

BIOCLIMATOLOGIA APLICADA AO PROJETO DE EDIFICAÇÕES VISANDO O CONFORTO TÉRMICO

Autores:

Amilcar Bogo

Claudio E. Pietrobon

Miriam Jeronimo Barbosa

Solange Goulart

Telma Pitta

Roberto Lamberts

NÚCLEO DE PESQUISA EM CONSTRUÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	1
1 - Introdução.....	2
1.1 - Considerações Preliminares.....	2
1.2 - O Projeto Bioclimático do Edifício	8
2 - Evolução e Desenvolvimento do Estudo de Conforto Térmico11	
2.1 - O Conceito e as Classificações em Conforto Térmico	11
2.2 - Breve Histórico.....	12
2.2.1 - Nos Trópicos.....	13
2.2.2 - Em Países Subtropicais.....	13
2.2.3 - Em Países de Clima Temperado	14
2.2.4 - Após a Metade do Século	14
2.2.5 - Nos Anos Recentes	15
2.3 - Considerações de Givoni sobre as Condições Aceitáveis em Edifícios sem Condicionamento Térmico	16
2.4 - Experiência na Tailândia	17
2.5 - Pesquisas e Trabalhos no Brasil	17
3 - Os Métodos Diretos de Projetos Bioclimáticos Aplicados à Edificação	19
3.1 - O Método de OLGAYAY	19
3.1.1 - Descrição da Carta Bioclimática de Olgyay:	19
3.1.2 - Adaptação para os Trópicos:	22
3.1.3 - Aplicação do Método:	25
3.1.4 - Limitações:	28
3.1.5 - Comparação da Zona de Conforto de Koenigsberger para climas quentes com a Zona de Conforto adaptada para os trópicos de Olgyay:	29
3.1.6 -Análise da Zona de Conforto para Florianópolis - método Olgyay	31
3.1.7 - Conclusões.....	32
3.2 - O Método de GIVONI.....	37
3.2.1- A Carta Bioclimática para Edifício por Givoni (original)	37
3.2.2 - A Carta Bioclimática Aperfeiçoada por Givoni e Milne	41
3.2.3 - A Carta Bioclimática do Edifício por Givoni (atualizada em 1992)	45
3.3 - Zona de Conforto da ASHRAE.....	49
3.4 - O Método de SZOKOLAY.....	55
3.4.1 - Aquecimento Solar Passivo:.....	57
3.4.2 - Efeito de Massa (Inércia Térmica ou capacidade de isolamento):.....	57
3.4.3 - Efeito de Massa com Ventilação Noturna:	58
3.4.4 - Efeito do Movimento do Ar:	58
3.4.5 - Resfriamento Evaporativo:	59
3.4.6 - Resfriamento Evaporativo Indireto:	60
3.4.7 - Uso do Método:	60
3.4.8 - Análise da Zona de Conforto para Florianópolis - método Szokolay.....	61

3.4.9 - Conclusões.....	62
3.5 - Diagrama de WATSON e LABS.....	66
4 - Quadro Resumo dos Limites das ZC das Metodologias Estudadas	71
5 - Discussão.....	72
6 - Proposta da Zona de Conforto para o Brasil	74
7 - Referências Bibliográficas	78

APRESENTAÇÃO

Trabalho elaborado em equipe e apresentado em forma de seminário na disciplina - *Tópicos Avançados em Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico* - no terceiro trimestre de 1994. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC.

Este trabalho consta de uma revisão bibliográfica abordando o tema bioclimatologia aplicada, com o objetivo de selecionar uma carta bioclimática a ser adotada para o Brasil. É também objetivo adotar a sistemática ou metodologia selecionada para avaliação térmica do ambiente construído.

A metodologia para alcançar os objetivos traçados foi uma revisão bibliográfica e a seleção de diagramas representativos dos sistemas bioclimáticos para verificação com a equação de Fanger.

Foram estudados basicamente os trabalhos desenvolvidos por Olgyay Koenigsberger, Givoni, Givoni e Milne, Gonzalez; Szokolay; Watson & Labs e o sistema adotado pela ASHRAE.

Após a revisão bibliográfica aplicou-se a equação de Fanger nos pontos extremos das zonas de conforto da seqüência de metodologias estudadas. Para isto foi considerado os limites adotados para cada método para: velocidade de ventos, vestimenta e atividades.

Para todos os casos, a temperatura radiante média foi considerada igual à temperatura do ar.

A aplicação da equação de Fanger, foi feita para os seguintes diagramas:

- 1 - OLGAYAY para os USA;
- 2 - KOENIGSBERGER adaptado do diagrama de Olgyay para climas quentes;
- 3 - OLGAYAY para trópicos;
- 4 - GIVONI original. (1969);
- 5 - GIVONI & MILNE. (1979);
- 6 - GONZALEZ (1986);
- 7 - GIVONI (1992) - Países desenvolvidos;
- 8 - GIVONI (1992) - Países em desenvolvimento.
- 9 - SZOKOLAY (1987) para o clima de Florianópolis - SC;
- 10 - WATSON & LABS (1983);
- 11 - ASHRAE 55-74 (1974);
- 12 - ASHRAE 55-85 (1985);
- 13 - ASHRAE 55-92 (1992);

1 - Introdução

1.1 - Considerações Preliminares

CLIMA [do grego: Klima, "inclinação"], etimologicamente designa conhecimento de ordem astronômica e cosmográfica, aplicado a toda superfície terrestre, caracterizada por condições atmosféricas comparáveis.

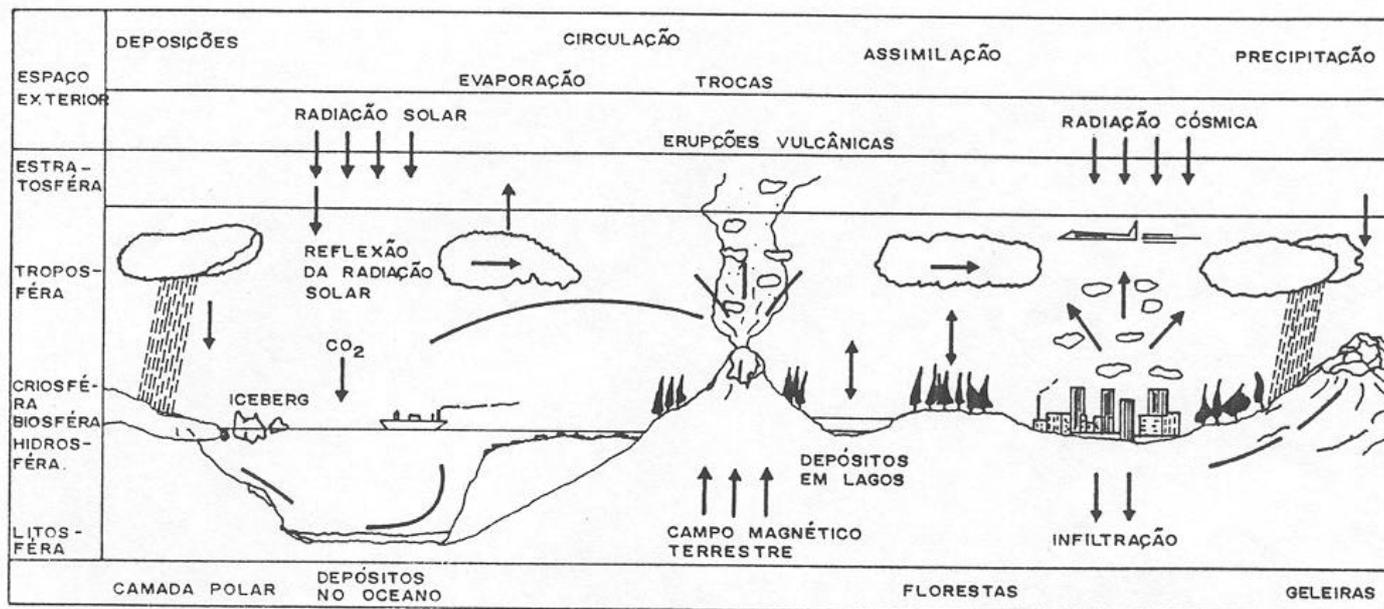


Figura 1.1 - O sistema climático global

Modernamente a noção de clima passa a ter um caráter mais específico havendo diversidade nas suas definições, conforme a área de conhecimento a que se destina o estudo, dificultando uma única definição essencial. Surge então, a noção de CLIMATOLOGIA APLICADA, destinada aos mais variados setores da atividade humana. Para o seu estudo cumpre esclarecer dois conceitos fundamentais:

- i) FATORES CLIMÁTICOS: São parâmetros fixos que dão origem ou determinam as variações nos elementos climáticos ;
- ii) ELEMENTOS CLIMÁTICOS: Também denominados de elementos meteorológicos, que são os parâmetros mensuráveis, cujas variações definem o clima.

É necessário esclarecer que a METEOROLOGIA e a CLIMATOLOGIA, embora distintas, podem se confundir ao longo do tempo, pois o que se denomina de TEMPO METEOROLÓGICO é o estado diário da atmosfera e se relaciona com alterações a curto prazo (nas condições de temperatura, movimento de ar, etc...). E, o que se convencionou como tempo climatológico, é o registro e análise desses estados diários da atmosfera, por longos períodos ou séries temporais.

Isto posto, no estudo da Climatologia Aplicada, estão implícitas três questões fundamentais, que delimitam o seu estudo:

- i) Escala Espacial : ONDE? QUAL A AMPLITUDE ESPACIAL ?
- ii) Escala Temporal : QUANDO? DURANTE QUANTO TEMPO ?
- iii) Escala Locacional : PARA O QUE? QUAIS OS DADOS DISPONÍVEIS ?

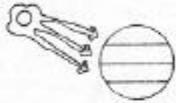
QUADRO 1.1 - CATEGORIAS TAXONÔMICAS DA ORGANIZAÇÃO GEOGRÁFICA

ORDENS DE GRANDEZAS	UNIDADES DE SUPERFÍCIE	ESCALAS CARTOGRÁFICAS DE TRATAMENTO	ESPAÇOS CLIMÁTICOS	ESPAÇOS URBANOS	ESTRATÉGIAS DE ABORDAGEM		
					MEIOS DE OBSERV.	FATORES DE ORGANIZ.	TÉC. DE ANÁLISES
I	10 ⁷						
II	10 ⁶ (MILHÕES DE Km)	1: 40.000.000 1: 10.000.000	ZONAL		SATÉLITES E NEFANÁLISE	LATITUDE, CENTROS DE AÇÃO ATMOSFÉRICA	CARACTERÍSTICA GERAL COMPARATIVA
III	10 ⁴ (MILHARES DE Km)	1: 8.000.000 1: 2.000.000	REGIONAL		CARTAS SINÓTICAS, SONDAJENS AEROLÓGICAS, REDE METEOROLÓGICA DE SUPERFÍCIE.	SISTEMAS METEOROLÓGICOS (CIRCULAÇÃO SECUNDÁRIA)	REDES TRANSECTOS
IV	10 ² (CENTENAS DE Km)	1: 1.000.000 1: 8.000.000	SUB-REGIONAL (FÁCIES)	MEGALÓPOLE GRANDE, ÁREA METROPOLITANA		FATORES GEOGRÁFICOS REGIONAIS	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO
V	10 (DEZENAS DE Km)	1: 280.000 1: 100.000	LOCAL	ÁREA METROPOLITANA - METRÓPOLE	POSTO METEOROLÓGICO: REDE COMPLEMENTAR	INTEGRAÇÃO GEO-ECOLÓGICA, AÇÃO ANTRÓPICA	ANÁLISE ESPACIAL
VI	10 ⁻² (CENTENAS A MILHARES DE METROS)	1: 80.000 1: 25.000	MESOCLIMA	CIDADE, GRANDE BAIRRO OU SUBÚRBIO DE METRÓPOLE	REGISTROS MÓVEIS (EPISÓDICOS)	URBANISMO	
VII	DEZENAS DE METROS	1: 10.000 1: 5.000	TOPOCLIMA	PEQUENA CIDADE FÁCIES DE BAIRRO/ SUBÚRBIO DE CIDADE	(DETALHE)	ARQUITETURA	ESPECIAL
VIII		1: 2.000	MICROCLIMA	GRANDE EDIFICAÇÃO HABITAÇÃO - SETOR DE HABITAÇÃO	BATERIAS DE INSTRUMENTOS ESPECIAIS	HABITAÇÃO	

FONTE: MONTEIRO (1976)

Torna-se, então, necessária uma hierarquização dos fatos climáticos em termos de dimensão espacial, ocorrência temporal e duração do período de análise, bem como, meios adequados de observação e tratamento dos dados, aliando-se estes três aspectos à realidade local e tecnologia disponível.

FIGURA 1.2 - FATORES CLIMÁTICOS GLOBAIS

	<p>RADIAÇÃO SOLAR</p> <p>QUANTIDADE / QUALIDADE / INCLINAÇÃO DO EIXO TERRESTRE / EQUILÍBRIO TERRESTRE.</p>
	<p>LATITUDE,</p>
	<p>ALTITUDE,</p>
	<p>VENTOS,</p>
	<p>MASSAS DE ÁGUA E TERRA</p>

FATORES CLIMÁTICOS LOCAIS

	<p>TOPOGRAFIA</p> <p>DECLIVIDADE / ORIENTAÇÃO / EXPOSIÇÃO / ELEVACÃO</p>
	<p>VEGETAÇÃO</p>
	<p>SUPERFÍCIE DO SOLO</p> <p>NATURAL OU CONSTRUÍDO / REFLEXÃO PERMEABILIDADE / TEMPERATURA / RUGOSIDADE</p>

ELEMENTOS CLIMÁTICOS

	<p>TEMPERATURA</p> <p>VALORES MÉDIOS / VARIAÇÕES / VALORES EXTREMOS / DIFERENÇAS TÉRMICAS ENTRE O DIA E A NOITE</p>
	<p>UMIDADE DO AR</p> <p>ABSOLUTA / RELATIVA / PRESSÃO DE VAPOR</p>
	<p>PRECIPITAÇÕES</p> <p>CHUVA / NEVE (TODO O TIPO DE ÁGUA QUE PRECIPITA DA ATMOSFERA)</p>
	<p>MOVIMENTO DO AR</p> <p>VELOCIDADE / DIREÇÃO / MUDANÇAS DIÁRIAS E ESTACIONAIS</p>

FONTE: ROMERO (1985)

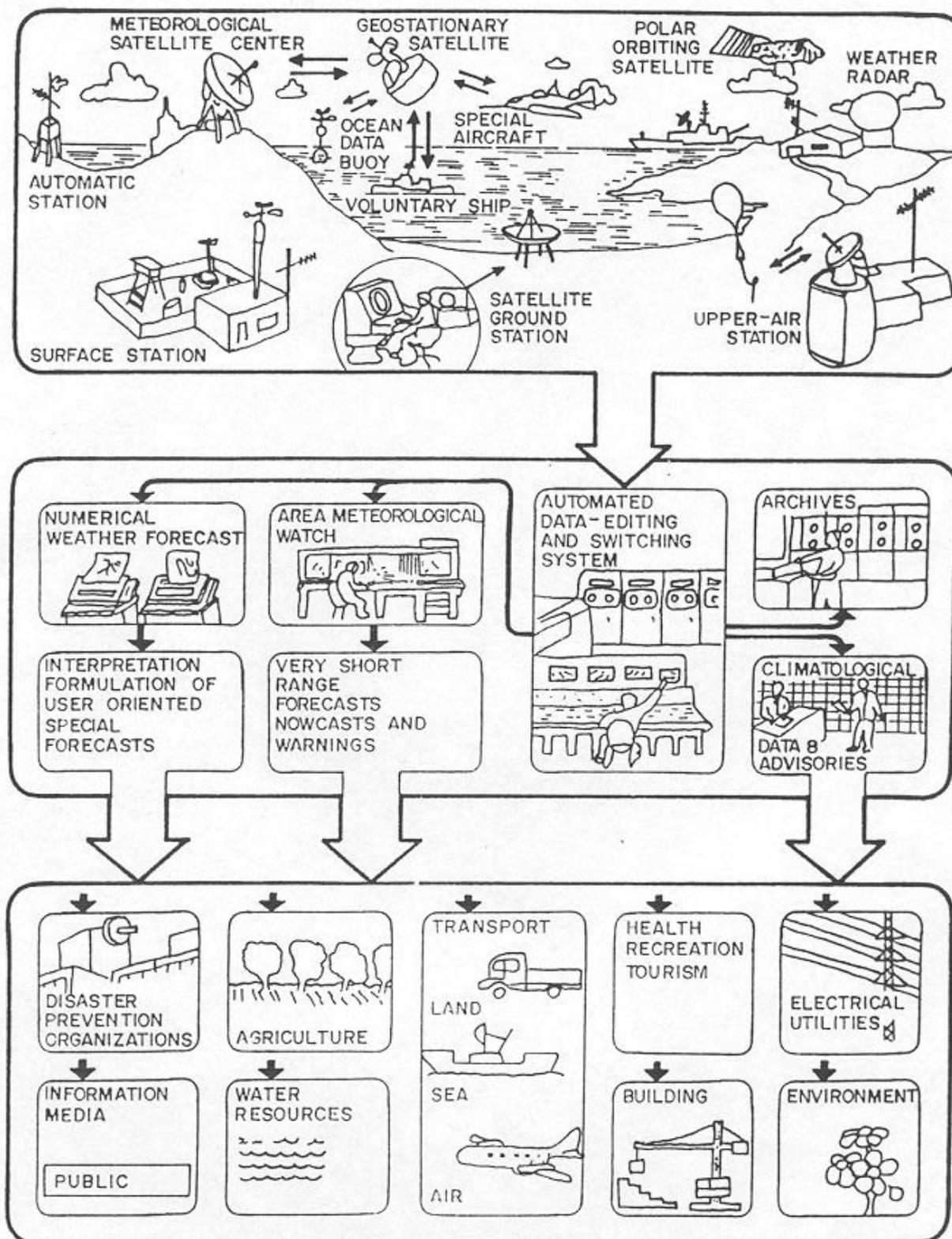


Figura 1.3 - Modos de Aquisição e Tratamento de dados climáticos

Salienta-se, ainda, que a climatologia, quando aplicada às relações com os seres vivos denomina-se **BIOCLIMATOLOGIA**, podendo-se distinguir como: **BIOCLIMATOLOGIA HUMANA**, **ANIMAL** ou **VEGETAL**.

A climatologia aplicada à Arquitetura teve como pioneiros J. M. FITCH através da sua publicação nos anos quarenta: "**American Buildings: the environmental forces that shape it**", reeditada e ampliada em 1972, que lançou as bases dessa aplicação. V. OLGYAY e A.

OLGYAY, na década de sessenta, através da publicação : "**Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**", estenderam a sua aplicação às condições de conforto térmico humano e criaram a expressão PROJETO BIOCLIMÁTICO. Também, B. GIVONI concebeu uma CARTA BIOCLIMÁTICA DA EDIFICAÇÃO, em sua publicação "**Man, Climate, and Architecture**", que tem sido adaptada por ele mesmo e por autores tais como: WATSON & LABS (1983) e GONZALEZ (1986).

A grande dificuldade, ao se trabalhar na escala da edificação e no seu ambiente interno reside em dois pontos:

- i) A simultaneidade de ocorrência dos outros fatores energético-ambientais oriundos da ação antrópica no clima;
- ii) A influência da ação antrópica no clima em escalas anteriores à da edificação e a sua aleatoriedade e complexidade, conforme a seguir

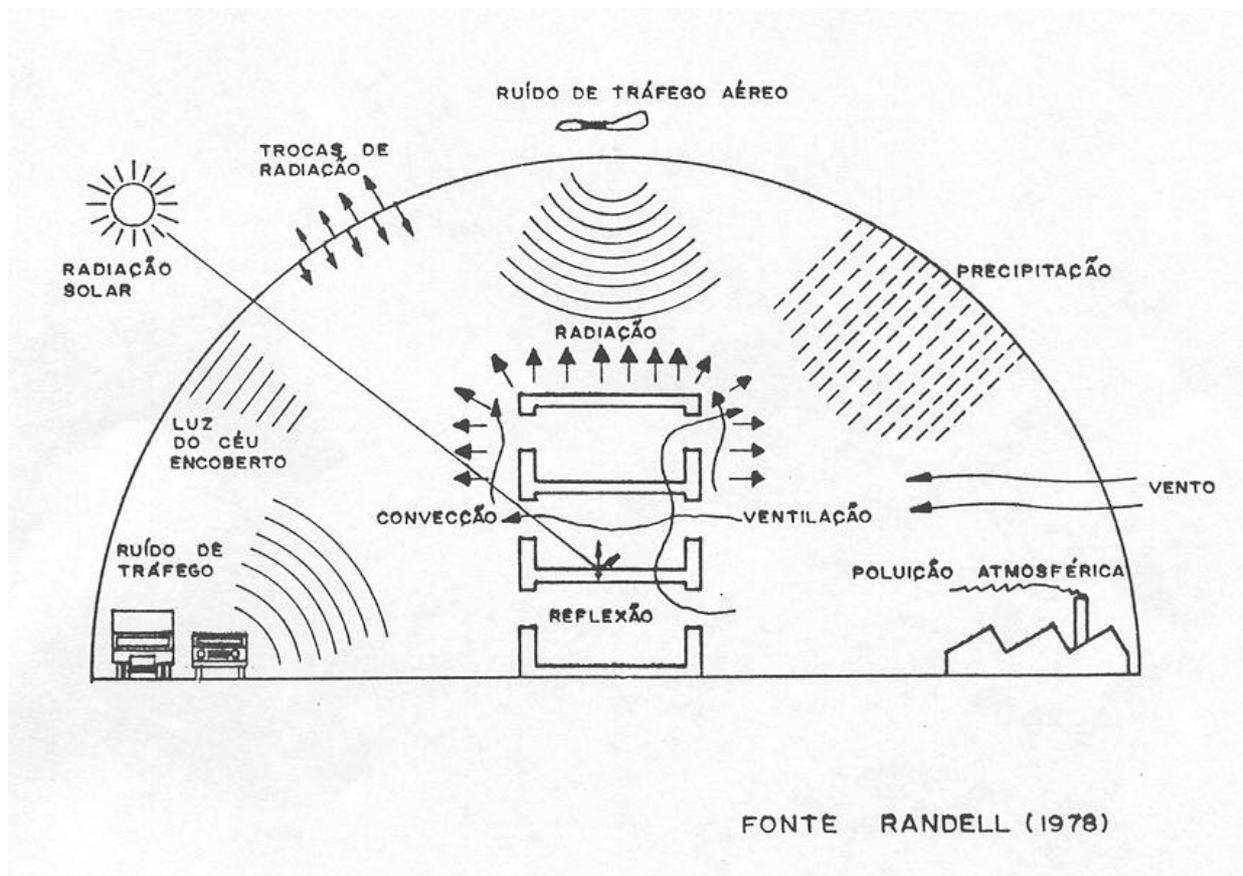
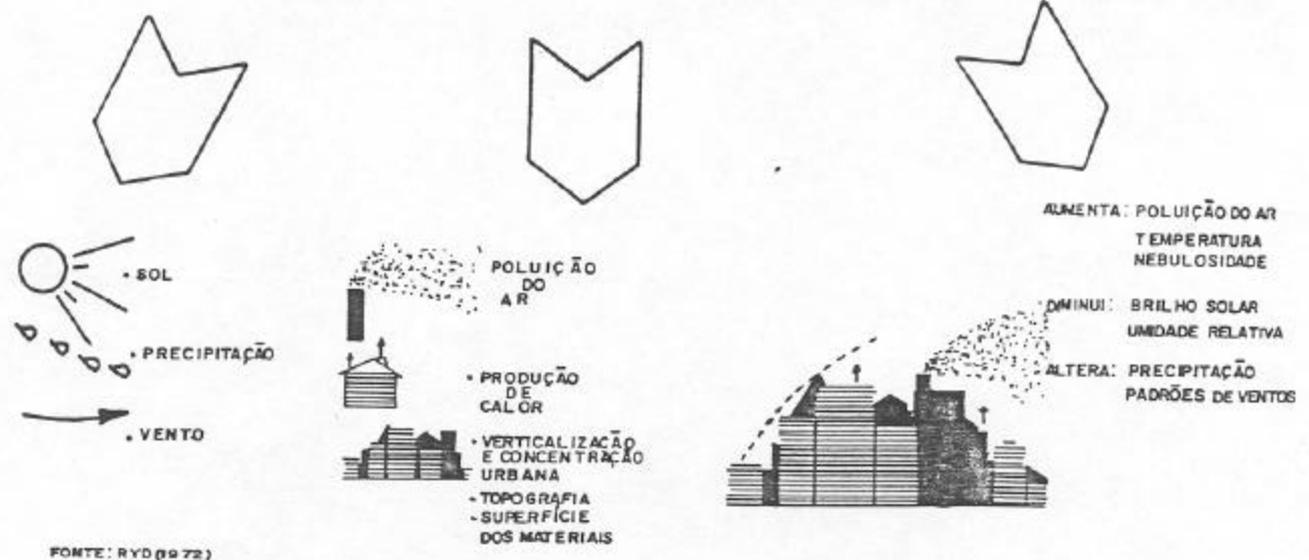


Figura 1.4 - Os Fatores energéticos-ambientais na edificação

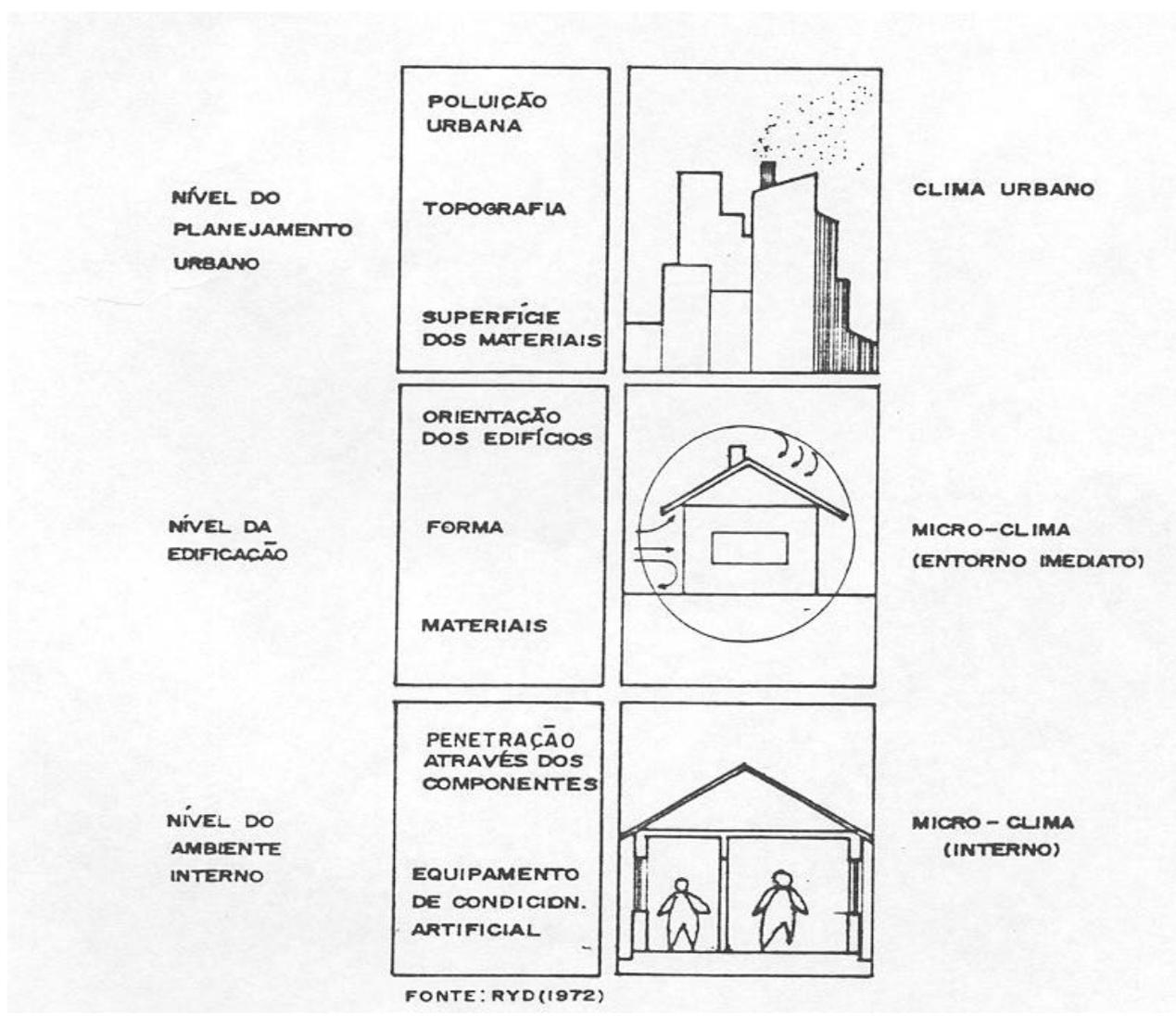
CLIMA REGIONAL + CONDIÇÕES URBANAS = CLIMA URBANO



FONTE: RYD (1972)

Fonte: RYD 1972

Figura 1.5 - O Clima Urbano



FONTE: RYD (1972)

Figura 1.6 - Os Níveis de planejamento da Edificação e o clima

1.2 - O Projeto Bioclimático do Edifício

Pensar em projeto bioclimático do edifício, implica previamente, uma conceituação da própria Arquitetura e do processo de concepção arquitetônica, tendo por objeto um híbrido de tecnologia e arte.

Esta tarefa, dadas as questões ontológicas envolvidas extrapola o escopo deste trabalho, porém alguns aspectos devem ser ressaltados, a título de esclarecimento.

VITRÚVIO, considerado o fundador da estética na Arquitetura, na sua obra clássica os "**Dez Livros de Arquitetura**", distingue três aspectos da obra arquitetônica : "**FIRMITAS**" (Solidez) "**UTILITAS**"(utilidade) e "**VENUSTAS**"(Beleza). Esses princípios ressurgem no conceito do clássico do inglês WOTTON: "**FIRMNESS, COMMODITY, DELIGHT**", que encerram possivelmente, as questões da problemática arquitetônica no tocante à composição espacial.

Modernamente, esses conceitos vitruvianos, podem ser enfocados analogamente às questões da TECNOLOGIA, FUNÇÃO e FORMA que se encontram implicitamente contidas nas teorias ligadas ao CONSTRUTIVISMO , FUNCIONALISMO e ao FORMALISMO.

Na realidade as correntes ligadas a estes movimentos enfocam enfaticamente uma das três condições básicas de Vitruvius. Esta ênfase está intrinsecamente ligada ao posicionamento filosófico-cultural e à personalidade de cada um, bem como às características de cada um dos temas arquitetônicos e do entorno.

Segundo a unidade vitruviana, esses três princípios estão sempre presentes na produção arquitetônica com ênfase maior em algum deles.

Portanto, para uma conceituação de Arquitetura Bioclimática faz-se necessário definir alguns termos de uso comum nessa tendência arquitetônica conforme IZARD e GUYOT (1983), BARDOU e ARZOUMANIAN (1984) e MASCARÓ (1983):

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

condicionamento de interiores, independentemente da reação da própria Arquitetura";

- vi) BIOCLIMATISMO: "Princípio de concepção em Arquitetura que pretende utilizar por meio da própria Arquitetura, os elementos favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de bem estar higrotérmico".

Esses conceitos definem três movimentos de intervenção arquitetônica:

- i) ARQUITETURA AUTÔNOMA: Também denominada de "**Arquitetura de Energia Zero**", que atua na total independência e autonomia energética das edificações;
- ii) ARQUITETURA SOLARIZADA: Vinculada aos sistemas de captação energética, baseados em helioengenharia, sem auxílio dos elementos da própria Arquitetura, equivocadamente chamada de "**Arquitetura solar**";
- iii) ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA: "Fazendo uso da tecnologia que se baseia na correta aplicação dos elementos arquitetônicos, com o intuito de fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico, com baixo consumo energético".

Para a conceituação da Arquitetura Bioclimática, calcada na unidade triádica de Vitruvius, salienta-se que na obra arquitetônica como em qualquer manifestação fenomênica, há quatro aspectos, segundo GOROVITZ (apud KRÜEGER, 1986):

- i) Aspecto físico, diretamente relacionado com os sentidos é a "**AESTESYS**" (sensação);
- ii) Aspecto intelectual do conhecimento, é o caráter lógico;
- iii) Aspecto de juízo de valor e escolha, é o caráter moral;
- iv) Aspecto da relação com a totalidade das diferentes funções humanas, sem ser um objeto definido por nenhuma delas singularmente, é o seu caráter estético.

Neste contexto, a Arquitetura Bioclimática, enfatiza a questão funcional, como forma de auxiliar no desempenho da edificação em uso, através da inclusão das três dimensões (temporal espacial e locacional) com uma nova visão estética cujo significado reside no uso.

Na Bioclimatologia aplicada às edificações, distinguem-se duas metodologias de projeção:

- i) INDIRETA: Pela análise e interpretação qualitativa do clima, procuram-se estabelecer estratégias de intervenção arquitetônica em nível de projeto;

- ii) DIRETA: Pela análise e interpretação quantitativa dos elementos climáticos, objetiva-se dimensionar ou quantificar as estratégias de intervenção arquitetônica em nível de projeto.

Neste trabalho, pretende-se analisar as diversas metodologias diretas de Bioclimatologia Aplicada às edificações, salientando-se que face à complexidade e a aleatoriedade dos parâmetros energéticos-ambientais envolvidos necessita-se de uma visão holística ao englobar as variáveis lumínicas e acústicas conforme MILL (1986)

ANTIGA RELAÇÃO DE DISCIPLINAS COM SISTEMAS					PROFISSIONAIS	NOVA ALIANÇA DE DISCIPLINAS COM DESEMPENHO						
			<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	ARQUITETO	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
			<input checked="" type="radio"/>		"DESIGNER" DE INTERIOR	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<input checked="" type="radio"/>			ENG.º MECÂNICO	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
				<input checked="" type="radio"/>	ENG.º ESTRUTURAL	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>				ENG.º ELETRICISTA	<input checked="" type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>				ENG.º DE ILUMINAÇÃO	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	CONSULTOR DE ENERGIA	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>		<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
			<input type="radio"/>		CONSULTOR DE ACÚSTICA	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
					ANALISTA DE FUNÇÕES	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	EQUIPAMENTOS MECÂNICOS	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	INTERIOR	ENVOLTÓRIA	<input checked="" type="radio"/> RESPONSABILIDADE PRIMÁRIA <input type="radio"/> RESPONSABILIDADE SECUNDÁRIA	DESEMPENHO FUNCIONAL	DESEMPENHO TÉRMICO	DESEMPENHO ACÚSTICO	QUALIDADE DO AR	DESEMPENHO VISUAL/LUMÍNICO	INTEGRIDADE DO EDIFÍCIO	DESEMPENHO ENERGÉTICO
ESTRUTURA												
EQUIPES ESTANQUES VISANDO O DESEMPENHO DE CADA SISTEMA						EQUIPES INTEGRADAS VISANDO O DESEMPENHO GLOBAL DO EDIFÍCIO						

Figura 1.7 - Nova Divisão Holística de equipe multidisciplinar

2 - Evolução e Desenvolvimento do Estudo de Conforto Térmico

2.1 - O Conceito e as Classificações em Conforto Térmico

A ASHRAE (1992) define conforto térmico como :

"Um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa".

Assim considerações fisiológicas e psicológicas estão envolvidos neste contexto, que depende individualmente de cada pessoa .

Desta forma, o ponto de partida para o conhecimento de conforto térmico é a definição de **MODELOS DE CONFORTO TÉRMICO** que procuram montar um arcabouço teórico acerca das variáveis envolvidas no estudo .

Com a finalidade de quantificar o comportamento humano ante o ambiente térmico, de acordo com o modelo teórico em estudo, são definidos índices que expressam esta relação de causa e efeito, com a utilização de valores numéricos representativos do fenômeno.

Tais índices tem sido diferentemente classificados conforme o modelo teórico adotado.

Mexia de Almeida (apud FROTA,1979) definiu-os e classificou-os em:

- i) **ÍNDICES BIOFÍSICOS: "...trocas de calor entre o corpo e o meio-ambiente correlacionando os elementos de conforto com as trocas de calor que as originam";**
- ii) **ÍNDICES FISIOLÓGICOS: "...reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de elementos do clima";**
- iii) **ÍNDICES SUBJETIVOS: "...sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto variam".**

VILLAS BOAS (1983) agrupa-os apenas como **BIOMETEOROLÓGICOS** e diferencia-os em:

- i) **ÍNDICES METEOROLÓGICOS: "...são expressos em termos de elementos de clima, neste caso todas as variáveis do modelo se referem às características dos elementos de clima e tempo..."**
- ii) **ÍNDICES FISIOLÓGICOS: "...entrando no modelo as respostas fisiológicas..."**

SCARAZZATTO (1988) agrupa-os em três tipos:

- i) ÍNDICES TERMOMÉTRICOS ou FISIOLÓGICOS: "...medem o desgaste físico ou o esforço que o indivíduo emprega sob certas condições de trabalho..."
- ii) ÍNDICES SUBJETIVOS: "...tentam prever sob que condições de elementos de clima pode uma pessoa sentir-se confortável; "
- iii) ÍNDICES PSICO-FISIOLÓGICOS: "...embora subjetivos, desenvolvem-se a partir de dados fisiológicos mensuráveis";

Para a definição de alguns desses índices, são utilizadas ESCALAS DE CONFORTO TÉRMICO que podem ser semânticas ou numéricas, montadas em termos de sensações subjetivas graduadas por conforto e desconforto térmico, relacionando-se tais graduações com os parâmetros físicos de estímulo.

Com base nos índices, estabelecem-se as ZONAS DE CONFORTO TÉRMICO delimitadas graficamente sobre diversos tipos de nomogramas ou através de cartas e diagramas que limitam os parâmetros físicos e definem o domínio no qual se estabelecem as ditas zonas de conforto térmico

Com base nas zonas de conforto térmico e elementos de previsão de comportamento térmico das edificações, são definidas as CARTAS BIOCLIMÁTICAS, onde se associam três informações:

- i) O comportamento climático do entorno;
- ii) A previsão de estratégias indicadas para a correção desse comportamento climático por meio do desempenho esperado na edificação;
- iii) A zona de conforto térmico.

Com exceção de OLGYAY (1963) as outras cartas bioclimáticas montam-se sobre uma carta psicrométrica.

2.2 - Breve Histórico

O texto deste item foi traduzido da publicação sob título: "**Energy Conservation in Buildings and the Indoor Environment - A Review**" de LIM (1983), onde é destacada a origem das pesquisas envolvendo o conforto térmico cujo início se confunde com o estudo das condições ambientais para trabalho em fábricas e minas no começo do século. Naquela época a saúde e conforto para as condições de trabalho já vinham sendo investigados, incluindo as escalas de conforto. A listagem a seguir apresenta uma seqüência de autores que desenvolveram escalas ou índices de conforto térmico ou idealizaram trabalhos envolvendo as mesmas.

- **Haldane** (1905) sugeriu a temperatura de bulbo úmido como um índice de stress térmico, baseado no seu trabalho sobre condições térmicas nas minas em Cornwall.

- **Hill** (1933) desenvolveu o Katatermometro, modificado por Bedford e Warnmer para medir o poder de resfriamento da atmosfera.
- **Hougten e Yaglou** (1923) e **Yaglou e Miller** (1924) desenvolveram nos Estados Unidos a *Temperatura Efetiva*.
- **Vernon e Warner** (1932), usando o termômetro de globo fizeram uma correção para radiação e adotaram como índice de calor para navios britânicos com o nome de *temperatura Efetiva corrigida*.
- **Dufton** (1932) desenvolveu um indicador de conforto simulando a taxa de perdas do corpo humano que significa a *temperatura Equivalente*.
- **Bedford** (1936) construiu o *Equivalente de Calor* o qual inclui os efeitos da radiação, umidade, temperatura e movimento do ar.

2.2.1 - Nos Trópicos

- **Newling** (1954) em Singapura, através da Unidade de Pesquisa Tropical, construiu o "homem de metal" para examinar o efeito da temperatura radiante média.
- **Ellis** (1953) usou a temperatura efetiva para examinar o conforto térmico em navios de guerra e encontrou várias diferenças de conforto entre europeus e asiáticos habitantes em Singapura.
- **Webb** (1958) desenvolveu o *índice de conforto equatorial* o qual inclui o efeito da temperatura do ar, umidade, e movimento do ar. Ele sugere seu uso para Singapura e outras partes dos trópicos equatorial úmido.
- **Ambler** (1955) concluiu que a *temperatura efetiva* era um bom índice de conforto para europeus morando na Nigéria.
- **Grocott** (1948) usou também a *temperatura efetiva* para estudar os limites máximos de conforto em casas condicionadas de propriedade da Companhia de Óleo Anglo-Iraniana.
- **Mookerjee e Murgai** (1952) também usou a *temperatura efetiva* para determinação da zona de conforto para indianos durante o verão no norte da Índia.
- **Rao** (1952) incorporou a umidade e a velocidade do ar para determinação da temperatura efetiva desejada para Calcutá.
- **Nicol** (1974) determinou taxas de suor para trabalhadores em Roorkee, Índia, e Bagdá, Iraque.

2.2.2 - Em Países Subtropicais

- **Draysdale** (1950) sugere para países subtropicais o uso da temperatura de bulbo seco como uma escala de conforto para as condições quente e seca da Austrália.
- **Hindmarsh e Mac-Pherson** (1962) trabalhando com o mesmo princípio sugeriram a temperatura do ar preferida de verão e inverno para Sydney.
- **Mac-Pherson** (1962) também determinou a temperatura máxima do ar para a qual as pessoas aclimatadas em Caucasia não teriam distúrbios ao dormirem.

2.2.3 - Em Países de Clima Temperado

- **Winslow, Herrington e Gagge** (1937) mostraram o equilíbrio das trocas térmicas com o ambiente através dos três caminhos conhecidos evaporação, convecção e radiação.
- **Gagge, Herrington e Winslow** (1931) também desenvolveram a *temperatura operativa* a qual era originalmente uma medida do efeito físico das paredes circundantes e a temperatura do ar ambiente.
- **Gagge** (1941) expandiu isto incluindo o movimento do ar e chamou de *temperatura operativa padrão* uma medida da perda de calor do corpo humano por radiação e convecção.
- **Siple e Passell** (1945) derivaram para condições de frio o *poder de resfriamento da atmosfera* ou o *índice frio-vento*.
- **Ionides, Plummer e Siple** (1947) propuseram a *taxa de aceitação térmica* que foi expressada como uma medida do stress térmico aplicado para climas quentes.
- **MacArdle** (1947) e seus co-pesquisadores idealizaram para o Hospital Nacional de Londres a *taxa de suor prevista para quatro horas (P4SR)*, a qual foi usada para prever a atual perda de suor através de vária das condições. Este índice de stress térmico leva em consideração a roupa e a taxa de energia consumida.
- **Missenard** (1948) desenvolveu a *temperatura resultante* para incluir os efeitos da umidade e o movimento do ar para indivíduos com e sem vestimentas.

2.2.4 - Após a Metade do Século

- **Yaglou et alli** (1950) aperfeiçoaram a *temperatura efetiva*, incluindo as trocas por radiação. Na temperatura efetiva equivalente, a temperatura de globo toma o lugar da temperatura do ar no nomograma padrão.
- **Belding e Hatch** (1955) desenvolveram um índice para avaliar o stress térmico em indústrias. Este inclui a energia despendida e as trocas por radiação entre o operário e o seu entorno.
- **Yaglou e Minard** (1957) idealizaram um índice simples conhecido como *índice de bulbo úmido e termômetro de globo (WBGT)*, para o controle de perdas (baixas) de soldados por calor no Centro de Treinamento Militar dos USA; este inclui os efeitos da radiação solar e da terra, temperatura do ar umidade e velocidade do vento. (Este índice é adotado pela NR15 do Ministério do Trabalho no Brasil, para avaliação de ambientes de trabalho).
- **Lee** (1956) desenvolveu outro índice de tensão térmica, o qual inclui temperatura e movimento do ar, energia despendida e roupas; níveis de conforto e desconforto, e o tempo de tolerância também pode ser derivado.
- **Koch, Jennings e Humphreys** (1960) modificaram a temperatura efetiva para permitir a inclusão gradual da umidade sem alterar a zona de conforto.
- **Givoni** (1962) desenvolveu um índice de stress térmico na hipótese de que a secreção de suor é necessária para encontrar o resfriamento evaporativo para o balanço da produção de calor metabólico e as trocas térmicas com o ambiente.

- **Fanger** (1967) 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, nível de atividades e vestimenta.

2.2.5 - Nos Anos Recentes

- Os índices prontos foram refinados e os modelos de conforto estão sendo desenvolvidos com o apoio das sofisticações da informática. Um equipamento para medir conforto conhecido como *Comfy-test meter* foi desenvolvido e tornou-se comercialmente viável. Integrando as variáveis da equação de conforto de Fanger, o medidor foi designado para dar o *Voto Médio Estimado* (PMV) de um dado ambiente térmico.

- **Fanger e Rohles** (1970) usaram o conceito da *Porcentagem de pessoas Insatisfeitas* (PPD) para suplementar o Voto Médio Estimado de indivíduos na avaliação de um ambiente térmico .

- **Humphreys** (1975) após examinar cerca de trinta campos de estudos propôs um novo método de estimar a resposta média ao calor em uma escala de sete categorias, usando apenas a temperatura da sala e a temperatura média mensal experimentada nas horas de acordar (início da manhã).

- **Lim e Rao** (1977) após observar escolas e centros de vendas em Singapura (Mercados de comida pronta) confirmou que o *índice de conforto equatorial de Webb* (ECI) foi geralmente aplicável em Singapura após cerca de 20 anos exceto que o (ECI) neutro poderia ser rebaixado de 26°C para 25°C.

- **ASHRAE** (1981) - A escala de temperatura efetiva da ASHRAE é normalmente vista como um padrão para o ambiente interno de espaços com ar condicionados. Ela é mais usada para habitantes de países com climas temperados é aplicada menos em países de clima tropical devido a vestimenta e também devido à aclimatação . Em Singapura por exemplo o índice de conforto equatorial é considerado de grande relevância. A Regulamentação para Controle da Construção que incorpora a regulamentação para conservação de energia, em Singapura estipula uma temperatura máxima no bulbo seco para o interior de 27°C e uma umidade relativa máxima de 75%. A economia é de 20% em comparação com o normal que seria temperatura de 24°C e 50% de umidade relativa.

- **FANGER** (1970) - Para espaços de ar não condicionados o movimento de ar é crítico na previsão do resfriamento para verão e o calor é necessário para o aquecimento dos ocupantes no inverno. Fanger tem demonstrado o efeito do movimento do ar para resfriamento relacionado à vestimenta, às temperaturas do ar e radiante média, à umidade relativa e à atividade dos ocupantes. Seu trabalho é agora incorporado na carta de conforto da ASHRAE 1981. Ele mostra que se o movimento do ar não incomodar o trabalho, levantando papéis, por exemplo, o mesmo pode ser usado como um substituto do ar condicionado no resfriamento de verão. Para fazer isto não é necessário prever uma grande área de janela ou outras aberturas porque isto pode aumentar a admissão de radiação solar direta ou difusa e aquecer o ar no interior. O espaço pode ser ventilado mecanicamente para remover o calor do

ambiente ocupado enquanto que o envelope do edifício é isolado do ambiente externo Ex: edifício de 40m por 40m com uma ventilação de 10 trocas por hora consegue conforto num dia típico de março em Singapura , com céu claro. Isto mostra que é possível através de um acréscimo de isolamento no envelope do edifício, torná-lo habitável durante a maior parte de um dia de trabalho sem ar condicionado.

Na seqüência é importante mencionar as normas da ISO pertinentes as questões de conforto térmico.

- **ISO - 77 30 (1984)** adotando as pesquisas de FANGER, recomenda que para espaços de ocupação humana, o PPD (*Predicted percentage of dissatisfied*) deve ser menor que 10% isto corresponde a uma faixa de variação do PMV (*Predicted Mean Vote*) de -0,5 a +0,5.

- **ISO - 77 26 (1985)** especifica as características mínimas de equipamentos para medição das quantidades físicas que caracterizam um ambiente e os métodos para medir estas quantidades. Não define o índice global de conforto ou stress térmico mas simplesmente padroniza o processo de registros de informações orientadas para determinação destes índices. É aplicado ao estudo de conforto de ambientes quentes ou frios para ocupação humana.

- **Gagge (1972)** define a *temperatura efetiva padrão* (SET) como a temperatura de um ambiente fechado isotérmico, com velocidade do ar abaixo de 0,15 m/s, umidade relativa de 50% no qual pessoas em atividade sedentária, vestidos com roupas de 0,6 clo teriam os mesmos valores de suor da pele e temperaturas média da pele e que teriam os ocupantes no ambiente real não uniforme.

- **ET*** - A ANSI ASHRAE 55 1992 define o *novo índice de temperatura efetiva* (ET*) como sendo a temperatura operativa (t_o) de um ambiente a 50% de umidade relativa que causaria a mesma troca de calor sensível e latente de uma pessoa como se fosse no ambiente real.

2.3 - Considerações de Givoni sobre as Condições Aceitáveis em Edifícios sem Condicionamento Térmico

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. Por exemplo, temperatura interna variando de 20°C de manhã até 26°C de tarde no verão é comum em edifício não condicionado. A velocidade do ar interno em edifícios com ventilação cruzada é sempre próximo de 2 m/s. Pessoas que moram em edifícios sem condicionamento e naturalmente ventilados usualmente aceitam uma grande variação de temperatura e velocidade do ar como uma situação normal.

Esta diferença entre as condições aceitáveis num ambiente condicionado e num ambiente não condicionado, devem também ser refletidas na carta, especificando limites aceitáveis do clima interno para edifícios não condicionados e nos limites de aplicabilidade de várias estratégias de projeto de edifícios e sistemas de resfriamento passivo.

O clima de uma cidade mexicana (Colima), foi aplicado na carta da ASHRAE e analisada por Givoni. Este percebeu que os meses de junho a outubro estariam totalmente fora

da zona de conforto ASHRAE. Entretanto as pessoas habitantes neste local, quando argúidas sobre esta questão responderam que nestes meses pelo menos nas primeiras horas da manhã e últimas horas da noite o clima é confortável tanto dentro quanto fora do edifício, demonstrando assim a sua aclimação ao local conforme GIVONI (1992).

2.4 - Experiência na Tailândia

A aclimação pode ser comprovada através da pesquisa realizada em Bangkok na Tailândia por BUSCH (1992) onde mais de 1100 trabalhadores em escritórios responderam a um questionário enquanto medidas físicas simultâneas foram registradas. O questionário e as medidas físicas foram tomadas em dois edifícios com ar condicionado e em dois edifício com ventilação natural. O objetivo deste estudo foi verificar se existe justificativa para adotar um padrão de conforto que difere dos desenvolvidos para trabalhadores acostumados em climas temperados. Ambos escritórios com ar condicionado e com ventilação natural foram observados. Participantes orientais votaram numa escala térmica subjetiva padrão e esta foi correlacionada com o índice de temperatura que variou conforme o impacto térmico da umidade, temperatura radiante, velocidade do ar e nível de vestimenta. Segundo o critério usado no desenvolvimento de várias normas de conforto térmico adotadas, descobriu-se que o limite máximo de temperatura para um padrão de conforto Tailandez em lugar de começar com o nível aceitável de 26,1 °C poderia ser tão alto quanto 31 °C para trabalhadores de escritórios acostumados com espaços ventilados naturalmente e tão alto quanto 28 °C para aqueles acostumados com ar condicionado. Comparando as respostas dos edifícios naturalmente ventilado com ambos os edifícios com ar condicionado e com os estudos conduzidos nas regiões temperadas, prova-se convincentemente a evidência da aclimação. Esta e outras descobertas deste estudo sugerem que o espaço interno na Tailândia pode ser resfriado para temperaturas menos distante do microclima local sem sacrificar o conforto.

2.5 - Pesquisas e Trabalhos no Brasil

Em relação ao contexto internacional, os trabalhos na área de conforto térmico no Brasil, a exceção dos trabalhos do antigo Instituto de Higiene da Universidade de São Paulo na década de sessenta e mais anteriormente os trabalhos do Instituto Nacional de Tecnologia no Rio de Janeiro, em nível de pesquisa são incipientes.

Têm sido realizadas pesquisas em nível acadêmico dentre as quais citam-se ARAÚJO et alii (1986) em Natal -RN; RORIZ (1987); SCARAZZATO (1988) e a edição de um manual por FROTA (1988). Na atual década ressaltam-se os trabalhos da ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), organizando encontros na área de conforto, ENTAC (1990,1993) e simpósios na área de normalização (Florianópolis, 1991), que consolidaram esta área de conhecimento e facultaram a interação entre grupos de pesquisa consolidados com grupos emergentes.

ALUCCI (1992) após pesquisar sobre índices de conforto e com base em critérios relacionados com os características de seu trabalho, resolveu adotar os dois índices seguintes: **1 - Temperatura efetiva padrão "... que permite estabelecer limites de conforto a partir da realidade climática de cada região e considerar as diferentes funções a que se destinam as edificações e 2 - a carta bioclimática proposta por GIVONI, que permite identificar a partir da análise climática local, os parâmetros para o desenvolvimento dos projetos das edificações."** A autora justificou a escolha destes dois índices da seguinte forma: **"a carta bioclimática pode ser usada como instrumento para parametrizar a fase de concepção do projeto arquitetônico, fornecendo um quadro do rigor climático local, indicando, por exemplo a impossibilidade de se dispensar o condicionamento artificial. e a temperatura efetiva padrão (SET) definida para cada cidade, pode ser utilizada na fase de avaliação do projeto básico, indicando se o projeto deve ser ou não alterado"** O diagnóstico climático adotado foi uma adaptação do método proposto por GIVONI (1969), e reelaborado por GIVONI (1986) para cidades da Venezuela.

A *temperatura efetiva padrão* adotada por ALUCCI (1992), foi adotada por RORIZ (1987) para a cidade de São Carlos SP e é um índice que permite associar os limites de conforto às características climáticas locais (temperatura média exterior). Está sendo empregado para estimar o desempenho térmico de edificações através de softwares segundo ALUCCI (1992).

RORIZ e BASSO (1991) estudaram dez métodos que determinam sob quais condições um ambiente se torna termicamente agradável. Nesse estudo os autores aplicaram para cada um dos dez métodos, as mesmas condições climáticas e os resultados foram comparados .

Como as divergências são muitas nos aspectos de conceitos, variáveis e abordagens foi necessário fazer-se algumas adaptações para viabilizar a comparação.

As condições climáticas escolhidas se referiram aos dias típicos de verão e inverno para Porto Alegre, ambos com probabilidade definida em 2,5%, (condições rigorosas).

Os dez métodos estudados foram: 1-Evans (Argentina). 2-Fanger (Dinamarca). 3 - Givoni (Israel). 4-Hunphreys (Inglaterra). 5-Lotersztain e Murature (Argentina). 6- Mahoney (Inglaterra). 7-Olgyay (USA). 8-Rivero (Uruguai). 9-Szokolay (Austrália). 10-Vogt e Miller Chagas (França).

Para a aplicação das condições climáticas dos dias típicos de verão e inverno, foi considerado que: o metabolismo no verão e inverno igual a 140 W/m² para o dia e 80 W/m² para a noite. A roupa igual a 0,5 clo para o verão (dia e noite), e 1,0 clo para o inverno de dia e 1,5 clo para a noite. A velocidade de ventos considerada igual a 1,0 m/s para o verão durante o dia e a noite, e para o inverno a velocidade de ventos considerada igual a 1,0 m/s durante o dia e 0,1 m/s durante a noite. Os autores chegaram à conclusão que os diversos métodos estudados não divergem quanto às condições extremas (caso do inverno para Porto Alegre) por que são óbvias. Mas, quanto aos limites de conforto (é o que acontece para o

período de verão em Porto Alegre) existem divergências pois os métodos não coincidem principalmente nos horários de transição entre o dia e a noite.

3 - Os Métodos Diretos de Projetos Bioclimáticos Aplicados à Edificação

São analisados através do detalhamento da metodologia de aplicação, os métodos de projeto direto que aplicam a bioclimatologia às edificações.

Estes métodos conhecidos como cartas bioclimáticas são:

- Olgay (1963) e (1968);
- Givoni (1969);
- Givoni e Milne (1979);
- Gonzalez (1986);
- Givoni (1992);
- Zonas de Conforto da ASHRAE (74, 85, 92);
- Szokolay (1987);
- Watson e Labs (1983).

Os limites das zonas de conforto de cada um dos métodos são confrontados com os valores de PMV do critério de conforto térmico de FANGER, conforme norma ISO 7730 com as condições de vestimenta, velocidade do vento e atividade metabólica originalmente previstos no método. Para adequar às condições de ocupação em zonas tropicais foram variados os índices de vestimenta ($\geq 0,2$ clo) e, em alguns casos, a velocidade do vento e verificou-se a influência destas variáveis na obtenção de níveis de conforto.

3.1 - O Método de OLGAY

3.1.1 - Descrição da Carta Bioclimática de Olgay:

A carta bioclimática de Olgay (1963) propõe estratégias de adaptação da edificação ao clima, a partir de dados do clima externo. O gráfico possui a zona de conforto indicada no centro e os elementos climáticos indicados com curvas ao redor, que fornecem as medidas necessárias de correção para restabelecer-se a sensação de conforto em qualquer ponto fora da área de conforto.

Para definição da zona de conforto, o autor expõe diversos pontos de vista, onde mostra que trata-se de um processo complexo, e deve ser de acordo com as diferentes regiões geográficas, já que condições climáticas mais quentes elevam os requerimentos térmicos devido a aclimatação. Esta zona, similar a de neutralidade térmica, varia de acordo com os indivíduos, os tipos de vestimenta e a natureza da atividade que se executa. Além disso depende do sexo e da idade.

Segundo Olgay a zona de conforto não tem limites precisos, pois a zona de neutralidade térmica que se encontra no centro do conforto, varia com o mínimo de esforço e facilmente se passa para uma situação de desconforto. Portanto, de acordo com o autor, os limites da zona de conforto se baseiam em suposições mais ou menos arbitrárias. Para definir os limites da zona de conforto da carta bioclimática de Olgay, foi adotado um critério em que a pessoa, na média, não experimenta sensação de desconforto.

Os valores da temperatura efetiva, empregados no gráfico ajustaram-se ao índice dado pela temperatura média da pele. Os limites da zona de conforto dita ideal, pelo autor, está compreendida entre as umidades relativas de 30% e 65%, sendo que a zona correspondente ao verão inclui, de um ponto de vista prático, altas e baixas umidades relativas, onde se sucedem forças térmicas, com a ressalva de que não é recomendável por períodos prolongados. A zona de conforto de inverno está graficada um pouco mais abaixo. (ver fig. 3.1).

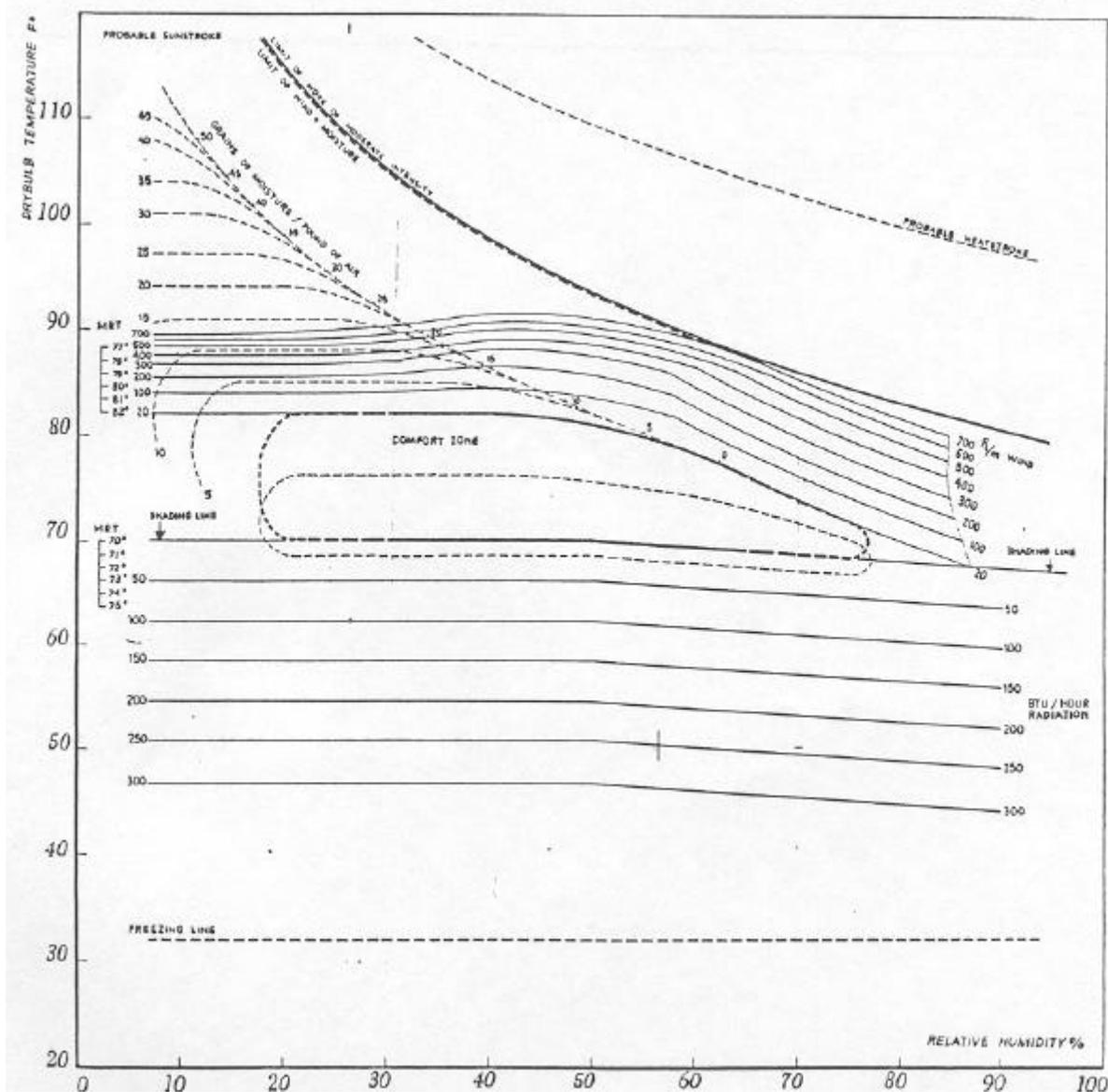


Figura 3.1 - Gráfico bioclimático para os habitantes da zona moderada de EE.UU - fonte: Olgay (1963)

O uso do gráfico é diretamente aplicável a habitantes da zona temperada dos Estados Unidos com vestimenta comum ao interior da edificação (1 CLO), exercendo atividades sedentárias ou leves e para altura não maiores que 300 m acima do nível do mar.

Fora da zona de conforto são indicadas, no gráfico, diferentes sensações térmicas e o limite de trabalho moderado sob altas temperaturas está indicado por uma curva. Além disso, é indicado uma curva que corresponde a temperatura efetiva de 95 a 97 °(35 a 36,1°C), a partir da qual não se consegue obter conforto pelos mecanismos demonstrados pelo método.

O gráfico mostra curvas que relacionam os elementos climáticos com a zona de conforto. Os elementos climáticos considerados por Olgyay são:

1) Movimento do ar: o movimento do ar afeta o esfriamento do corpo sem diminuir a temperatura, e sim produzindo a sensação refrescante devido a perda de calor por convecção e evaporação. A medida que a velocidade do movimento do ar aumenta, o limite superior do conforto se eleva. O gráfico mostra as velocidades do vento (em pé por minuto) que se necessitam, teoricamente, para restabelecer o conforto quando a temperatura e umidade relativa caem fora da zona de conforto. Estas velocidades limitam-se por seu efeito sobre o ser humano. O autor baseia-se em Emerick, R. H. (1951), de onde extrai esses limites:

<u>Velocidades</u>	<u>Impacto Provável</u>
Até 50 p/min (0,25 m/s)	Não se sente
De 50 a 100 (0,25 a 0,5 m/s)	Agradável
De 100 a 200 (0,5 a 1,0 m/s)	Agradável em geral, mas sem deixar de sentir-se o movimento do ar
De 200 a 300 (1,0 a 1,5 m/s)	Chega a ser um vento incômodo
Acima de 300 (1,5 m/s)	Devem ser tomadas melhores medidas se deseja-se manter a eficiência do trabalho e a saúde.

2) Pressão de Vapor: o autor cita Siple que diz que cada milímetro adicional de tensão de vapor, acima de 15mm de mercúrio pode ser compensado com ventos de aproximadamente 1 milha por hora. Com base nisto, o gráfico mostra uma variação de 15mm a 23 mm de tensão de vapor compensadas com velocidades de vento variando de calmo até 700 pés/ min (3,6 m/s).

3) Evaporação: o processo de evaporação diminui a temperatura de bulbo seco. Para determinar a quantidade de gramas de umidade por peso de ar seco necessárias para obter-se temperaturas mais baixas, o autor utilizou-se de um gráfico psicrométrico. As curvas, na carta bioclimática, estão indicadas em intervalos iguais a 5 gramas de umidade por libra de ar (0,715 g / kg) e considera-se que a diminuição da temperatura deve ser tal que ofereça uma sensação igual a que se obteria no limite superior da zona de conforto.

4) Efeitos da radiação: o efeito da radiação, de superfícies interiores, pode ser empregado até certo ponto para equilibrar-se temperaturas altas ou baixas. Olgyay se refere a Yaglou (1947), onde ele diz que "a temperaturas menores que 70 °F (21,1°C) uma perda em 1°F (0,55°C) da temperatura do ar pode equilibrar-se elevando a temperatura radiante média em 0,8°F (0,44°C). Ele continua: "Não obstante, isto tem suas limitações e na prática não haverá mais de 4°F (2,2°C) e 5°F (2,7°C) de diferença entre as temperaturas do ar e a das paredes. As curvas de radiação indicadas no gráfico somente são dadas para o exterior. O autor afirma que: "os cálculos indicam que 50 Btu (52,7 kJ) de radiação solar equilibram uma diminuição de temperatura de bulbo seco de 3,85°F (2,1°C)."

Observa-se que os valores de radiação mostrados no gráfico estão expressos em Btu/h, contradizendo a afirmação do autor de que estes valores estariam em Btu. Isto gera dúvidas, pois não fica claro como esta transformação foi realizada. O autor se refere a formulação de Yaglou, a qual determina o efeito da radiação solar através de uma equação de balanço de calor. Este balanço leva em consideração as perdas de calor por evaporação, radiação e convecção, a área da superfície do corpo, a temperatura do ar, a temperatura confortável da pele e a vestimenta. Porém, não se conseguiu verificar como o autor obteve os resultados dos valores de radiação em Btu/h. Esta questão pode ter provocado erros na transformação de unidades (para SI) das variáveis do diagrama bioclimático, já que várias cartas utilizadas atualmente foram elaboradas a partir da original de Olgyay.

Os elementos climáticos são indicados com curvas traçadas ao redor da zona de conforto, que fornecem as medidas necessárias de correção para restabelecer-se a sensação de conforto.

Cabe ressaltar, que os valores indicados nas curvas quantificando os elementos climáticos considerados para atingir-se o conforto, são referenciados pelo autor, porém, os cálculos demonstrativos de como alcançá-los, não são mostrados.

3.1.2 - Adaptação para os Trópicos:

Segundo Olgyay (1968), no momento de construir-se o gráfico bioclimático e a delimitação da zona de conforto, para os habitantes das zonas temperadas, se levaram em conta os seguintes fatores:

- A) Indivíduo, já que o conforto varia conforme a idade, sexo, peso.
- B) Razão metabólica
- C) Dieta
- D) Aclimação
- E) Vestimenta

Porém, para zonas tropicais somente A, B, C puderam ser tratados da mesma forma, estabelecendo-se restrições para protótipos "normais" humanos, sob determinadas condições de atividade.

De acordo com o autor, os pontos D e E devem ser trabalhados de forma menos simplificada, pois: "para zonas tropicais no processo de aclimação deve ter-se em conta que as altas temperaturas são constantes e influem no mecanismo biológico humano elevando os limites da zona de conforto. Também o tipo de vestuário usado na vida diária das regiões quentes é diferente e 1 clo (que pode aplicar-se convenientemente aos habitantes das zonas temperadas) deve diminuir nas zonas tropicais e elevar-se nas zonas frias montanhosas."

Ajustes de Latitude e Limitações:

Com o propósito de obter um guia geral para ajuste da zona de conforto, várias instituições têm realizado estudos em relação a troca de latitude e seus efeitos sobre o nível de conforto e recomendam alguns valores de acréscimo seja de TE (temperatura efetiva) ou TBS (temperatura de bulbo seco), de acordo com o acréscimo de graus de latitude.

Segundo Olgay, esses índices são aproximados e os seguintes itens devem ser levados em conta para definir-se o ajuste na zona de conforto:

a) A temperatura diminui com a altura:

Teoricamente, tem-se uma redução de 1°C para cada 187 m de aumento de altitude. Este fator pode mudar os padrões de temperatura substancialmente e conseqüentemente anular o índice de latitude. No caso de que regiões que estão dentro da zona tropical, tenham altitudes maiores, deve considerar-se como um fator de importância no índice de conforto.

b) A influência da latitude:

A troca de latitude não corresponde com a derivação das temperaturas e com a recepção do calor solar. O índice de latitude se baseia primordialmente em uma suposição de que existe uma queda de temperatura desde o Equador, onde é maior, até as regiões polares, com temperaturas mínimas. Realmente, a máxima recepção solar na superfície da terra, em um dia claro de verão, não sucede no Equador, e sim em algum ponto por volta dos 40° de latitude norte.

c) A influência dos fatores topo-climáticos:

A distribuição dos acidentes topográficos e grandes superfícies de água, fazem um papel muito importante nas variações de temperaturas. As áreas secas, como os desertos, possuem níveis de temperatura muito mais altos que os das zonas úmidas. Os oceanos exercem um efeito moderador sobre as superfícies adjacentes, o que faz que locais com latitudes iguais possuam distribuição de temperaturas diferentes e, portanto, diferença nos limites de conforto.

As limitações do índice de latitude, segundo o autor, são evidentes e procurou-se um índice que seguisse diretamente as mudanças de temperatura. Depois de avaliar estudos de um índice a partir de linhas isotérmicas, Olgay concluiu que o nível de conforto segue as temperaturas médias de verão. Concluiu, também que 1 grau de variação no nível de temperatura corresponde a 1 grau de troca no nível de conforto e pode-se supor que a temperatura de verão de um determinado local, será aproximadamente o nível de conforto ótimo dos habitantes aclimatados, com limites entre 21,1 até 26,7° C assumidos com base em vários estudos de campo. A partir deste nível médio de conforto pode-se formar a zona de conforto diminuindo-se 2,8° C e acrescentando-se 2,8° C, o que significa que o nível mínimo da zona de conforto será de 18,3° C e o máximo de 29,5° C. (ver fig. 3.2).

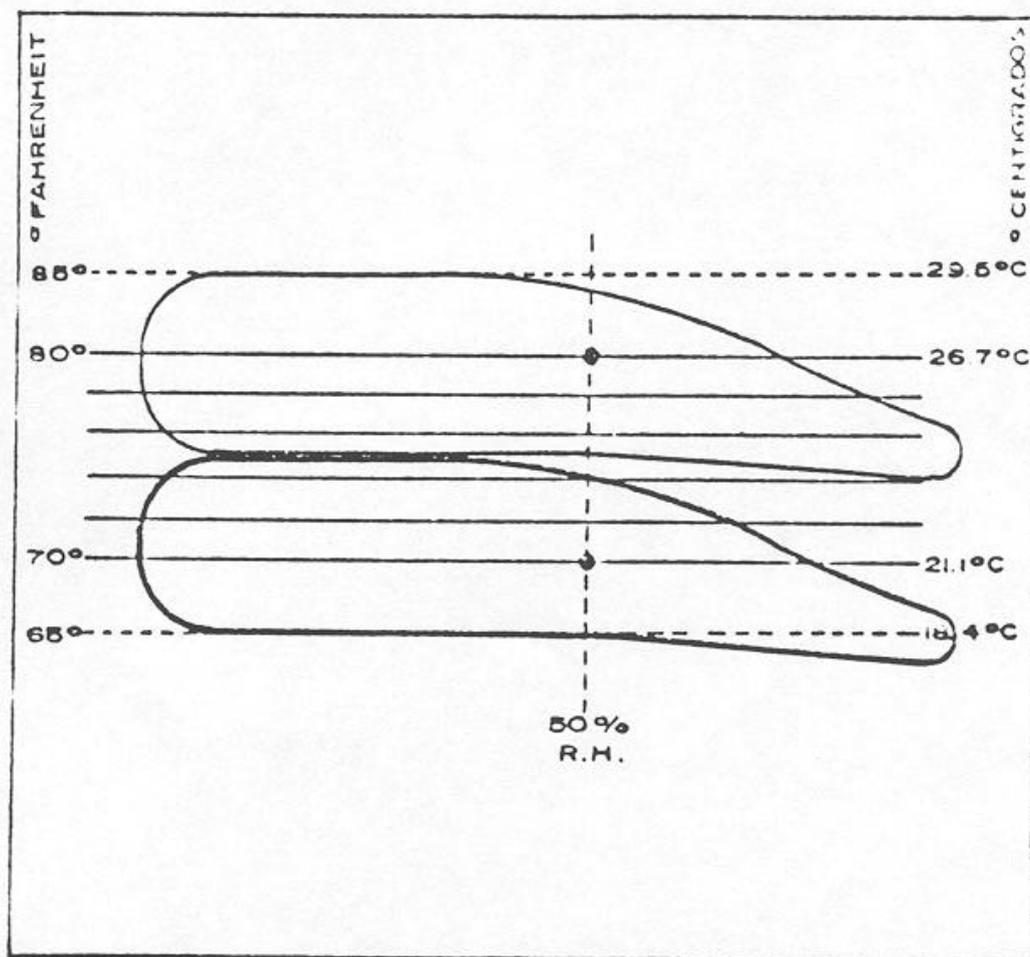


Figura 3.2 - Níveis máximos e mínimos de conforto - fonte: Olgay (1968)

Olgay, aplicou então, este processo para construção dos gráficos bioclimáticos, com o propósito de avaliar as condições térmicas da Colômbia. Nestes gráficos foram modificados os seguintes conceitos:

a) A linha de conforto ótimo para todas as áreas colocou-se na mesma linha que a média de temperatura média da localidade, tomando como limite inferior $21,1^{\circ}\text{C}$ e como limite superior $26,7^{\circ}\text{C}$ e estabelecendo-se o limite da zona de conforto acrescentando-se e diminuindo-se $2,8^{\circ}\text{C}$ do nível de conforto ótimo.

b) As linhas horizontais da zona de conforto correm paralelas até a linha de 50% de umidade relativa, a partir das quais seguem as linhas de temperatura efetiva.

c) A zona de conforto foi considerada entre 30 e 70% de umidade relativa, com extensões práticas entre 20 e 80%, aceitável devido ao fator de aclimação nas zonas úmidas.

d) Os efeitos dos ventos foram representados nos gráficos, tanto nas zonas de altas temperaturas como nas de pressão de vapor até velocidade de 6 m/s, em vez de 4 m/s, já que em zonas úmidas se permite, por costume e necessidade, maiores velocidades dentro das habitações.

e) Nos gráficos bioclimáticos, representou-se no extremo esquerdo, o fator vestimenta a intervalos de 1 clo desde as condições de nudez até o nível de 3 clo.

A aplicação da carta bioclimática para as regiões dos trópicos se desenvolve da mesma maneira que para a carta original, construída para a zona temperada dos Estados Unidos.

3.1.3 - Aplicação do Método:

De acordo com a explicação do autor, a interpretação da carta se faz da seguinte maneira:

"A carta bioclimática tem como ordenada a temperatura de bulbo seco e como abcissa a umidade relativa. A zona de conforto para o verão está subdividida em subzonas ideais e práticas, com a zona de conforto para o inverno indicada um pouco mais abaixo. Qualquer condição climática determinada pela temperatura de bulbo seco e umidade relativa, pode ser traçada no gráfico e se o ponto encontrado está compreendido na zona de conforto, tem-se a sensação de conforto na sombra. Pelo contrário, devem ser tomadas medidas de correção."

Estas medidas de correção são indicadas nas curvas correspondentes aos elementos climáticos e mostram o quanto deve ser empregado de cada um deles para restabelecer a sensação de conforto.

Avaliação regional:

O autor explica que para a aplicação do gráfico bioclimático na avaliação climática de cada região, necessita-se uma análise detalhada que considere um ciclo anual completo do clima da região. Segundo o autor: "A avaliação regional de uma situação climática deve aplicar-se ao gráfico bioclimático, colocando-se neste os dados combinados de temperatura e umidade relativa a intervalos regulares, o que mostrará as características gerais de uma região. Este procedimento pode aplicar-se para dados de condições médias, máximas ou mínimas, conforme o caso."

"A partir do número de pontos que caem nas diferentes zonas da carta, pode estimar-se a importância dos diferentes elementos climáticos em cada região (necessidades de sombra, radiação, ventos, etc.) e representar essas necessidades em um gráfico anual."

O autor realizou estudos, analisando os problemas principais das quatro zonas climáticas mais importantes dos Estados Unidos. Nestes gráficos regionais foi representado a situação climática oferecida por um dia típico médio de cada mês, sendo indicado no gráfico bioclimático, por meio de uma curva fechada, os dados médios mensais das 24 horas do dia. Estas curvas são suficientes para caracterizar uma situação climática através do ano. Para ilustrar o método, coloca-se a avaliação do autor para a região quente e úmida representada por Miami, Flórida. (ver fig. 3.3)

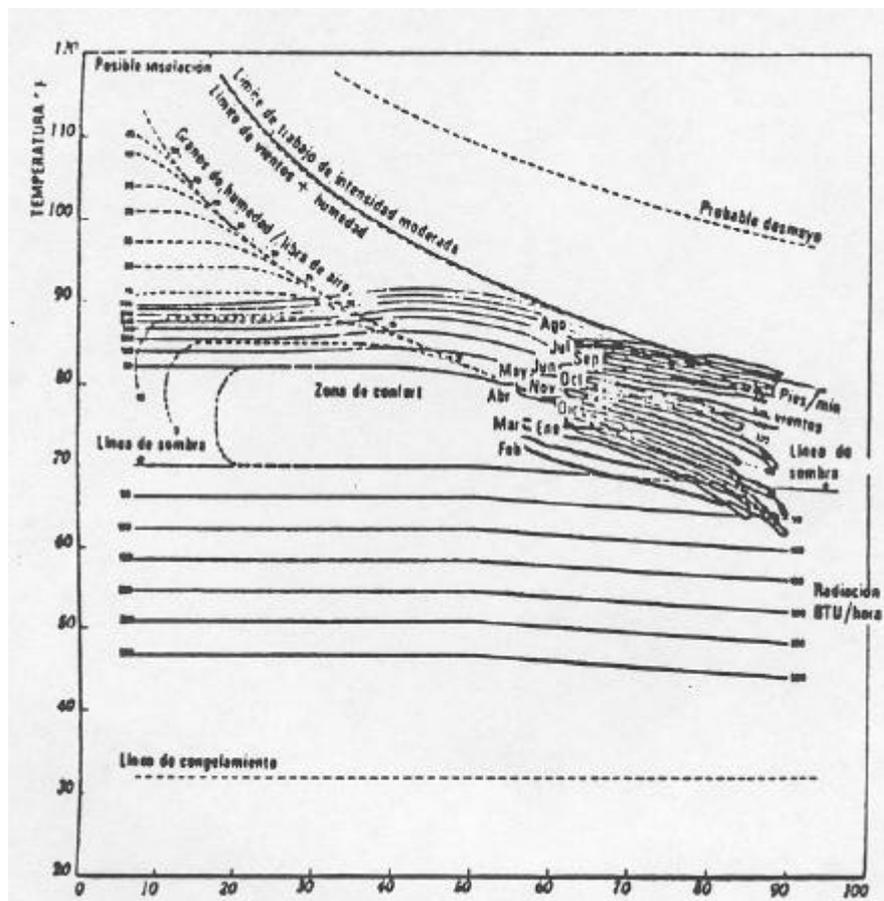


Figura 3.3 - Avaliação de Miami - EUA

fonte: Olgyay (1968)

Neste caso, segundo a interpretação do autor, as curvas de temperatura mostram uma tendência horizontal. A variação anual de temperatura é muito pequena e permanece mais ou menos constante dentro da zona de alta umidade relativa..

Do gráfico acima, obtém-se as necessidades climáticas que por sua vez podem ser transferidas para uma tabela anual de necessidades bioclimáticas, onde podem ser lidas horariamente durante todos os meses do ano, proporcionando um diagnóstico da região.

Com base nesta tabela pode-se avaliar as distintas necessidades de uma região e sua importância relativa, tais como radiação (indicadas por linhas até 300 Btu/h de intensidade - 87,9 W), sombra (área pontilhada), ou efeito dos ventos (área hachurada).

De acordo com o exemplo, o gráfico de avaliação (ver fig. 3.4) indica que se necessita de sombra durante todo o ano, mesmo nos dias mais frios por pelo menos 6 horas. Na área indicadora das necessidades dos ventos as linhas mostram velocidades de 300 a 700 pés/min (1,5 a 3,6 m/s). Olgyay conclui que durante as horas diurnas as necessidades anuais médias são: 12% de radiação solar, 88% de sombra, 62% de brisas e em 26% do tempo se está em conforto na sombra (ver fig. 3.5).

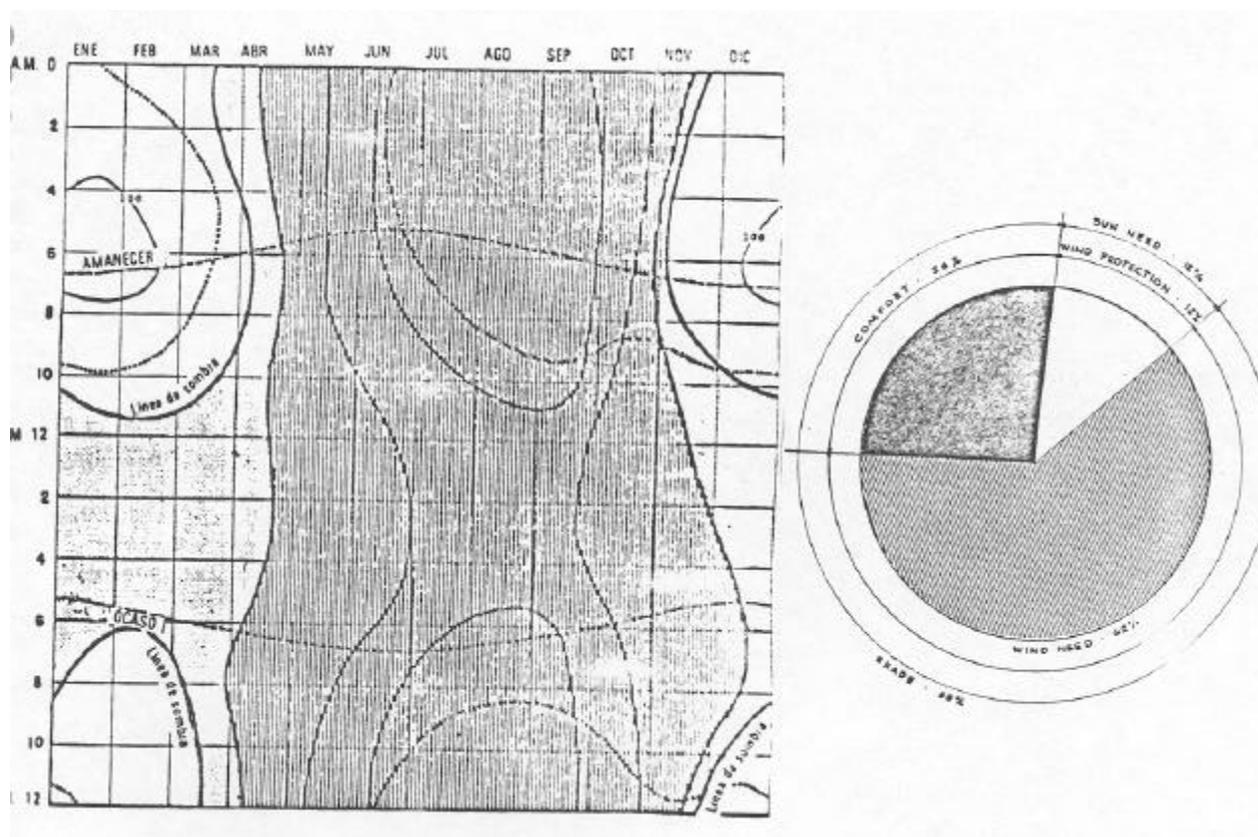


Figura 3.4 - Tabela Anual de Necessidades Climáticas
fonte: Olgyay (1968)

Figura 3.5 - Proporção de Necessidades Climáticas
fonte: Olgyay (1968)

Pode-se complementar a análise da necessidade de sombra, utilizando-se um diagrama que representa a trajetória do sol (carta solar).

Quando coloca-se sobre este gráfico o período de calor, tirado da tabela anual de necessidades, obtém-se uma área (em tom mais escuro), que indica os períodos onde a sombra é desejável de acordo com a posição do sol (**ver fig. 3.6**). Este diagrama é a base para a avaliação dos elementos de proteção solar.

Somente o período sobre-aquecido (verão) foi transferido para esta carta, não mostrando a linha que representa a necessidade de sombra nos períodos intermediários, que é variável, dependendo da estação (outono ou primavera). A mancha representada por Olgyay considera a necessidade de sombra maior durante o ano, já que é traçada pelo período quente. Ao se projetar uma proteção solar a partir desta mancha somente, corre-se o risco de superdimensioná-la para os períodos intermediários, no qual a necessidade de sombra é menor e variável.

De acordo com o autor, a partir das análises regionais percebe-se as diferenças entre os vários ambientes climáticos. As avaliações bioclimáticas mostram uma representação geral das

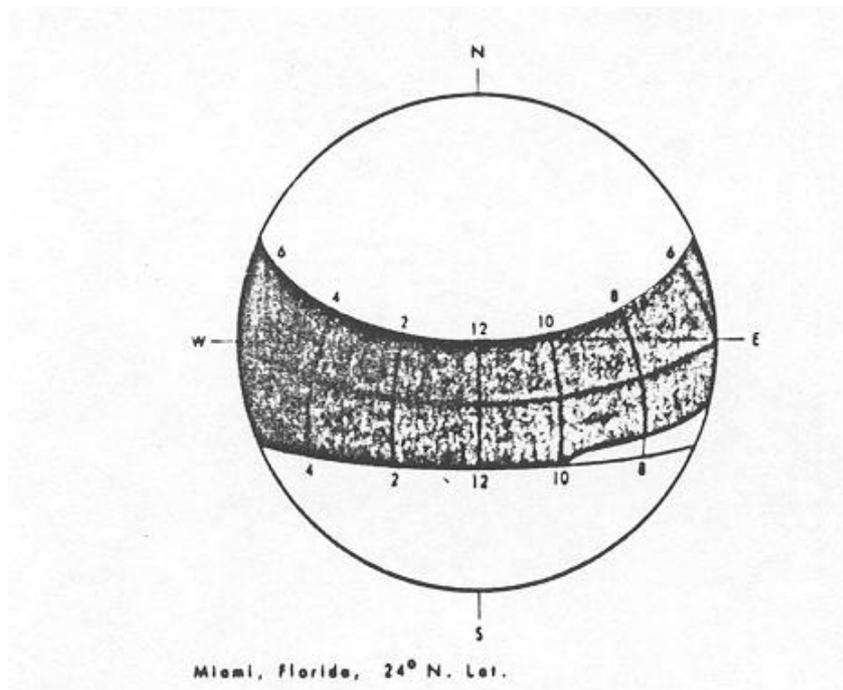


Figura 3.6 - Carta Solar com sombra desejável para Miami

fonte: Olgyay (1968)

relações entre as condições de conforto e o clima, informando detalhadamente sobre a importância

dos diferentes elementos climáticos em cada local particular, enquanto que o gráfico de avaliação anual mostra que elementos, quando e com que intensidade se necessita para restaurar as condições de conforto.

Olgyay ressalta que os gráficos foram avaliados com condições climáticas médias, já que tal critério foi considerado como um enfoque válido para a busca de estruturas balanceadas em condições normais. O autor continua: "Sem dúvida, quando se levar em

consideração algumas condições de projeto específicas (cálculo de tamanho de aberturas, por ex.), obter-se-ia melhor resposta utilizando-se temperaturas máximas."

3.1.4 - Limitações:

PIETROBON (1990), mostra a opinião de diversos autores sobre o método de Olgyay:

" KOENIGSBERGER et alii (1977) fornecem uma adaptação desta carta bioclimática para climas quentes, porém, observam que apesar de perfeitamente válidas, as conclusões de Olgyay, não tem utilidade comprovada como índice de conforto térmico. IZARD e GUYOT (1983) afirmam que o método foi baseado em informações fisiológicas com métodos ultrapassados, quando as técnicas atuais ainda não haviam sido desenvolvidas, considerando que o método embora pioneiro, apresenta poucos recursos para intervenção no edifício e está obsoleto. Esses autores afirmam sobre o método que:

- "Em primeiro lugar, o objetivo das pesquisas fisiológicas era o rendimento no trabalho e não o conforto térmico, o que pode conduzir a interpretações errôneas";

- "A umidade relativa não é um critério pertinente para o conforto térmico, a umidade absoluta é mais recomendada";

- "A necessidade de bloquear a radiação solar depende de outros fatores como, por exemplo, a inércia térmica da edificação e a amplitude das temperaturas externas, não podendo, portanto, ser representada por uma simples linha calcada numa só temperatura";

- "As correções que se fazem necessárias não levam em conta nada além dos dispositivos de controlo (radiação e ventilação) e não consideram as soluções em termos de concepção arquitetônica, excetuando-se, com as reservas já mencionadas, a proteção solar";

- "Faltam ao método os meios para determinar, por si só, os limites da zona de conforto";

"GIVONI (1976) também critica o método afirmando que: "o sistema é limitado na sua aplicabilidade como análise dos requisitos fisiológicos baseada no clima externo e não naquele esperado no edifício em questão". Continua complementando: "o método é assim suscetível de aplicação em regiões úmidas, onde a ventilação é essencial durante o dia e há pouca diferença entre as condições internas e externas. Mas a aplicação em áreas de clima quente e seco, particularmente nos sub-trópicos, pode induzir a conclusões errôneas". "

3.1.5 - Comparação da Zona de Conforto de Koenigsberger para climas quentes com a Zona de Conforto adaptada para os trópicos de Olgyay:

Koenigsberger et all (1977) fornecem uma adaptação da carta bioclimática de Olgyay para climas quentes. Neste diagrama a zona de conforto está delimitada entre 21####C e 30#### C de temperatura (bulbo seco) e entre as umidades relativas de 16% e 78% aproximadamente (ver fig. 3.7). Esta zona foi desenvolvida para pessoas que realizam trabalho sedentário, vestindo 1 clo.

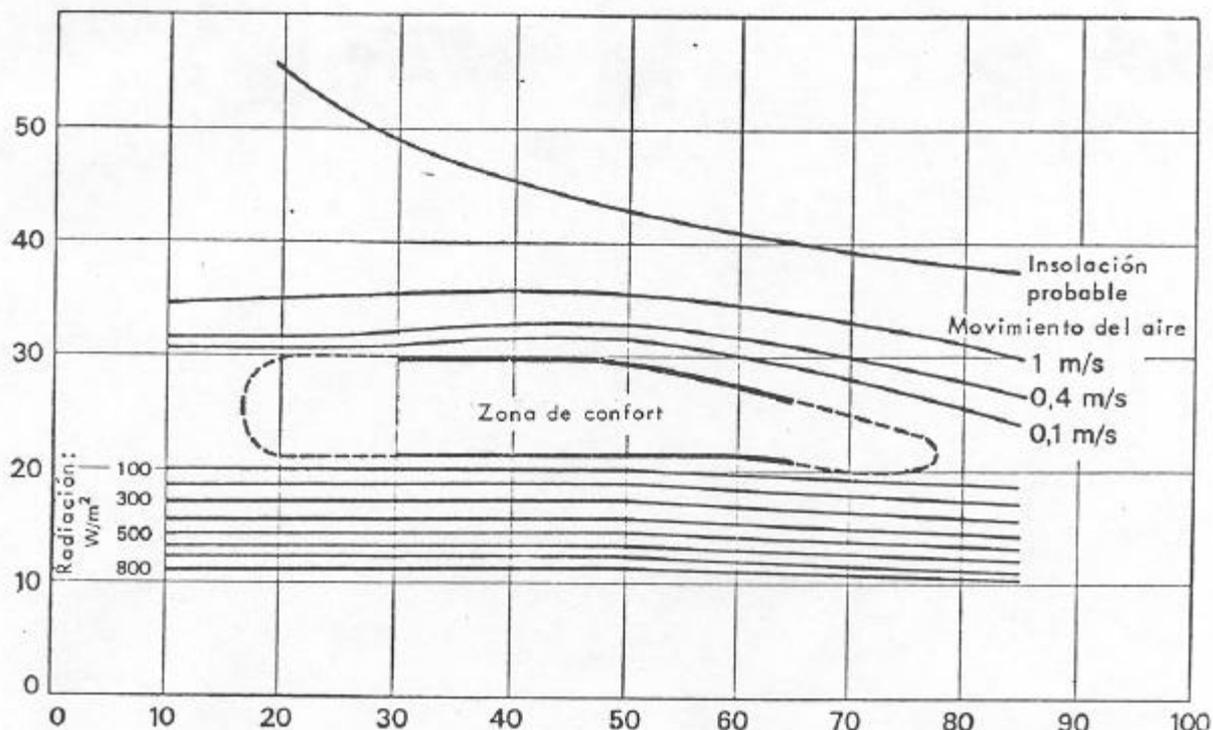


Figura 3.7 - Diagrama Bioclimático adaptado por Koenigsberger para climas quentes - fonte: Koenigsberger (1977)

Para a Colômbia, segundo o processo descrito anteriormente (item 2), as zonas de conforto variaram de acordo com a temperatura média do local, resultando nos seguintes limites de conforto.

	Temperatura (° C)	Umidade (%)
Bogotá	18,4 - 24,0	18 - 80
Cali	21,2 - 26,8	18 - 80
Buenaventura	23,2 - 28,8	18 - 75
Guapi	23,2 - 28,8	18 - 75
Ipiales	18,4 - 24,0	18 - 80

Coloca-se, a título de exemplo, o diagrama bioclimático desenvolvido para a cidade de Buenaventura que se encontra a 4° de latitude norte e a 5m de altitude (ver fig. 3.8).

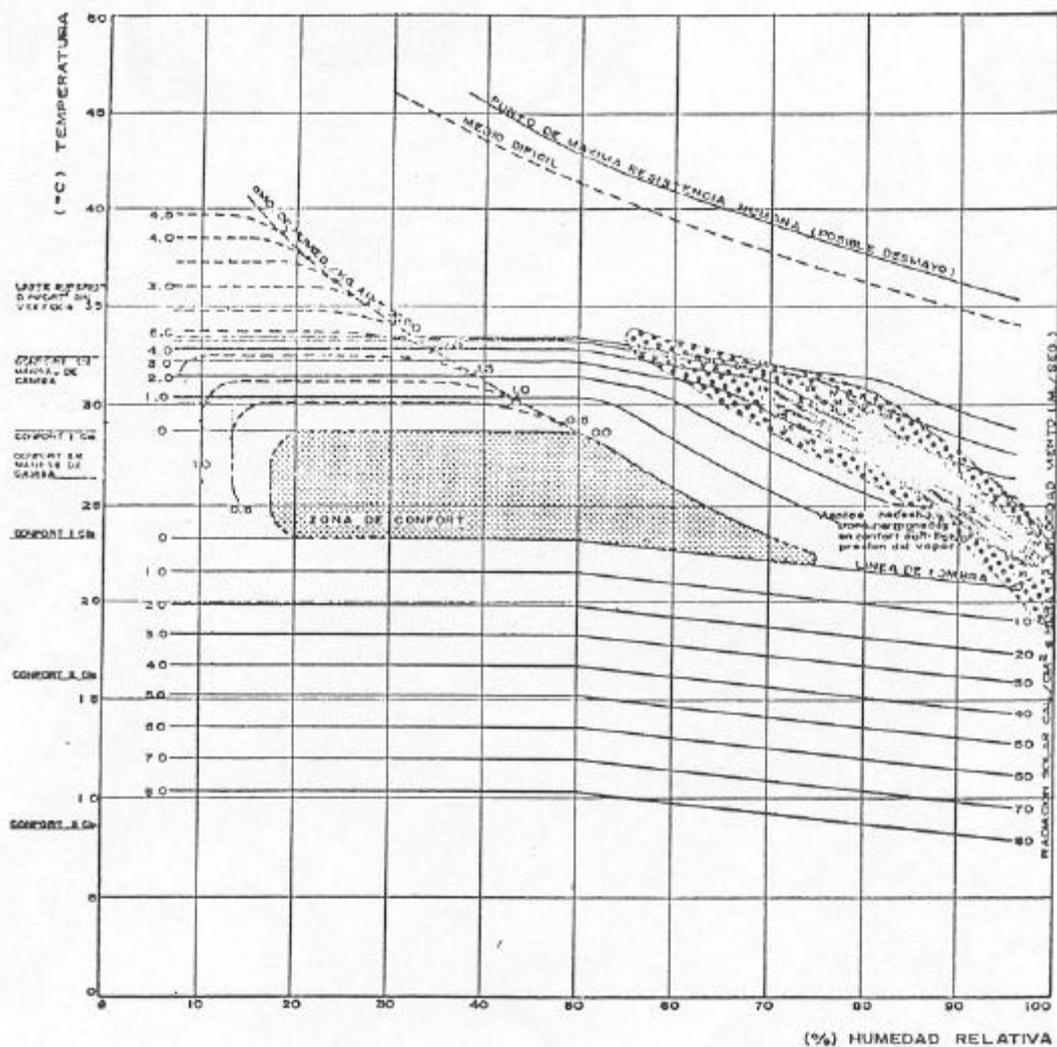


Figura 3.8 - Diagrama Bioclimático da cidade de Buenaventura - Colômbia

fonte: Olgay (1968)

As zonas de conforto das duas cartas foram elaboradas para pessoas exercendo atividades sedentárias, vestindo 1 clo, porém Olgay representa, no extremo esquerdo do gráfico, o fator vestimenta relacionado com conforto desde as condições de nudez até o valor de 3 clo, a intervalos de 1 clo.

No diagrama de Koenigsberger, as linhas representativas da radiação solar apresentam valores convertidos em W/m^2 . Para Buenaventura, Olgay apresenta a radiação em cal/cm^2h . Estas unidades são compatíveis e representam densidade de fluxo energético. Porém, não fica claro como estas transformações foram efetuadas, já que o gráfico original de Olgay mostra valores em Btu/h que corresponde a unidade de potência.

Verifica-se que a carta adaptada por Koenigsberger apresenta linhas relativas ao efeito dos ventos com velocidades de 0,1 m/s até 1 m/s, enquanto que para a Colômbia, Olgay mostra velocidades até 6m/s.

O diagrama de Koenigsberger foi elaborado para a Austrália e supõe-se para o nível do mar. Não foi encontrada referência ao fato da altitude ter influenciado no processo de

adaptação da zona de conforto e não se sabe se a carta adaptada para climas quentes pode ser aplicada para diferentes situações.

3.1.6 -Análise da Zona de Conforto para Florianópolis - método Olgay

À título de exemplificação, construiu-se a zona de conforto para Florianópolis pelo método Olgay para climas tropicais (**fig. 3.9**).

Os limites de temperatura da zona de conforto de verão foram construídos a partir da temperatura média mensal do mês mais quente (fevereiro):

$T_{med} = 24,5^{\circ} C$, diminuindo-se e acrescentando-se $2,8^{\circ} C$, obtém-se os limites de $21,7$ e $27,3^{\circ} C$.

Para a zona de inverno adotou-se o limite mínimo estabelecido por Olgay - $18,3^{\circ} C$, pois a temperatura média do mês mais frio está abaixo deste valor (julho: $T_{med}=16,6^{\circ} C$). O limite máximo de inverno ficou em $23,9^{\circ} C$.

Foram adotados os limites de umidade de 20% a 80%, conforme especificado por Olgay para países quentes.

Os pontos correspondentes aos valores horários de temperatura e umidade de um dia típico de verão e um de inverno foram plotados na carta (nível 2,5%), a fim de verificarmos o comportamento do clima.

Foram plotados também, um dia mensal médio de inverno (julho) e de verão (fevereiro), representados através de uma reta unindo os pontos de temperatura média das máximas com umidade relativa mínima e temperatura média das mínimas com umidade relativa máxima.

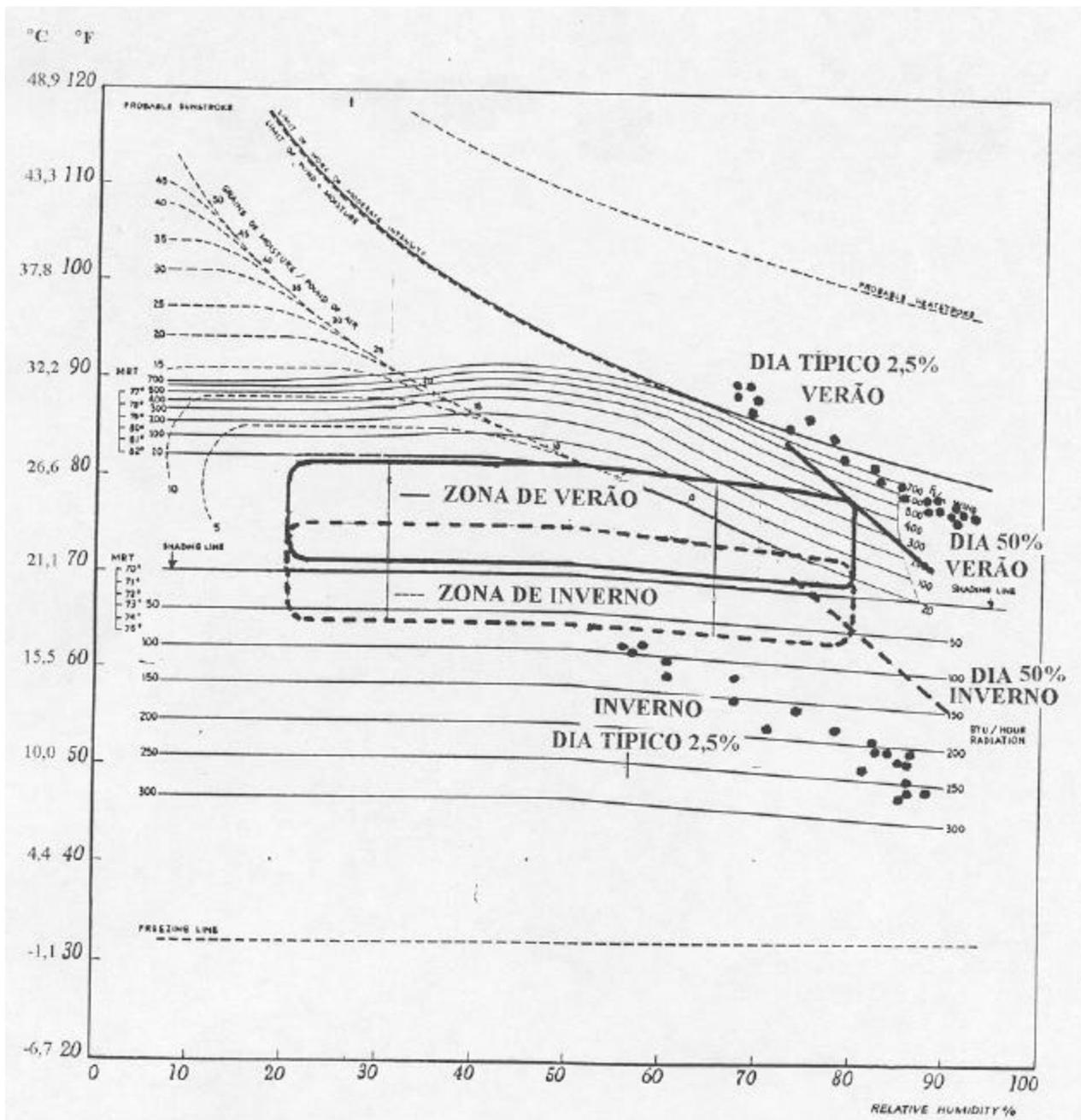


Figura 3.9 - Zona de Conforto para Florianópolis - método Olgay

De acordo com a interpretação da carta, no caso de Florianópolis, necessita-se de ventilação para o período de verão e aquecimento para o período de inverno.

3.1.7 - Conclusões

O método de Olgyay apresenta algumas limitações, embora deva-se reconhecer sua importância como pioneiro em estudos de bioclimatologia.

A metodologia não é de fácil aplicabilidade quanto a definição da zona de conforto, pois não especifica de maneira prática a curva dos limites superiores (altas temperaturas com altas umidades relativas).

Embora apresente as linhas correspondentes aos elementos climáticos para restabelecer a sensação de conforto, não deixa claro como chegou a estas quantificações.

O método é limitado na sua aplicabilidade pois é baseado no clima externo e não naquele esperado dentro da edificação.

ANÁLISE DAS ZONAS DE CONFORTO PELO MÉTODO DE FANGER

Após os estudos apresentados sobre o método de Olgyay, foram feitas algumas verificações através da equação de Fanger para determinação dos valores de PMV e PPD de pontos limítrofes das zonas de conforto.

Pôde-se verificar, então, os índices PMV e PPD obtidos na análise de conforto dos seguintes diagramas bioclimáticos:

- 1) Original de Olgyay para os EUA;
- 2) De Koenigsberger adaptado do diagrama de Olgyay para climas quentes;
- 3) Olgyay adaptado para trópicos (Buenaventura - Colômbia);

As variáveis do ambiente térmico utilizadas nesta aplicação foram a temperatura do ar (bulbo seco) e umidade relativa do ar. Tais variáveis foram extraídas graficamente de pontos determinados nos limites das zonas dos respectivos diagramas (fig. 3.10 a 3.12).

Para se calcular os valores de PMV e PPD de cada ponto considerou-se a temperatura radiante média igual à temperatura do ar em todos os casos. Foram considerados velocidade do ar igual a zero, vestimenta de 1clo e atividade sedentária (70 W/m^2). As unidades foram convertidas para o SI.

ÍNDICES PMV E PPD (FANGER) OBTIDOS NA ANÁLISE DE CONFORTO DO DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO ORIGINAL DE OLGYAY PARA OS EUA

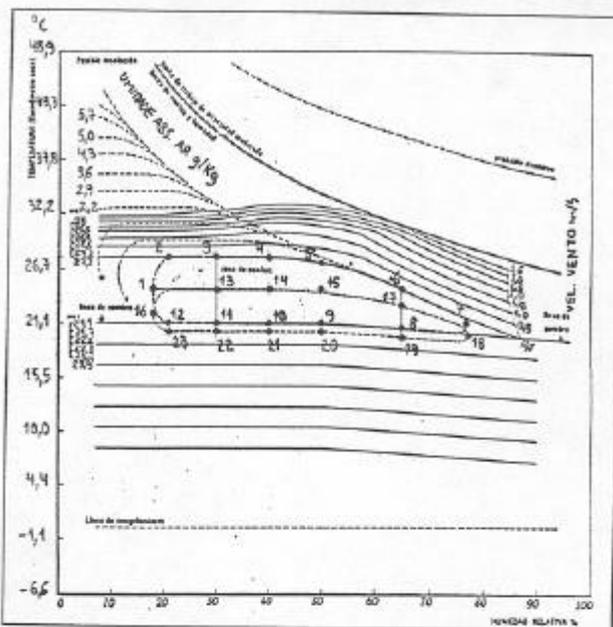


Figura 3.10 : Pontos escolhidos no Diagrama Original

Tabela 3.1: Olgay x Fanger (1 CLO)

PONTOS	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMID. RELAT. DO AR (%)	PMV (%)	PPD (%)	AVAL.
1	34,7	18,0	0,5	10,5	-
2	27,8	21,0	1,1	35,2	-
3	27,8	30,0	1,2	38,9	-
4	27,8	40,0	1,3	43,2	-
5	27,2	50,0	1,3	40,4	-
6	24,7	55,0	0,8	19,8	-
7	21,1	78,0	0,0	5,1	ok
8	20,6	65,0	-0,1	5,3	ok
9	21,1	50,0	0,0	5,1	ok
10	21,1	40,0	-0,1	5,3	ok
11	21,1	30,0	-0,1	5,7	ok
12	21,1	21,0	-0,2	6,1	ok
13	24,7	30,0	0,5	12,4	-
14	24,7	40,0	0,6	14,2	-
15	24,7	50,0	0,7	16,3	-
16	22,8	18,5	0,1	5,2	ok
17	23,3	65,0	0,5	10,4	-
18	20,6	78,0	-0,1	5,6	ok
19	19,2	65,0	-0,4	8,8	ok
20	20,2	50,0	-0,2	6,6	ok
21	20,2	40,0	-0,3	7,3	ok
22	20,2	30,0	-0,3	8,1	ok
23	20,2	21,0	-0,4	8,9	ok

Variação da Vestimenta

PMV (%)	PPD (%)	AVAL.
-0,2	6,2	ok ^{*1}
0,6	15,0	... ^{*1}
0,7	17,3	... ^{*1}
0,8	20,1	... ^{*1}
0,9	23,3	... ^{*1}
0,0	5,1	ok ^{*1}
0,0	5,0	ok ^{*2}
-0,1	5,5	ok ^{*2}
-0,1	5,2	ok ^{*2}
-0,1	5,5	ok ^{*2}
-0,2	6,4	ok ^{*2}
-0,1	5,5	ok ^{*2}
0,0	5,1	ok ^{*1}
0,0	5,0	ok ^{*2}
0,0	5,1	ok ^{*2}
0,4	9,9	ok ^{*2}
0,1	5,2	ok ^{*2}
-0,1	5,2	ok ^{*2}
0,0	5,0	ok ^{*2}
0,0	5,0	ok ^{*2}
0,0	5,1	ok ^{*2}
0,1	5,4	ok ^{*2}

- NOTAS:** ^{*1}) Como a temperatura do ar é maior ou igual a 24,7 C, optou-se pela seguinte composição de vestimenta: roupa íntima, camiseta, calça fina, meias e sapatos (0,4CLO).
^{*2}) Como a temperatura do ar está entre 21,1 C e 24,7 C, optou-se pela seguinte composição de vestimenta: roupa íntima, camisa grossa curta, blusa fina, calça média, meias e sapatos (0,9 CLO).
^{*3}) Como a temperatura do ar é menor do que 21,1 C, optou-se pela seguinte composição de vestimenta: roupa íntima, camisa de mangas compridas, blusa grossa, calça grossa, meias e sapatos (1,2 CLO).

ÍNDICES PMV E PPD (FANGER) OBTIDOS NA ANÁLISE DE CONFORTO DO DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE KOENIGSBERGER ADAPTADO DO DIAGRAMA DE OLGYAY PARA CLIMAS QUENTES

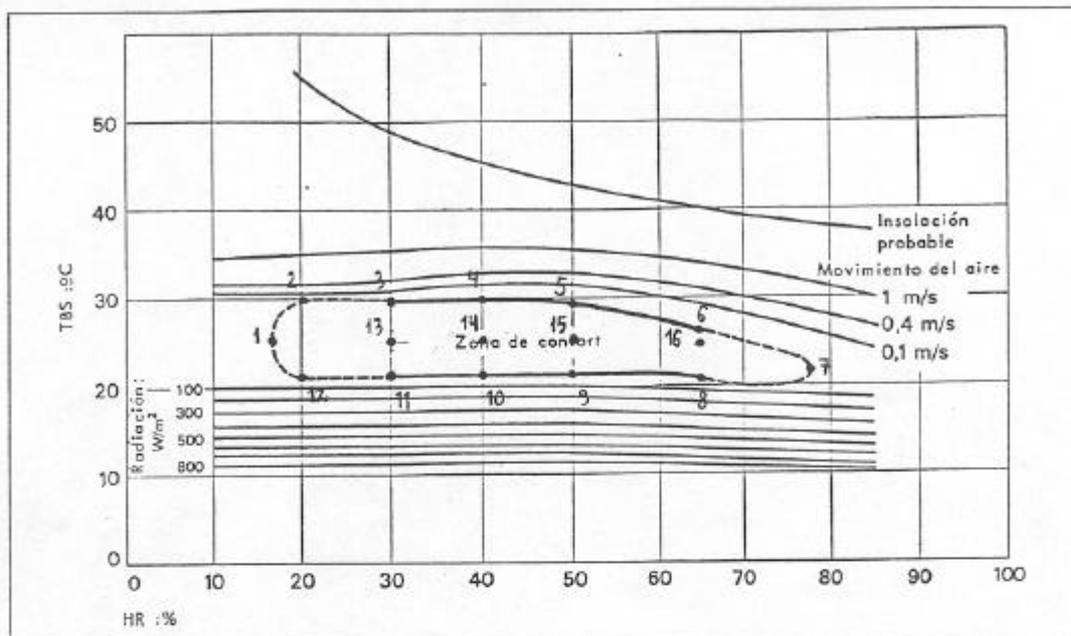


Figura 3.11 : Pontos escolhidos no Diagrama Bioclimático de Koenigsberger

Tabela 3.2 : Koenigsberger x Fanger (1 CLO) e

Alteração da vestimenta

PONTOS	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMID. RELAT. DO AR (%)	PMV (%)	PPD (%)	AVAL.
1	25,0	17	0,5	11,8	...
2	30,0	20	1,6	59,2	...
3	30,0	30	1,7	64,2	...
4	30,0	40	1,8	69,1	...
5	29,0	50	1,7	61,8	...
6	26,5	65	1,2	38,1	...
7	22,0	78	0,2	6,7	ok
8	21,0	65	0,0	5,0	ok
9	21,5	50	0,0	5,0	ok
10	21,5	40	0,0	5,0	ok
11	21,5	30	-0,1	5,2	ok
12	21,5	20	-0,1	5,5	ok
13	25,0	30	0,6	14,1	...
14	25,0	40	0,7	16,2	...
15	25,0	50	0,8	18,5	...
16	25,0	65	0,9	22,3	...
17	20,0	75	-0,1	5,7	...

PMV (%)	PPD (%)	AVAL.
-0,2	6,7	ok ^{*1}
1,3	41,5	... ^{*1}
1,4	46,5	... ^{*1}
1,5	51,6	... ^{*1}
1,2	39,0	... ^{*1}
0,5	11,4	... ^{*1}
-0,1	5,4	ok ^{*2}
-0,1	5,6	ok ^{*2}
-0,1	5,3	ok ^{*2}
-0,1	5,7	ok ^{*2}
-0,2	6,3	ok ^{*2}
-0,3	6,9	ok ^{*2}
-0,1	5,8	ok ^{*1}
-0,1	5,3	ok ^{*1}
0,0	5,0	ok ^{*1}
0,0	5,0	ok ^{*1}
-0,3	7,7	ok ^{*2}

NOTAS: *1) Como a temperatura do ar é maior ou igual a 25 C, optou-se pela seguinte composição de vestimenta: roupa íntima, camiseta, calça fina, meias e sapatos (0,4CLO).

*2) Como a temperatura do ar é menor que 25 C, optou-se pela seguinte composição de vestimenta: roupa íntima, camisa grossa curta, blusa fina, calça média, meias e sapatos (0,9 CLO).

INDICES PMV E PPD (FANGER) OBTIDOS NA ANÁLISE DE CONFORTO DO DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE OLGYAY PARA TRÓPICOS (BUENAVENTURA, COLÔMBIA)

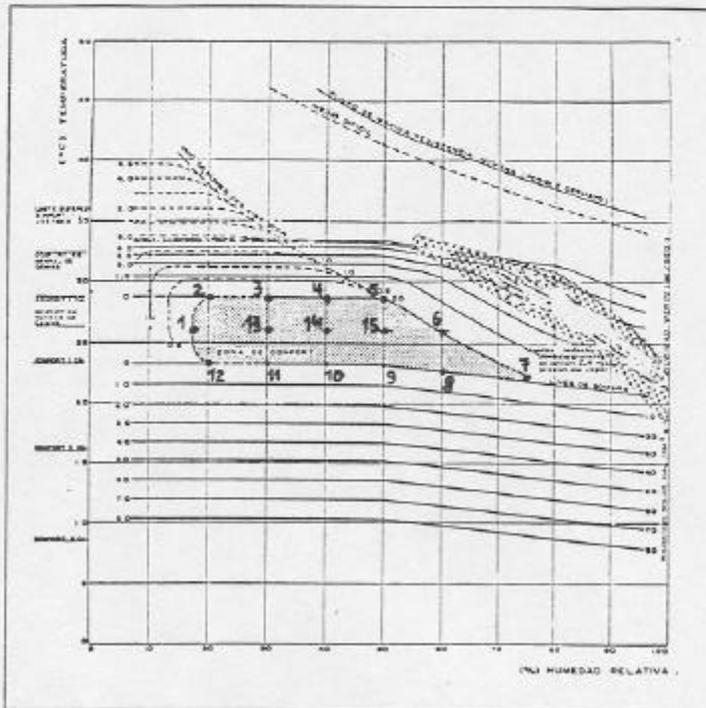


Figura 3.12 : Pontos escolhidos no Diagrama para Buenaventura, Colômbia

Tabela 3.3 : Olgay x Fanger (1 CLO)

e

Análise da Vestimenta

PONTOS	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMID. RELAT. DO AR (%)	PMV (%)	PPD (%)	AVAL.
1	26,0	18	0,7	18,1	
2	28,5	20	1,3	41,5	...
3	28,5	30	1,4	46,1	...
4	28,5	40	1,4	50,8	...
5	28,5	50	1,5	55,5	...
6	26,0	60	1,1	30,7	...
7	22,5	75	0,3	8,1	OK
8	23,0	60	0,4	8,5	OK
9	23,5	50	0,4	9,4	OK
10	23,5	40	0,3	8,2	OK
11	23,5	30	0,3	7,3	OK
12	23,5	20	0,2	6,5	OK
13	26,0	30	0,8	21,3	...
14	26,0	40	0,9	23,2	...
15	15,0	50	1,0	27,3	...

CLO p/ PMV=-1	CLO p/ PMV=0	CLO p/ PMV=+1
0,00	0,40	1,30
...	0,00	0,60
...	...	0,50
...	...	0,40
...	...	0,35
...	0,25	0,90
0,30	0,75	1,80
0,28	0,70	1,80
0,25	0,70	1,80
0,25	0,70	1,80
0,28	0,75	1,90
0,30	0,80	...
0,00	0,35	1,20
...	0,30	1,10
1,20	2,00	...

Pelos valores de PMV e PPD obtidos podemos concluir que (tabelas 3.1 a 3.3):

- O índice de pessoas insatisfeitas (PPD) resultaram altos em muitos pontos, principalmente no limite superior das zonas onde os valores de temperaturas são maiores.

- Observa-se que os índices mais altos ocorreram nos pontos situados no diagrama bioclimático de Koenigsberger adaptado para climas quentes.

- Tais fatos se devem, provavelmente, a desconsideração da aclimação e do tipo de vestimenta das pessoas que vivem em climas quentes. A adoção de 1 CLO é inadequada para temperaturas elevadas - o limite superior da zona de conforto de Koenigsberger é de 30 ° C. Portanto, ao se adequar o valor da vestimenta, o índice de PPD conseqüentemente será diminuído como pode-se observar nas tabelas.

3.2 - O Método de GIVONI

3.2.1- A Carta Bioclimática para Edifício por Givoni (original)

A carta bioclimática para o edifício, (BBCC) "**Building Bioclimatic Chart**", foi desenvolvida por GIVONI (1969), para corrigir as limitações do diagrama bioclimático idealizado por OLGAYAY conforme GIVONI (1992).

A principal diferença entre estes dois sistemas é que o diagrama de OLGAYAY (1963) é desenhado entre dois eixos, sendo o eixo vertical o das temperaturas (secas) e o eixo horizontal o das umidades relativas; enquanto que a carta de Givoni (BBCC), é traçada sobre uma carta psicrométrica convencional segundo GIVONI (1992).

Outra diferença nos sistemas é que GIVONI se baseia em temperaturas internas ao edifício, as quais foram obtidas através de cálculos, que projetam as temperaturas esperadas para o interior. Os limites da (BBCC) foram baseados em pesquisas realizadas nos Estados Unidos, na Europa e em Israel, considerando a temperatura interna esperada para um edifício sem climatização artificial e projetado adequadamente para o local onde está construído, isto é: considerando que o edifício é inerte termicamente, protegido eficientemente contra a radiação solar e com ventilação adequada. O diagrama de OLGAYAY entretanto é aplicável estritamente para as condições externas. OLGAYAY justifica que em suas experiências as temperaturas internas foram muito próximas das temperaturas externas e sugere que seu diagrama seja usado como diretrizes e informações de ventilação, principalmente para edifícios leves em regiões úmidas como o leste dos Estados Unidos onde morou e **indica as estratégias para o interior** conforme descrito por GIVONI (1992). Embora o diagrama de OLGAYAY seja para condições externas como afirma GIVONI (1992), as estratégias de projeto sugeridas no diagrama são para o interior. Isto não ficou muito esclarecido através das informações coletadas na revisão bibliográfica.

Nos sistemas desenvolvidos por OLGYAY e GIVONI, aparecem alternativas para dilatar a zona de conforto através da adoção de estratégias arquitetônicas para alterar a sensação do clima em estudo. No caso da carta de OLGYAY, os limites de conforto foram obtidos de pesquisas anteriores, efetuadas por fisiologistas, e no caso de GIVONI foram baseadas num índice de conforto térmico desenvolvido por ele mesmo denominado de ITS (Index of Thermal Stress), de caráter biofísico.

No diagrama bioclimático de OLGYAY sugere-se que sejam plotadas as curvas fechadas ciclogramas das médias diárias (hora por hora), das condições de temperatura e umidade para cada mês, de uma dada localidade. Na carta bioclimática de edifícios de GIVONI, o clima local é representado mês a mês, por dois pontos cujas coordenadas são as médias mensais dos valores extremos do par temperatura e umidade diária do ar externo. Isto não impede que sejam plotadas condições climáticas com a periodicidade que se desejar. Este diagrama serve para comprovar ao mesmo tempo a exigência humana, o rigor do clima local e a resposta qualitativa global de soluções arquitetônicas segundo IZARD e GUYOT (1980). (Ver figuras 3.13 a b c d 3.14 e 3.15)

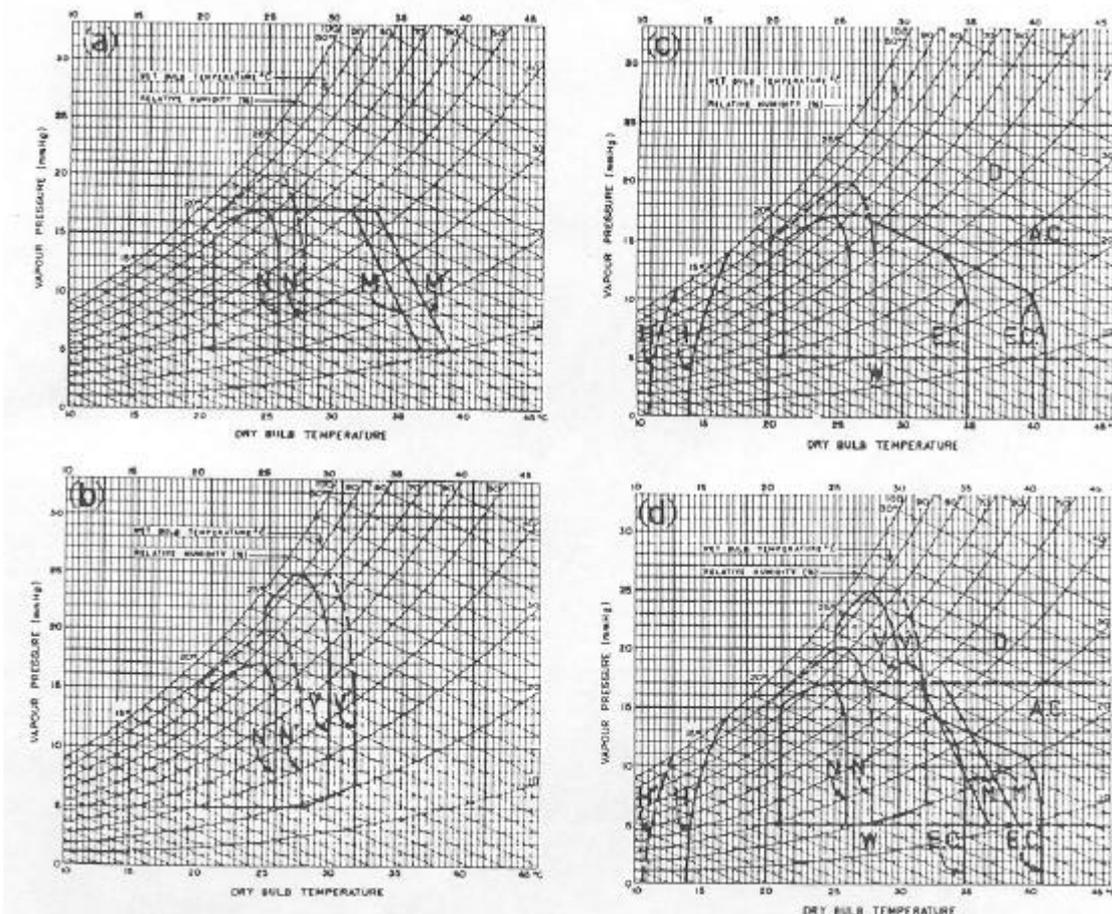


Figura 3.13 (a, b, c, d) - Carta Bioclimática do Edifício (1969)

fonte: Givoni (1976)

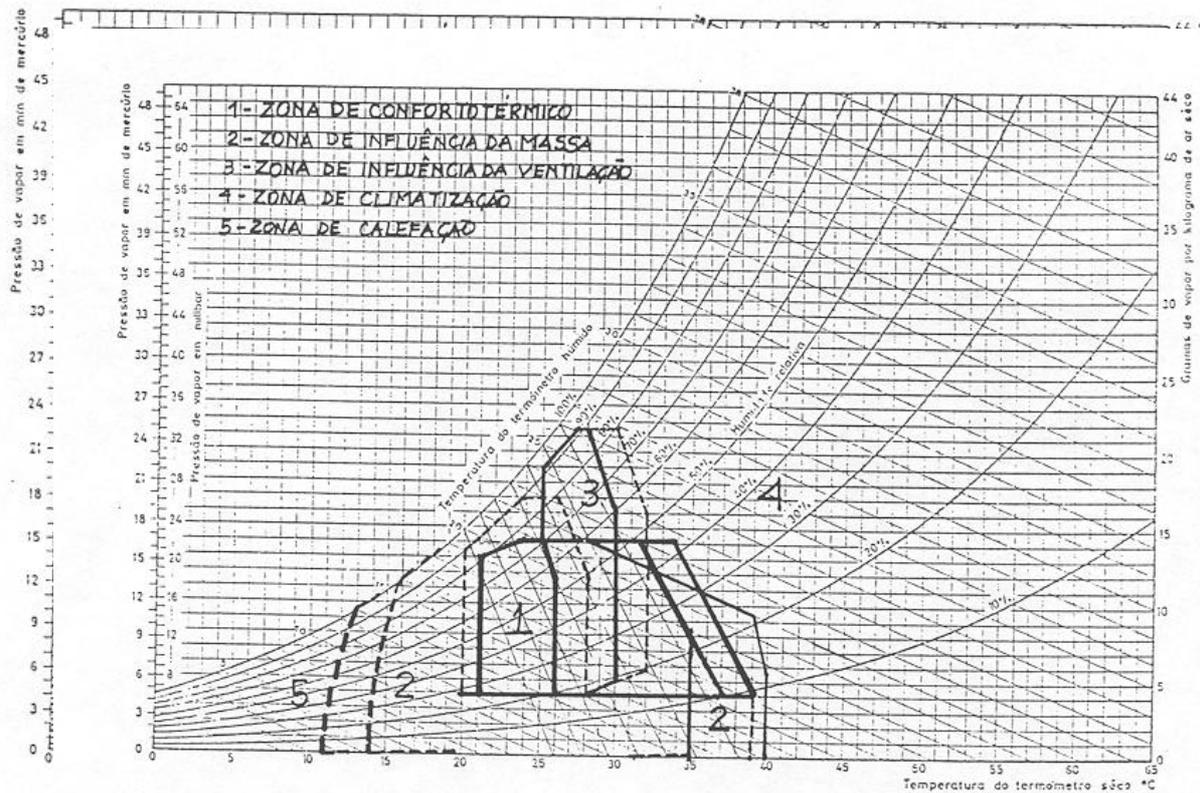


Figura 3.14 Método para montagem do diagrama bioclimático de GIVONI

ANÁLISE DAS ZONAS DE CONFORTO PELO MÉTODO DE FANGER

Para cada ponto extremo que delimita as zonas de conforto dos diagramas, foram feitas aplicações através da equação de Fanger para determinação do valor do PMV e PPD.

Como no método anterior, as variáveis do ambiente térmico utilizadas nesta aplicação foram a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa do ar estimadas graficamente sobre a carta psicrométrica em escala com unidades no S.I. nos pontos extremos das zonas de conforto dos referidos gráficos.

Para calcular os valores de PMV e PPD de cada ponto, considerou-se a temperatura radiante média igual à temperatura do ar em todos os casos. Os valores de velocidade relativa do ar, as condições de arroupamento e atividade metabólica, foram considerados conforme previstos nos métodos originais. Como em todos os casos a atividade metabólica era sedentária, a sua eficiência mecânica foi considerada nula.

As tabelas dos resultados de aplicação da equação de Fanger indicam os seguintes itens:

- T (°C) = temperatura do ar em graus centígrados.
- V (m/s) = velocidade do ar em metros por segundos.

TRM = temperatura radiante média (considerada igual à temperatura do ar).

Iclo (clo) = índice de resistência térmica da roupa em (clo).

A (met) = atividade metabólica em (met).

UR (%) = umidade relativa em porcentagem.

EMEC = eficiência mecânica

PMV = voto médio estimado

PPD % = porcentagem de pessoas insatisfeitas

No campo de avaliação a seta indica os pontos onde foi necessário modificar o valor de Iclo e velocidade do vento para satisfazer o PMV recomendado pela ISO 7730 (faixa de -0,5 a 0,5).

VALORES OBTIDOS DE PMV E PPD APÓS A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE FANGER NO DIAGRAMA GIVONI (1969).

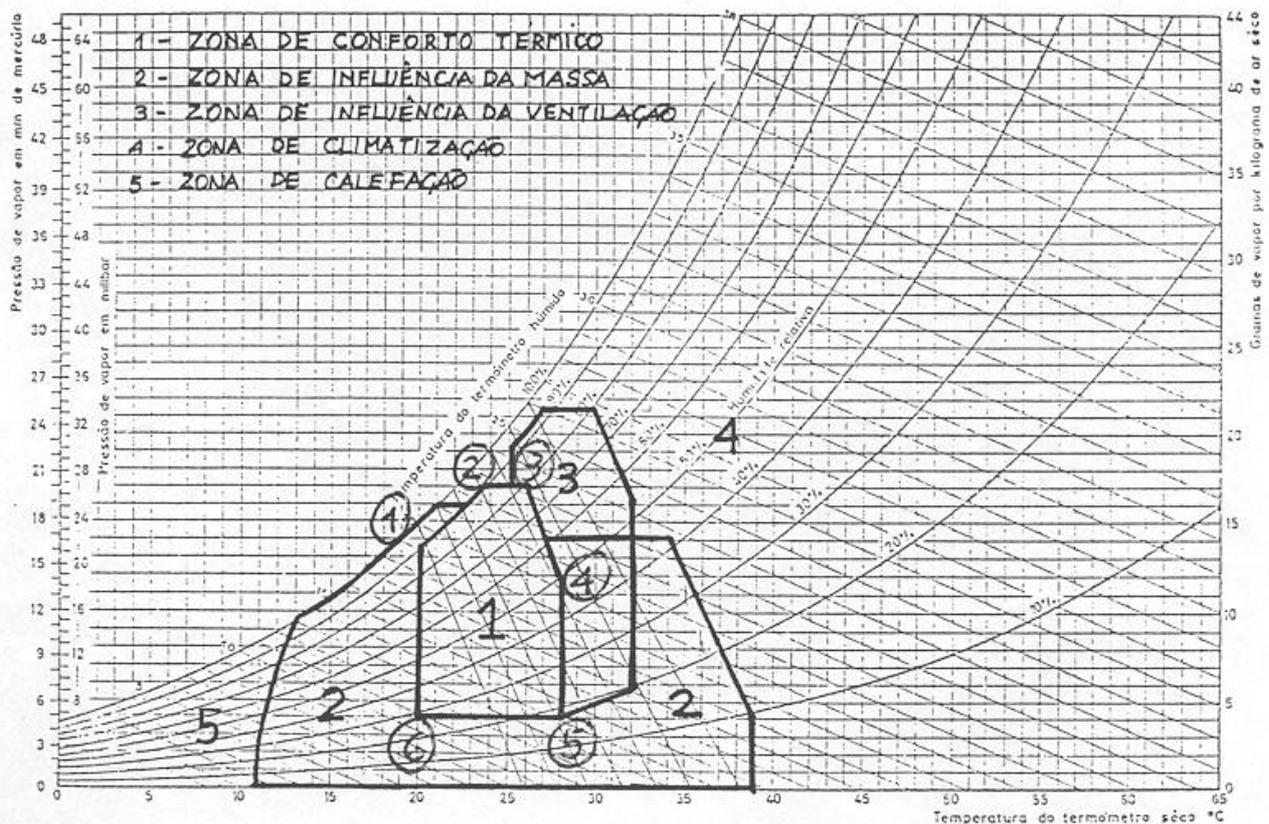


Figura 3.15 Reprodução do diagrama de GIVONI (1969) para aplicação da equação de fanger nos pontos assinalados com um círculo.

Tabela 3.4. - GIVONI (original) X FANGER

ponto N°	T °C	V m/s	TRM	Icl(clo)	A (met)	UR%	EMEC	PMV	PPD %	avaliação
1	21.0	0.10	21.0	0.9	1.0	85	0	0.22	7.10	OK
2	23.0	0.10	23.0	0.7	1.0	85	0	0.40	10.30	OK
3	25.0	0.10	25.0	0.4	1.0	75	0	0.41	10.50	OK
4	26.0	0.10	26.0	0.3	1.0	57	0	0.42	10.60	OK
5	26.0	0.10	26.0	0.4	1.0	20	0	0.20	6.80	OK
6	21.0	0.10	21.0	0.9	1.0	30	0	-0.05	5.10	OK

3.2.2 - A Carta Bioclimática Aperfeiçoada por Givoni e Milne

Segundo CERER (1990) O diagrama bioclimático feito por GIVONI E MILNE (1979) a partir da carta bioclimática original de Givoni tem as seguintes características:

- i) Polígono de conforto: zona C conforme (figura 3.16) para ar calmo, $V < 0,1$ m/s. Fora desta situação ideal, nas quais as condições exteriores são particularmente ou completamente fora da zona de conforto é necessário a intervenção de dispositivos arquitetônicos ou técnicos, os quais estão localizados no diagrama e cujo domínio da influência estendem as condições interiores para a situação de conforto térmico.
- ii) Zona de influência da ventilação (natural ou artificial) onde o polígono de conforto se dilata - zona V o ar circula a uma velocidade menor que 1,5 m/s.
- iii) Zonas de influência dos principais dispositivos arquitetônicos e técnicos
 - Zona de forte inércia térmica - Zona I
 - Zona de forte inércia térmica com ventilação noturna - Zona IVN
 - Zona de resfriamento por evaporação - Zona RE
 - Zona de desumidificação - Zona DH
 - Zona de condicionamento de ar - Zona AC
 - Zona de aquecimento - Zona H

No diagrama da figura 3.16 as zonas I e IVN, foram ligeiramente modificadas para concordarem com aquelas propostas por GIVONI E MILNE . O diagrama dá os limites climáticos exteriores que permitem obter as condições internas confortáveis para um edifício inerte, protegido eficientemente contra a radiação solar, com ventilação adequada. Este diagrama é válido para pessoas aclimatadas, em repouso ou em atividade sedentária, com vestimenta leve de verão. As condições são para edifícios inertes, não climatizados artificialmente: com proteção solar máxima isto é quebra-sois eficazes à radiação solar global e/ou superfícies exteriores altamente reflexivas.

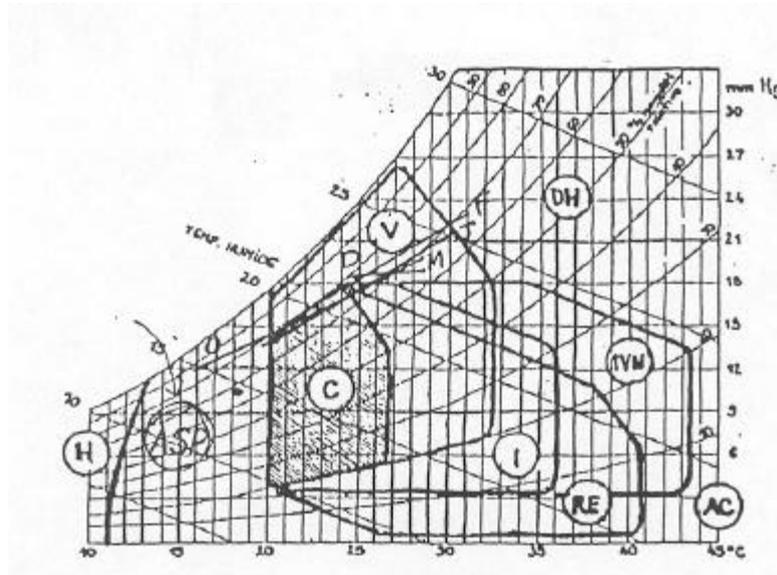


Figura 3.16- Diagrama de Givoni e Milne

fonte: Cerer (1990)

O edifício referido no diagrama de GIVONI e MILNE, constitui uma referência a partir da qual pode-se deduzir quais as zonas de influência a adotar para edifícios menos eficazmente protegido de radiações solares. Então, representando-se o clima local, por dois pontos mensais, (como indicado pelo método), sobre o diagrama, pode-se ler imediatamente as respostas apropriadas ao clima em estudo. O método GIVONI e MILNE é confiável para climas mediterrâneo e subtropicais onde foi desenvolvido. Entretanto deve-se ainda aperfeiçoar a questão das velocidades de ar no interior, uma vez que velocidades superiores a 1 m/s (exigidas pelo método em certos casos) são incompatíveis com atividades de escritórios. (ver figuras 3.17 3.18 e 3.19)

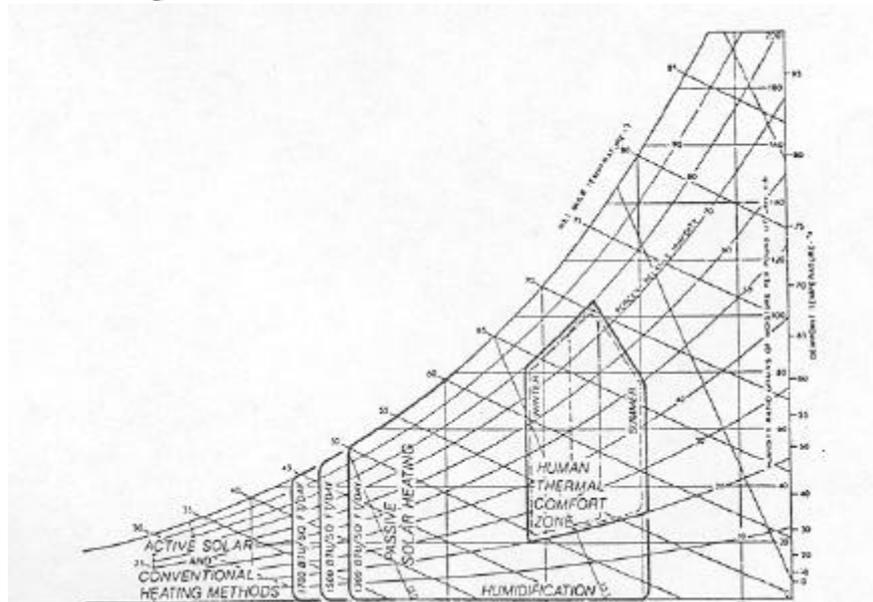


Figura 3.17 - Estratégias para aquecimento - Diagrama Givoni e Milne

fonte : Watson (1979)

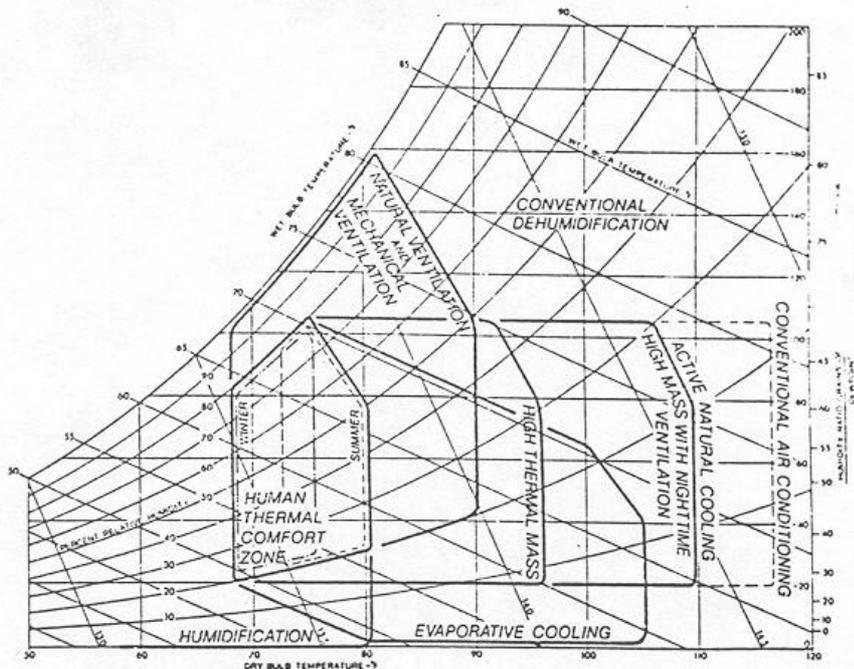


Figura 3.18 - Estratégias para resfriamento - Diagrama Givoni e Milne
 fonte: Watson (1979)

VALORES OBTIDOS DE PMV E PPD APÓS A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE FANGER NO DIAGRAMA GIVONI & MILNE (1979).

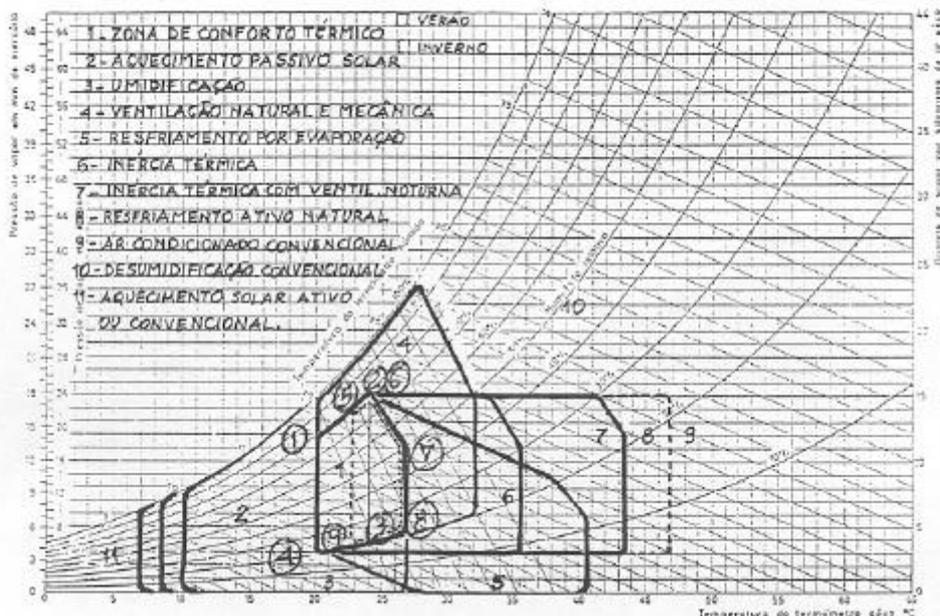


Figura 3.19 - Reprodução do diagrama de GIVONI & MILNE (1979) para aplicação da equação de fanger nos pontos assinalados com um círculo.

Tabela 3.5 - GIVONI & MILNE X FANGER

PONTO	T °C	V m/s	TRM	Icl(clo)	A (met)	UR%	EMEC	PMV	PPD %	avaliação
1	20.0	0.10	20.0	0.9	1.0	80	0	0.00	5.20	OK
2	24.0	0.10	24.0	0.4	1.0	80	0	0.17	6.50	OK
3	24.0	0.10	24.0	0.7	1.0	20	0	0.25	7.50	OK
4	20.0	0.10	20.0	0.9	1.0	20	0	-0.28	5.70	OK
5	22.0	0.10	22.0	0.7	1.0	80	0	0.15	6.30	OK
6	24.0	0.10	24.0	0.4	1.0	80	0	0.17	6.50	OK
7	27.0	0.10	27.0	0.2	1.0	50	0	0.50	12.50	OK
8	27.0	0.10	27.0	0.4	1.0	20	0	0.45	11.30	OK
9	22.7	0.10	22.7	0.9	1.0	20	0	0.22	7.00	OK

O método GIVONI & MILNE foi aplicado em 1986 para cidades da Venezuela, sendo citado por GONZALEZ et alii (1986). Estes autores adotaram uma nova zona de conforto térmico obtida através da superposição de seis, cinco e quatro zonas de conforto dentre as quais: Givoni, Olgyay, ASHRAE, Yaglou -Drinker, Koenigsberger, Brooks e Gonzalez, com um intento teórico de obter uma zona de conforto utilizável na Venezuela. Além desta alteração os limites das estratégias de climatização foram também alterados. Entretanto os autores salientam a necessidade de uma avaliação experimental para a comprovação e o estabelecimento das modificações necessárias. (ver figuras 3.20 e 3.21).

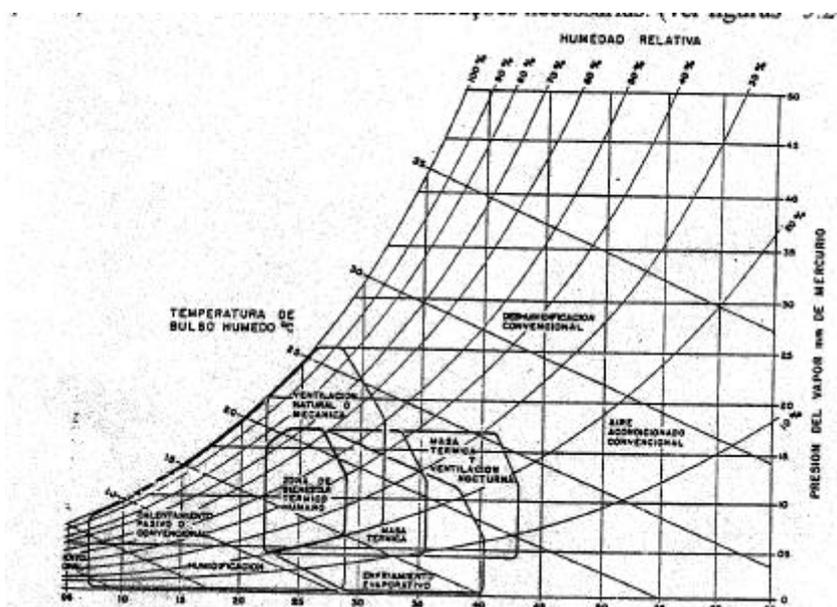


Figura 3.20 - Carta Bioclimática de Givoni feita com base na zona de Conforto Térmico proposta para Maracaibo - fonte : Gonzalez (1986)

VALORES OBTIDOS DE PMV E PPD APÓS A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE FANGER NO DIAGRAMA GONZALEZ (1986).

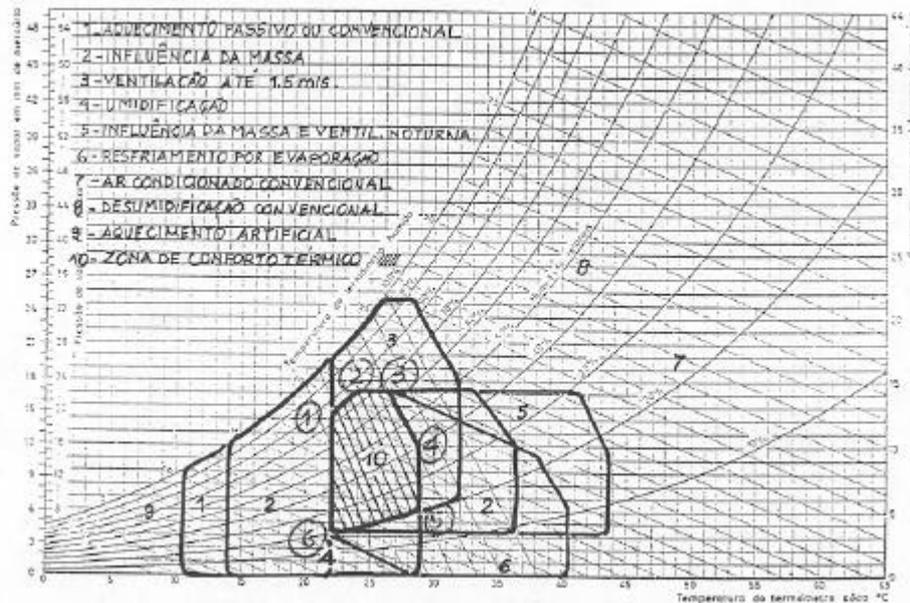


Figura 3.21 - Reprodução do diagrama de GONZALEZ (1986) para aplicação da equação de fanger nos pontos assinalados com um círculo.

Tabela 3.6 - GONZALEZ X FANGER

PONTO	T °C	V m/s	TRM	Iclo(clo)	A (met)	UR%	EMEC	PMV	PPD %	avaliação
1	22.0	0.10	22.0	0.7	1.0	75	0	0.12	6.00	OK
2	24.0	0.10	24.0	0.4	1.0	75	0	0.14	6.20	OK
3	26.5	0.10	26.5	0.2	1.0	65	0	0.45	11.30	OK
4	29.0	0.25	29.0	0.0	1.0	40	0	0.33	8.90	###
5	29.0	0.25	29.0	0.1	1.0	20	0	0.43	10.80	###
6	22.0	0.10	22.0	0.9	1.0	20	0	0.09	5.70	OK

3.2.3 - A Carta Bioclimática do Edifício por Givoni (atualizada em 1992)

Em seu trabalho mais recente GIVONI (1992) afirma que as novas pesquisas trouxeram mais informações e base científica para a demarcação das condições climáticas sob as quais diferentes estratégias de projeto para o conforto de verão podem ser aplicadas.

Os limites originais de conforto na carta bioclimática para o edifício foram baseados em pesquisas conduzidas nos Estados Unidos, Europa e Israel. Entretanto, considerando estudos conduzidos em países quentes e com base no fato de que pessoas que moram em

países de clima quente e úmido e em desenvolvimento aceitam limites máximos maiores de temperatura e umidade, sugere a expansão destes limites para estes locais.

Nesta carta bioclimática estão demarcados diferentes limites para climas temperados (países desenvolvidos) e para climas quentes (países em desenvolvimento). A carta também sugere limites das condições climáticas dentro das quais várias estratégias de projeto de edifícios e sistemas de resfriamento natural podem garantir conforto térmico interno.

As opções para estratégias são:- ventilação durante o dia, inércia térmica com ou sem ventilação, resfriamento evaporativo direto, resfriamento evaporativo indireto (através de tanques no forro).

As temperaturas limites a baixa e média umidade são independentes do nível de umidade porque na variação de umidade não afeta o conforto para pessoas sedentárias com roupas leves comuns. Para umidades altas, o efeito de temperatura e umidade interrelacionadas e o limite máximo de temperatura decresce com a alta umidade.

A variação de temperaturas sugeridas de condições aceitáveis em climas quente e seco para pessoas que habitam países desenvolvidos é 18°C a 25°C no inverno e de 20°C a 27°C no verão. O limite máximo de temperaturas é aplicável em níveis baixos de umidade, abaixo de um conteúdo de vapor de 10 a 12 g / kg, para pessoas morando em países desenvolvidos e em desenvolvimento respectivamente. A altas umidades o limite máximo de temperaturas decresce progressivamente. O máximo limite de umidade em termos de umidade absoluta é 15 g / kg.

Givoni sugere elevar de 2°C a temperatura limite máxima, quando se trata de países de clima quente e em desenvolvimento, e também elevar de 2g /kg o valor do conteúdo de vapor.

O autor justificando a sua adaptação, afirma que:

- i) Os critérios para definir a aceitabilidade da velocidade de ventos são diferente para edifícios residenciais e edifícios de escritórios,.a ASHRAE especifica um limite máximo de 0.8 m/s para o interior de escritórios para não levantar papéis.
- ii) No edifício residencial o limite para velocidade do ar pode ser baseado no seu efeito para conforto , o que depende da temperatura.
- iii) A nova carta de temperatura efetiva mostra uma alteração do limite superior da sensação de conforto de 27.0°C para 29.7 °C quando a velocidade do ar é aumentada de 0.1 para 1.5 m/s.
- iv) Com base nos estudos experimentais de Wu, Tanabe e McIntyre sugere-se que em interiores com velocidade de ventos de 2.0 m/s a zona de conforto pode ser estendida para 30°C em países desenvolvidos , e para 32 °C nos países de clima quente em desenvolvimento e para pessoas aclimatadas. (ver figuras 3.22 3.23 e 3.24).

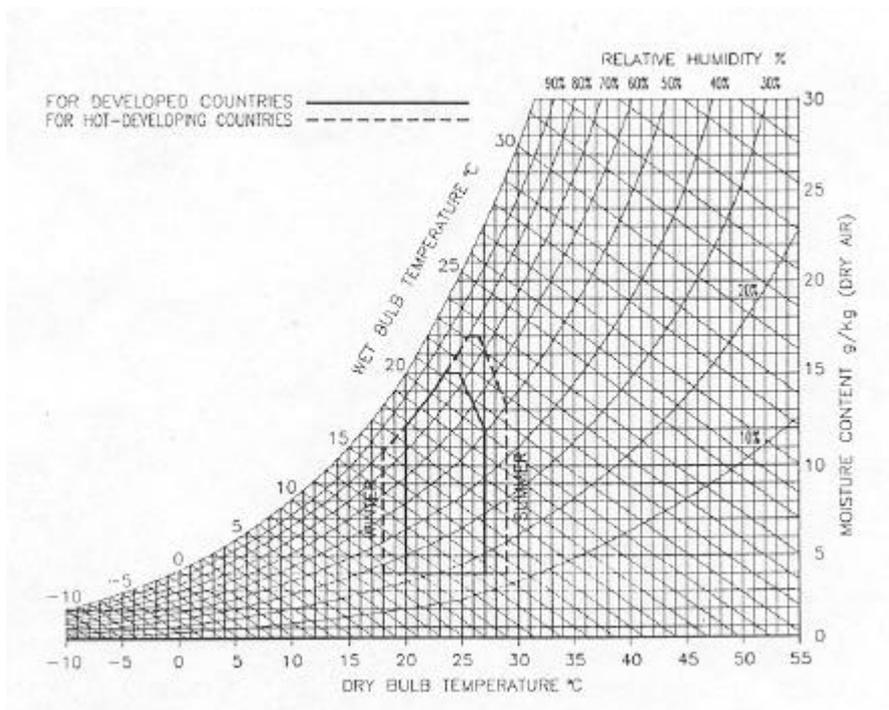


Figura 3.22 - Carta Bioclimática de Givoni para países desenvolvidos e em desenvolvimento
 fonte: Givoni (1992)

VALORES OBTIDOS DE PMV E PPD APÓS A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE FANGER NO DIAGRAMA GIVONI (1992).PAÍSES DESENVOLVIDOS

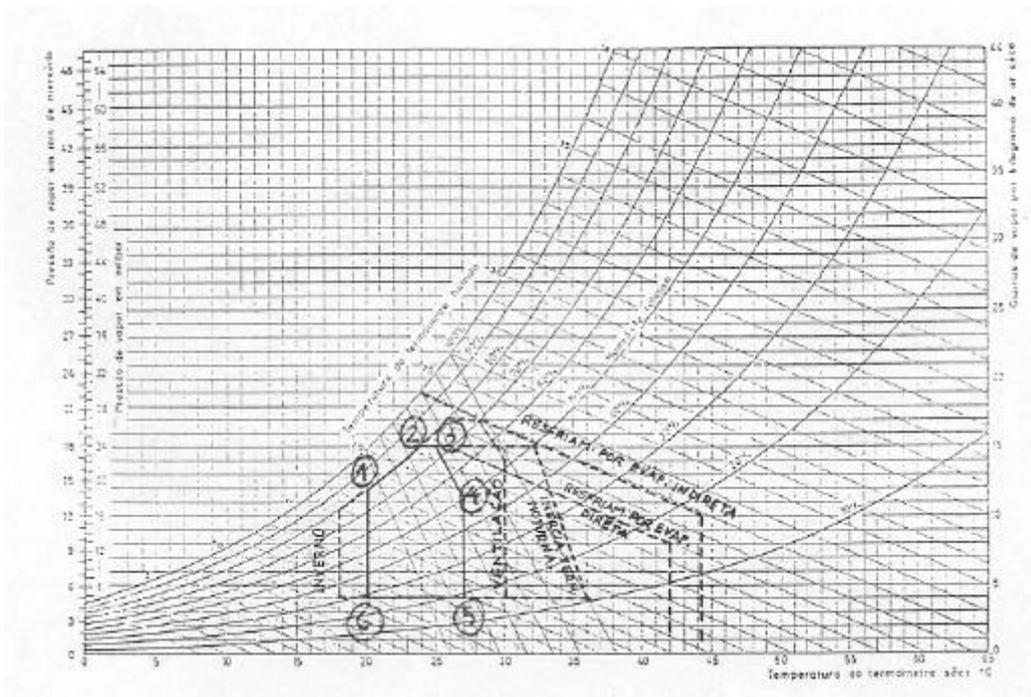


Figura 3.23 - Reprodução do diagrama de GIVONI (1992) países desenvolvidos para aplicação da equação de fanger nos pontos assinalados com um círculo.

Tabela 3.7 - GIVONI (1992) - Países desenvolvidos X FANGER

PONTO	T °C	V m/s	TRM	Iclo(clo)	A (met)	UR%	EMEC	PMV	PPD %	avaliação
1	20.0	0.10	20.0	0.9	1.0	80	0	0.00	5.20	OK
2	23.5	0.10	23.5	0.7	1.0	80	0	0.49	12.90	OK
3	25.0	0.10	25.0	0.4	1.0	75	0	0.41	10.50	OK
4	27.0	0.10	27.0	0.2	1.0	50	0	0.50	12.50	OK
5	27.0	0.10	27.0	0.3	1.0	15	0	0.41	10.30	OK
6	20.0	0.10	20.0	0.9	1.0	24	0	-0.26	5.60	OK

VALORES OBTIDOS DE PMV E PPD APÓS A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE FANGER NO DIAGRAMA GIVONI (1992).PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

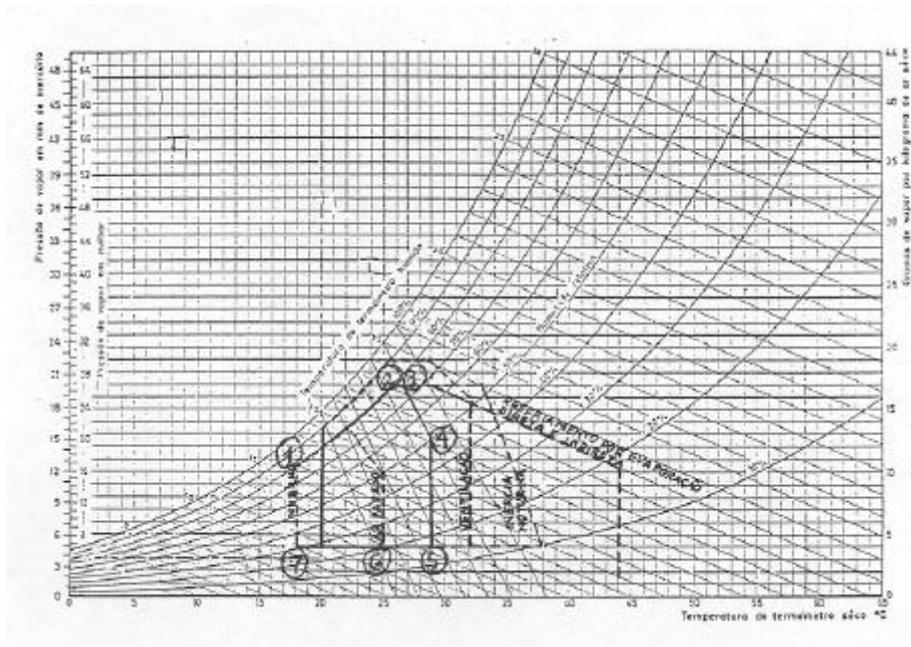


Figura 3.24 - Reprodução do diagrama de GIVONI (1992) países em desenvolvimento para aplicação da equação de fanger nos pontos assinalados com um círculo.

Tabela 3.8 - GIVONI (1992) - Países em desenvolvimento X FANGER

PONTO	T °C	V m/s	TRM	Iclo(clo)	A (met)	UR%	EMEC	PMV	PPD %	avaliação
1	18.0	0.10	18.0	1.0	1.0	80	0	-0.26	5.60	OK
2	25.5	0.10	25.5	0.3	1.0	80	0	0.42	10.70	OK
3	26.5	0.10	26.5	0.1	1.0	75	0	0.31	8.60	###
4	29.0	0.25	29.0	0.0	1.0	50	0	0.41	10.40	###
5	29.0	0.25	29.0	0.1	1.0	13	0	0.37	9.70	###
6	25.0	0.10	25.0	0.4	1.0	18	0	0.05	5.50	OK
7	18.0	0.10	18.0	1.0	1.0	27	0	-0.47	7.90	OK

3.3 - Zona de Conforto da ASHRAE

A zona de conforto da ASHRAE especifica limites para temperatura do ar e umidade para pessoas sedentárias, dentro dos quais o sistema mecânico deve manter o clima interno. Foi idealizada para uso em edifícios de escritórios com ar condicionado. Mas pode ser usada na avaliação de clima interno de edifícios residenciais. A zona de conforto da ASHRAE é bastante usada como base para a estruturação de cartas bioclimáticas. E se estende entre dois níveis fixos de conteúdo de vapor denominados **4 e 12 g/ kg**. Diferentes faixas de temperaturas foram dadas na última versão para verão, quando o edifício é resfriado e para o inverno, quando o edifício é aquecido considerando troca nos hábitos de vestimentas sazonais, e para aumento da conservação de energia.

O limite máximo de temperatura cai linearmente para as altas umidades e cresce com o aumento da velocidade de ventos.

Para as condições de ar parado (0.15 m/s no inverno e 0.25 m/s no verão) o limite máximo da ASHRAE para temperatura aceitável no verão se estende de 26°C com o conteúdo de umidade de 12 g / kg para até 27°C com 4 g / kg. (Ver figuras 3.25 e 3.27).

Com a velocidade de ventos alta o limite máximo de temperaturas é elevado de 1°C para um acréscimo de 0.275 m/s, acima de uma temperatura de 28°C a uma velocidade de 0.8 m/s a qual é o valor máximo permitido para velocidades de ventos no interior.

O limite máximo aceitável para umidade não é afetado com as altas velocidades de ar na norma ASHRAE.

Na opinião de Givoni alguns problemas existem para o uso da norma ASHRAE quando se trata de edifícios sem ar condicionado.

Outro problema diz respeito à aplicação do limite de umidade estipulado pela ASHRAE e as limitações para velocidade do ar quando se trata de locais quentes e úmidos.

Deveria se considerar a aclimação dos habitantes nestes locais e utilizar-se das altas velocidades do ar na acentuação de conforto quando o teor de umidade é elevado.

O diagrama atual ANSI - ASHRAE 55 - 92 modificou o limite inferior de umidade de 4 g / kg para 4,5 g / kg , e o limite máximo não é mais quantificado em umidade absoluta e sim em umidade relativa cujo valor atual é de 60 % . As temperaturas limites da zona de conforto de inverno são: 20°C ET* a 23.5°C ET* e as de verão são: 23°C ET* a 26°C ET*, para as seguintes condições: (fig. 3.29)

Para verão ⇒ 0.5 Clo; metabolismo ≤ 1,2 Met; vel. do ar ≤ 0,15 m/s; PPD = 10%

Para inverno ⇒ 0.9 Clo; metabolismo ≤ 1.2 Met; ≤ 0,15 m/s; PPD = 10%

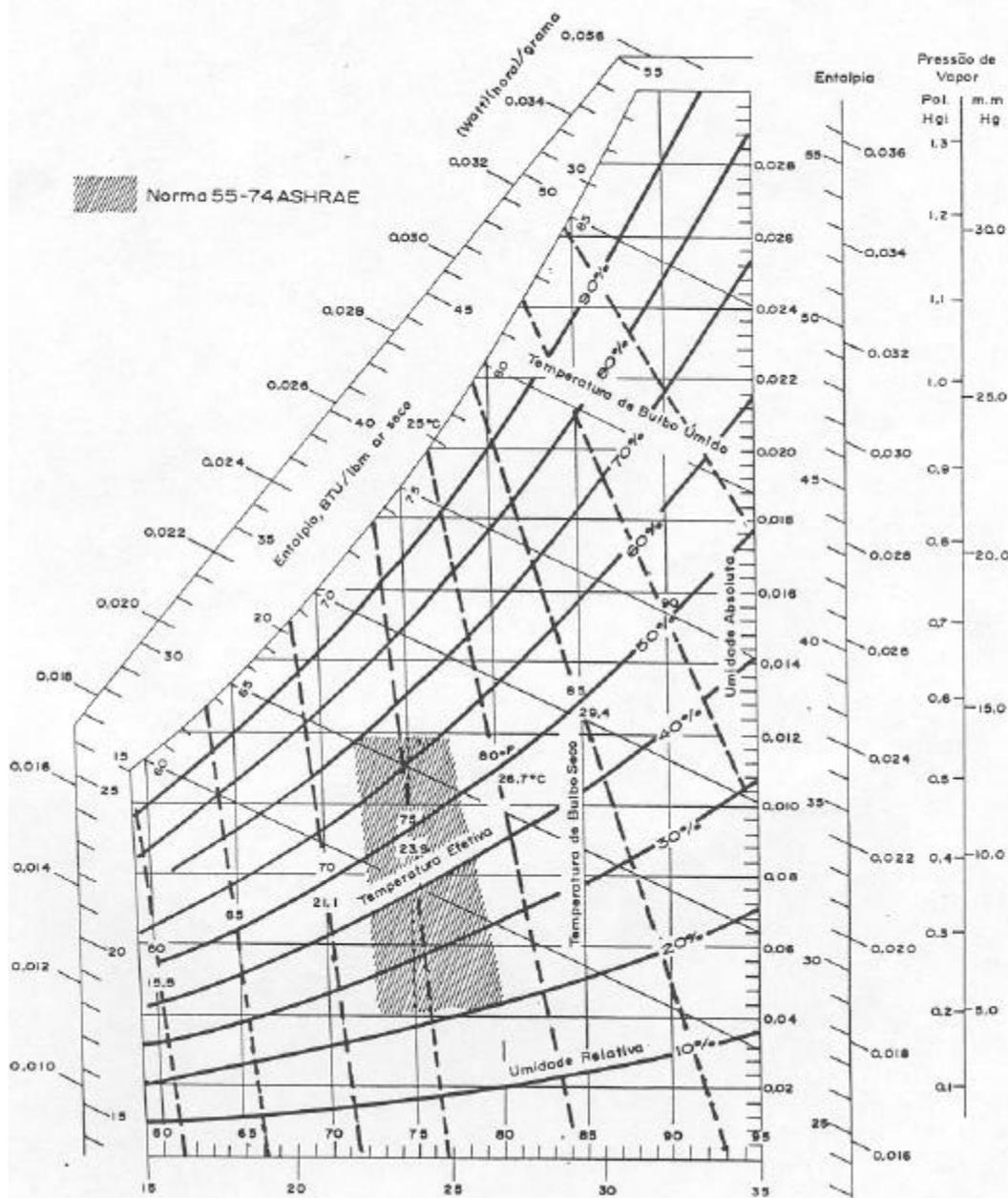


Figura 3.25 - Zona de Conforto ASHRAE 55 -74

fonte : Jabardo (1984)

VALORES OBTIDOS DE PMV E PPD APÓS A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE FANGER NO DIAGRAMA ASHRAE 55 - 74

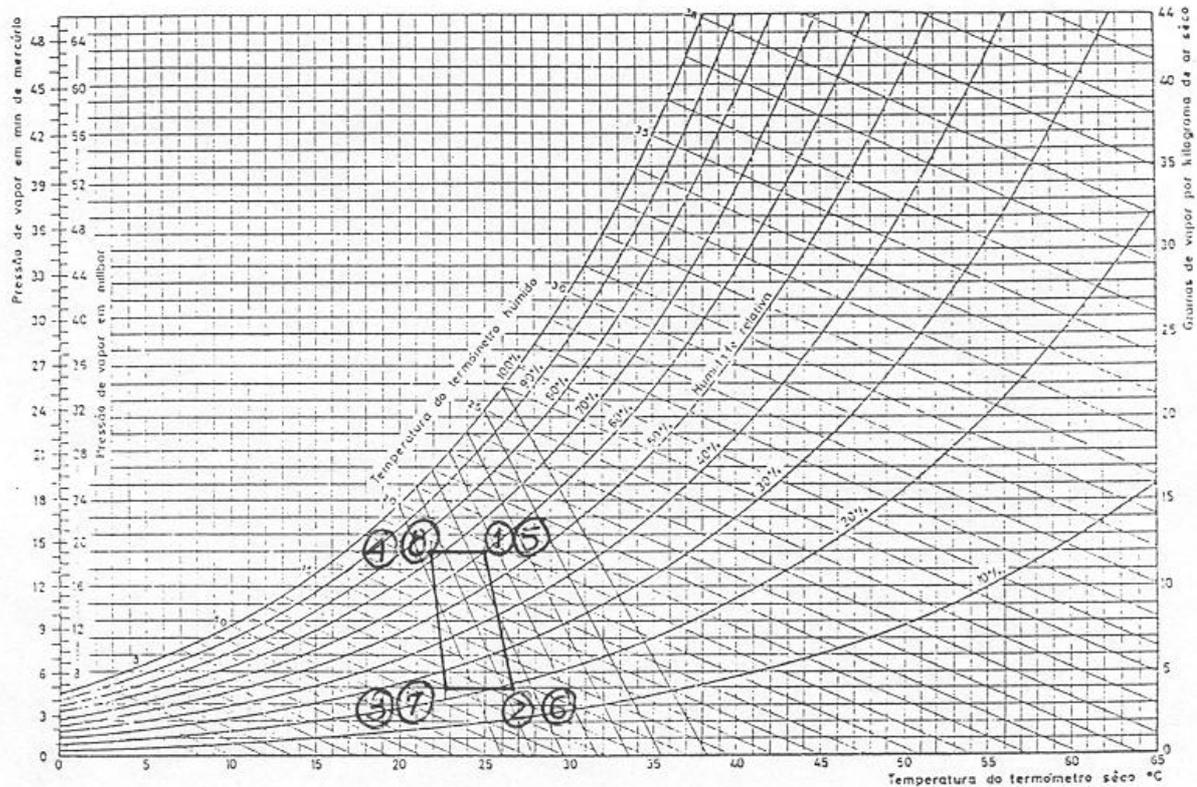


Figura 3.26 - Reprodução do diagrama ASHRAE 55 - 74 para aplicação da equação de fanger nos pontos assinalados com um círculo.

Tabela 3.9 - ASHRAE 55-74 X FANGER

PONTO	T °C	V m/s	TRM	Iclo(clo)	A (met)	UR%	EMEC	PMV	PPD %	avaliação
1	24.7	0.15	24.7	0.50	1.0	60	0	0.27	7.90	OK
2	26.7	0.15	26.7	0.40	1.0	20	0	0.39	10.00	OK
3	22.5	0.15	22.5	0.70	1.0	24	0	-0.16	5.10	OK
4	21.7	0.15	21.7	0.70	1.0	70	0	-0.09	5.00	OK
5	24.7	0.25	24.7	0.40	1.2	60	0	0.32	8.70	OK
6	26.7	0.25	26.7	0.30	1.2	20	0	0.44	11.20	OK
7	22.5	0.25	22.5	0.50	1.2	24	0	-0.21	5.30	OK
8	21.7	0.25	21.7	0.50	1.2	70	0	-0.19	5.20	OK

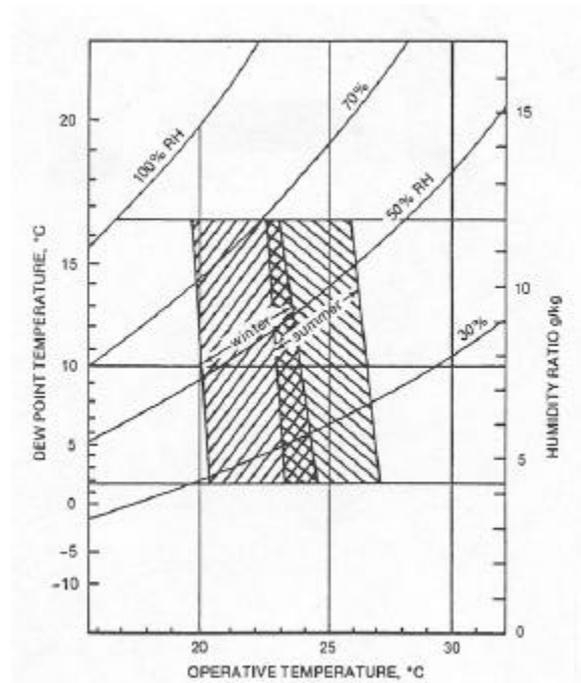


Figura 3.27 - Zona de Conforto ASHRAE 55 - 85

fonte: ASHRAE - Fundamentals, 1985

VALORES OBTIDOS DE PMV E PPD APÓS A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE FANGER NO DIAGRAMA ASHRAE 55 - 85

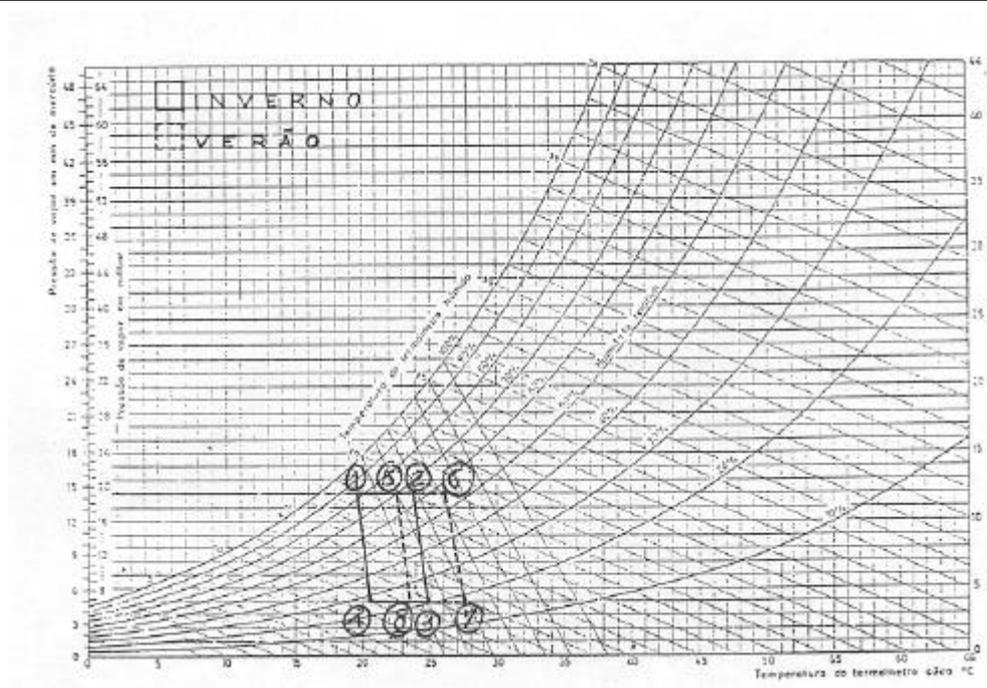


Figura 3.28 - Reprodução do diagrama ASHRAE 55 - 85 para aplicação da equação de fanger nos pontos assinalados com um círculo.

Tabela 3.10 - ASHRAE 55-85 X FANGER

PONTO	T °C	V m/s	TRM	Iclo(clo)	A (met)	UR%	EMEC	PMV	PPD %	avaliação
1	19.4	0.15	19.4	0.70	1.2	85	0	-0.08	5.00	OK
2	23.9	0.15	23.9	0.70	1.2	64	0	0.08	5.70	OK
3	24.7	0.15	24.7	0.70	1.2	21	0	0.03	5.40	OK
4	20.5	0.15	20.5	0.70	1.2	27	0	-0.11	5.00	OK
5	22.5	0.25	22.5	0.50	1.0	69	0	-0.48	8.00	OK
6	26.0	0.25	26.0	0.50	1.0	56	0	0.45	11.30	OK
7	27.5	0.25	27.5	0.50	1.0	18	0	0.46	11.60	OK
8	23.3	0.25	23.3	0.50	1.0	23	0	-0.51	8.60	OK

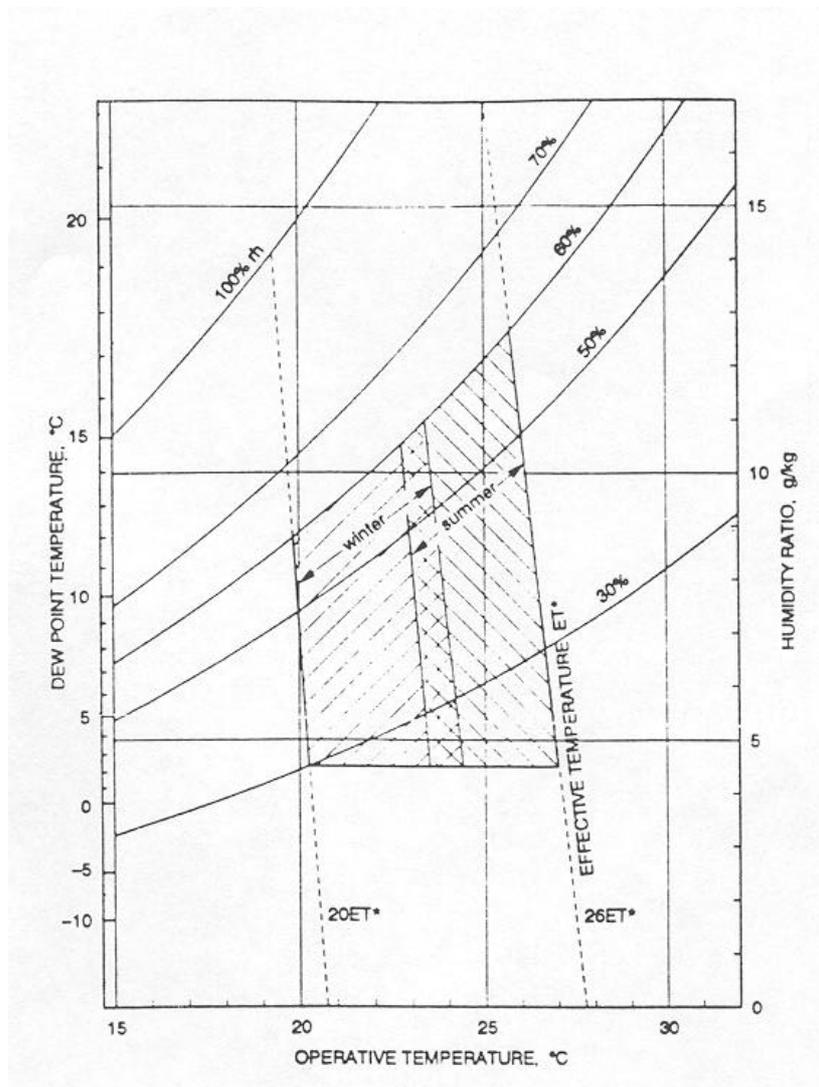


Figura 3.29 - Zona de Conforto ASHRAE 55 -92

fonte:ANSI/ASHRAE 55 - 1992

VALORES OBTIDOS DE PMV E PPD APÓS A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE FANGER NO DIAGRAMA ASHRAE 55 - 92

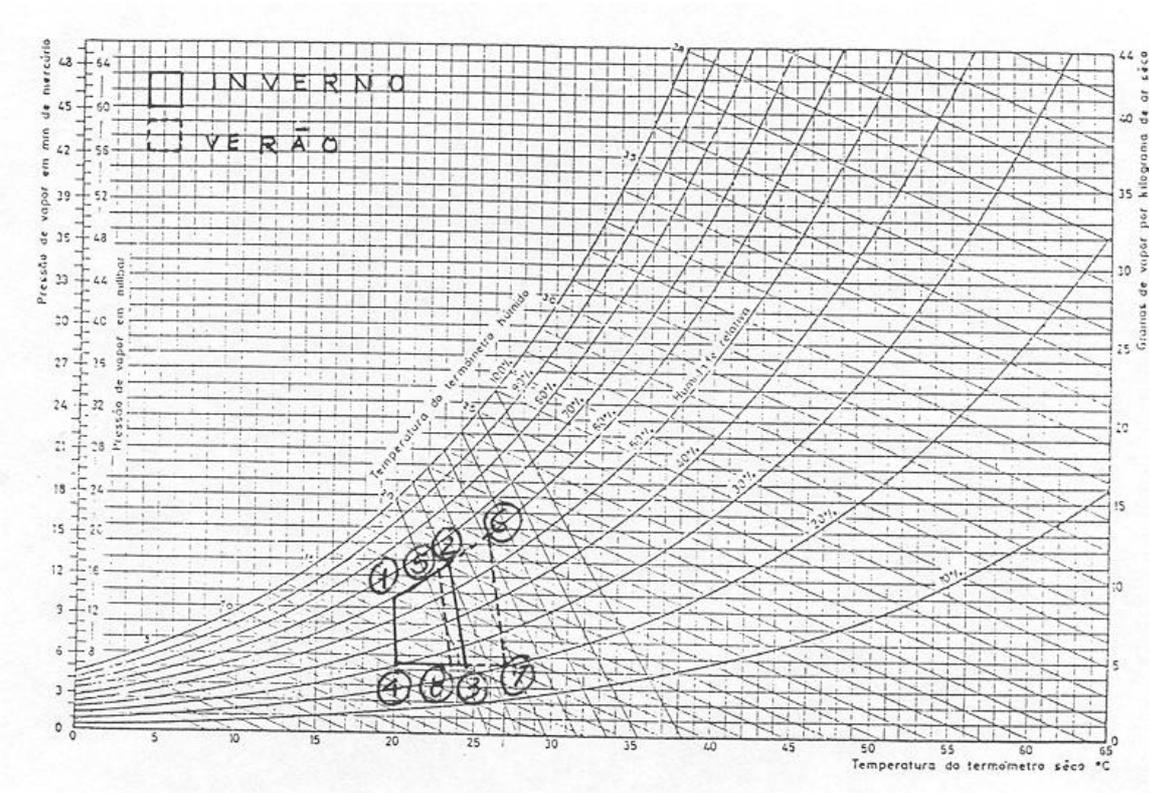


Figura 3.30 - Reprodução do diagrama ASHRAE 55 - 92 para aplicação da equação de fanger nos pontos assinalados com um círculo.

abela 3.11 - ASHRAE 55-92 X FANGER

PONTO	T °C	V m/s	TRM	Icl(clo)	A (met)	UR%	EMEC	PMV	PPD %	avaliação
1	19.9	0.15	19.9	0.90	1.2	60	0	0.18	6.60	OK
2	23.4	0.15	23.4	0.70	1.0	60	0	0.25	7.50	OK
3	24.4	0.15	24.4	0.70	1.0	24	0	0.26	7.80	OK
4	20.2	0.15	20.2	0.90	1.2	30	0	0.11	5.90	OK
5	22.8	0.15	22.8	0.50	1.2	60	0	0.20	6.80	OK
6	25.8	0.15	25.8	0.40	1.0	60	0	0.41	10.50	OK
7	27.0	0.15	27.0	0.40	1.0	20	0	0.47	11.80	OK
8	23.5	0.15	23.5	0.50	1.2	25	0	0.18	6.60	OK

3.4 - O Método de SZOKOLAY

Szokolay (1987) apresenta zonas de conforto baseadas na temperatura neutra em função da temperatura média externa, sendo seus limites baseados na temperatura efetiva padrão (SET). A neutralidade térmica (T_n) é a temperatura média para uma grande amostra, quando os indivíduos sentem, nem frio, nem calor. Segundo Szokolay, tem-se visto conclusivamente que esta neutralidade térmica é influenciada pelo clima (resultado da aclimação psicológica e também dos hábitos) e correlaciona com a temperatura média externa, através da expressão:

$$T_n = 17,6 + 0,31 \times T_m \quad (1)$$

onde: $T_m \rightarrow$ Temperatura média externa
e $18,5 < T_n < 28,5 \text{ }^\circ \text{C}$

A largura da zona de conforto, ou seja, o intervalo de condições dentro das quais a maioria das pessoas sentiriam-se confortáveis, é tomado como $\pm 2 \text{ K}$ sobre a neutralidade térmica se T_m é uma temperatura média anual ou $\pm 1,75 \text{ K}$ se T_m é uma média mensal. Os limites da zona se baseiam na temperatura efetiva padrão (TEP), a qual combina o efeito de temperatura de bulbo seco e umidade, quando a temperatura radiante média é a mesma que a temperatura de bulbo seco não há movimento do ar significativo. A inclinação das linhas de temperatura em função da quantidade de vapor, é dada segundo uma aproximação das linhas de TEP sobre a carta psicrométrica:

$$0,025 \times (TBS - 14), \text{ para cada g / kg.} \quad (2)$$

A zona de conforto pode ser plotada, então, sobre a carta psicrométrica, pelo seguinte procedimento:

- 1) encontrar a temperatura média anual (T_{ma});
- 2) encontrar a temperatura de neutralidade (T_n) pela expressão (1);
- 3) plotar T_n na carta psicrométrica, sobre a curva de 50% de umidade relativa;
- 4) marcar os limites inferior ($T_n - 2$) e superior ($T_n + 2$) na curva de 50% de umidade relativa;
- 5) a partir destes limites, calcular a inclinação das linhas da variação da temperatura, segundo as linhas da TEP (expressão 2);
- 6) marcar os limites de umidade absoluta, sendo o superior a 12 g / kg e o inferior a 4 g / kg .

Esta zona de conforto é válida para pessoas vestidas levemente em atividade sedentária. Para atividades físicas mais pesadas, Szokolay apresenta os seguintes ajustes para a T_n :

- para trabalho leve (210 W): -2 °C;
- para trabalho médio (300 W): - 4,5 °C;
- para trabalho pesado (400 W): -7 °C.

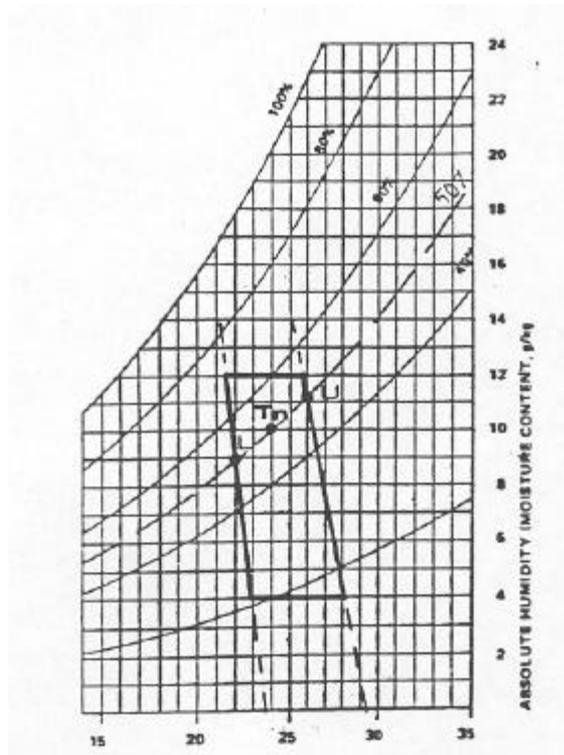


Figura 3.31 - zona de conforto - Szokolay

A partir destas zonas, Szokolay apresenta sugestões de medidas passivas de projeto, denominadas de zonas de controle potencial, baseadas originalmente em estudos de Givoni, mas modificados sob estudos mais recentes.

Segundo Szokolay, temos:

- 1) Zonas claramente definidas;
- 2) Limites de umidade da zona de conforto expressos em termos de umidade absoluta;
- 3) Zona de conforto em função do clima, pois T_n é função da temperatura média externa;
- 4) As zonas de controle potencial são determinadas em relação à zona de conforto e não em termos absolutos;
- 5) A extensão da zona de efeito de massa é dada como 0,5 (0,8) vezes da amplitude média de temperatura;
- 6) A zona de aquecimento solar não é função apenas da quantidade de irradiação solar, mas também é função das características do edifício.

Segundo Szokolay, as zonas de estratégias não são rígidas ou exatas, pois são influenciadas pelo projeto do edifício.

Estas zonas, refletem métodos de controle passivos, que são:

3.4.1 - Aquecimento Solar Passivo:

Determinada em função da irradiação média diária (D_v) sobre um plano vertical voltado para o equador, para o mês mais frio do ano. Um melhor desempenho desta estratégia pode ser obtido através de um rigoroso controle da relação entre massa térmica e aberturas.

O limite da temperatura externa é definido por:

$$T_o = T_n - 0,0036 \times D_v$$

A figura 3.32 mostra duas zonas de controle potencial para uma temperatura neutra de 18,5 °C e para dois diferentes valores de irradiação -- 2000 e 3500 Wh/m².

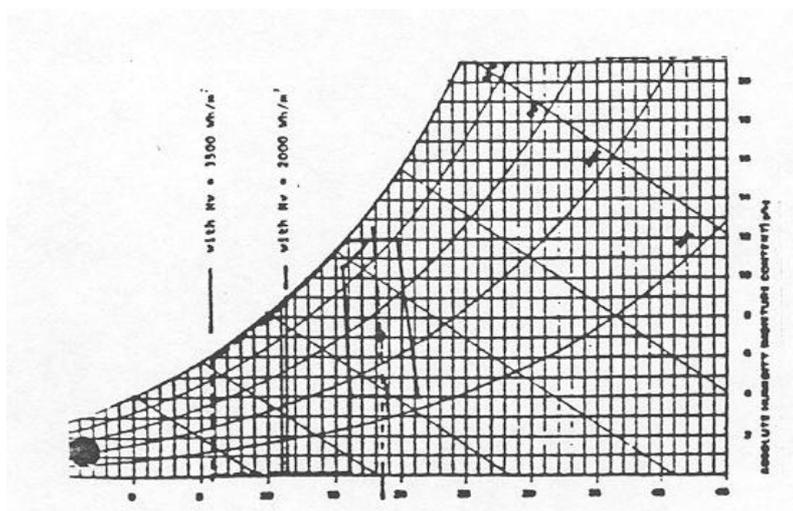


Figura 3.32 - zona de controle potencial - aquecimento solar passivo

3.4.2 - Efeito de Massa (Inércia Térmica ou capacidade de isolamento):

Obtido a partir da amplitude média do mês mais quente e adicionando-se a metade deste valor no limite superior da zona de conforto a um nível de 12 g / kg de umidade absoluta.

Esta zona é definida por três pontos principais (ver fig. 3.33):

- ponto 5: 12 g / kg de umidade absoluta, com TBS de $T_5 = T_2 + 0,5 (T_{\text{máx}} - T_{\text{min}})$;
- ponto 6: 4 g / kg de umid. absoluta, com TBS de $T_6 = T_5 + 0,2 (T_5 - 14)$
- ponto 7: 14 g / kg de umid. absoluta, com TBS de $T_7 = T_5 - 0,05 (T_5 - 14)$, prolongando até encontrar a curva de UR correspondente ao ponto 1.

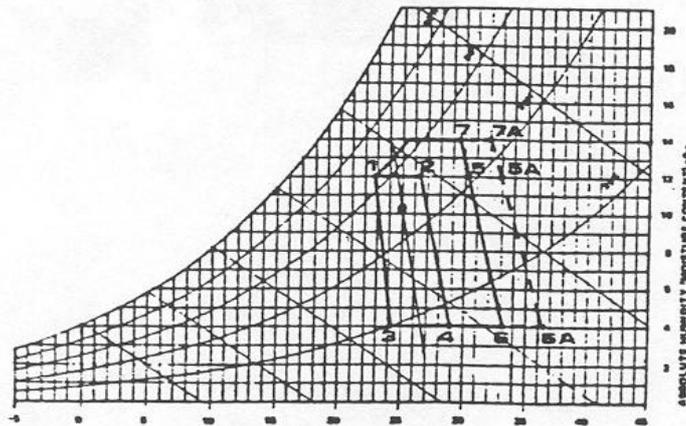


Figura 3.33 - zonas de controle potencial - efeito de massa e massa com ventilação noturna

3.4.3 - Efeito de Massa com Ventilação Noturna:

Pode baixar a temperatura interna próxima a temperatura mínima externa noturna, favorecendo a dissipação do calor armazenado na estrutura (paredes).

Uma eficiência de 0,8 é assumida para este mecanismo, já que 0,8 vezes a amplitude média será adicionada na temperatura limite superior.

É definida por três pontos (ver fig. 3.33):

- ponto 5a: 12 g / kg de umid. absoluta, com TBS de $T_{5a} = T_2 + 0,8 (T_{máx} - T_{min})$;
- ponto 6a: 4 g / kg de umid. absoluta, com TBS de $T_{6a} = T_{5a} + 0,2 (T_{5a} - 14)$;
- ponto 7a: 14 g / kg de umid. absoluta, com TBS de $T_{7a} = T_{5a} - 0,05 (T_{5a} - 14)$.

3.4.4 - Efeito do Movimento do Ar:

As condições fisiológicas do efeito de resfriamento depende não somente das condições atmosféricas, mas também do nível de atividade e vestimenta das pessoas.

Para pessoas em atividade média, vestindo roupas leves, o efeito fisiológico do resfriamento é dado por dT (depressão de temperatura):

$$dT = 6 \times v - v^2 \quad (3)$$

onde: v → velocidade do ar em m/s

Sob condições aquecidas velocidades de 1 e 1,5 m/s são consideradas agradáveis. Velocidades mais altas podem causar efeitos desagradáveis, tais como levantar objetos leves. A figura 3.34 mostra as zonas de controle potencial para estas duas velocidades.

Para 1 m/s: $dT = 6 \times 1 - 1^2 = 5 \text{ K}$

Para 1,5 m/s : $dT = 6 \times 1,5 - 1,5^2 = 6,75 \text{ K}$

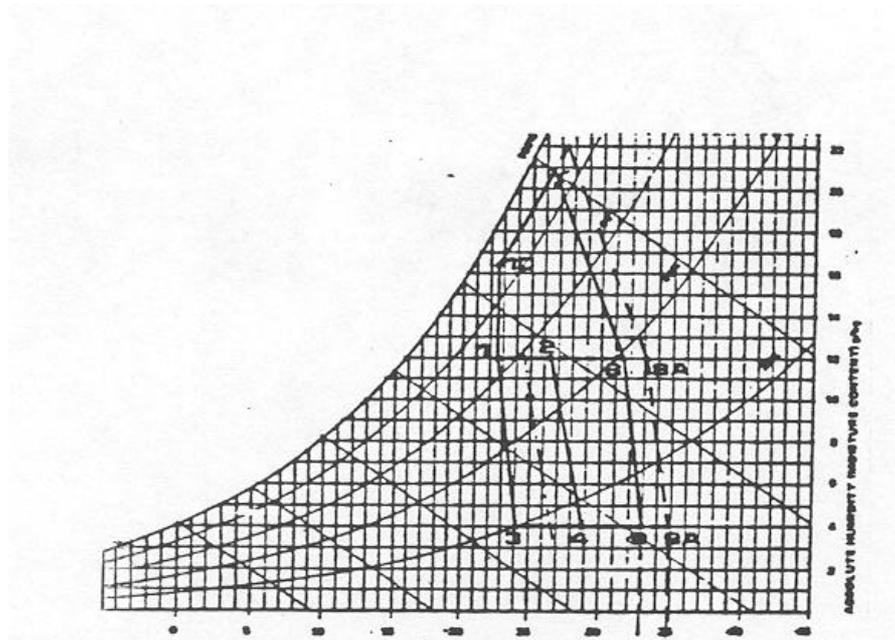


Figura 3.34- zonas de controle potencial - efeito do movimento do ar

Fonte: Szokolay (1987)

Estes valores de dT são adicionados ao limite superior de conforto, no caso ponto 2, formando os pontos 8 e 8a.

Os pontos 9 e 9a são determinados na linha de 4 g / kg , pelas equações:

- ponto 9: TBS de $T9 = T8 + 0,1 (T8 - 14)$
- ponto 9a: TBS de $T9a = T8a + 0,1 (T8a - 14)$

O limite de umidade mais alto é definido pelo ponto 10, localizado a mesma TBS do ponto 1, sobre a curva de 90% de umidade relativa. As linhas que partem de 8 e 8a são traçadas com a mesma inclinação definida pela temperatura efetiva padrão (TEP) que é: $0,025 (T8 - 14)$ por unidade de g / kg até encontrar a curva de 90% de umidade relativa. A razão desta limitação se deve ao fato de que a umidades muito altas o potencial de evaporação é desprezível, pois tais umidades são desconfortáveis por outras razões, além das térmicas.

3.4.5 - Resfriamento Evaporativo Direto:

Evaporação é um processo endotérmico, o qual absorve calor da atmosfera, reduzindo a TBS, mas a adição de vapor d'água aumenta o conteúdo de calor latente da atmosfera, não alterando a TBU.

Os limites desta zona serão paralelas às linhas de TBU, tangenciando os pontos 2 e 3 da zona de conforto. O limite superior (a TBS mais alta) é definido sobre 12 K acima da T_n segundo a equação do ponto 11 (ver fig.3.35):

- ponto 11: no nível de 0 g / kg , a TBS de $T11 = T_n + 12$

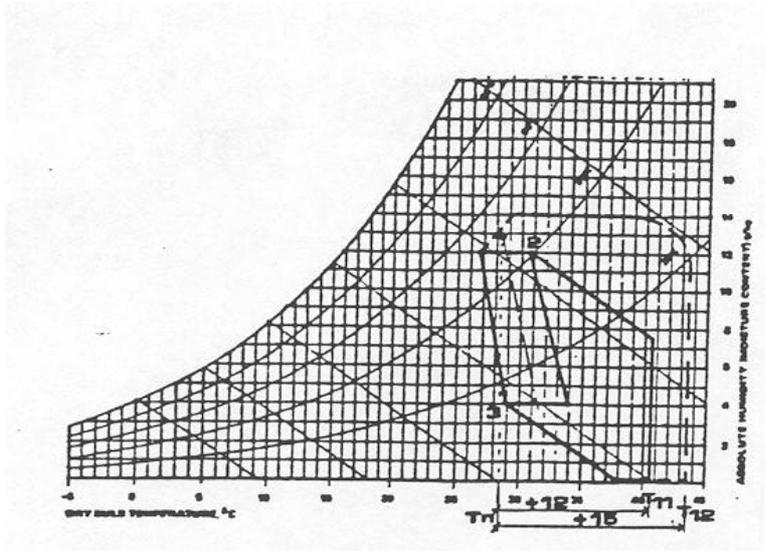


Figura 3.35- zonas de controle potencial - resfriamento evaporativo e resfriamento evaporativo indireto

3.4.6 - Resfriamento Evaporativo Indireto:

Neste processo, uma corrente de ar é evaporativamente resfriada e, por sua vez resfria o suprimento de ar através de uma troca de calor sem adição de vapor d'água. Seguindo o mesmo princípio do sistema evaporativo direto, o limite de TBS superior (ponto 12) é obtido com a adição de 15 K na temperatura neutra:

- ponto 12: no nível de 0 g / kg, a TBS de $T_{12} = T_n + 15$

O limite superior de umidade absoluta é de 14 g / kg, porém sem ultrapassar a curva de umidade relativa correspondente ao ponto 1 (ver fig. 3.35).

3.4.7 - Uso do Método:

A zona de conforto e as linhas representativas do clima podem ser plotadas sobre a carta psicrométrica. As seis zonas potenciais de controle básicas podem, então ser examinadas, verificando-se quais delas cobrirão uma maior maior concentração das linhas do clima que estão fora da zona de conforto. O tipo de sistema básico poderá ser decidido pelo projetista, que produzirá uma edificação que incorpora o selecionado sistema e fornece os requeridos atributos.

Uma análise inicial pode ser realizada com base na temperatura média anual. Posteriormente, pode-se selecionar o mês que apresenta o maior problema climático. Redefine-se, então, a zona de conforto para a temperatura neutra baseada na média daquele mês. Esta análise pode ser feita para os meses diametralmente opostos, ou seja, o mais quente e o mais frio.

Segundo o autor, este processo pode parecer longo e complicado. Entretanto, para muitos projetistas que operam em um ou poucos locais, tais análises podem servir para inúmeros projetos.

Para uma pré-análise do projeto, os dados climáticos podem ser representados sobre a carta psicrométrica através de uma linha para cada mês, traçada entre dois pontos (ver fig. 3.36):

- 1- a temperatura média das mínimas com a umidade média das máximas;
- 2- a temperatura média das máximas com a umidade média das mínimas.

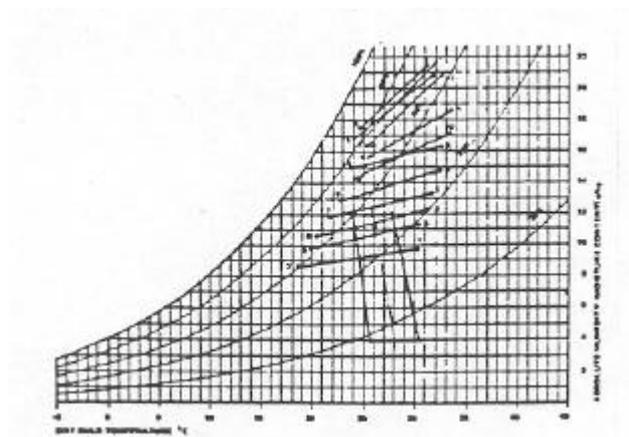


Figura 3.36 - dados climáticos plotados sobre a carta psicrométrica

Para uma análise mais detalhada, o autor se refere ao desenvolvimento de um programa de computador que facilitaria todo o processo. O programa faria a leitura dos dados climáticos a partir de um arquivo, mostrando a carta psicrométrica com a zona de conforto e os dados de clima plotados. As várias zonas potenciais de controle poderiam ser chamadas uma por uma, para examinar-se qual forneceria o melhor ajuste.

Levanta-se a questão da interpretação do método nos requerimentos de projeto encontrados de acordo com a localização das linhas representativas do clima. Muitas vezes, pode-se ter mais de uma zona de estratégia de controle sobrepostas, cobrindo os pontos considerados. Diante disso, o método não esclarece se o projetista pode optar por uma das estratégias estabelecida por ele como a mais adequada, ou ainda, utilizar mais de uma estratégia como solução.

3.4.8 - Análise da Zona de Conforto para Florianópolis - método Szokolay

Construiu-se a zona de conforto para Florianópolis pelo método de Szokolay, utilizando-se da temperatura média do mês mais quente (fevereiro) para a zona de verão e a temperatura média do mês mais frio (julho) para a zona de inverno. (figuras 3.37 e 3.38)

A temperatura neutra da zona de verão resultou em 25,2 °C com limites inferior igual a 23,2 °C e superior igual a 27,2 °C, plotados na linha de 50% de umidade relativa.

Para a zona de inverno, a temperatura neutra resultou em 22,7 °C com limites inferior de 20,7 °C e superior de 24,7 °C, plotados na linha de 50% de umidade relativa.

As estratégias de controle foram traçadas conforme especificado no método.

Foram colocadas na carta psicrométrica as linhas representativas dos dados climáticos dos quatro meses mais quentes e dos quatro meses mais frios, traçadas entre os dois pontos:

- 1- a temperatura média das mínimas com a umidade média das máximas;
- 2- a temperatura média das máximas com a umidade média das mínimas.

De acordo com a interpretação da carta, os meses mais quentes situaram-se na área correspondente ao método de controle passivo pelo movimento do ar (1 m/s). Já os meses de inverno situaram-se na estratégia de aquecimento solar passivo. Estes resultados são coerentes com os encontrados na análise do método de Olgyay.

3.4.9 - Conclusões

O método de Szokolay é bastante flexível, pois define a zona de conforto em função da temperatura média do local (anual ou mensal), sendo de ótima aplicabilidade para avaliar um clima em particular. Além disso, o método é bastante didático e de fácil aplicação.

As zonas de estratégias variam juntamente com a zona de conforto.

O limite máximo de temperatura T_n corresponde a 28,5°C, sendo que a temperatura máxima da zona de conforto corresponderia, neste caso, a 30,5°C ($T_m + 2 K$).

O método não é claro quando ocorre a sobreposição das zonas de controle passivo.

ANÁLISE DAS ZONAS DE CONFORTO PELO MÉTODO DE FANGER

De maneira análoga às anteriores, analisou-se os limites da zona de conforto resultante para Florianópolis segundo o método Szokolay. A aplicação da equação de Fanger foi realizada nos pontos assinalados como mostra as figuras 3.39 e 3.40.

Pelos valores de PMV e PPD obtidos (tabela 3.12) podemos observar alguns pontos com alta percentagem de pessoas insatisfeitas. Como discutido anteriormente, a adoção de 1 clo para índice de vestimenta com altas temperaturas certamente influencia estes resultados. Percebe-se que na zona de inverno os valores de PPD que ultrapassaram o limite de conforto resultaram mais baixos que na de verão.

**ZONA DE CONFORTO DE SZOKOLAY PARA FLORIANÓPOLIS
NO VERÃO (COM ZONA DE EFEITO DO MOVIMENTO DO AR)**

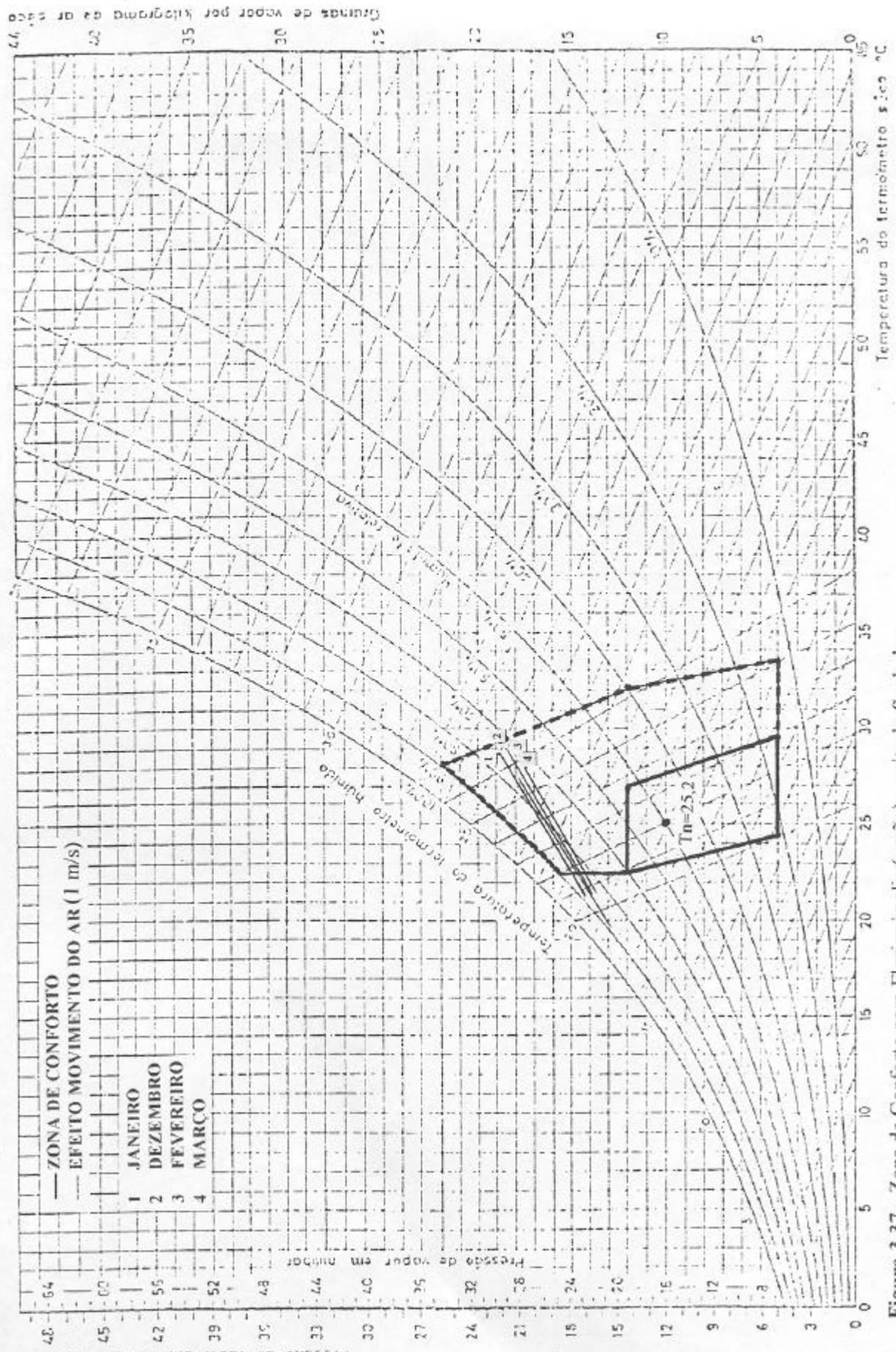


Figura 3.37 - Zona de Conforto para Florianópolis (verão) - método Szokolay

**ZONA DE CONFORTO DE SZOKOLAY PARA FLORIANÓPOLIS
NO INVERNO (COM ZONA DE AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO)**

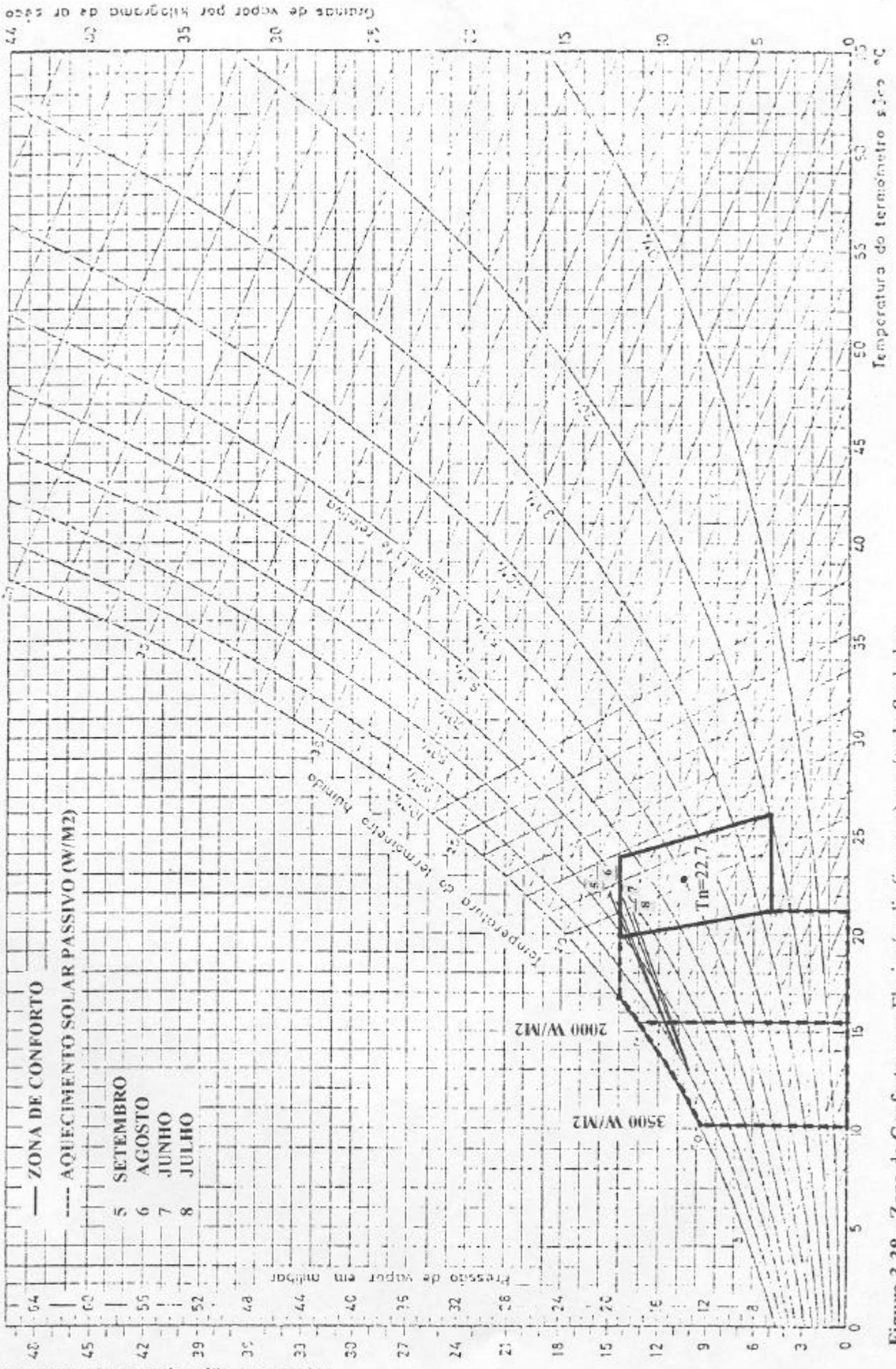


Figura 3.38 - Zona de Conforto para Florianópolis (inverno) - método Szokolay

ÍNDICES PMV E PPD (FANGER) OBTIDOS NA ANÁLISE DE CONFORTO DO DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE SZOKOLAY PARA FLORIANÓPOLIS

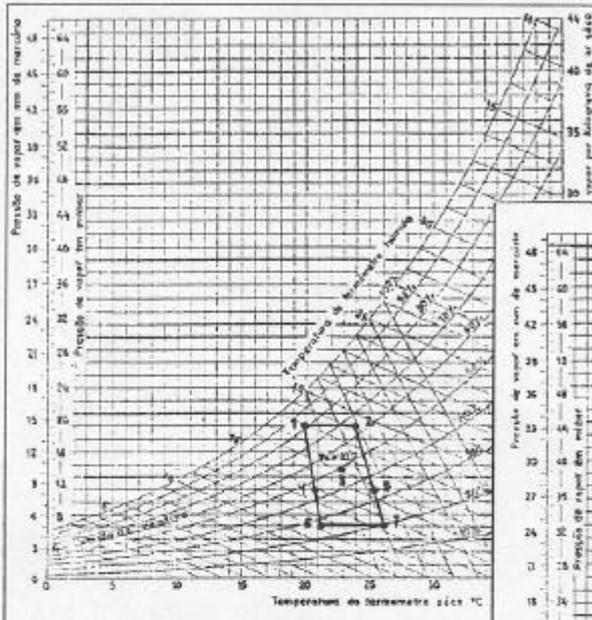


Figura 3.39: Pontos escolhidos no Diagrama Bioclimático de Szokolay(INVERNO)

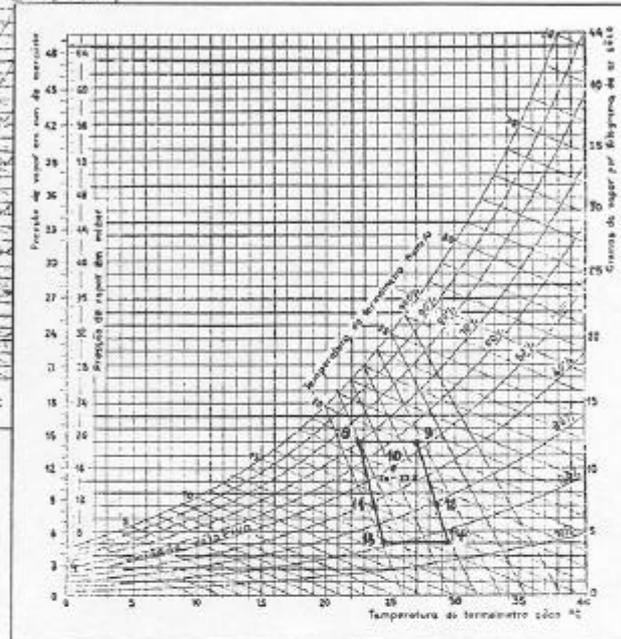


Figura 3.40: Pontos escolhidos no Diagrama Bioclimático de Szokolay (VERÃO)

Tabela 3.2 : Szokolay x Fanger (1 CLO)

PONTOS	TEMPERATURA DO AR (°C)	UMID. RELAT. DO AR (%)	PMV (%)	PPD (%)	AVAL.
1	20,0	81	-0,1	5,5	ok
2	24,0	64	0,6	14,3	ok
3	22,7	50	0,2	6,6	ok
4	20,7	46	-0,1	5,7	ok
5	25,3	35	0,7	17,2	...
6	21,2	24	-0,2	5,8	ok
7	26,0	18	0,7	18,1	...
8	22,4	70	0,3	7,3	ok
9	27,0	54	1,2	39,7	...
10	25,2	50	0,8	20,1	...
11	23,6	38	0,4	8,4	ok
12	28,5	28	1,3	45,2	...
13	24,4	21,5	0,4	9,6	ok
14	20,5	15	1,4	50,8	...

Alteração da vestimenta

PMV (%)	PPD (%)	AVAL.
0,1	5,2	ok ^{*2}
0,5	11,3	ok ^{*2}
0,1	5,4	ok ^{*2}
0,0	5,1	ok ^{*2}
0,6	14,2	ok ^{*2}
0,0	5,0	ok ^{*2}
0,0	5,0	ok ^{*1}
0,5	11,6	ok ^{*3}
0,6	13,6	ok ^{*1}
0,7	16,7	ok ^{*2}
0,2	6,7	ok ^{*2}
0,9	22,8	ok ^{*1}
0,3	7,7	ok ^{*2}
1,1	31,5	... ^{*1}

- NOTAS:** ^{*1}) Como a temperatura do ar é maior que 25,7 C (Temperatura Neutra de Verão), optou-se pela seguinte composição de vestimenta: roupa íntima, camiseta, calça fina, meias e sapatos(0,4 CLO)
^{*2}) Como a temperatura do ar está entre 22,7C e 25,7C optou-se pela seguinte composição de vestimenta: roupa íntima, camisa grossa curta, blusa fina, calça média, meias e sapatos (0,9 CLO)
^{*3}) Como a temperatura do ar é menor do que 22,7C (Temperatura Neutra de Inverno) optou-se pela seguinte composição de vestimenta: roupa íntima, camisa de mangas compridas, blusa grossa, calça grossa, meias e sapatos (1,2 CLO).

3.5 - Diagrama de WATSON e LABS

WATSON e LABS (1983) basearam-se no trabalho de GIVONI e MILNE (1976), fazendo uma comparação com uma série de outros índices, principalmente com a solução da ASHRAE. Os autores alteraram a zona de conforto original proposta, nos seus limites de maior temperatura e umidade com o limite da ASHRAE que é 78 ET* (em Farenheit), mantendo os outros limites de MILNE e GIVONI, que são 5 mm Hg 67,5 ET* (Farenheit) e 80% de UR. (Ver **figuras 3.41, 3.42 e 3.43**).

Estes autores dividiram a carta psicrométrica em uma série de sub-zonas. A agregação das sub-zonas de diferentes formas ou combinações se aproxima muito da carta bioclimática delineada por GIVONI. A combinação das sub-zonas representando cada estratégia de controle está listada na **tabela 3.14** as quais correspondem aos limites traçados na carta psicrométrica da **figura 3. 44**.

Na sua metodologia WATSON & LABS (1983) separaram as necessidades bioclimáticas das estratégias de controle climático. O controle climático é definido através de restrição e promoção de estratégias em termos de fenômenos físicos por agregação das zonas definidas na carta.

Esta metodologia foi aplicada para o clima de 29 localidades nos Estados Unidos, nas quais dados climáticos horários foram analisados por computador para determinar a fração média do ano para a qual o clima local cai dentro dos parâmetros descritos em cada uma das 17 sub-zonas na **tabela 3.15**.

A fração média do ano foi referida a uma unidade percentual de 0,1% o que equivale a 8,7 horas considerando o ano com 8766 horas (Ver exemplo da cidade de Kansas - Missouri) **figura 3.42**.

Na **tabela 3.15** as sub-zonas são totalizadas para dar uma leitura direta da porcentagem anual da fração da efetividade para cada estratégia climática de projeto.

Os itens de 1 a 9 na **tabela 3.15** se referem aos dados climáticos das localidades analisadas pelos autores. O item 10 se reporta à análise bioclimática do edifício, onde os dados são apresentados como porcentagem de horas anuais (1 % de horas anuais = a 87,66 horas) que caem dentro da zona designada ou combinações de zonas delineadas na carta psicrométrica. A coluna da direita descreve a fração de um ano que cada estratégia de controle do clima é efetiva de acordo com os limites extremos da temperatura de conforto. Zonas individuais compreendendo cada estratégia são identificadas com algarismos romanos correspondendo aos algarismos arábicos assinalados na carta. A coluna do meio dá a porcentagem de horas anuais em que cada zona da carta é ocupada. Isto permite sobrepor as estratégias a serem identificadas em termos genéricos de fenômenos térmico: aquecimento, umidificação, zona neutra desconforto, resfriamento, ventilação, massa, resfriamento evaporativo.

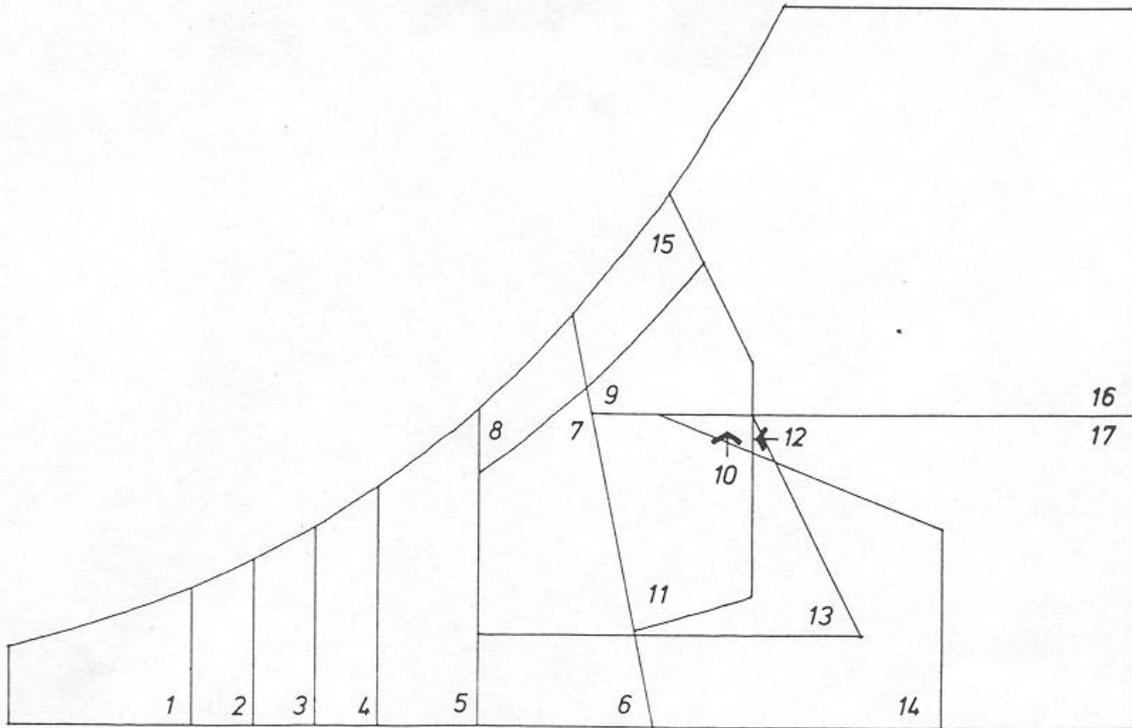


Figura 3.41 - Carta Bioclimática Watson & Labs

fonte: Watson (1983)

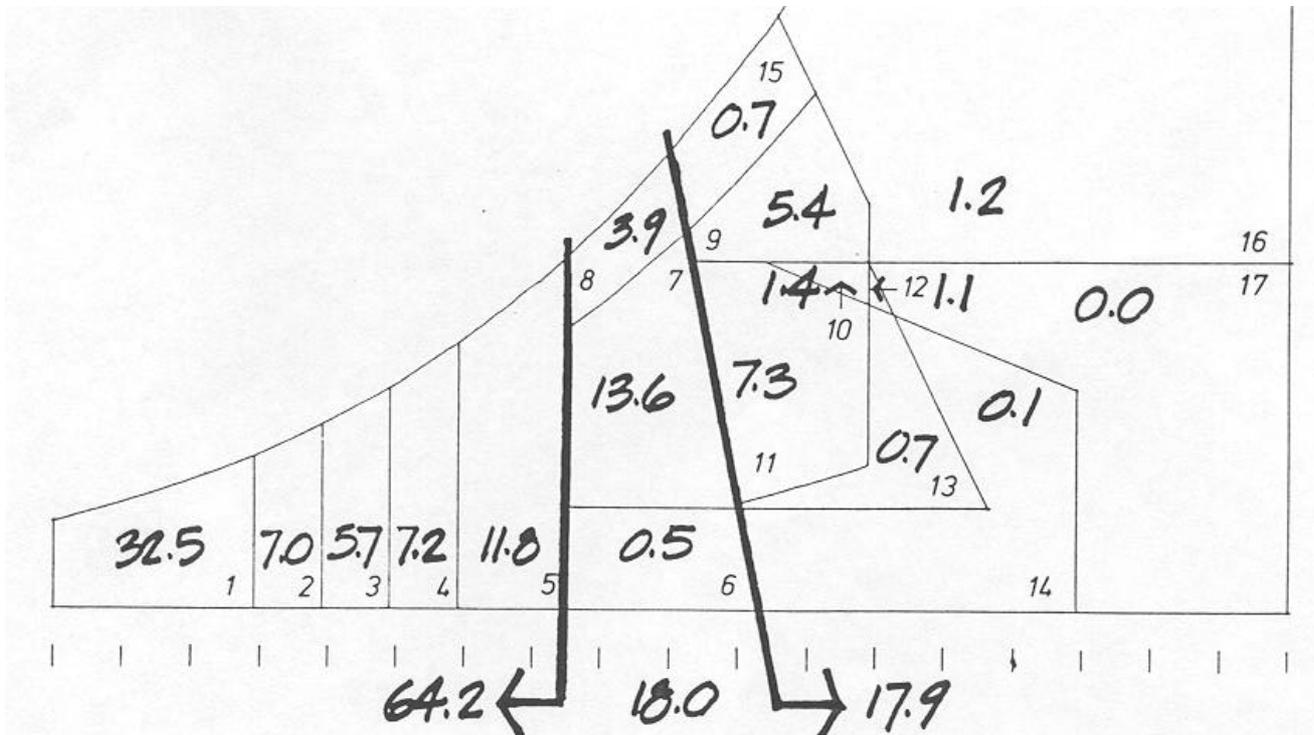


Figura 3.42 - Dados Bioclimáticos plotados para Kansas city, Missouri

fonte: Watson (1983)

VALORES OBTIDOS DE PMV E PPD APÓS A APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE FANGER NO DIAGRAMA WATSON & LASBS (1983)

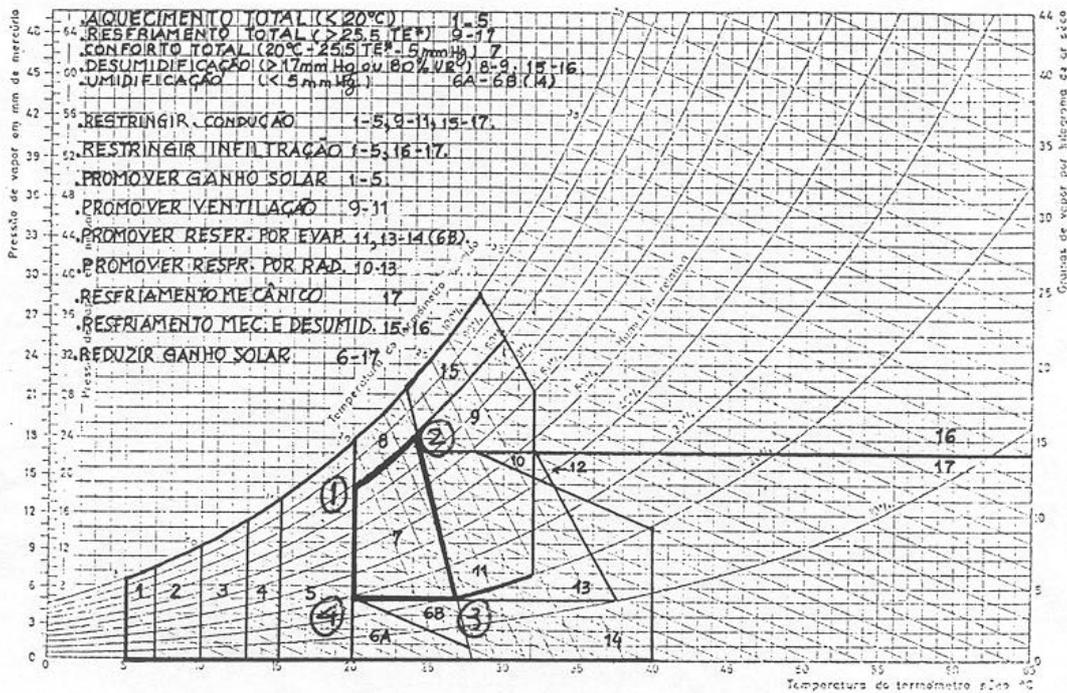


Figura 3.43 - Reprodução do diagrama WATSON & LABS (1983) para aplicação da equação de fanger nos pontos assinalados com um círculo.

Tabela 3.13 - WATSON & LABS X FANGER

PONTO	T °C	V m/s	TRM	Iclo(clo)	A (met)	UR%	EMEC	PMV	PPD %	avaliação
1	20.0	0.10	20.0	1.0	1.0	80	0	0.12	6.00	OK
2	24.0	0.10	24.0	0.4	1.0	80	0	0.17	6.50	OK
3	27.5	0.10	27.5	0.2	1.0	20	0	0.44	11.00	OK
4	20.0	0.10	20.0	1.0	1.0	30	0	-0.11	5.00	OK

Tabela - 3.14 Necessidades Bioclimáticas e lista das estratégias de controle climático

IDENTIFICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLE NA CARTA BIOCLIMÁTICA	
ADAPTADA DE GIVONI POR WATSON (1983)	
ANÁLISE DAS NECESSIDADES BIOCLIMÁTICAS	
AQUECIMENTO TOTAL (<20°C)	1 - 5
RESFRIAMENTO TOTAL (> 25° TE*)	9-17
CONFORTO TOTAL (20° - 25° TE* - 5 mm Hg - 80% UR)	7
DESUMIDIFICAÇÃO (>7 mm Hg ou 80% UR)	8 - 9, 15 - 16
UMIDIFICAÇÃO (< 5 mm Hg)	6A, 6B (14)
ESTRATÉGIA DE CONTROLE CLIMÁTICO	
RESTRINGIR A CONDUÇÃO	1-5, 9-11, 15-17
RESTRINGIR A INFILTRAÇÃO	1-5, 16-17
PROMOVER GANHO SOLAR	1 - 5
REDUZIR GANHO SOLAR	6-17
PROMOVER VENTILAÇÃO	9-11
PROMOVER RESFRIAMENTO POR EVAPORAÇÃO	11, 13-14 (6B)
PROMOVER RESFRIAMENTO POR RADIAÇÃO	10-13
RESFRIAMENTO MECÂNICO	17
RESFRIAMENTO MECÂNICO E DESUMIDIFICAÇÃO	15-16

[Fonte : WATSON, 1983]

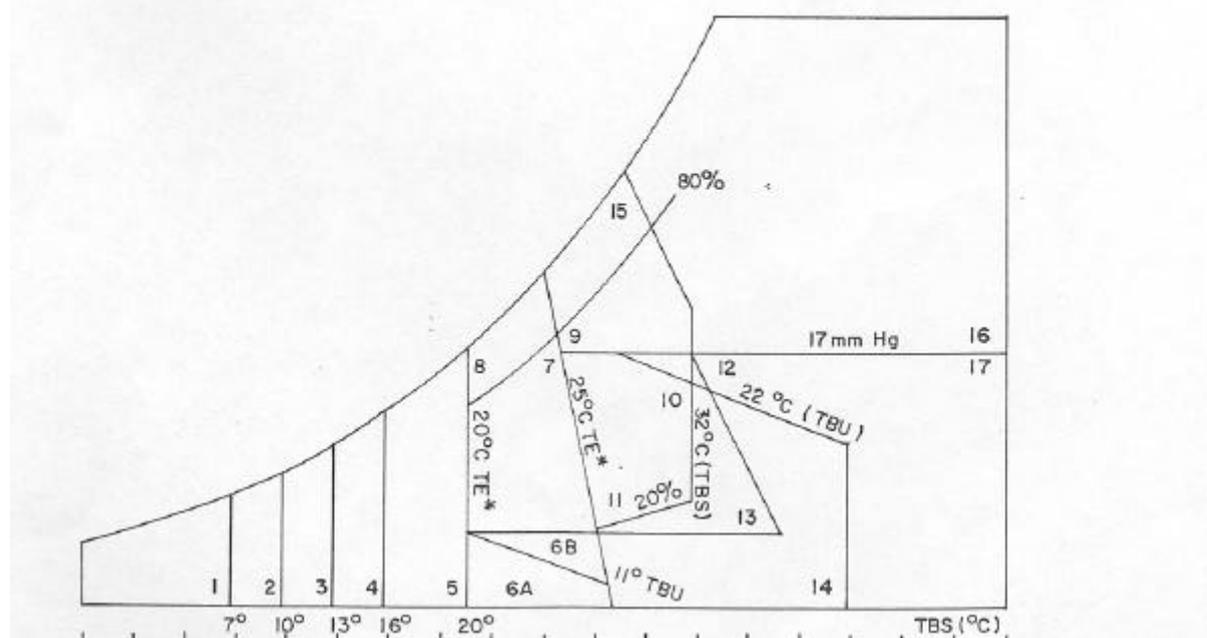


Figura 3.44 - Limites das estratégias e zona de conforto WATSON& LABS

Tabela 3.15 - Aplicação da metodologia WATSON & LABS para Kansas city - Missouri
 fonte: Watson (1983)

1 KANSAS CITY, MO		TEMPERATURE (F) ON 21ST DAY OF:											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2	DAILY MAX DBT	35.4	40.6	47.5	71.5	79.6	84.2	89.2	85.5	76.5	69.6	51.5	37.6
	DAILY AVE DBT	26.5	31.7	39.4	61.6	70.4	76.3	81.1	75.7	67.8	59.4	42.8	30.7
	DAILY MIN DBT	17.4	23.6	31.8	51.1	61.5	67.7	72.8	65.8	59.6	49.2	34.4	23.4
3	DAILY MAX DPT	25.6	27.4	34.9	49.7	59.7	67.2	70.8	65.0	59.9	48.2	35.1	26.9
	DAILY AVE DPT	16.8	20.3	28.7	43.4	54.4	63.2	67.6	60.7	53.8	42.7	29.1	21.4
	DAILY MIN DPT	8.0	13.9	21.8	36.8	48.6	59.0	64.5	55.5	48.1	36.8	22.5	15.6
4	DAILY MAX WBT	31.3	34.5	40.7	57.8	64.9	70.9	74.6	69.6	64.1	56.4	42.8	33.2
	DAILY AVE WBT	23.8	28.1	35.2	52.2	60.8	67.7	71.8	66.1	59.7	50.8	37.3	27.7
	DAILY MIN WBT	15.8	21.9	29.7	45.5	56.5	64.1	68.8	62.0	55.6	45.0	31.2	21.7
		NORMAL DAILY SOLAR RADIATION (MONTHLY AVG) BTU/SQ FT(DAY)											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5	HORIZONTAL	648.	895.	1203.	1575.	1873.	2080.	2102.	1862.	1452.	1092.	737.	561.
	50 VERTICAL	1098.	1218.	1222.	1113.	994.	975.	1034.	1149.	1276.	1343.	1176.	1005.
6	HEATING DEGREE DAYS BASE 65F											5034.8	
	COOLING DEGREE DAYS BASE 65F											1791.4	
	COOLING DEGREE DAYS BASE 78F ET*											496.2	
7	WINTER DESIGN DBT									99.0%	2.0		
										97.5%	6.0		
8	SUMMER DESIGN DBT / COINCIDENT WBT									1%	99.0 / 75.0		
										2.5%	96.0 / 74.0		
										5%	93.0 / 74.0		
9	SUMMER DESIGN WBT									1%	78.0		
										2.5%	77.0		
										5%	76.0		
10	% TOTAL HEATING HOURS (LESS THAN 68F) I-V											64.2	
	HEATING I											32.5	
	HEATING II											7.0	
	HEATING III											5.7	
	HEATING IV											7.2	
	HEATING V											11.8	
	% HUMIDIFICATION HOURS VI.A + VI.B											0.5	
	% TOTAL COMFORT HOURS (SHADING REQUIRED) VII											13.6	
	% DEHUMIDIFICATION HOURS VIII											3.9	
	% TOTAL COOLING HOURS (GREATER THAN 78F ET*) IX - XVII											17.9	
	% PASSIVE COOLING HOURS IX - XIV											15.9	
	COOLING IX											5.4	
	COOLING X											1.4	
	COOLING XI											7.3	
	COOLING XII											1.1	
	COOLING XIII											0.7	
	COOLING XIV											0.1	
	% VENTILATION EFFECTIVENESS HOURS IX + X + XI											14.1	
	% MASS EFFECTIVENESS HOURS X + XI + XII + XIII											10.4	
	% EVAPORATIVE COOLING EFFECTIVENESS HOURS XI + XIII + XIV + VI.B											8.3	
	% HOURS BEYOND PASSIVE EFFECTIVENESS VIII + XV + XVI + XVII											5.8	
	DEHUMIDIFICATION VIII											3.9	
	DEHUMIDIFICATION AND COOLING XV											0.7	
	DEHUMIDIFICATION AND COOLING XVI											1.2	
	COOLING XVII											0.0	

4 - Quadro Resumo dos Limites das ZC das Metodologias Estudadas

TEMPERATURA	UMIDADE
-------------	---------

METODOLOGIA	limite mínimo	limite máximo	limite mínimo	limite máximo	OBS.
OLGYAY (EUA)			30%	65%	
	21,1°C	27,7°C			verão
	20°C	24,4°C			inverno
OLGYAY (trópicos)			20%	80%	
	23,9°C	29,5°C			verão
	18,3°C	23,9°C			inverno
ASHRAE 55-74	> 22,2°C TE*	< 25,6 °C TE*	> 5 mm Hg	< 14 mm Hg	
ASHRAE 55-81			> 4 g/kg	< 12 g/kg	
	> 23 °C TE*	< 27 °C TE*			verão
	> 20°C TE*	< 24°C TE*			inverno
ASHRAE 55-92			> 4,5 g/kg e 30%	< 60 %	
	> 23 °C TE*	< 26 °C TE*			verão
	> 20°C TE*	< 23,5°C TE*			inverno
GIVONI original			> 5 mm Hg	< 17mmHg e 80%	
	> 21°C	< 26°C			baixas umid.
		< 25°C			altas umid.
GIVONI e MILNE			> 20%	< 80%	
	> 22,7 °C	< 27 °C			verão
	>20 °C	< 24 °C			inverno
GONZALEZ			> 4 g/kg	< 14 g/kg ou 75%	
	> 22 °C	< 29 °C			baixas umid.
		< 26,5 °C			altas umid.
GIVONI 92 Países Desenvolvidos			> 4,0 g/kg	< 80 % e 15g/kg	
	> 20 °C	< 27 °C			baixas umid.
		< 25 °C			altas umid.
GIVONI 92 Países em Desenvolvimento			> 4 g/kg	< 17 g/kg e 80%	
	> 25 °C	< 29 °C			baixas e altas
		< 26 °C			umid. (verão)
SZOKOLAY			> 4 g/kg	< 12 g/kg	
	TMA ± 2 K (SET)				limites variáveis c/ o clima local
	TMM ± 1,75 K (SET)				
WATSON & LABS			> 5 mm Hg	< 80 %	
	> 20 °C TE*	< 25,6 °C TE*			
Experiência na TAILÂNDIA	> 22 °C	< 28 °C			ar cond.
		< 31 °C			vent nat.

5 - Discussão

Como a equação de Fanger considera todas as variáveis que afetam o conforto humano e o desempenho do ambiente construído, partiu-se do princípio de conciliar estas duas questões para encontrar um método interessante de ser adotado ou adaptado para a nossa realidade.

Inicialmente a verificação foi feita com a equação de FANGER considerando-se os limites de cada método para velocidade de ventos, vestimentas e atividades. Esta verificação indicou que só os limites da Zona de Conforto das normas ASHRAE eram compatíveis com a equação de FANGER.

Resolveu-se ajustar então, o índice de vestimenta das zonas de conforto dos demais autores até obter-se uma concordância entre os sistemas bioclimáticos e a equação de FANGER. Isto foi possível até a temperatura com o limite máximo de 28 °C. Entretanto, a partir da temperatura de 29 °C não é possível obter-se a concordância com vestimentas normais, a não ser que seja elevada a velocidade do vento acima dos limites estabelecidos pela ASHRAE 55 - 92 (1992) (**Ver tabelas de 3.1 até 3.13**).

Com base no fato de que as pessoas que moram em países de clima quente e úmido e em desenvolvimento, aceitam limites máximos maiores de temperatura e umidade, Givoni sugere elevar de 2°C a temperatura limite máxima e de 2 g/kg o valor do conteúdo de vapor. A nova carta de temperatura efetiva mostra uma alteração do limite superior da sensação de conforto de 27,0°C para 29,7 °C quando a velocidade do ar é aumentada de 0,1 para 1.5 m/s, segundo GIVONI (1992). Isto discorda dos limites rigorosos estabelecidos pela ASHRAE, porém comprova os testes realizados nas zonas de conforto deste trabalho. Os resultados mostram que com temperaturas maiores que 29°C, ao se reduzir o índice de vestimenta e aumentar a velocidade do vento consegue-se atingir valores compatíveis com FANGER.

O mesmo autor afirma que os estudos experimentais de Wu, Tanabe e McIntyre mostram que em interiores com velocidade de ventos de 2,0 m/s a zona de conforto pode ser estendida para 30°C em países desenvolvidos, e para 32 °C nos países de clima quente em desenvolvimento e para pessoas aclimatadas.

SZOKOLAY (1987) expõe que a neutralidade térmica é influenciada pelo clima como resultado da aclimação fisiológica e pelos hábitos. Define uma zona de conforto térmico delimitada por uma faixa de ± 2 K em torno da temperatura neutra anual, ou $\pm 1,75$ K média dos meses mais quentes ou mais frios. Esta zona assim definida aplica-se a usuários com vestimenta leve, em atividade sedentária. Para outros níveis de atividade metabólica mais intensos, há uma proposta de ajuste da temperatura neutra.

A aclimação também pode ser comprovada através da pesquisa realizada em Bangkok na Tailândia por BUSCH (1992) onde mais de 1100 trabalhadores em escritórios responderam a um questionário enquanto medidas físicas simultâneas foram registradas. Nesta pesquisa descobriu-se que o limite máximo de temperaturas para um padrão de conforto Tailandês em lugar de começar com o nível aceitável de 26,1 °C poderia ser 31 °C para trabalhadores de escritórios acostumados com espaços ventilados naturalmente e 28 °C para aqueles acostumados com ar condicionado. Comparando as respostas dos edifícios naturalmente ventilados com os edifícios com ar condicionado e com os estudos conduzidos nas regiões temperadas, prova-se convincentemente a evidência da aclimação. Esta e outras descobertas deste estudo sugerem que o espaço interno na Tailândia pode ser resfriado para temperaturas menos distantes da temperatura própria do microclima local sem sacrificar o conforto.

A cerca das cartas bioclimáticas analisadas temos que:

- i) OLGYAY (1963) desenvolveu a carta bioclimática baseada no clima externo e não considerando a edificação.
- ii) GIVONI (1992) embora considere a aclimação na definição dos limites de conforto não esclarece em seu trabalho sobre qual estratégia adotar quando as condições climáticas caem dentro da interseção de duas ou mais zonas de estratégias. O diagrama de GIVONI é um sistema estanque que foi desenvolvido para tipologias de edificação e locais definidos.
- iii) O diagrama de SZOLOLAY (1987) oferece a possibilidade de aplicar-se a qualquer clima pois é definido a partir da temperatura média anual ou mensal da localidade em estudo e além das condições de atividades metabólicas.
- iv) A metodologia de WATSON e LABS (1983) embora não considere a aclimação nos seus limites de conforto térmico, adota-os similarmente aos da ASHRAE que se mostraram coerentes com a metodologia de FANGER, evidenciando a proposta de universalidade das condições de conforto térmico. Outra questão importante no método destes autores é que eles subdividiram a carta psicrométrica em sub-zonas distintas que representam cada estratégia de controle do clima. Isto facilita a aplicação deste método de forma objetiva. Ressalta-se também neste método a separação das necessidades bioclimáticas das estratégias para controle climático.

Para selecionar uma metodologia bioclimática a ser adotada para caracterizar o nosso clima e avaliar o desempenho térmico de edificações é necessário que seja adaptável a clima quente e úmido. No estudo realizado neste trabalho percebe-se que as normas ASHRAE adotam a equação de Fanger como base para a delimitação de sua zona de conforto. Entretanto o sistema ASHRAE é criticado por Givoni, por ser exclusivo para ambientes com ar condicionado e limitar a velocidade do ar a valores muito baixos.

Fanger mostra que se o movimento do ar não for um incômodo ao trabalho, produzindo o efeito de levantar papéis, por exemplo, o mesmo pode ser usado como um substituto do ar condicionado no resfriamento de verão. Para fazer isto não é necessário prever uma grande área de janela ou outras aberturas, já que isto pode aumentar a admissão de

radiação solar direta ou difusa e aquecer o ar no interior. O espaço interno pode ser ventilado mecanicamente para remover o calor, enquanto que o envelope do edifício é isolado do ambiente externo (LIM, 1983).

Deve-se considerar as pesquisas que indicam a evidência da aclimação BUSCH (1992) e GIVONI (1992) para as regiões mais quentes e úmidas.

6 - Proposta da Zona de Conforto para o Brasil

Com base no estudo realizado propõem-se a adoção da Carta Bioclimática para Edifícios de Givoni (Givoni, 1992) com suas estratégias de projeto (**ver fig.6.1**), por apresentar melhores condições de aplicação para o Brasil, considerando que:

— Givoni desenvolveu um trabalho voltado para países quentes e em desenvolvimento;

— Seu trabalho foi baseado na aclimação das pessoas a climas quentes e úmidos, e este estudo confirmado por experimentos realizados na Tailândia;

— A metodologia de Givoni adota limites maiores de velocidade do ar para temperaturas mais elevadas, coerentes com a realidade dos países de clima quente e úmido;

— O espaço interno pode ser resfriado, quando necessário, com menor consumo de energia, já que a temperatura máxima de conforto estabelecida está mais próxima da temperatura externa do local.

Considerações sobre as Estratégias de Projeto:

As zonas correspondentes às estratégias de projeto foram adotadas, na maioria, iguais as da carta de Givoni (1992) para países em desenvolvimento. Somente algumas alterações foram implementadas:

1) Adaptações

1.1 - Ventilação

Para o limite superior do conteúdo de umidade foi adotado o valor de 20,5 g/kg de ar seco, que corresponde a 25 mmHg ao nível do mar. No seu último trabalho, Givoni não definiu com precisão este limite. Gráficamente apresenta o valor de 19 g/kg de ar seco, que

apresenta a correspondência de 23,1 mmHg (ao nível do mar). Em nenhum momento no seu trabalho, faz referência a este novo valor ou a pressão atmosférica da carta psicrométrica utilizada por ele. Porém, várias vezes justifica os limites se reportando a trabalhos anteriores. Em vista disso, resolve-se adotar o valor de 25 mmHg (o qual era utilizado nos trabalhos passados). Considerou-se também, que a carta psicrométrica do artigo atual não é para o nível do mar, fato que pode ter provocado a confusão.

A zona de ventilação foi estendida até a linha de umidade relativa de 100%, baseado na carta de Gonzalez (1986), a qual foi desenvolvida para climas quentes e úmidos, mais próximo da realidade da região em estudo.

1.2 - Resfriamento Evaporativo

A carta de Givoni (1992) não apresenta o limite da zona de resfriamento na área abaixo da zona de conforto (umidades relativas mais baixas). Foi estabelecido, então, esta delimitação pela linha de TBU (temperatura de bulbo úmido) de 10,6°C de acordo com o trabalho de Gonzalez (1986).

2) Complementações

2.1 - Umidificação

A zona de umidificação não foi definida por Givoni (1992). Adota-se esta zona da carta de Gonzalez, cujo limite é definido pela TBU de 10,6°C, comum à zona de Resfriamento Evaporativo.

2.2 - Aquecimento

Estas estratégias também não foram definidas no último trabalho de Givoni. Para implementação destas zonas reportou-se, novamente, ao trabalho de Gonzalez, adotando-se os limites por ele estabelecido:

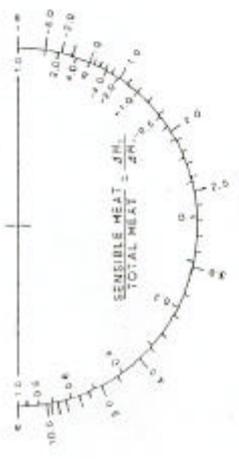
- Zona de Aquecimento Artificial - até o limite de TBS igual a 10,5°C.
- Zona de Aquecimento Solar Passivo - delimitado entre os valores de TBS de 10,5°C até 14,0°C.
- Zona de Massa Térmica - limite inferior de 14°C, estendendo-se até a temperatura de 20°C, fora da zona de conforto.

2.3 - Zona de Ar-condicionado

Área não atendida por nenhuma estratégia, somente consegue-se o conforto através de refrigeração artificial.

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1
 NORMAL TEMPERATURE
 SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE 101,325 kPa

COPYRIGHT 1981
 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



ENTHALPY (kJ/kg DRY AIR) = $\frac{\Delta H}{\Delta W}$
 HUMIDITY RATIO = $\frac{\Delta W}{\Delta H}$

- ZONAS CARTA BIOLIMÁTICA PI FLORIANÓPOLIS
 (Base: Carta Cowi 1992 / sem países em desmembramento)
- 1 Zona de conforto
 - 2 Zona de Ventilação
 - 3 Zona de Enfriamento Evaporativo
 - 4 Zona de Enfriamento por Evaporação
 - 5 Zona de Ar Condicionado
 - 6 Zona de Umidificação
 - 7 Zona de Aquecimento Artificial
 - 8 Zona de Aquecimento Sobre Pressão
 - 9 Zona de Nova Técnica
 - 10 Zona de Ventilação Mista
 - 11 Zona de Ventilação Natural
 - 12 Zona de Mixed-Mode (Free & Forced)

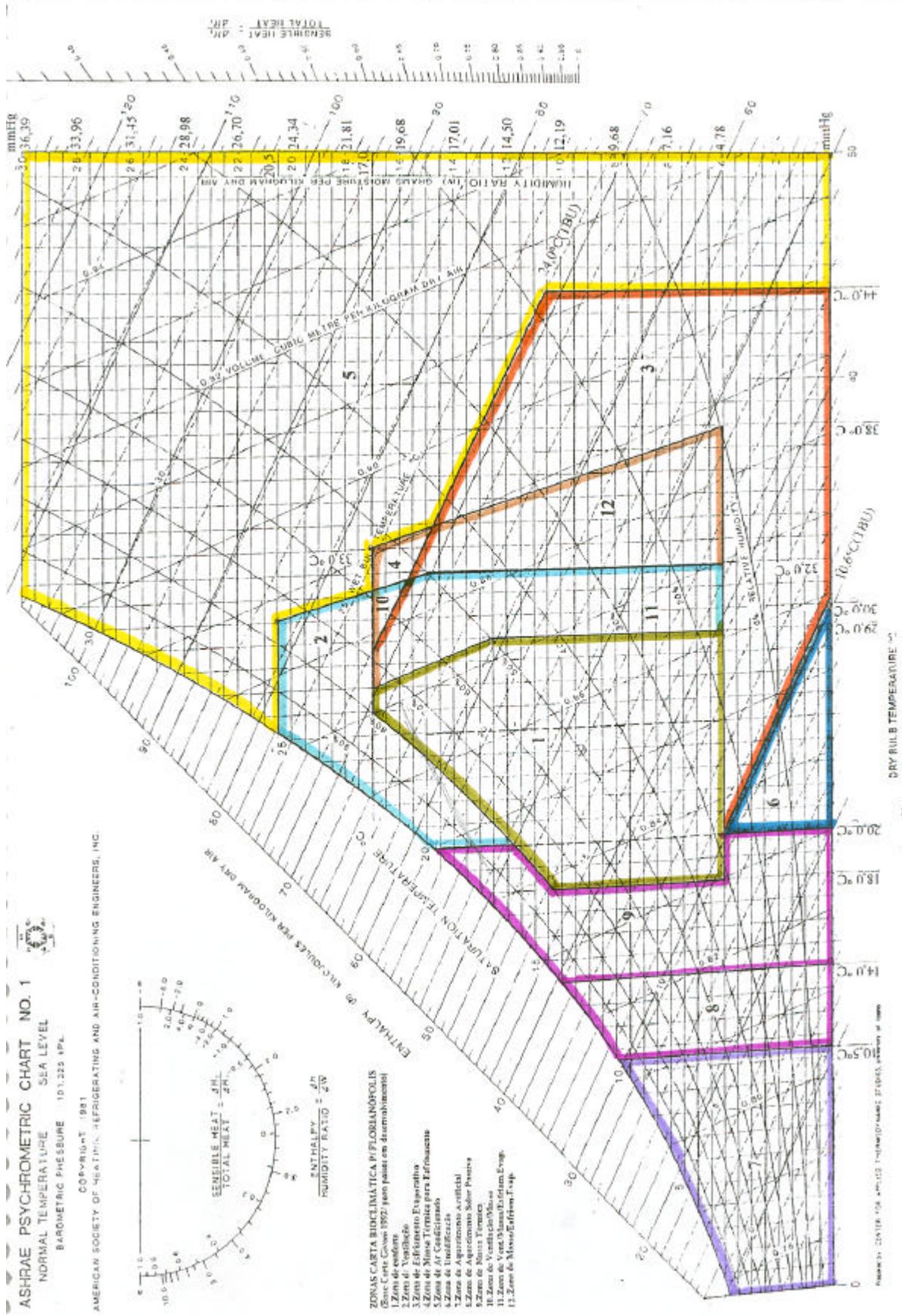


Figura 6.1 - Carta Bioclimática proposta para o Brasil

7 - Referências Bibliográficas

- ALUCCI, M. P. Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia Elétrica - Procedimentos para Desenvolvimento e Avaliação de Projeto de Edificações. Tese de doutorado FAU USP, São Paulo, pp. 225, 1992.
- ARAÚJO, V. M. D. A. Condicionantes ambientais e fisiológicas para os usuários das edificações em Natal-RN. Relatório parcial do CNPq. 13 p. (mimeo), 1986.
- BARDOU, P. & ARZOUMANIAN, V. Sol Y Arquitectura. 3 ed. Barcelona, Gilli, 171p., 1984.
- BUSCH, J. F. A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand. Energy Analysis Program, Applied Science Division, Lawrence Laboratory, CA 94720 (USA), Energy and buildings, v.18, pp. 235-249, 1992.
- CERER - notas de aula (manuscrito em francês xerocado), 1990.
- EMERICK, R. H. Comfort Factors Affecting Cooling Design. Progressive Architecture, pp 97- 99, Dezembro, 1951.
- FANGER, P. O. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. New York, McGraw-Hill. 244 p, 1972.
- FROTA , A. B. Conforto termo-higrométrico, homem e ambiente. São Paulo, FAUUSP. 69 p. (mimeo), 1979.
- FITCH, J. M. American Building: The environmental forces that shape it. 2 ed. v. 2., New York, Shoken Books. 349p, 1972.
- GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Buildings, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.
- GIVONI, B. Man Climate and Architecture. 2#### ed. London, Applied Science . 483 p., 1976.
- GONZALEZ, E.; HINZ, E.; OTEIZA, P. de; QUIROS, C. Proyeto Clima y Arquitetura. Mexico Ediciones G.Gili, S.A. de C.V., V. 1, 1986.

- IZARD, J. L. & GUYOT, A. Arquitetura Bioclimática. Barcelona, Gustavo Gilli, S.A., 191 p., 1983.
- KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. Viviendas y Edifícios en Zonas Cálidas y Tropicales. Paraninfo, 323 p. Madrid, 1977.
- KRÜGER, M.J.T. Teorias e Analogias em Arquitetura. São Paulo, Projeto. 60 p., 1986.
- LIM, B. B. P. Energy Conservation in Buildings and the Indoor Environment - A Review. Architectural Science Review. 26 (1) p. 6-12, 1983.
- MASCARÓ, L.E. R. Luz Clima e Arquitetura . 3#### ed. São Paulo, Nobel, 189 p., 1983.
- MILL, P.A.D. Technical Quality control and Transdisciplinary Testing Requirements of Total Building Performance in Canadá. in the 10th Trienal Congress... CIB, Washington DC, Proceedings, pp. 3286-3296.
- OLGYAY, V. Design with Climate. Princeton University Press, New Jersey, 1963.
- OLGYAY, V. Clima y Arquitectura en Colombia. Universidad del Valle. Facultad de Arquitectura. Cali, Colombia, 1968.
- PIETROBON, C.E. Um Processo Sistemático para o Projeto Arquitetônico Bioclimático: O caso de Maringá-PR. Dissertação de Mestrado da Escola de Eng. de São Carlos- USP, 1990.
- RORIZ, M. Zona de conforto térmico : um estudo comparativo de diferentes abordagens. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 133 p. (Dissertação de Mestrado), 1987.
- SCARAZZATO, P.S. Investigação sobre critérios para determinação e medição de níveis de conforto térmico. São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo 163 p. (Dissertação de Mestrado), 1988.
- SIPLE, P. Climatologist and Military Geographer. General Staff, Department of the Army.
- SZOKOLAY, S. V. Thermal Design of Buildings. RAIÁ Education Division 2a Mugga Way Red Hill ACT 2603, Austrália, 1987.

VILLAS BOAS, M. Índices de Conforto Térmico. in: Curso de especialização, por tutoria a distância: Controle do ambiente em Arquitetura. Módulo 7 Brasília, CAPES. pp. 5-8. (mimeo).

YAGLOU, C. P. Radiant Cooling-Investigated in Texts at Harvard and Discussed at New York Meeting by Dr. Yaglou. Heating and Ventilating, pp102-104, Maio, 1947.

WATSON, D. Energy Conservation Through Building Design. McGraw Hill, Nova York, pp. 96-113, 1979.

WATSON, D.; LABS, K. Climatic Design: Energy-efficient Building Principles and Practices. New York, McGraw-Hill. 280 p., 1983.