diferente. O repertório do arquiteto deve ser mais amplo, permitindo que as especificidades de cada local aflorem como condicionantes a ser respeitadas em uma linguagem arquitetônica adequada, e enriquecendo a arquitetura brasileira com tipologias diferenciadas e próprias.

REFERÊNCIAS

59. OLGAY, V.; [1968]. *Clima y arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle. Facultad de Arquitectura. Cali, Colombia.
60. OLGAY, V.; [1973]. *Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism*. 4 (ed. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
61. GIVONI, B.; [1992]. *Confort, climate analysis and building design guidelines*. *Energy and Building*, vol. 18, July/92, pp. 11-23.
62. GOULART, S. V. G.; BARBOSA, M. J.; PIETROBON, C. E.; BOGO, A.; PITTA, T.; [1994]. *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico*. Relatório Interno nº 02/94, Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC, Florianópolis, SC.
63. WATSON, D.; LABS, K.; [1983]. *Climatic design: energy-efficient building principles and practices*. McGraw-Hill, New York, USA.
64. OLGAY, V.; [1968]. *Clima y Arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle. Facultad de Arquitectura. Cali, Colombia.
65. SZOKOLAY, S. V.; [1987]. *Thermal design of buildings*. RAI Education Division, Red Hill, Australia.
66. FANGER, P. O.; [1972]. *Thermal confort: analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill, New York, USA.
67. GONZALEZ, E.; HINZ, E.; OTEIZA, P.; QUIROS, C.; [1986]. *Proyeto clima y arquitectura*. Ediciones Gustavo Gili, S. A., México.
68. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES; [1992]. *Energy conscious design: a primer for architects*. B. T. Batsford Ltd., London, UK.
69. ANDERSON, B.; WELLS, M.; [1981]. *Passive solar energy*. Brick House Publishing Co., Massachusetts, USA.
70. ALMANAQUE ABRIL; [1995]. Editora Abril S. A., São Paulo, SP.
71. Normais Climatológicas, (1931-1960); [1979]. Instituto Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, RJ.
72. Normais Climatológicas, (1961-1990); [1992]. Departamento Nacional de Meteorologia, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF.

Após ter uma visão panorâmica sobre as principais variáveis envolvidas nas questões de conforto e desempenho energético em edificações, pôde-se concluir, através dos conceitos pertinentes à bioclimatologia, quais os princípios bioclimáticos a adotar em diversas situações. Mas resta uma pergunta. De maneira prática, como proceder em um projeto arquitetônico?



O primeiro passo para a resposta é identificar nas edificações onde a maior parte da energia está sendo gasta e verificar, dentro desse universo, como o arquiteto pode atuar. O campo de atuação do arquiteto em termos de eficiência energética na edificação abrange principalmente os setores residencial, comercial e público. Pode-se dizer que as edificações são responsáveis por 42% do consumo de energia no país, incluídos aí o consumo pelo uso de eletrodomésticos e equipamentos de escritório.

De um modo geral, o arquiteto pode racionalizar o uso de energia em um edifício se conseguir reduzir o consumo para iluminação, condicionamento do ar e aquecimento de água. Neste cenário, o que se destaca são basicamente três idéias a ser perseguidas no processo de concepção arquitetônica:

- usar sistemas naturais de condicionamento e iluminação sempre que possível;
- usar sistemas artificiais mais eficientes;
- buscar a integração entre os dois (artificial e natural).

Existem diferenças muito significativas entre o setor residencial e os setores comercial e público no que diz respeito ao consumo de energia. Primeiramente, a densidade de ocupação é distinta. Em residências, normalmente as pessoas compartilham vários ambientes, sendo que muitos são pouco ocupados na maior parte do dia. Mesmo em edifícios residenciais, excetuando-se o *hall* de entrada e a circulação, a densidade de ocupação para cada ambiente é muito

baixa se comparada à dos edifícios comerciais e públicos. Nestes, um grande número de pessoas pode ocupar um único espaço (salas de aula, teatro, escritórios etc.) e o fluxo de usuários que entram ou saem dos ambientes pode ser contínuo (lojas, supermercados, consultórios etc.). Isto se traduz na afirmação de que, nos setores comercial e público, mais pessoas estarão consumindo mais energia para aclimação e iluminação.

Outra importante característica que influencia no consumo de energia é a função arquitetônica. A função “morar”, por exemplo, afigura-se muito mais cômoda e articulável com as necessidades de seu usuário que as funções “assistir a aulas”, “vender”, “datilografar” ou “consertar”. É fácil carregar o ventilador ou o abajur para o canto que se quer em casa, porém no escritório é necessário adaptar-se às condições ambientais disponíveis.

Todos esses argumentos fazem da arquitetura residencial o cliente ideal para o uso de sistemas naturais de condicionamento e iluminação, embora estes também possam ser utilizados com êxito na arquitetura comercial e pública. Nesta última é provável a necessidade de empregar sistemas artificiais - e, se assim o fizermos, deveremos optar por equipamentos mais eficientes. Vale ressaltar que a busca de integração entre os sistemas naturais e artificiais é sempre bem-vinda em todos os setores, pois, além da economia de energia, propicia espaços arquitetônicos mais agradáveis.

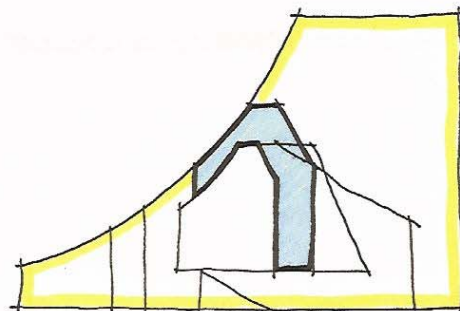
ARQUITETURA RESIDENCIAL

A arquitetura residencial tem certamente o maior potencial de utilização de recursos naturais de condicionamento e iluminação. Antes de partir para o lançamento da proposta arquitetônica, o arquiteto deverá fazer um estudo do clima de sua região, tentando identificar quais estratégias bioclimáticas se mostram mais adequadas. Este estudo pode ser feito através da carta bioclimática discutida no capítulo anterior. Ao plotar na carta os dados climáticos para a cidade que se quer analisar, pode-se deparar com uma ou mais indicações bioclimáticas. A cada uma destas indicações, lidas diretamente na carta ou nas tabelas de percentuais (montadas no capítulo anterior), correspondem diversos recursos de desenho, que podem ser adotados no projeto para responder às necessidades de conforto para o local.

Vários autores tratam de forma detalhada os diversos recursos de projeto ilustrados a seguir, destacando-se entre eles Watson & Labs ⁽⁷³⁾, Commission of the European Communities ⁽⁷⁴⁾ e Gonzales ⁽⁷⁵⁾. De forma simplificada, pode-se enumerar as seguintes soluções de projeto para cada zona da carta bioclimática:

1 - VENTILAÇÃO

Quando esta estratégia for necessária, pode ser explorada com os seguintes recursos de desenho:



Zona de ventilação

• Usar a Forma e a Orientação

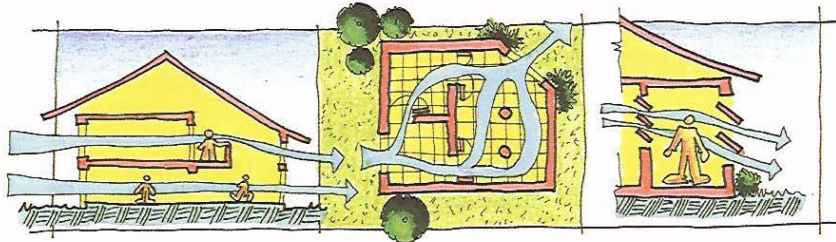
Maximizar a exposição da edificação às brisas do verão orientando corretamente o projeto e empregando alguns recursos aplicáveis à forma do edifício. O estudo da forma e da orientação da arquitetura também pode explorar a iluminação natural e favorecer os ganhos de calor solar.



A forma e a orientação do edifício

• **Projetar Espaços Fluidos**

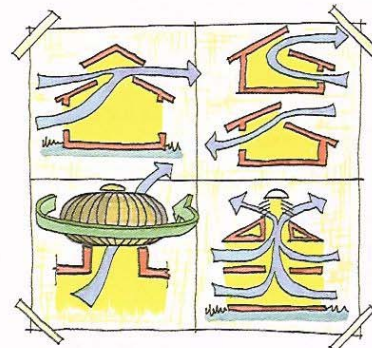
Além de ser atrativos plasticamente, os espaços interiores fluidos permitem a circulação do ar entre os ambientes internos e entre os ambientes e o exterior. Muitos dispositivos podem ser usados para permitir esse tipo de recurso, mantendo contudo a privacidade visual do interior (venezianas, elementos vazados etc.). Em locais com invernos mais frios, estes dispositivos devem poder ser fechados para evitar infiltrações indesejáveis.



Espaços fluidos

• **Promover Ventilação Vertical**

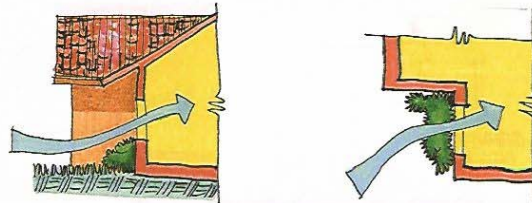
O ar quente tende a se acumular nas partes mais elevadas do interior da edificação; a retirada deste ar quente pode criar um fluxo de ar ascendente gerado por aberturas em diferentes níveis. Isto pode ser feito através de diversos dispositivos, como lanternins, aberturas no telhado, exaustores eólicos ou aberturas zenitais. Também se pode combinar o fator iluminação natural ao utilizar aberturas zenitais, que podem ser colocadas em locais estratégicos para cumprir as duas funções simultaneamente (ventilar e iluminar).



Diversos tipos de ventilação vertical

• **Elementos que Direcionam o Fluxo de Ar para o Interior**

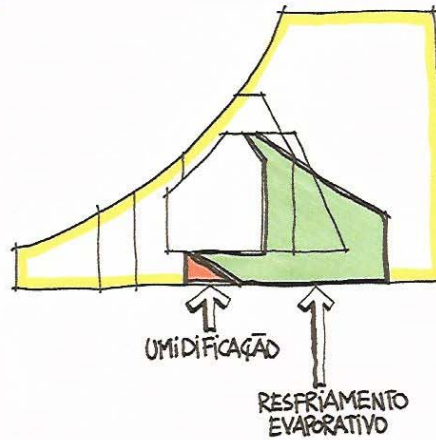
Diversos elementos que se salientem da volumetria ou no entorno do edifício podem ser utilizados para incrementar o volume e a velocidade do fluxo de ar para o espaço interno. Alguns elementos podem ser úteis também para o sombreamento de aberturas.



Direcionamento do ar para o interior

2 - RESFRIAMENTO EVAPORATIVO E UMIDIFICAÇÃO

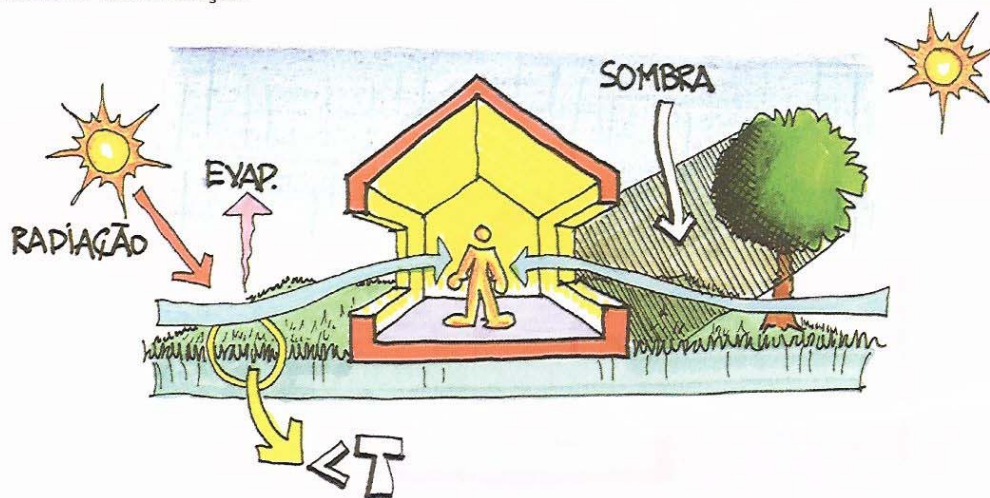
Esta estratégia consiste na retirada de calor do ar pela evaporação de água ou pela evapotranspiração das plantas. Diversas técnicas de resfriamento evaporativo podem ser utilizadas para diminuir a temperatura do ar.



Zona de resfriamento evaporativo e zona de umidificação

• Construir Áreas Gramadas ou Arborizadas

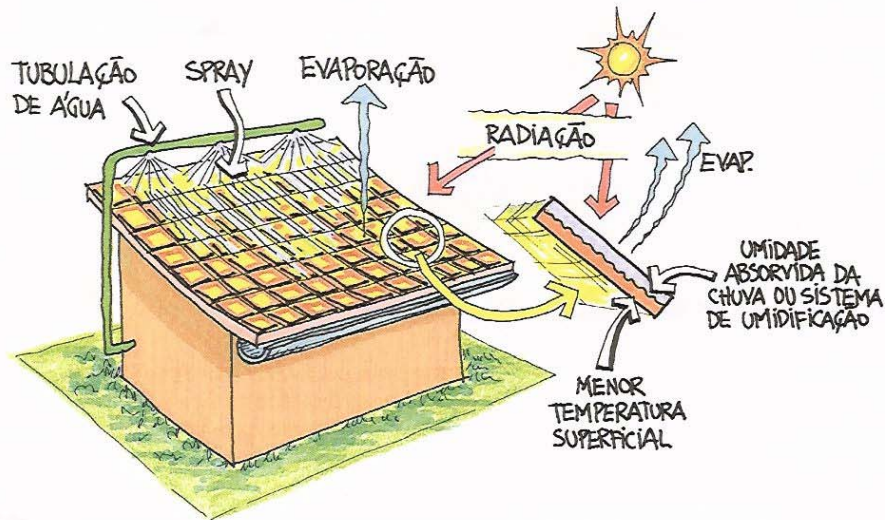
Uma superfície gramada exposta ao sol consome uma parte do calor recebido para realizar a fotossíntese. Uma outra parte do calor é absorvida para evaporar água (evapotranspiração). Cria-se então um microclima mais ameno que refresca os espaços interiores da edificação.



Resfriamento evaporativo com áreas gramadas ou arborizadas

• **Resfriamento Evaporativo das Superfícies Edificadas**

Esta opção pode ser empregada para diminuir a temperatura das superfícies da edificação. O uso de telhas cerâmicas não vitrificadas é recomendado. Sua porosidade absorve a água da chuva e do sereno noturno, que é posteriormente evaporada com a incidência do sol. Assim a telha perde calor, reduzindo os ganhos térmicos para o interior. O incremento desse efeito pode ser obtido com o umedecimento periódico do telhado nos dias mais quentes, através de tubulações perfuradas instaladas próximas à cumeeira.



Evaporação na telha cerâmica e molhagem do telhado



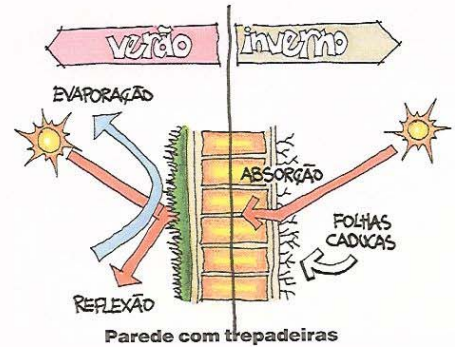
Molhagem de superfícies pavimentadas

Também pode-se molhar as áreas pavimentadas próximas à edificação através deste tipo de tubulação.

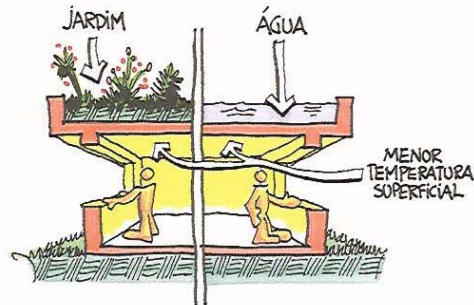
Da mesma forma como nas superfícies gramadas, pode-se forrar as paredes externas da edificação com vegetais (normalmente trepadeiras). A temperatura da parede é reduzida pela evapotranspiração do vegetal e pelo sombreamento da radiação solar. Se as folhas forem caducas, pode-se aproveitar o calor solar no inverno, efeito desejável em climas com estações bem diferenciadas.

• **Resfriamento Evaporativo Indireto**

Esta técnica consiste em soluções arquitetônicas como a instalação de um tanque de água sobre o telhado ou mesmo de um jardim. Com a incidência do sol, a evaporação da água ou a evapotranspiração do vegetal retiram calor da cobertura, resfriando a superfície do teto. Assim, haverá a diminuição da temperatura radiante média do ambiente interior.



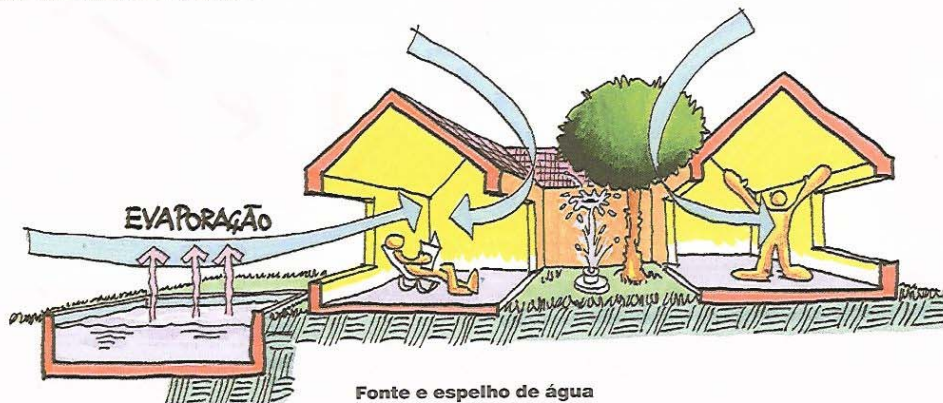
Parede com trepadeiras



Tanque de água e jardim sobre o telhado

• **Umidificação**

Em regiões climáticas onde a umidade relativa do ar é muito baixa (inferior a 20%), a secura extrema do ar pode causar desconforto (mucosas ressecadas, princípios de desidratação etc.). O que se pode fazer nestes casos é umidificar o ar através da evaporação da água de fontes ou espelhos de água próximos à edificação, de forma a tirar partido do microclima que se criará em suas imediações.

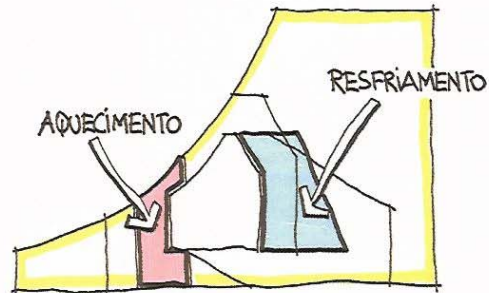


Fonte e espelho de água

3 - MASSA TÉRMICA

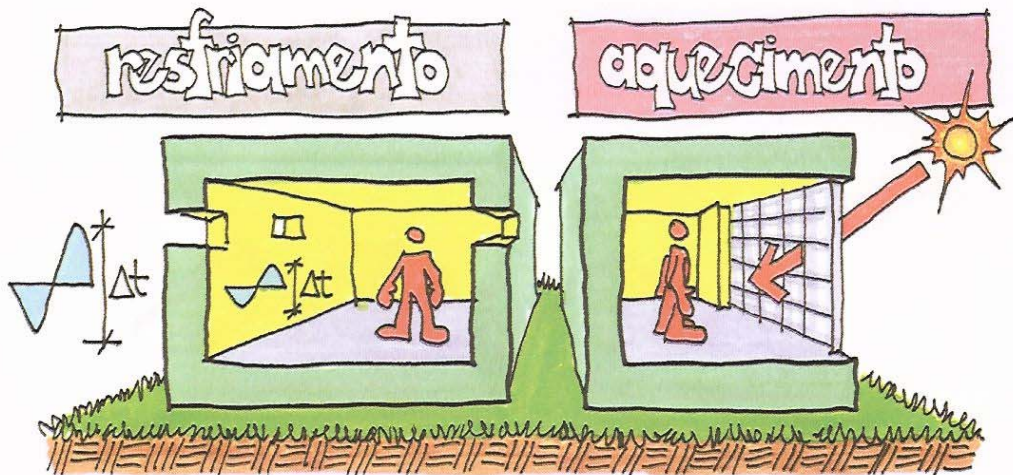
Segundo a carta bioclimática percebe-se que a massa térmica pode ser usada para aquecer ou resfriar a arquitetura, conforme os dados do clima do local se situem nas zonas referidas na figura ao lado.

O uso da massa térmica pode ser útil tanto no frio quanto no calor, dependendo das características climáticas da região (umidade relativa, amplitude térmica, insolação etc.). A maneira mais simples para usar a massa térmica para aquecimento em uma edificação é construir fechamentos opacos mais espessos e diminuir a área de aberturas, orientando-as para o sol. Como já explicado no quarto capítulo, a massa térmica pode acumular o calor recebido pela parede durante o dia e devolvê-lo ao interior somente à noite, quando as temperaturas tendem a ser mais amenas (inércia térmica). Em locais muito frios, isto pode ser fundamental. Embora o ar externo esteja a uma temperatura muito



Zona de massa térmica para aquecimento e para resfriamento

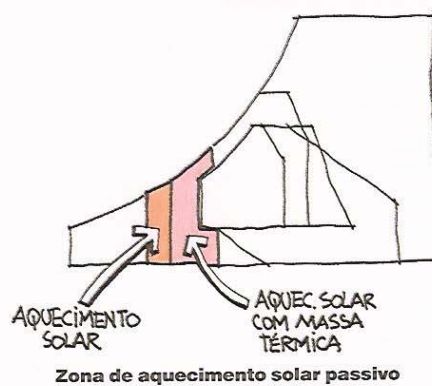
baixa, a insolação direta pode aquecer substancialmente as paredes e a cobertura da edificação. Em locais quentes, a massa térmica pode ser utilizada para resfriar o ambiente interior. Neste caso, as aberturas devem ser sombreadas e deve-se evitar a ventilação diurna, que pode aumentar a temperatura interna ao trazer o ar quente do exterior. À noite, deve-se permitir a ventilação seletiva, para retirar o calor acumulado durante o dia e garantir temperaturas internas mais baixas no dia seguinte.



Massa térmica para aquecimento ou para resfriamento

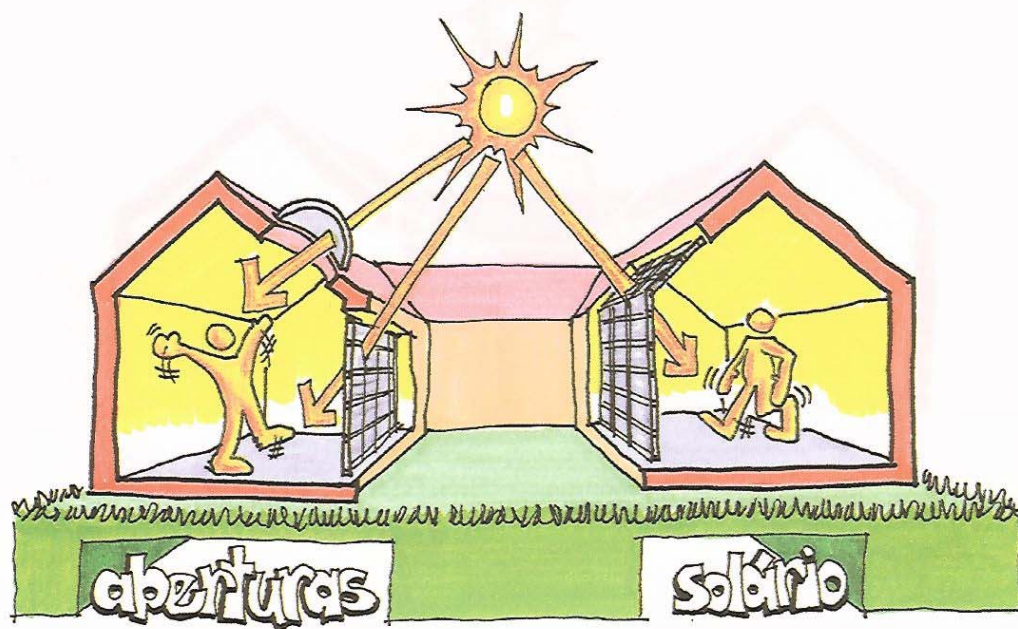
4 - AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO

O aquecimento solar passivo pode ser obtido de diversas formas distintas:



• Ganho Direto

Consiste em permitir o acesso da radiação solar diretamente ao interior, através de aberturas laterais (janelas e paredes transparentes) ou zenitais (clarabóias e domos). Através de elementos transparentes pode-se gerar o “efeito estufa” quando necessário, para aquecer os ambientes interiores. Uma aplicação comum desta técnica são os solários.



Ganho solar direto

• Ganho Indireto

Uma forma de ganho indireto é a adoção de jardins de inverno, que captam a radiação solar, distribuindo-a indiretamente aos ambientes interiores.

Também se pode construir paredes de acumulação, que consistem no uso de paredes com elevada massa térmica nas orientações mais expostas à insolação. Estes elementos acumulam o calor do sol, devolvendo-o depois ao ambiente por radiação de onda longa e convecção. A colocação do vidro evita que a parede perca calor por convecção e por radiação para o exterior. Também conhecida como parede Trombe, esta técnica consiste em criar uma convecção induzida pelo aquecimento do ar no espaço entre vidro e parede. O ar quente tende a subir, sugando ar mais fresco pela abertura inferior do sistema.



Ganho solar indireto

5 - AR CONDICIONADO

Em certas condições climáticas, o ar condicionado é a intervenção mais adequada a ser feita para garantir o conforto térmico dos usuários.



Zona de ar condicionado

Neste caso deve-se garantir a estanqueidade dos ambientes, evitando a infiltração do ar exterior, e optar por aparelhos mais eficientes (EER maior). Além disso, o arquiteto deve observar os cuidados requeridos na instalação do equipamento, não expondo-o ao sol e prevendo o isolamento térmico dos fechamentos da edificação.

6 - AQUECIMENTO ARTIFICIAL

Quando a temperatura do exterior não ultrapassa os 10,5°C, o aquecimento artificial é aconselhável. É importante o bom isolamento térmico dos fechamentos, evitando a ventilação da cobertura, adotando aberturas com vidro duplo e também construindo paredes com materiais de baixa condutividade térmica. Também nesse caso é necessário evitar a infiltração do ar externo.

O projetista deve conhecer os sistemas de aquecimento para especificá-los de forma adequada às necessidades do local, empregando equipamentos mais eficientes. No caso de edificações com vários ambientes a ser condicionados, sugere-se a adoção de sistemas de aquecimento central.

7 - OUTRAS TÉCNICAS PARA DIMINUIR O CONSUMO DE ENERGIA

Além das estratégias bioclimáticas indicadas pela carta de Givoni, a racionalização do consumo de energia em edificações pode também estar relacionada com a aplicação de outras técnicas para aquecimento, refrigeração e iluminação.

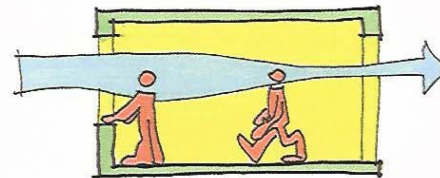
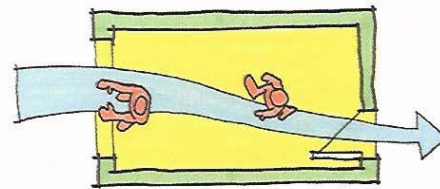
• Uso da Cor

Embora de grande importância plástica na arquitetura, a utilidade das cores não se restringe à aparência, mas adentra os conceitos físicos de conforto térmico e visual. Cores escuras aplicadas nas superfícies exteriores podem incrementar os ganhos de calor solar, absorvendo maior quantidade de radiação. Isto pode ser útil em locais onde há necessidade de aquecimento. De forma complementar, a pintura de cores claras nas superfícies externas de uma edificação aumenta sua reflexão à radiação solar, reduzindo os ganhos de calor pelos fechamentos opacos. No interior, cores claras refletem mais luz, podendo ser empregadas em conjunto com sistemas de iluminação natural ou artificial.

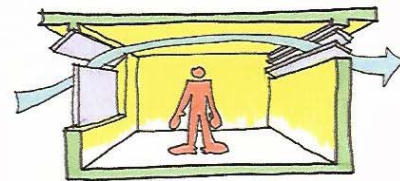
• Sistema de Aberturas

O sistema de aberturas pode representar um verdadeiro elenco de funções na arquitetura. Tem inquestionável utilidade para o conforto e se compõe de fatores como a ventilação, o ganho de calor solar, a iluminação natural e o contato visual com o exterior. Aberturas bem posicionadas podem garantir a circulação de ar nos ambientes internos, aconselhando-se sua localização de forma cruzada sempre que a ventilação for necessária.

As janelas com bandeiras basculantes são bastante úteis em períodos frios, por permitirem a ventilação seletiva necessária para higiene do ar interno.

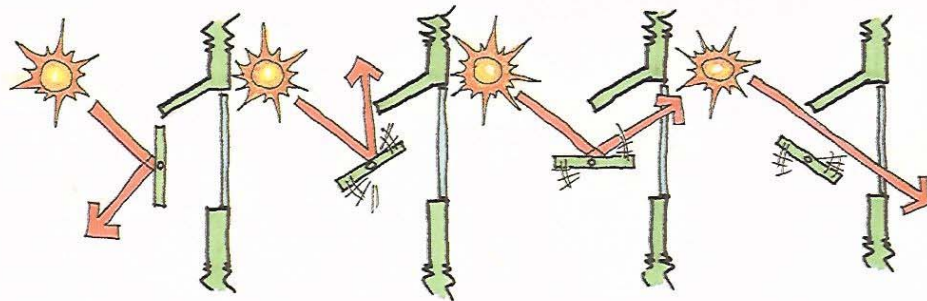


Ventilação cruzada



Renovação de ar em períodos frios

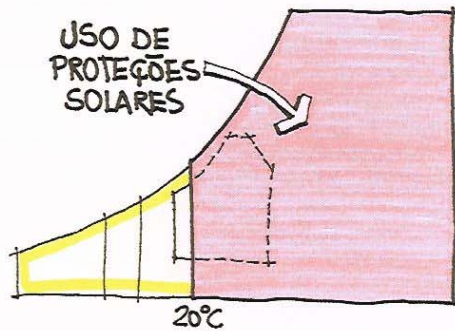
Com relação ao ganho de calor solar, pode ser desejável ou não, dependendo do período do ano. O controle da radiação solar pode ser feito através das proteções solares e também por vidros especiais, já tratados no quarto capítulo deste livro. Ao projetar proteções solares deve-se pensar também na sua influência sobre a luz natural e a visibilidade para o exterior. A adoção de *brises* do tipo *light shelf* (conforme já descrito no quarto capítulo) é aconselhável principalmente para a orientação norte, pois permite sombrear completamente a abertura enquanto favorece a entrada de luz para o interior. Dependendo da latitude do local e do período do ano, também se pode conceber *brises* constituídos de uma parte fixa e outra móvel. A versatilidade desse sistema permite sombrear o sol indesejável através da parte fixa, reservando à parte móvel a função de controlar a entrada do sol cuja desejabilidade pode variar ao longo do ano.



Brise móvel

Ao especificar *brises* com partes móveis deve-se considerar a necessidade de manutenção regular e a possibilidade de operação errônea por parte do usuário. O ideal é promover esclarecimentos sobre as vantagens e o funcionamento do sistema.

Mas quando utilizar proteções solares? A resposta é simples: sempre que a análise bioclimática do local indicar períodos de calor, as proteções solares podem ser utilizadas conjuntamente à estratégia de resfriamento indicada pela carta bioclimática (ventilação, massa para resfriamento ou resfriamento evaporativo).

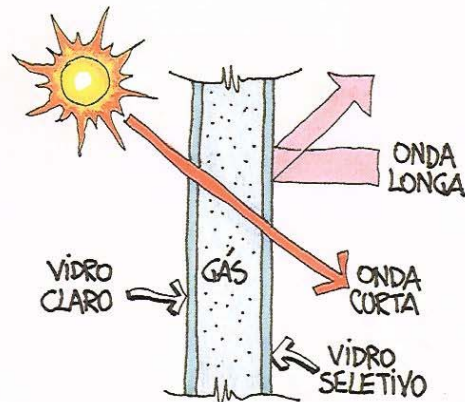


Proteções solares na carta bioclimática

Quanto ao tipo de vidro a ser empregado, dependerá das necessidades de luz natural e de desempenho térmico do sistema de abertura. Na arquitetura residencial, normalmente se quer permitir o ingresso de luz pelas janelas, evitando ou explorando o calor solar, conforme o período do ano for respectivamente mais quente ou mais frio. Como já observado no quarto capítulo, hoje há vários tipos de vidro disponíveis para controlar as perdas ou os ganhos de calor. Existem vidros e películas absorventes e reflexivos, vidros duplos ou triplos com tratamento de baixa emissividade, vidros espectralmente seletivos e combinações destes tipos entre si.

Em climas quentes se deve evitar o uso de vidros e películas absorventes, pois são escuros, absorvendo mais luz do que calor. De forma semelhante, os vidros e películas reflexivos permitem a redução da carga térmica, que, entretanto, pode ser suplantada pela necessidade adicional de luz artificial.

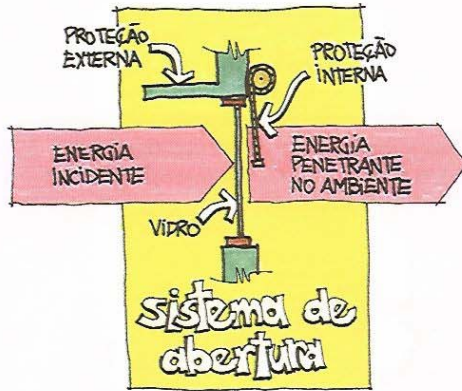
Em climas frios, o ideal seria permitir a entrada do calor solar (onda curta), evitando as perdas de calor do interior. Vidros de múltiplas camadas são indicados, pois permitem isolamento entre as placas (normalmente o ar ou algum tipo de gás).



Vidro duplo

Não existe ainda um tipo de vidro ideal para todas as condições climáticas. O consumidor pode descobrir que necessita de dois ou mais tipos de sistema de abertura para sua casa, devido, por exemplo, à orientação. Na arquitetura, tanto o projetista quanto o cliente devem considerar o desempenho térmico e visual de uma abertura como um sistema (*brise*, vidro e cortina, por exemplo). A especificação inteligente do tipo de vidro, proteção solar e dimensionamento da

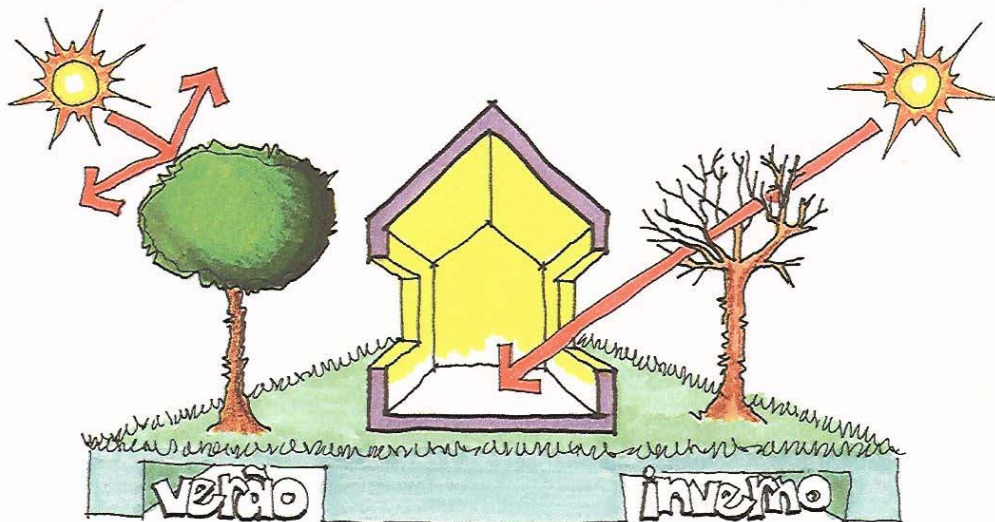
abertura deve examinar as necessidades de refrigeração e aquecimento ao longo do ano, priorizar a luz natural e considerar fatores como o aquecimento solar, o sombreamento, a ventilação e valores estéticos da composição arquitetônica.



Abertura como um sistema

• **Uso da Vegetação como Sombreamento**

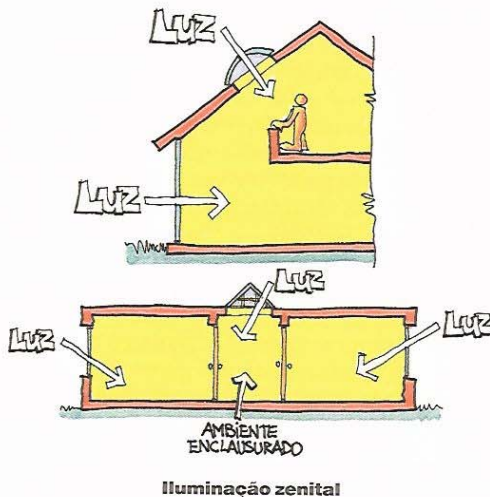
É possível que uma proteção solar não seja suficiente para sombrear adequadamente uma abertura. Na fachada oeste, por exemplo, um *brise* adequado às necessidades de sombreamento no verão deveria, em alguns casos, bloquear completamente a radiação solar. Em algumas horas da tarde o sol estará quase perpendicular à fachada, o que induziria a uma proteção que praticamente obstruísse a abertura. Do ponto de vista da iluminação, isto significa um sério problema para o ambiente interno, que necessitará de luz artificial mesmo durante o dia. O uso de árvores com folhas caducas pode ser uma solução para o problema. Além de sombrear a janela sem bloquear a luz natural, permite a incidência do sol desejável no inverno, quando então as folhas tendem a cair.



Proteção solar de árvores com folhas caducas

• Uso Racional da Iluminação

O uso da luz natural pode representar uma grande economia de energia na arquitetura residencial. Além dos sistemas de aberturas verticais, a iluminação zenital é bastante útil, podendo iluminar locais sem paredes externas e, também, valorizar ambientes arquitetônicos mais nobres.



Uma parte da energia gasta no setor residencial provém da iluminação artificial (12%). Pode-se reduzir consideravelmente este valor substituindo lâmpadas incandescentes por fluorescentes comuns ou compactas. A utilização de luminárias mais eficientes e de reatores eletrônicos também é aconselhável. Em edifícios residenciais, a energia consumida à noite pelas lâmpadas que permanecem acesas nas escadas e circulações pode ser reduzida com a adoção de minuterias. Assim, o tempo que as lâmpadas permanecem acesas é apenas o necessário para que os usuários alcancem a saída ou o seu apartamento,

desligando-se automaticamente o circuito em alguns minutos.

• Aquecimento de Água

Uma parcela significativa de energia elétrica é consumida para aquecimento de água no setor residencial. O arquiteto deve prever tubulação de água quente isolada termicamente em seus projetos, propiciando a instalação de sistemas de aquecimento a gás ou solar - mais econômicos. Além de evitar o consumo de energia elétrica, outra vantagem destes sistemas é o maior grau de conforto e sua capacidade para atender diversos pontos de água quente além do chuveiro (torneiras em banheiros, cozinhas e lavanderias, por exemplo).

Quanto aos outros usos finais em edifícios residenciais, como equipamentos diversos (geladeiras, máquinas de lavar etc.), cabe ao governo promover programas de etiquetagem como o que vem sendo feito com geladeiras e motores e divulgação do seu significado através de mídia, para que o consumidor consciente possa optar na hora da escolha. Estas etiquetas também são úteis para programas de gerenciamento da demanda (*Demand Side Management - DSM*) de concessionárias, onde podem ser oferecidos incentivos para a compra de equipamentos eficientes.

ARQUITETURA COMERCIAL E PÚBLICA

Nos setores comercial e público, o consumo de energia é fortemente influenciado pela grande quantidade de calor gerado no interior do edifício. Diferentemente da arquitetura residencial, edifícios comerciais e públicos contam com maior densidade de usuários,

equipamentos e lâmpadas, que levam à tendência ao sobreaquecimento dos ambientes, mesmo em situações em que o clima exterior indica conforto térmico.

Observa-se que a iluminação artificial e o ar condicionado são os grandes usos finais da energia neste setor, representando aproximadamente 64% do consumo (44% para iluminação artificial e 20% para ar condicionado, respectivamente)⁽⁷⁵⁾.

Deve ficar claro que há uma grande diversidade de uso dos espaços, principalmente no setor comercial. Quanto ao horário de utilização, as edificações comerciais podem funcionar durante o dia, durante a noite ou até nos dois períodos, dependendo da função a que se destinam. Em alguns casos, a necessidade de iluminação de boa qualidade e em quantidade é imprescindível, como em escritórios de desenho ou de consertos delicados. Também existem locais onde a iluminação deve ser reduzida ou até evitada em boa parte do tempo, como em boates ou em cinemas. Com relação ao condicionamento térmico, em alguns ambientes sua necessidade é secundária (alguns tipos de depósito, por exemplo) e em outros é o principal fator do ambiente (*shopping centers*, galerias comerciais etc.). Todas essas diversidades vêm salientar a importância de estudos sobre a apropriação espacial dos edifícios com o intuito de orientar as intervenções referentes à eficiência energética.

Continuam válidas as estratégias indicadas pela carta bioclimática e os respectivos esclarecimentos feitos para a arquitetura residencial. Contudo, é mais urgente a necessidade de integração entre sistemas naturais e artificiais (tanto de condicionamento quanto de iluminação), visto que o uso dos sistemas artificiais pode ser imprescindível para a boa produtividade no espaço interior.

SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

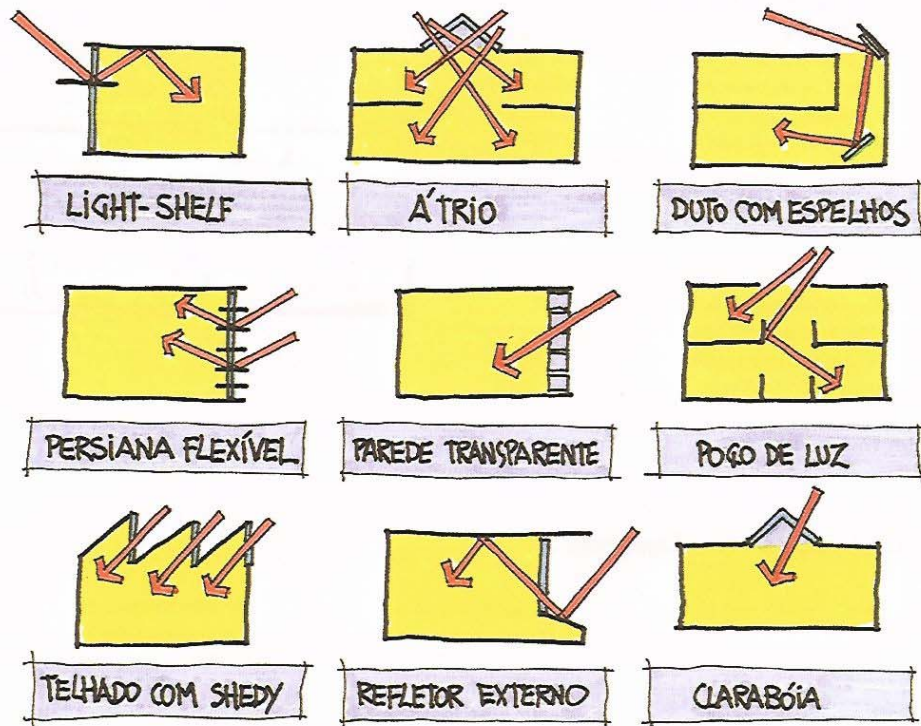
A demanda de energia por iluminação é elevada no setor, variando de 40% (edifícios com ar condicionado) a 90% do uso final (edifícios sem ar condicionado). Duas estratégias sistemáticas podem ser adotadas para reduzir o consumo por iluminação: o uso de luz natural e o emprego de sistemas de iluminação artificial mais eficientes. O ideal é que ambos os critérios sejam considerados em conjunto, trabalhando-se a iluminação como um sistema.

Aumentar a taxa de iluminação natural não significa necessariamente aumentar a área de aberturas, pois isto poderia incorrer em maiores ganhos de calor solar indesejáveis. Além das aberturas tradicionais, pode-se explorar a luz natural através de diversos recursos arquitetônicos, como *brises light shelf*, átrios, dutos de iluminação com espelhos, persianas reflexivas, paredes transparentes (tijolo de vidro), poços de luz, telhados com *shed*, refletores externos, clarabóias e outros, dependendo do repertório e da criatividade do arquiteto. Atualmente, o uso da fibra óptica como condutor de luz também começa a ser explorado na construção civil.

Desta forma, pode-se resolver o problema da distribuição da luz natural até ambientes interiores com menor possibilidade de abertura de janelas.

A eficiência energética em iluminação inclui um bom projeto e equipamentos de qualidade empregados de uma maneira efetiva, proporcionando melhorias visuais no conforto e qualidade do ambiente. Um projeto de iluminação de qualidade e eficiente deve incluir:

- **integração com luz natural;**
- **iluminação de tarefa;**
- **uso de sistemas de controle eficazes;**
- **uso de tecnologias mais eficientes de iluminação.**



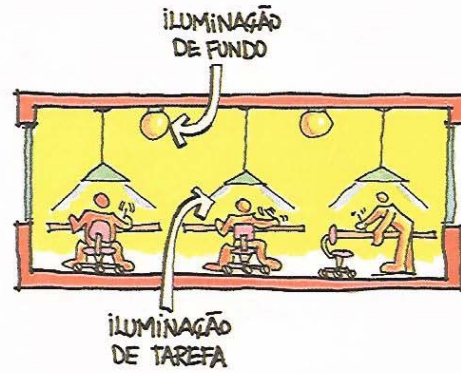
Sistemas de iluminação natural

• Integração com Luz Natural

A luz natural pode ser utilizada para reduzir o consumo de energia com iluminação. Para que isso seja possível, deve-se buscar explorá-la de forma integrada com os sistemas de iluminação artificial. Isto pode ser feito de diversas maneiras, devendo o arquiteto conhecer o comportamento dos dispositivos utilizados para iluminação natural (figura acima) e dos componentes do sistema de iluminação artificial, integrando-os em um único sistema ⁽⁷⁶⁾. Dentro dessa idéia, sempre que a luz natural for adequada às necessidades de iluminação do ambiente, a iluminação artificial deve ser desativada ou reduzida. Alguns sistemas de controle (como os sensores fotoelétricos), discutidos mais adiante, podem ser empregados com essa finalidade. Não se deve esquecer de balancear os ganhos de calor que podem estar embutidos no ingresso de luz natural, pois isto poderia incrementar o consumo de energia para condicionamento térmico.

• **Iluminação de Tarefa**

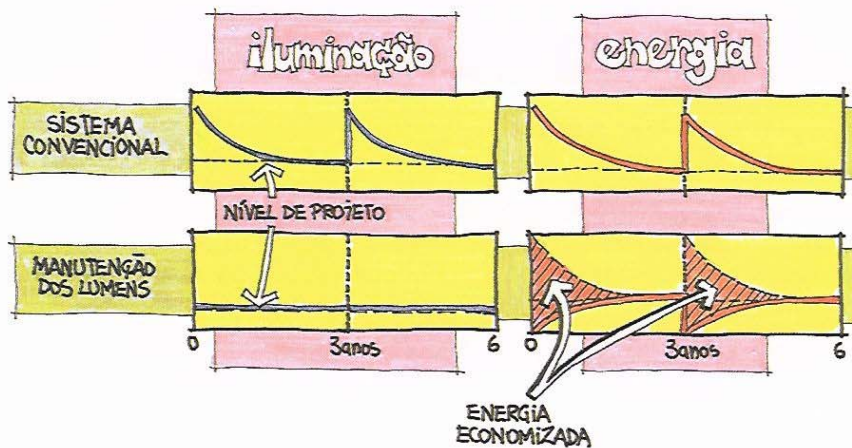
Esta técnica permite a previsão de níveis de iluminação mais altos para as tarefas visuais, enquanto se mantém o restante da iluminação a níveis mais baixos. As áreas circundantes da tarefa visual necessitam de menos iluminação que o local da tarefa propriamente dita. Recomenda-se que a iluminação ambiental seja pelo menos 33% da iluminação da tarefa, para conforto e adaptação ao transiente. Por exemplo, se uma tarefa requer 750 lux, a iluminação ambiental deve ser mantida em pelo menos 250 lux. Isto significa que boa parte da área interna de um edifício pode ter seu nível de iluminação diminuído, reduzindo também o consumo de energia.



Iluminação de tarefa

• **Manutenção dos Lumens**

A iluminação artificial é geralmente projetada para produzir mais luz do que o necessário. A quantidade de luminárias e lâmpadas é usualmente superdimensionada para garantir que, no final de sua vida útil, quando a luz liberada pelas luminárias decresce por diversos fatores, a iluminância seja sempre excedida ou pelo menos igual ao nível requerido.

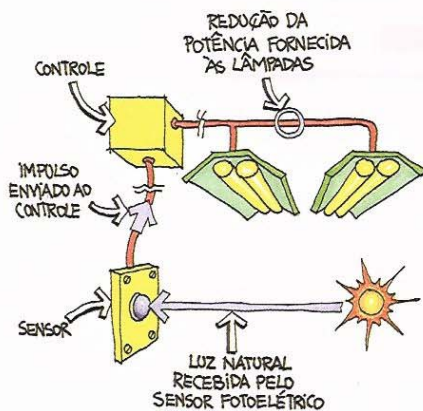


Manutenção dos lumens

A manutenção dos lumens consiste em usar uma fotocélula para detectar a iluminância atual no espaço e ajustar o nível de luz adequadamente. A iluminância de projeto é mantida todo o tempo, não somente no fim de sua vida útil ⁽⁷⁶⁾.

Observa-se que, no sistema de iluminação convencional, a potência de iluminação é superdimensionada no início do ciclo, induzindo ao consumo desnecessário de energia. No sistema de iluminação com manutenção dos lumens, o nível de iluminação constante garante a economia por toda a vida útil do equipamento de iluminação.

Além de ser aplicável em ambientes exclusivamente iluminados artificialmente, a manutenção dos lumens permite também a integração com a luz natural em ambientes com aberturas para o exterior. A luz natural não será otimizada, mas pode ser percebida pelo sensor fotoelétrico, que fará a devida correção na intensidade de energia fornecida para a iluminação artificial.



Manutenção dos lumens integrada à iluminação natural

• Sistemas de Controle

Da mesma forma que na manutenção dos lumens, a função de um sistema de controle de luz é fornecer a quantidade necessária de iluminação onde e quando ela é necessária, enquanto minimiza o consumo de energia elétrica. Os sistemas de controle são basicamente de três tipos:

- sistemas com controle fotoelétrico;
- sensores de ocupação;
- sistemas de programação do tempo.

O funcionamento de cada sistema já foi esclarecido no quarto capítulo.

• Tecnologias Eficientes de Iluminação

No projeto arquitetônico de edifícios comerciais e públicos, o arquiteto deve se preocupar também com o projeto de iluminação. Desenvolvido pelo arquiteto ou por projetistas especializados, o projeto de iluminação deve focar a alta qualidade e a alta eficiência energética de sistemas de iluminação. Além de considerar sistemas de controle, iluminação orientada à tarefa, manutenção dos lumens e integração com luz natural, deve-se procurar a utilização de equipamentos mais eficientes (luminárias, lâmpadas e reatores).

O arquiteto também deve ter em mente o conceito de reforma, ou seja, a melhoria no sistema de iluminação de um edifício existente. Isto pode traduzir-se em economias notáveis de energia. Reprojetar o sistema de iluminação e controle, empregando inclusive lâmpadas e reatores mais eficientes, junto a

luminárias refletoras, pode representar uma economia de até 40% no consumo de eletricidade ⁽⁷⁸⁾. As melhorias no sistema de iluminação, se bem realizadas, são sempre muito apreciadas pelas pessoas por elas afetadas. A instalação de sistemas e dispositivos de controle de luz em um edifício existente pode ser feita com pouca ou até nenhuma troca de fios. Os controles de luz são ligados ao painel de serviço elétrico e circuito de controle. A minimização do custo operacional é importante na instalação destes sistemas.

Um exemplo de reforma no sistema de iluminação pode ser dado considerando a troca das lâmpadas fluorescentes comuns de 40 W por lâmpadas fluorescentes eficientes de 32 W. Substituindo as luminárias comuns pelas reflexivas, pode-se obter com uma lâmpada de 32 W a iluminação equivalente a duas lâmpadas de 40 W por luminária. Além disso, com a troca dos reatores convencionais por modelos eletrônicos, pode-se conectar até quatro lâmpadas em um único reator, reduzindo consideravelmente as perdas do equipamento. Obtém-se, então, a seguinte configuração para uma sala comercial antes e depois da “reforma”:



Reforma energética

No caso do exemplo se observa a redução de até 60% no consumo de energia para iluminação da sala comercial após trocar o sistema velho por outro mais eficiente. A eficiência combinada de cada componente representou uma considerável redução no consumo de energia do sistema de iluminação como um todo.

CONDICIONAMENTO NATURAL E ARTIFICIAL

Em edifícios comerciais e públicos, geralmente o uso do ar condicionado é necessário, pois, como já explicado no capítulo 4, o desconforto pode significar perda de clientes e baixa produtividade. Entretanto, muito pode ser feito pelo arquiteto para reduzir a demanda de condicionamento artificial e o conseqüente consumo de eletricidade. As estratégias bioclimáticas já analisadas podem não responder completamente à necessidade de conforto, em virtude principalmente das grandes cargas internas provenientes de iluminação artificial, número de usuários e de equipamentos. É, no entanto, aconselhável adotar os critérios a serem seguidos no projeto ou reforma de edifícios, objetivando sua menor dependência da climatização artificial:

- redução da transmitância térmica das paredes, janelas e coberturas;
- uso de proteções solares em aberturas;
- uso de cores claras no exterior (reduz ganhos por radiação);
- emprego da ventilação cruzada sempre que possível;
- evitar ambientes sem contato com o exterior, pois não podem explorar a luz e a ventilação naturais.

O ícone de edifício comercial moderno é a fachada de vidro. Quando não protegido, o vidro gera ganhos solares altos (efeito estufa) e contribui, desta forma, para um consumo exagerado de energia para climatização artificial. Nestes casos é necessário o uso de proteções solares para reduzir o aporte de calor pela janela.

Contudo, elas devem ser dimensionadas para não bloquear em demasia a luz natural, o que ocasionaria o gasto de eletricidade para iluminação e, conseqüentemente, reduziria a eficiência do sistema de abertura. Também se deve evitar o uso de vidros absorventes (fumês), pois reduzem consideravelmente a visibilidade para o exterior e a entrada de luz natural.

Outra questão a ser considerada para edifícios comerciais e públicos é a eficiência dos sistemas de ar condicionado. Os problemas de consumo alto diretamente ligados ao equipamento de ar condicionado são:

- falta de manutenção;
- falta de isolamento dos dutos de ar ou das tubulações de água;
- superdimensionamento;
- equipamento de baixa eficiência.

O superdimensionamento pode ser evitado se o arquiteto estimar a carga térmica dos ambientes (processo que pode ser feito segundo cálculos listados no final do quarto capítulo), e dessa forma tiver argumentos para discutir com o projetista de ar condicionado sobre o equipamento ideal a ser instalado.

Quanto à eficiência do equipamento, aconselha-se observar o seu índice EER (*energy efficient ratio*). A análise do EER de um aparelho de ar condicionado permite conhecer sua eficiência relativa a outro aparelho (quanto maior o EER, maior a eficiência do aparelho).

Se a instalação de ar condicionado for especificada com um sistema central, o ideal é introduzir termostatos em cada ambiente a ser climatizado, tornando possível o controle local da temperatura.

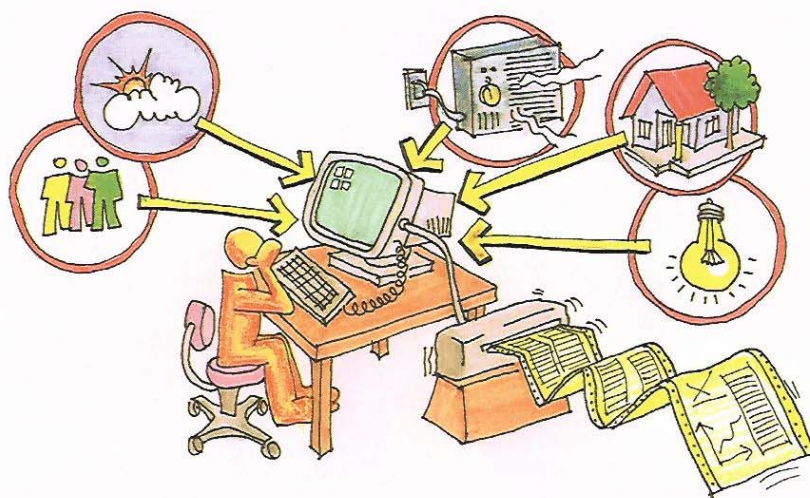
Em edificações muito grandes aconselha-se o uso de sistemas *chiller* e *fan-coil* associados a bancos de gelo. O gelo pode ser armazenado à noite, quando a energia é menos utilizada, defasando o horário de pico no funcionamento do sistema de ar condicionado em relação ao horário de pico da demanda de energia para outros fins.



Superdimensionamento de ar condicionado

SIMULAÇÃO INTEGRADA DE ENERGIA

Pelo exposto até agora, observa-se que o cenário é complexo devido ao grande número de variáveis envolvidas. Para lidar com este problema, foram desenvolvidos programas de simulação energética de edificações, como o DOE 2.1E, o BLAST e o ESP, entre outros. O DOE 2.1E, por exemplo, compõe-se de quatro subprogramas e bancos de dados climáticos, propriedades térmicas de materiais e componentes, conforme esquema da figura a seguir.



Esquema do programa DOE 2.1E

Este programa faz simulações com dados climáticos para um ano, hora a hora, permitindo uma avaliação econômica através do consumo de energia das diversas opções simuladas. A simulação da iluminação natural é feita simultaneamente com a simulação térmica e energética, permitindo sua otimização. Embora o uso de programas como o DOE 2.1E requeira uma pessoa treinada para sua operação, o arquiteto deve saber avaliar a importância de contar com simulação na otimização do seu projeto, seja para orientar as decisões de projeto ou para comprovar a eficiência e a análise custo/benefício dessas decisões.

Utilizando a simulação, o arquiteto pode prever o desempenho energético de sua proposta arquitetônica, conhecendo inclusive o comportamento de cada elemento construtivo. Isto, aliado à aplicação dos recursos bioclimáticos, permite ao projetista conceber edificações mais eficientes. Além disso, é possível abordar de forma integrada os sistemas naturais e artificiais de condicionamento e de iluminação, respondendo mais adequadamente às condicionantes do clima e da função a que se destina o edifício.

O USO RACIONAL DA ENERGIA

Todos os conceitos vistos neste capítulo devem ser aplicados pelo menos de forma qualitativa no projeto, visto que é assim que o arquiteto normalmente concebe boa parte de suas decisões na arquitetura. Isto será mais fácil em edificações de pequeno porte ou de função residencial, onde é menor o número de variáveis envolvidas e é maior a possibilidade de explorar a iluminação e o condicionamento naturais. No setor comercial e público, como já foi dito, cresce muito a complexidade, pelo fato de que os sistemas artificiais são quase sempre a fonte principal de iluminação e de conforto e porque o uso do espaço por maior número de pessoas demanda maior quantidade de energia. Neste caso é mais urgente a integração entre sistemas naturais e artificiais e a utilização de equipamentos mais eficientes, fazendo mais

sentido utilizar a simulação como ferramenta de projeto. É importante ressaltar que o arquiteto pode fazer a simulação do desempenho energético do edifício ou simplesmente contratar um profissional para fazê-lo, visto que a segunda alternativa é a atitude em geral tomada pelo arquiteto frente a algumas outras questões tecnológicas pertinentes à arquitetura.

Mas de que forma utilizar os conceitos bioclimáticos e de eficiência energética desde o início do projeto?

A sistematização de todas as variáveis parece demasiado complexa, além do que deve ser respeitado o método próprio de cada arquiteto em projetar. Mesmo assim se pode sugerir uma seqüência de procedimentos em que as questões discutidas no livro se integram com outros fatores levados em consideração no projeto arquitetônico.



O esquema ilustra uma maneira lógica de projetar, integrando os conceitos do livro a outros de conhecimento comum a arquitetos.

REFERÊNCIAS

73. WATSON, D.; LABS, K.; [1983]. *Climatic design: energy-efficient building principles and practices*. McGraw-Hill, New York, USA.
74. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES; [1992]. *Energy conscious design: a primer for architects*. B. T. Batsford Ltd., London, UK.
75. GONZALEZ, E.; HINZ, E.; OTEIZA, P.; QUIROS, C.; [1986]. *Proyecto clima y arquitectura*. Ediciones Gustavo Gili, S. A., México.
76. GELLER, H.; [1994]. *O uso eficiente da eletricidade - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*. INEE, ACEEE, Rio de Janeiro, RJ.
77. PEREIRA, F. O. R.; [1995]. *Iluminação natural no ambiente construído*. Curso ministrado no III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Gramado, RS.
78. LBL; [1993]. *Advanced Lighting Guidelines:1993*. U. S. - DOE, CEC, EPRI, Berkeley, USA.

Muitos foram os conceitos vistos no livro até aqui, e ficou clara a complexidade que envolve a arquitetura em todo o percurso de sua elaboração. Antigamente, quando as tecnologias disponíveis eram mais simples, o arquiteto dominava a construção, sendo sua relação com a obra mais íntima. Mais tarde, no Renascimento, fez-se a ruptura entre o “conceber” e o “construir” (discutida no início do livro). O arquiteto passou a dominar cada vez mais o projeto e menos a construção, acomodando-se frente às novas descobertas tecnológicas e esquecendo inclusive a adequação da arquitetura ao clima. Antes da Revolução Industrial, o arquiteto se via, de certo modo, obrigado a considerar as condições climáticas para o projeto do envoltório das edificações; era preciso reconhecer com certo detalhe os efeitos positivos e negativos do clima, para o desenvolvimento de estratégias adequadas ao seu aproveitamento ou rejeição. À envoltória, portanto, cabia as funções de servir como elemento regulador das condições ambientais, como admissão de luz e sol, ganho e perda de calor, renovação de ar etc. A Revolução Industrial mudou quase tudo. O arquiteto foi literalmente liberado para buscar outros paradigmas que não os resultantes da consideração dos elementos naturais. Nesse período encontramos exemplos arquitetônicos notáveis, nos quais se identifica a manutenção de princípios bioclimáticos históricos. Entretanto, alguns avanços desenvolvidos na área de sistemas estruturais, na produção do vidro e, posteriormente, no advento da luz elétrica contribuíram para retirar a função térmica da envoltória e passá-la aos sistemas mecânicos de aquecimento e refrigeração. Esse quadro agravou-se neste século com a larga utilização dos sistemas artificiais de

iluminação e de condicionamento, que, em princípio, resolveriam os problemas decorrentes da inadequação do projeto às necessidades de conforto dos usuários.

Recentemente, após a crise de energia e a partir das discussões sobre o impacto ambiental provocado pelo homem ao nível de planeta, surge a necessidade de percorrer novas respostas arquitetônicas mais concordantes com as tecnologias disponíveis e com a idéia de preservação ambiental. Aquela ruptura conceitual renascentista não faz mais sentido. Não se quer dizer com isso que o arquiteto deva conhecer tudo sobre todas as variáveis que influem e dão corpo à arquitetura, mesmo porque seria impossível. A complexidade dessa arte aplicada é enorme, avançando por áreas de conhecimentos humanos como as engenharias, a psicologia, a sociologia, a ecologia, a economia, a arte, a tecnologia, a história, e outras mais. No entanto, o arquiteto deveria se preocupar em entender pelo menos um pouco sobre cada uma dessas linhas de pensamento, não adotando uma como prioritária, mas intercambiando informações e conceitos entre todas elas. A necessidade de especialistas nessas áreas é inquestionável tanto quanto maior for a complexidade da obra arquitetônica a ser planejada. O que se quer reafirmar, porém, é a necessidade do arquiteto em ser apto para filtrar e traduzir as soluções discutidas e sugeridas pelos profissionais de cada área em propostas arquitetônicas objetivas e de qualidade.



Arquiteto intercambiando informações com outros profissionais

Dentro dessa visão mais holística, a *eficiência energética* é apenas uma das variáveis, mas é tão importante quanto os conceitos estéticos, formais, funcionais, estruturais, econômicos, sociais e tantos outros participantes do universo da arquitetura. Este livro sobre *eficiência energética* discute esse enfoque, reunindo conceitos que preenchem as lacunas existentes sobre o assunto no Brasil. Seu objetivo não é apenas ensinar ao arquiteto como conceber edificações mais eficientes, mas também esclarecer que as idéias aqui discutidas são premissas básicas para qualquer projeto arquitetônico, e devem ser levadas em consideração desde o princípio do estudo. Não se deve considerar essas idéias como um empecilho à elaboração do projeto, mas como condicionantes que vêm dar à arquitetura mais sentido e maior qualidade, garantindo-se o bem-estar do usuário e reduzindo o impacto ambiental.

Após o enquadramento histórico feito no início do livro e da apresentação das variáveis envolvidas no estudo, passou-se à descrição de tecnologias pertinentes ao conforto e à eficiência energética. Duas idéias básicas passaram a nortear o desenvolvimento do tema:

- integração entre condicionamento térmico e iluminação;
- integração entre sistemas naturais e artificiais.

Para poder intercambiar informações com outros profissionais, o arquiteto deve evitar preconceitos contra o uso de sistemas artificiais de condicionamento térmico e de iluminação, sabendo explorá-los de forma integrada aos sistemas naturais. Com esse intuito, pode-se organizar as idéias de que o arquiteto deve ter conhecimento.

A arquitetura pode transformar o microclima externo; pode explorar suas características favoráveis ao mesmo tempo em que evita as desfavoráveis, tentando otimizar o conforto de seus usuários. Nesse sentido é importante fazer a integração entre as *variáveis climáticas* (como a radiação solar, o vento e a umidade do ar) e as *variáveis humanas* (conforto térmico e visual), discutidas nos capítulos iniciais do livro.

A partir destes estudos se pode conceber o envelope construtivo, que se compõe basicamente de *fechamentos opacos e transparentes*.

Nos fechamentos opacos a preocupação reside basicamente em minimizar a *transmitância térmica (U)* e em especificar *cores* adequadas ao clima local (escuras para o frio e claras para o calor).

Nos fechamentos transparentes, a complexidade aumenta, pois, além de influenciarem nos ganhos e perdas de calor, também influenciam na *iluminação natural* e na *ventilação* dos ambientes internos. Os principais pontos a ser observados são a minimização da transmitância, para evitar perdas e ganhos de calor, a adequação do *fator solar (Fs)*, para evitar ganhos de calor nos períodos quentes e incrementá-los no frio, a exploração da luz natural, evitando desperdício de energia para iluminação, e o controle da ventilação natural (maximizar no calor até certos limites e controlar no frio, permitindo a *renovação do ar*). No entanto, nem sempre é possível manter o interior em condições desejáveis de conforto térmico ou lumínico. Em vários casos é necessário o uso de *sistemas artificiais de iluminação e de condicionamento térmico*.

Se o arquiteto deseja que a luz natural contribua para a redução do consumo de

energia, deve conhecer como os dispositivos arquitetônicos (janelas, clarabóias, domos etc.) admitem luz. Somente assim será possível a integração entre os sistemas natural e artificial de iluminação.

Muitos profissionais talvez considerem que o sistema de iluminação artificial é uma opção a ser decidida pelo cliente. Essa alternativa perde a validade quando se trata de eficiência energética, em que a *integração* e a eficiência desse sistema frente à luz natural dependem da correta especificação por parte do arquiteto. O enfoque da iluminação como um sistema eficiente exige desse profissional o conhecimento de *lâmpadas eficientes* (fluorescentes compactas e T8, por exemplo), de *reatores eletrônicos*, a adoção de *luminárias reflexivas*, além do uso de *sistemas de controle* (de ocupação, fotoelétrico ou temporizadores), principalmente nos setores comercial e público. Além disso, pode-se aumentar o conforto visual e reduzir consideravelmente o consumo com a técnica da *iluminação orientada à tarefa*, que permite reduzir a iluminação de fundo para patamares suficientes apenas para a circulação.

Da mesma forma, os sistemas de condicionamento térmico também incluem decisões a serem tomadas pelo arquiteto. Através da *análise bioclimática* do local (discutida no quinto capítulo), o profissional identifica as principais estratégias a serem adotadas no projeto arquitetônico com o intuito de estabelecer conforto térmico. A *ventilação natural* é a estratégia que se mostra mais adequada em todo o Brasil, seguida pela estratégia de *massa térmica com aquecimento solar* (para cidades com clima mais frio). Mesmo assim é importante que se mantenham disponíveis os sistemas de condicionamento artificial. Em condições

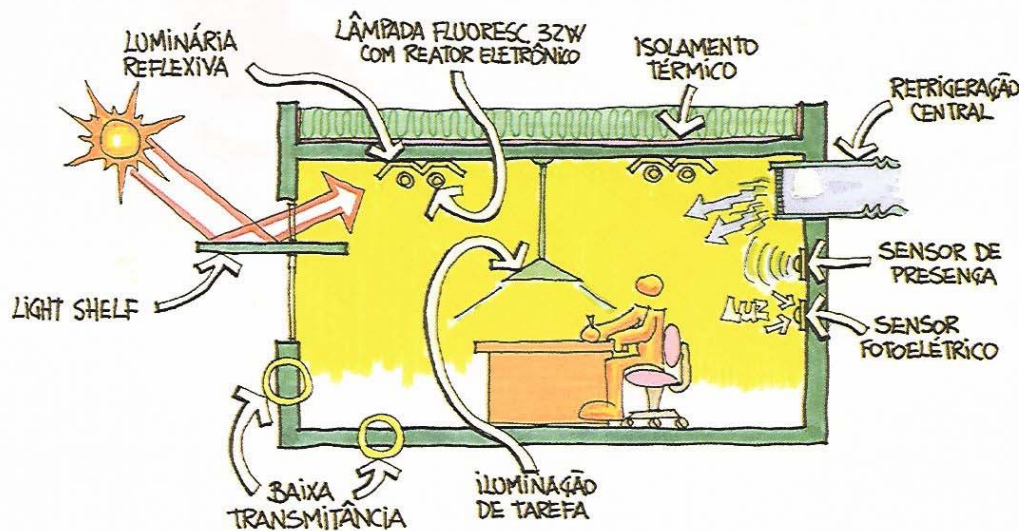
climáticas extremas, a necessidade de *aquecimento artificial* ou de *refrigeração* também será indicada na análise bioclimática. Nestes casos deve-se garantir a *estanqueidade* da arquitetura (evitando infiltração de ar) e utilizar *equipamentos eficientes*. Ao usar sistemas de refrigeração, o arquiteto deve se preocupar em reduzir o máximo possível a *carga térmica*, através do sombreamento, do projeto adequado do envelope construtivo (fechamentos opacos e transparentes) e do uso de cores claras no exterior.

Com o aumento da complexidade dos projetos e a necessidade de integração entre todas as variáveis, haverá a tendência ao uso da *simulação*, principalmente no setor comercial e público, em que a densidade de ocupação é maior e o

conforto é muitas vezes obtido pelos sistemas artificiais. Neste caso, o programa de simulação escolhido deve integrar os conceitos de conforto térmico e lumínico e o uso de sistemas naturais e artificiais.

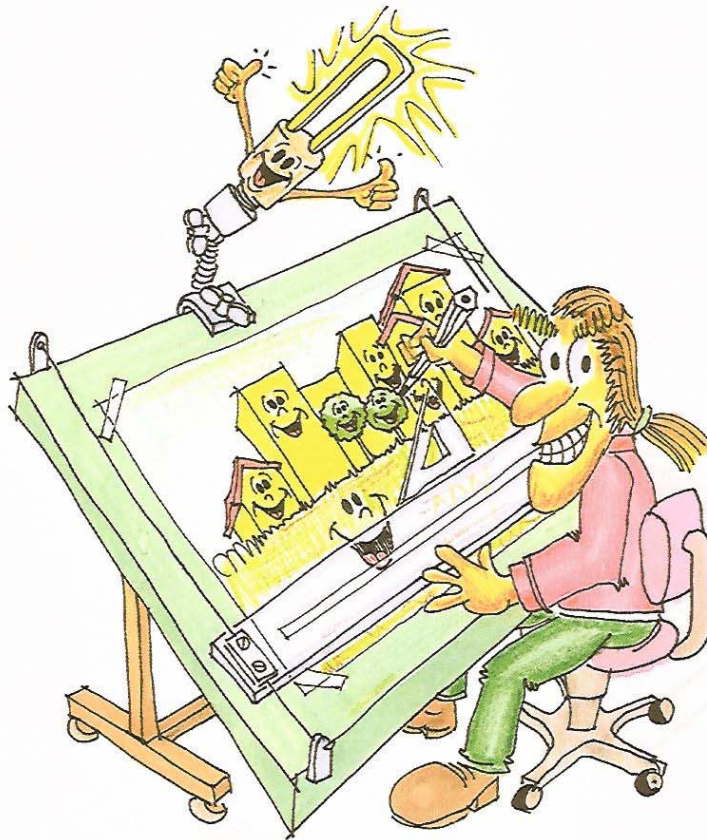
De qualquer forma, o objetivo deste livro é passar os conceitos de forma objetiva para que o arquiteto possa aplicá-los na sua concepção, ao menos intuitivamente. Mas também poderá buscar maior aprofundamento no assunto e troca de idéias com outros profissionais quando necessário.

Na figura abaixo se pode vislumbrar um edifício comercial cuja concepção caminha no sentido da eficiência energética. Ressalta-se que o nível de detalhes variará de acordo com cada projeto.



Sala energeticamente eficiente

Se a arquitetura atual buscar estes conceitos, será possível imaginar o crescimento de cidades com menor impacto ambiental no planeta.



ANEXO A: TABELA DE CONDUTIVIDADES

ANEXO B: UNIDADES E CONCEITOS FÍSICOS

ANEXO A: TABELA DE CONDUTIVIDADES**Tabela A.1 - Condutividades térmicas de materiais de uso corrente (λ)**

ISOLANTES TÉRMICOS		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
lã de rocha		20 - 200	0,045
lã de vidro		10 - 100	0,045
poliestireno expandido moldado		15 - 35	0,040
poliestireno expandido		25 - 40	0,035
espuma rígida de poliuretano extrudado		30 - 40	0,030
materiais granulares leves ou fibras soltas		20 - 100	0,050

PEDRAS (incluindo juntas de assentamento)		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
granito, gnaisse		2.300 - 2.900	3,0
ardósia, xisto		2.000 - 2.800	2,2
basalto		2.700 - 3.000	1,6
calcários/mármore		> 2.600	2,9
outros		2.300 - 2.600	2,4
		1.900 - 2.300	1,4
		1.500 - 1.900	1,0
		< 1.500	0,85

MATERIAL CERÂMICO		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
tijolos e telhas de barro		1.000 - 1.300	0,70
		1.300 - 1.600	0,90
		1.600 - 1.800	1,00
		1.800 - 2.000	1,05

CONCRETOS		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
COM AGREGADOS DE PEDRA	· normal	2.200 - 2.400	1,75
	· cavernoso	1.700 - 2.100	1,40
COM POZOLANA OU ESCÓRIA EXPANDIDA	· com finos	1.400 - 1.600	0,52
	· sem finos	1.200 - 1.400	0,44
COM ARGILA EXPANDIDA		1.000 - 1.200	0,35
COM ARGILA EXPANDIDA		1.600 - 1.800	1,05
DOSAGEM CIMENTO > 300 kg/m ³		1.400 - 1.600	0,85
E MASSA INERTES > 350 kg/m ³		1.200 - 1.400	0,70
		1.000 - 1.200	0,46
COM ARGILA EXPANDIDA		800 - 1.000	0,33
DOSAGEM CIMENTO < 250 kg/m ³		600 - 800	0,25
E MASSA INERTES < 350 kg/m ³		< 600	0,20
COM ARGILA EXPANDIDA		600 - 800	0,31
DE VERMICULITE OU PERLITE EXPANDIDA		400 - 600	0,24
DOSAGEM CIMENTO/AREIA	· 1/3	700 - 800	0,29
	· 1/6	600 - 700	0,24
		500 - 600	0,20
· concreto celular autoclave		400 - 500	0,17

Tabela A.1 - Condutividades térmicas de materiais de uso corrente (λ)

GESSO		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
projetado ou de massa volumétrica elevada		1.100 - 1.300	0,50
gesso tradicional; gesso cartonado		750 - 1.000	0,35
COM AGREGADO LEVE	· dosagem 1/1	700 - 900	0,30
	· dosagem 1/2	500 - 700	0,25
METAIS		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
aço-ferro fundido		7.800	55
alumínio		2.700	230
cobre		8.900	380
MATERIAIS SOLTOS		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
brita ou seixo		1.000 - 1.500	0,70
argila expandida		< 400	0,16
areia seca		1.500	0,30
areia saturada		2.500	1,88
palha (telhado Santa Fé)		200	0,12
PLÁSTICOS		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
borracha/poliamida/poliéster/polietileno		900 - 1.700	0,40
acrílicos/PVC		1.200 - 1.400	0,20
MADEIRAS E DERIVADOS		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
COM MASSA VOLUMÉTRICA ELEVADA		800 - 1.000	0,29
CARVALHO, FREIJÓ, PINHO, CEDRO, PINUS		600 - 750	0,23
		450 - 600	0,15
		300 - 450	0,12
AGLOMERADO DE FIBRAS DE MADEIRA	· denso	850 - 1.000	0,20
	· leve	200 - 250	0,058
AGLOMERADO DE PARTÍCULAS DE MADEIRA		650 - 750	0,17
PLACAS PRENSADAS		550 - 650	0,14
PLACAS EXTRUDADAS		450 - 550	0,12
		350 - 450	0,10
COMPENSADO		550 - 650	0,16
APARAS DE MADEIRA		450 - 550	0,15
		350 - 450	0,12
AGLOMERADA		450 - 550	0,15
COM CIMENTO EM FÁBRICA		350 - 450	0,12
COM CIMENTO EM FÁBRICA		250 - 350	0,10
OUTROS		DENSIDADE [kg/m ³]	λ [W/m.K]
Chapa de vidro		2.700	1,1
Imperm. com membranas betuminosas		1.000 - 1.100	0,23
ARGAMASSA/REBOCO E ASSENTAMENTO DE TIJOLOS E BLOCOS	· comum	1.800 - 2.100	1,15
	· placas de fibrocimento	1.800 - 2.200	0,95
		1.400 - 1.800	0,65

ANEXO B: UNIDADES E CONCEITOS FÍSICOS

QUANTIDADES TÉRMICAS

Calor é uma forma de energia que aparece com o movimento molecular em substâncias ou como a radiação no espaço. A unidade no SI é joule (J).

Temperatura pode ser considerada como um sintoma da presença de calor em uma substância. É a medida do estado térmico da substância. A escala Celsius usa o congelamento da água (à pressão atmosférica normal) como ponto de partida, 0°C , e a ebulição da água como 100°C . A ausência total de calor é o ponto de partida da escala de temperatura absoluta ou escala Kelvin. O intervalo desta escala é o mesmo que a escala Celsius, mas $0^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$. Em unidades se faz normalmente a seguinte distinção:

- Uma certa temperatura (T) $\rightarrow ^{\circ}\text{C}$
- Uma diferença de temperatura (ΔT) $\rightarrow \text{K}$

Calor específico (C) de uma substância nos dá a relação entre calor e temperatura: é a quantidade de calor (energia) que causa um incremento de temperatura unitário de uma unidade de massa da substância.

É medido em J/kg K. Valores típicos são:

- Tijolos, concreto 800 - 1.000 J/kg K
- Ar seco 1.000 J/kg K
- Água 4.176 J/kg K

A **densidade** de uma substância (ρ) é a massa por unidade de volume (kg/m^3).

Capacidade térmica (c) de um corpo é o produto da massa pelo calor específico $\text{kg}\cdot\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K} = \text{J}/\text{K}$.

Calor latente de uma substância é a quantidade de calor absorvida (ou liberada) em uma troca de estado (líquido para gasoso ou sólido para líquido) por unidade de massa de uma substância sem mudança na temperatura. É medido em J/kg.

Para água:

- Calor latente de fusão (gelo para água) a $0^{\circ}\text{C} = 335\text{ kJ}/\text{kg}$
- Calor latente de evaporação a $100^{\circ}\text{C} = 2.261\text{ kJ}/\text{kg}$
a $18^{\circ}\text{C} = 2.400\text{ kJ}/\text{kg}$

Em trocas de estado na direção oposta a mesma quantidade de calor é liberada.

Poder calorífico é a quantidade de calor liberada por um combustível (ou comida) pela combustão completa do mesmo e pode ser dada por unidade de massa (J/kg) ou de volume (J/m^3).

PRINCÍPIOS TERMODINÂMICOS

A termodinâmica estuda o fluxo de calor e as relações com o trabalho mecânico.

A **Primeira Lei da Termodinâmica** é o princípio da conservação de energia. A energia não pode ser criada ou destruída (a não ser em processos subatômicos) mas só convertida de uma forma para outra. Calor e trabalho são intercambiáveis. Em qualquer sistema, a saída de energia tem de ser igual à entrada, a não ser que exista um componente armazenado.

A **Segunda Lei da Termodinâmica** diz que transmissão de calor (energia) pode ocorrer espontaneamente em um sentido apenas: de uma fonte mais quente para uma mais fria. Só com uma entrada de energia externa uma máquina pode entregar calor em um sentido oposto. Qualquer máquina, para produzir trabalho, deve ter uma fonte de calor e um sumidouro. A energia deve fluir através da máquina e apenas uma parte pode ser convertida em trabalho.

Fluxo de calor de uma zona de alta temperatura para uma zona de baixa temperatura pode ser feito de três formas: condução, convecção e radiação. A magnitude deste fluxo pode ser medida de duas formas:

- Como fluxo de calor (Q) - Fluxo total na unidade de tempo através de uma área de um corpo ou espaço, ou dentro de um sistema em unidades $J/s = W$ (watt).
- Como densidade de fluxo de calor - Taxa de fluxo de calor por unidade de área de um corpo ou espaço em W/m^2 .

Uma unidade de energia não padrão, mas aceita, é derivada da unidade de fluxo de calor: o watt-hora (Wh). É a quantidade de energia entregue se um fluxo de 1 W é mantido por 1 hora. Como 1 hora = 3.600 segundos e $1 W = 1 J/s$, $1 Wh = 3.600 J$, $1 J/s = 3.600 J$ ou 3,6 kJ. O múltiplo kWh (kilowatt-hora) é geralmente usado como uma unidade prática de energia. $1 kWh = 3.600.000 J$ ou 3.600 kJ ou 3,6 MJ. Os multiplicadores usados no SI são MEGA (10^6), GIGA (10^9) e TERA (10^{12}).

Condução é a forma de propagação de calor dentro de um corpo, isto é, difusão do movimento molecular através de um objeto ou objetos em contato. A magnitude do fluxo de calor para condução depende de quatro fatores:

- A área transversal (A) através da qual o calor flui, tomada perpendicular à direção do fluxo e dada em m^2 .
- A espessura (l), ou seja, o comprimento da propagação de calor dado em metros.
- A diferença de temperatura entre os dois pontos considerados, $\Delta T = T_2 - T_1$ (K).
- A propriedade do material conhecida como condutividade (λ) medida como o fluxo de calor através de uma unidade de área com uma diferença de temperatura unitária entre dois pontos afastados de uma distância unitária. $W.m/m^2.K = W/mK$. O valor da condutividade varia entre 0,03 W/m.K para um bom isolante e 400 W/m.K para um metal condutor.

Resistência térmica de um material é o produto da espessura (na direção do fluxo) pelo inverso da condutividade. $R = l / \lambda$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$). Para um elemento com várias camadas perpendiculares à direção do fluxo, as resistências são aditivas.

Convecção de uma forma simplificada pode ser considerada como a forma de transferência de calor de uma superfície de um sólido para um fluido (gás ou líquido) e vice-versa. A magnitude depende de três formas:

- Área de contato (A) entre o fluido e uma superfície (m^2).
- Diferença de temperatura (ΔT), em Kelvin, entre o fluido e uma superfície (m^2).
- O coeficiente de troca por convecção (h_c) medido em $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, que depende da viscosidade e da velocidade do fluido, assim como do tipo de deslocamento do fluido (laminar ou turbulento). O valor do coeficiente médio de convecção entre o ar e as superfícies de uma edificação é:
 - $h_c = 3,0 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ para superfícies verticais;
 - $h_c = 4,3 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ para fluxo de baixo para cima: ar para o forro;
 - $h_c = 1,5 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$ para fluxo de cima para baixo: ar para o piso.

Para superfícies expostas ao vento:

$$h_c = 5.8 + 4.1 v \quad (v = \text{velocidade do vento em m/s})$$

O fluxo do calor por convecção é: $Q_c = h_c \cdot A \Delta T$

De uma forma mais ampla, a convecção pode incluir o transporte de calor por um fluido de uma superfície sólida para outra a uma certa distância.

Radiação térmica se refere à parte infravermelha do espectro de radiação dentro das seguintes bandas:

- Onda curta $\rightarrow 700 - 2.300 \text{ nm}$ (nano-metros = 10^{-9} m);
- Onda longa $\rightarrow 2.300 - 10.000 \text{ nm}$;

apesar de outros comprimentos de onda também terem efeitos térmicos. Na figura da página seguinte se pode observar todas as faixas do espectro eletromagnético.

O comprimento de onda do espectro de radiação depende da temperatura. Corpos a temperaturas terrestres normais emitem infravermelho longo, enquanto que o sol emite infravermelho curto, luz e um pouco de ultravioleta.

A radiação incidente em uma superfície opaca pode ser parcialmente absorvida, parcialmente refletida; dependendo das propriedades: adsorvidade (α) e refletividade (ρ). A soma das duas é sempre $1 \rightarrow \alpha + \rho = 1$.

Para uma superfície transparente (ou translúcida), uma fração pode ser transmitida, dependendo da transmissividade (τ) do corpo. Neste caso, $\alpha + \rho + \tau = 1$. Na transferência de calor por radiação, o fluxo depende da diferença de temperatura entre a superfície emitente e a adsorvente, assim como das propriedades superficiais: emissividade (ε) e adsorvidade (α). Para uma mesma superfície, a emissividade e a adsorvidade são iguais para um mesmo comprimento de onda (temperatura), mas ambas variam com o comprimento de onda. Para facilitar, usaremos emissividade quando a radiação for de onda longa:

- $\epsilon = 0.9$ para materiais de construção normais;
 - $\epsilon = 0.05$ para alumínio polido.
- E absorvidade quando a radiação for de onda curta:
- $\alpha = 0.9$ para superfícies escuras-pretas;
 - $\alpha = 0.2$ para superfícies brancas ou metal polido.

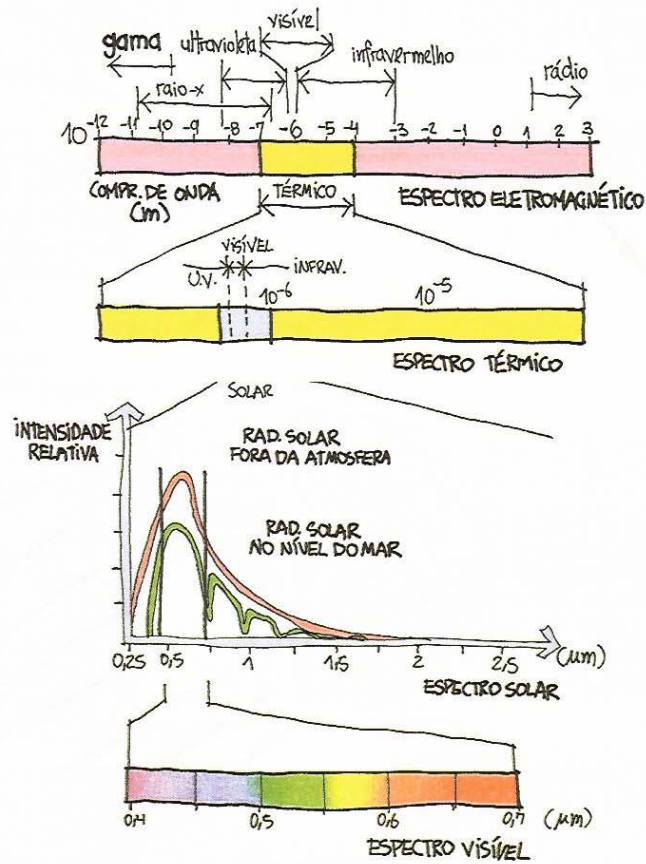
Para cálculos práticos o coeficiente de troca por radiação (h_r) usado é:

$h_r = 5.7 \cdot \epsilon_e$ (para superfície a 20°C);
 $h_r = 4.6 \cdot \epsilon_e$ (para superfície a 10°C);

$$\epsilon_e = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2}}$$

$\epsilon_e \rightarrow$ Emissividade efetiva

O fluxo de calor por radiação é: $Q_r = h_r \cdot A \cdot \Delta T$



Espectro eletromagnético

PSICROMETRIA

A atmosfera é uma mistura de ar/oxigênio/nitrogênio e vapor de água. Psicrometria é o estudo do ar úmido e das mudanças em suas condições ⁽⁷⁸⁾.

Razão de umidade (ω) é o conteúdo de vapor no ar dado em gramas de vapor de água por kg do ar seco (g/kg). O ar a uma certa temperatura pode suportar só uma certa quantidade de umidade. O limite máximo possível é conhecido como **umidade de saturação (ω_s)**. Se plotarmos a umidade de saturação x temperatura de bulbo seco, teremos a base da carta psicrométrica.



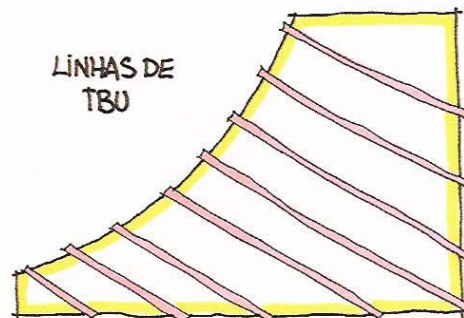
Pressão parcial de vapor (p_v) é linearmente relacionada à razão de umidade. Assim, a carta psicrométrica pode ter duas escalas paralelas: razão de umidade e pressão parcial de vapor (kPa). Igualmente, a umidade de saturação pode ser expressa em termos de pressão parcial de saturação (p_{vs}).

Umidade relativa (UR) é uma expressão do conteúdo de umidade de uma dada atmosfera como porcentagem da umidade de saturação à mesma temperatura.

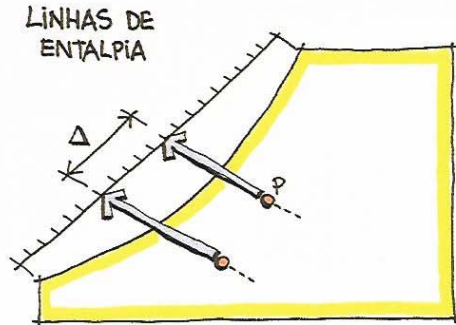
$$UR = 100 \cdot \omega / \omega_s (\%) \text{ ou } UR = 100 p_v / p_{vs}$$



Temperatura de bulbo úmido (TBU) é a temperatura de evaporação da água medida por um termômetro com o bulbo envolto por uma mecha mantida úmida com água destilada e ventilado por um ventilador ou pelo movimento giratório quando parte de um psicrômetro.



Entalpia (H) é o conteúdo de calor de uma unidade de massa da atmosfera em kJ/kg relativa ao conteúdo do calor do ar a 0°C.



Calor sensível (H_S) é o conteúdo do calor que causa um aumento na TBS. A qualquer temperatura o calor sensível do ar seco é:

$$H_S = 1,00 J \times T$$

onde 1.005 kJ/kgK é o calor específico do ar seco.

Calor latente (HI) é o conteúdo do calor devido à presença de vapor na atmosfera. É o calor requerido para evaporar o dado conteúdo de umidade (calor latente de evaporação). A entalpia é também indicada na carta psicrométrica. Seria necessário um terceiro conjunto de linhas semelhantes às de TBU, mas de inclinação diferente. Para evitar confusão, elas não são mostradas, sendo apenas escalas externas nos dois lados da carta. A entalpia para um estado qualquer pode ser lida com uma régua colocada sobre o ponto e correndo-se leituras iguais nos dois lados da escala externa. Para um ponto P:

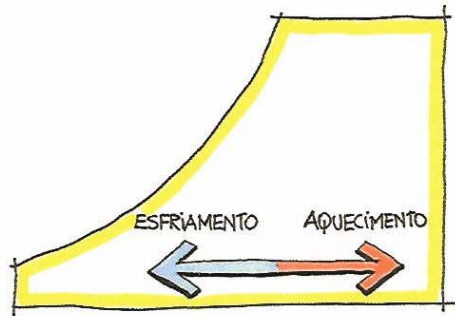
$$H = 70 \text{ kJ/kg};$$

$$H_S = 30 \text{ kJ/kg};$$

$$HI = 70 - 30 = 40 \text{ kJ/kg}.$$

PROCESSOS PSICROMÉTRICOS

Aquecimento ou resfriamento é a adição ou remoção de calor sem mudança na razão de umidade. O ponto de estado se moverá na horizontal.



Desumidificação por resfriamento: no resfriamento, como o ponto de estado, ao se mover para a esquerda, atinge a linha de saturação, ocorre condensação. A TBU neste ponto se chama temperatura de orvalho. Se o resfriamento continuar, o ponto de estado se moverá sobre a linha de saturação e a redução no eixo vertical representará a quantidade de umidade condensada. Este processo reduzirá a razão de umidade, mas sempre terminará com 100% de UR.



Fluxo de ar pode ser caracterizado pelas seguintes quantidades:

- Velocidade (v) em m/s;
- Fluxo de massa (FM) em kg/s;
- Fluxo de ar em volume (FV) em m³/s ou (L/s).

Estas quantidades têm a seguinte relação:

- $FM = FV \rho$ (kg/s = m³/s x kg/m³);
- $FM = FV/VE$ (kg/s = m³/s / m³/kg);
- $FV = v.A$ (m³/s = m/s x m²), onde A é a área transversal ao fluxo.

REFERÊNCIA

79. SZOKOLAY, S. V.; [1987]. *Thermal design of buildings*. RAlA Education Division, Red Hill, Australia.

Eletrobrás 

**Ministério
de Minas
e Energia**

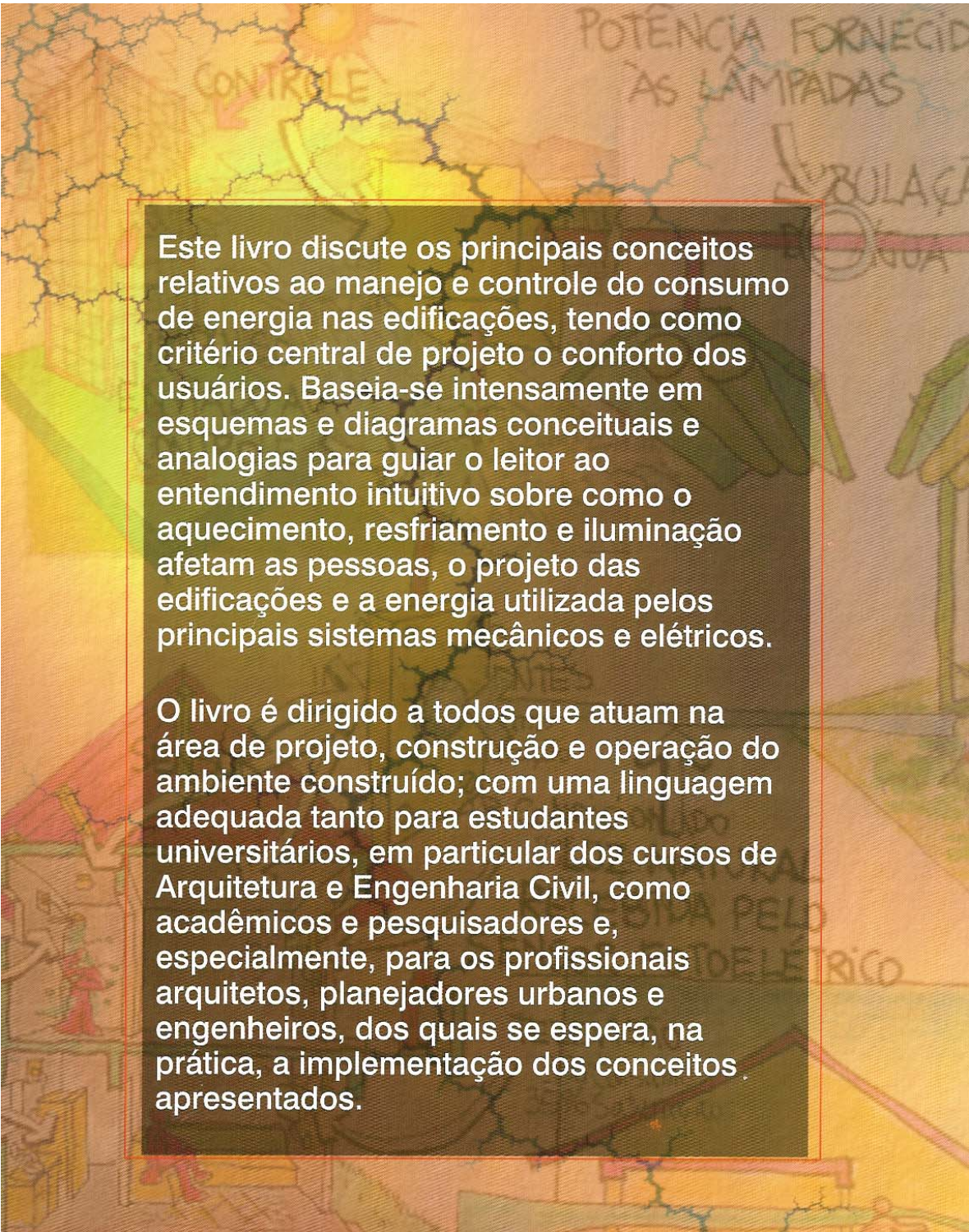


<i>Produção Gráfica</i>	PW Gráficos e Editores Associados Ltda.
<i>Editoração Eletrônica</i>	Antonio de Carvalho Santana Irineu Carvalho Santana Paulo Hoshino Renato Emerique
<i>Revisão</i>	Mauro Feliciano
<i>Fotolito</i>	Bureau Digital Bandeirante
<i>Impressão</i>	Bandeirantes Indústria Gráfica
<i>Distribuição</i>	Prolivros

ISBN 85-86759-01-5



9 788586 759017



Este livro discute os principais conceitos relativos ao manejo e controle do consumo de energia nas edificações, tendo como critério central de projeto o conforto dos usuários. Baseia-se intensamente em esquemas e diagramas conceituais e analogias para guiar o leitor ao entendimento intuitivo sobre como o aquecimento, resfriamento e iluminação afetam as pessoas, o projeto das edificações e a energia utilizada pelos principais sistemas mecânicos e elétricos.

O livro é dirigido a todos que atuam na área de projeto, construção e operação do ambiente construído; com uma linguagem adequada tanto para estudantes universitários, em particular dos cursos de Arquitetura e Engenharia Civil, como acadêmicos e pesquisadores e, especialmente, para os profissionais arquitetos, planejadores urbanos e engenheiros, dos quais se espera, na prática, a implementação dos conceitos apresentados.