



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Dissertação de Mestrado

AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS CLIMÁTICOS PARA FINS
DE EDIFICAÇÕES EM CAMPINA GRANDE -PB

LUCIANO JORDAN CASTOR DE LIMA

Campina Grande
Paraíba

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

**AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS CLIMÁTICOS PARA FINS
DE EDIFICAÇÕES EM CAMPINA GRANDE - PB**

LUCIANO JORDAN CASTOR DE LIMA

CAMPINA GRANDE - PB

FEVEREIRO - 2006

LUCIANO JORDAN CASTOR DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS CLIMÁTICOS PARA FINS
DE EDIFICAÇÕES EM CAMPINA GRANDE - PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Orientador

Renilson Targino Dantas, D. Sc.

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO – 2006



L732a Lima, Luciano Jordan Castor de
Avaliacao de elementos climaticos para fins de
edificacoes em Campina Grande - PB / Luciano Jordan Castor
de Lima. - Campina Grande, 2006.
83 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Agricola) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de
Tecnologia e Recursos Naturais.

1. Conforto Ambiental 2. Hicrotermia 3. Radiacao Solar
4. Elementos Climaticos 5. Clima - 6. Dissertacao I.
Dantas, Renilson Targino, Dr. II. Universidade Federal de
Campina Grande - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 551.588.7(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

LUCIANO JORDAN CASTOR DE LIMA

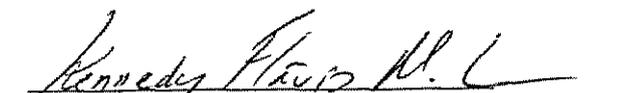
AVALIAÇÃO DE ELEMENTOS CLIMÁTICOS PARA FINS DE EDIFICAÇÕES EM
CAMPINA GRANDE-PB

BANCA EXAMINADORA

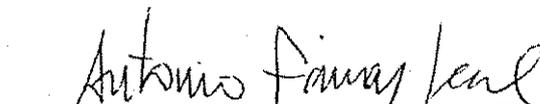
PARECER


Dr. Renilson Targino Dantas-Orientador

APROVADO


Dr. Kennedy Flávio M. de Lucena-Examinador

APROVADO


Dr. Antônio Farias Leal-Examinador

APROVADO

FEVEREIRO - 2006 -

Ao meu pai,
Polycarpo Macêdo Lima - "Poly" -
in memoriam, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande.

Ao meu orientador, Dr. Renilson Targino Dantas, além da grande contribuição, pela confiança, compreensão e dedicação.

Ao Coordenador da Pós-graduação em Engenharia Agrícola – COPEAG -, Dr. Hans Raj Gheyi.

À secretária da COPEAG, Rivanilda Pereira Diniz.

Aos professores, funcionários e colegas que me acompanharam durante o curso.

Ao professor, CEFET/CE, Dr. Homero Jorge Matos de Carvalho, pela ajuda fundamental para o desenvolvimento da pesquisa.

À professora do Departamento de Arquitetura da UFPB, Dra. Nelci Tinen.

Ao 3º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia – 3º DISME/INMET – especialmente ao Sr. Raimundo Jaildo dos Santos e a Sra. Alissandra Mota.

A minha linda mãe, Ivanize Castor de Lima, por todo amor, ajuda e carinho.

A Shirley Daiana Fernandes de Oliveira, minha amada esposa, grande amiga e companheira.

Aos irmãos Jorge Alessandro, João Carlos, Leonardo Weber e Thiago Lucas, pela colaboração direta na pesquisa e Ana Coeli, Paulo Lindenberg e Fernando Romero por estarem sempre do meu lado, assim como os outros, em todos os momentos.

Aos meus amigos, em especial, Kleber Fonseca, Wellington Figueiredo, Márcio Fook e George Cruz.

Ao casal Joaquim Pedro e Elisa Yamauti.

Aos amigos do DNIT/PB, especialmente, Arimateia Feitosa, Geraldo Nóbrega, Germano Valério e Salviano Santos que me ajudaram a ingressar e cursar o mestrado.

Aos amigos do Fórum Eleitoral – TRE/PB, da CENATEL, do Cartório da 76ª Zona Eleitoral e a Fábio Siqueira.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Geral.....	2
1.1.2 Específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A questão energética.....	4
2.6 O clima.....	5
2.3 A postura arquitetônica.....	8
2.4 O conforto térmico.....	10
2.4.1 Zona de conforto térmico.....	17
2.5 As trocas de calor.....	18
2.5.1 Condução.....	18
2.5.2 Convecção.....	19
2.5.3 Radiação térmica.....	19
2.5.4 Evaporação e condensação.....	20
2.6 Trocas de calor em edificações.....	20
2.7 Resumo histórico.....	21
2.8 Pesquisas no Brasil.....	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1 Descrição do local.....	32
3.2 Metodologia.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1 Médias dos elementos meteorológicos.....	38

4.2	Temperatura do ar.....	39
4.3	Umidade relativa do ar.....	46
4.4	Higrotermia.....	52
	4.4.1 Dias críticos.....	55
4.4	Ventilação.....	57
4.5	Correlação entre n/N e a média da temperatura do ar.....	64
5.	CONCLUSÕES.....	75
6.	RECOMENDAÇÕES.....	76
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
01 Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995.....	40
02 Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1996.....	41
03 Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:0 h nos meses de janeiro e julho de 1997.....	42
04 Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1998.....	43
05 Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1999.....	44
06 Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho entre 1995 e 1999	46
07 Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995	47
08 Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1996	48
09 Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1997	49
10 Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1998	50
11 Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1999	51
12 Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995 a 1999.....	52
13 Média da temperatura do ar correlacionada com a umidade relativa do ar nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h no mês de janeiro no período entre 1995 e 1999.....	53
14 Média da temperatura do ar correlacionada com a umidade relativa do ar nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h no mês de julho no período entre 1995 e 1999.....	54

15	Temperatura e umidade relativa do ar no dia que ocorreu a maior média de temperatura do ar no período de 1995 a 1999 (07/01/1996).....	55
16	Temperatura e umidade relativa do ar no dia que ocorreu a menor média de temperatura do ar no período de 1995 a 1999 (17/07/1996).....	57
17	Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995.....	58
18	Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1996.....	59
19	Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1997.....	60
20	Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1998.....	61
21	Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1999.....	62
22	Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995 a 1999.....	64
23	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1995.....	65
24	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de julho de 1995.....	66
25	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1996.....	67
26	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de julho de 1996.....	68
27	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1997.....	68
28	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de julho de 1997.....	69
29	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1998.....	70

30	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de julho de 1998.....	71
31	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1999.....	71
32	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de julho de 1999.....	72
33	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro entre 1995 e 1999.....	73
34	Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de julho entre 1995 e 1999.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
01	Sensação do organismo em função da umidade relativa do ar.....	10
02	Taxas de metabolismo.....	11
03	Isolamento térmico por peça de roupa.....	14
04	Níveis de conforto encontrados para Belo Horizonte-MG.....	28
05	Comparativo entre os intervalos de conforto para atividade sedentária recomendados pela NBR 6401(1980) e ISO 7730 (1994).....	29
06	Médias dos valores observados entre os anos de 1995 e 1999.....	38

RESUMO

O conhecimento das condições climáticas de uma cidade é fundamental para a concepção de projetos de edificação: habitar confortavelmente espaços edificados depende de formulações arquitetônicas que devem ser, além de satisfazerem as necessidades dos usuários, adaptadas às características ambientais da localidade. Com estas considerações, isto deve também implicar no planejamento de construção de edificações com baixo consumo energético. Utilizando dados meteorológicos de determinados períodos do dia – 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h – do período entre 1995 e 1999, registrados na estação da Embrapa, da cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil, esta pesquisa teve como objetivo oferecer subsídios para um melhor planejamento de edificações, através da análise de elementos climáticos, almejando o conforto higrotérmico humano, bem como um melhor desempenho energético dos edifícios. Além dos estudos de temperatura, umidade relativa do ar e ventilação, também foram investigados os efeitos da razão entre a insolação real e a insolação máxima (n/N) sobre as médias das temperaturas diárias, para a identificação de uma zona de conforto para esta variável climática. A pesquisa constatou que nas tardes de janeiro ocorreu desconforto térmico por altas temperaturas. Em julho, apesar de não ter ocorrido altas temperaturas, houve desconforto higrotérmico das 18:30 h às 9:00 h devido a baixas temperaturas e altos níveis de umidade relativa do ar nesses períodos dos dias.

ABSTRACT

The knowledge of the climatic conditions of a city is the mainstay for the conception of construction projects: to inhabiting comfortably built spaces depends on architectural formulations, that should be, besides satisfying the users's needs, fitted to the locality environmental characteristics. With these considerations in mind, it should also imply in the construction planning of low energy consumption buildings. Using meteorological data from determined day times – 9:00 h, 15:00 h and 21:00 h – of the period between 1995 and 1999, registered in the Embrapa station of Campina Grande city, Paraiba, Brazil, this research had as objective to offer subsidies for a better planning of constructions, through the behavior analysis of climatic elements, aiming the higro-thermal human comfort, as well as a better building energy performance. Besides the studies of the temperature, relative air humidity and ventilation, it was also investigated the effects of the real insolation and the maximum insolation reason (n/N) on the averages of the daily temperatures, for the recognition of a comfort zone for this climatic variable. The research observed that in the January afternoons thermal discomfort because of high temperatures occurred. In July, despite no high temperatures, there was higro-thermal discomfort from 18:30 h to 9:00 h for low temperatures and high relative air humidity levels in these periods of the days.

1. INTRODUÇÃO

Sentir-se confortável é o desejo de todos os animais. O modo de buscar o conforto depende basicamente dos recursos que cada ser tem de enfrentar às condições climáticas do local onde estão inseridos e reagirem instintivamente às condições favoráveis e desfavoráveis. Contudo o homem, diferente de todos os outros animais, tem uma maior capacidade de criar novos microclimas através de edificações e detalhes construtivos específicos que possibilitam a adaptação a diferentes tipos climáticos. As experiências construtivas mais antigas nos mostram como os povos mais primitivos sabiam lidar com as adversidades da natureza. Tanto nas regiões mais frias quanto nos lugares mais áridos as construções eram e ainda continuam sendo, quando construídas por nativos, edificadas de acordo com as exigências climáticas regionais. Entretanto com o desenvolvimento industrial nos assentamentos humanos mais evoluídos a qualidade do conforto ambiental nas construções tem sido cada vez mais comprometida. Todo o conhecimento construtivo intuitivo herdado de várias gerações com respeito e adequação aos fenômenos climatológicos foi substituído por "avanços tecnológicos" tais como painéis de vidros e aparelhos para a refrigeração ou aquecimento do ar. O problema mais grave não é o fato de se utilizar tais elementos que, em algumas situações são de grande importância no bem-estar das pessoas, mas, a forma indiscriminada na qual estão sendo colocados quando as construções simplesmente ignoram os recursos naturais de conforto térmico que deveriam usufruir.

O mundo passou a enfrentar desde a década de 1970 uma grave crise energética, fato este que vem, desde então, preocupando a sociedade, os governos mundiais. Entre os setores de maior influência no consumo de energia encontra-se o da construção civil, ou seja, a maneira pela qual as intervenções urbanas e prediais estão sendo direcionadas em todo o planeta. Além dos elevados índices de consumo energético, a questão ecológica também causa bastante preocupação, principalmente no Brasil onde grande parte da energia é produzida por usinas hidrelétricas que para serem instaladas provocam sérios problemas ambientais. O desenvolvimento sustentável tornou-se uma prerrogativa básica para qualquer nação que almeje um crescimento responsável.

Vários especialistas alertam para os problemas que envolvem o aumento do consumo de energia. Entre eles encontram-se as cidades que têm se desenvolvido de forma

acelerada sem nenhum planejamento adequado. Além do caos social, este crescimento descontrolado tem gerado gravíssimos equívocos, tanto no desenho urbano quanto nas edificações, que poderiam ter sido resolvidos se, na fase inicial de projeto, fosse considerada a relação clima/edificação. No Brasil grande parte do consumo é utilizado por edificações residenciais e comerciais o que faz Mascaró e Mascaró (1992) alertarem que seria necessário cerca de 1/3 do total de energia consumida para o funcionamento de uma edificação se esta fosse projetada de acordo com as condições climáticas locais. Fato também destacado por Santos (2002) que afirma que um edifício, com o mesmo projeto, construído em diferentes locais pode provocar uma diferença bem elevada no consumo de energia elétrica.

O clima, que influencia diretamente na execução, na segurança e no conforto das edificações, exerce fundamental importância no consumo *per capita* de energia, portanto, é um elemento que deve ser tratado de forma muito cuidadosa nas concepções das intervenções urbanísticas e arquitetônicas. O estudo das condições climáticas de Campina Grande, assim como em qualquer outra região, torna-se essencial para que se obtenham padrões específicos que possam ser utilizados pelos profissionais envolvidos com a construção civil.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Avaliar elementos climáticos de Campina Grande-PB, visando projetos de edificações.

1.1.2 Específicos

Determinar os valores médios mensais dos elementos climáticos para o período 1995-1999.

Analisar as condições de conforto, considerando as médias da temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento nos meses onde ocorreram os extremos dos maiores e menores valores das médias de temperatura do ar.

Investigar as condições de conforto higrotérmico em todo o período, assim como nos dias em que ocorreram as situações extremas, de maiores e menores médias de temperatura do ar.

Analisar os efeitos da razão entre insolação real e insolação máxima no planejamento das edificações.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A questão energética

Com o surgimento da crise energética na década de 70 do século XX, a preocupação com a redução no consumo de energia, que já existia antes da era dos combustíveis fósseis baratos os quais contribuíram para a disseminação do uso dos meios de calefação e resfriamento mecânicos, volta a ocupar lugar de destaque nas decisões dos projetos de arquitetura. A concepção do projeto de uma edificação adaptado ao seu clima, que utilize corretamente o sol, o vento, a vegetação, a temperatura, as características termofísicas dos materiais e a umidade, recebe várias denominações como de Arquitetura Bioclimática, Arquitetura Natural, Arquitetura Solar Passiva, Desenho Climático, embora o fato de edificar com responsabilidade não precisa ser uma diretriz seguida por alguns profissionais, mas sim, uma atitude constante no modo de projetar.

Esta forma de encarar um projeto pode, quando não for possível eliminar, reduzir em muito o consumo de energia gerado pelo uso dos equipamentos mecânicos de calefação e ventilação. Carvalho (2001) alerta para o problema do consumo de energia, "visto que as cidades crescem de forma acelerada e, muitas vezes, descontroladamente" e que este consumo pode ser reduzido se, ainda na fase de projeto, a relação entre clima e edificação fosse considerada de forma mais adequada. Carvalho faz ainda um paralelo entre o nosso país e alguns países industrializados como EUA e Japão onde, principalmente nas décadas de 70 e 80, conseguiram redução nos níveis de consumo de energia enquanto no Brasil foram obtidos elevados índices de consumo. Parte deste consumo brasileiro, 43% do total, é utilizado por edificações residenciais e comerciais o que motivou Mascaró e Mascaró (1992) a desenvolverem uma pesquisa de campo na qual constataram que "20 a 30% da energia consumida seriam suficientes para o funcionamento da edificação; 30 a 50% da energia consumida são desperdiçados por falta de controles adequados da instalação, por falta de manutenção e também por mau uso; 25 a 45% da energia são consumidos indevidamente por má orientação da edificação e por desenho inadequado de suas fachadas, principalmente" e Santos (2002) ainda reforça mostrando que "um mesmo projeto de edificação em locais diferentes, pode provocar aumento de até 80% da demanda de energia elétrica, por exemplo, quando se compara Belém e Porto Alegre".

O clima, que exerce fundamental importância no consumo *per capita* de energia, é um elemento que deve ser tratado de forma muito cuidadosa nas concepções das intervenções urbanísticas e arquitetônicas. Segundo Santos (2000) no seu trabalho, *Vulnerabilidade Climática e Consumo de Energia Elétrica em Áreas Urbanas*, desenvolvido em forma de relatório técnico para a ONU, “a modificação do ambiente natural para o ambiente construído também faz alterar o conjunto dos elementos climáticos; e a forma como eles interagem e geram conforto ou desconforto térmico no ser humano quando na permanência em ambientes internos também são pontos importantes a serem comentados”. E complementa destacando que, “os condicionantes do clima urbano estão ligados às características da forma urbana que interferem no curso natural dos ventos e na quantidade de radiação recebida. Dentre elas podemos destacar: a rugosidade, a densidade da construção (ocupação do solo), as propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes, o tamanho e orientação do edifício”.

2.2 O clima

O arquiteto trabalha com inúmeros elementos na formulação dos espaços arquitetônicos, entre estes as condições climáticas do local de implantação da obra apresenta uma influência muito importante nas decisões projetivas. Entretanto observa-se em muitas obras que o clima não passa de um pequeno detalhe que pode ser resolvido com o uso de condicionadores de ar. Sobre essa questão Silva (1987) coloca que “decidir se a obra ficará contra ou a favor da natureza é uma opção de projeto que pertence ao arquiteto” e é enfático quando fala da arquitetura brasileira dizendo que “a variável climática no contexto atual nunca foi levada em consideração”.

Apesar de toda a preocupação que se observa atualmente com relação à adequação de uma edificação com o meio, é antiga a busca da perfeita harmonia entre a arquitetura e as condições climáticas locais. Vitruvius (1982), considerado o fundador da estética na Arquitetura, na sua obra clássica os “Dez Livros de Arquitetura” fala como o clima pode determinar o estilo das casas, “se os nossos projetos para habitações tiverem que ser corretos, nós necessitamos, em princípio, ter em conta o lugar e o clima, no qual serão construídas. Um estilo de casa parece apropriado para se construir no Egito, outro na Espanha, uma espécie diferente na Turquia, outro mais diferente em Roma, e outros em lugares e países com diferentes características. Isto é devido ao fato de algumas regiões da

terra localizarem-se sob as trajetórias do sol, outras afastadas, enquanto que outras em posição intermediária. Nos países do norte, (o livro foi escrito no hemisfério norte) as casas deverão ser totalmente forradas e protegidas tanto quando possível e não serem localizadas em lugares abertos. Por outro lado, onde a força do sol é grande, nos países do sul, que sofrem com o calor, as casas devem ser construídas em locais mais abertos com fachadas para o norte ou nordeste”.

O clima tem sido, ao longo da história, tema de diversas discussões, inclusive de interpretações racistas e preconceituosas que relacionam situações geográficas e climáticas com nível de desenvolvimento intelectual e humano. Gerbi (1996) citado por Segawa (2003) mostra, por exemplo, situações onde “na Antiguidade, o nexó entre clima e gênio era quase um lugar comum” e colocações como a de Hipócrates, tido como “Pai da Medicina” que explicava os temperamentos e qualidades fisiológicas dos homens baseado nas alterações do clima e nas mudanças bruscas das estações. Ainda, segundo Gerbi, David Hume declarava que “há motivos para pensar que todas as nações que vivem para além dos círculos polares ou entre os trópicos sejam inferiores ao resto da espécie”.

Em torno deste pensamento e diante do desafio colonialista no enfrentamento dos trópicos, surgiu, em 1882, o que se pode considerar como o primeiro manual de conforto ambiental, publicado na Argélia, colônia da França na época, o livro *L’Habitation Dans les Pays Chauds – Contribution à L’Art de L’Acclimatation*, de autoria de H. Dessoliers. Com o intuito de orientar a colonização francesa o compêndio tratava as questões do clima com a fisiologia humana onde eram especificados, inclusive, sistemas construtivos e dispositivos mecânicos. Segundo Dessoliers (1882):

Não é suficiente atenuar pela drenagem e pelo cultivo as influências telúricas de sítios pantanosos, de torná-los habitáveis; é necessário também modificar as condições térmicas e higrométricas do meio no qual vivemos (...) em todos os países quentes, a casa deve ser um sanitarium no qual o homem, cada dia, retempera suas forças. Então ele resistirá mais energeticamente aos princípios mórbidos do lugar e logrará mais decididamente a obra-mãe da colonização: o saneamento da terra.

O foco da preocupação com clima passou em seguida para o salubrismo. A higiene torna-se o alvo dos estudos realizados no final do século XIX. A ventilação e os efeitos da

insolação na vida dos seres humanos estiveram fundamentalmente relacionados com a salubridade até a terceira década do século XX. Interessante observar que, em certo momento, a ventilação tornou-se a causa de várias doenças nas pessoas, como destaca Segawa (2003), “a corrente de ar era vetor de insalubridade, portador dos misteriosos miasmas”. Porém esta teoria logo foi esquecida e os elementos climáticos começaram a serem tratados como aliados da higiene. A insolação como procedimento terapêutico torna-se comum naquele momento, como pode-se observar nas palavras de Freire (1916):

A importância da ação direta dos raios de sol é fundamental nas construções das cidades. O espectro solar revelou-nos os raios ultravioletas como sendo microbicidas por excelência. Todos os micróbios sem exceção são aniquilados pelos raios do sol. Ora, é incontestável que o sol tem sido esquecido nos nossos planos de cidades; e esse é um ponto fundamental, que necessita reforma profunda nos nossos hábitos.

A partir de então os estudos se voltaram para os efeitos dos elementos climáticos na arquitetura. O médico pernambucano Aluizio Bezerra Coutinho no final da década de 20 do século passado analisando Le Corbusier e alguns arquitetos que seguiam os princípios do Movimento Moderno, propôs uma adequação da arquitetura brasileira às condições climáticas, através da proteção solar e aplicação de novos materiais baseados nas técnicas e estética corbuseriana. Coutinho (1930) também valorizava a arquitetura vernacular, justificando que o estudo da casa nativa dos trópicos permitia entrever o modo de construir uma casa racional.

Paulo Sá representa uma geração de técnicos, assim como Coutinho, que fundamentou a disciplina de conforto ambiental como ainda é dirigida atualmente. Sá (1952) faz um paralelo entre as edificações que eram construídas onde “as casas eram quadros de ver ou espetáculos para a vista” com as novas tendências modernistas em que o conceito de conforto foi incluído como “parte de importância primordial, o ambiente propriamente dito, a luz em que ‘moram’ os olhos, o ar que os pulmões respiram, o calor, a umidade e as correntes aéreas em que vivem mergulhados os corpos”. Segawa (2003) reforça as palavras de Sá colocando que “era a proposição do ‘certo’ – o conforto –, superando o ‘incerto’ – o belo”.

2.3 A postura arquitetônica

Produzir uma arquitetura adequada ao conforto humano é uma premissa básica para o desenvolvimento de um projeto arquitetônico. Edificar um abrigo para o ser humano é, ou deveria ser, o objetivo de um arquiteto, conseqüentemente este deve propiciá-lo o máximo de conforto possível. Fica difícil imaginar alguém que queira entrar e/ou permanecer em um espaço que lhe traga desconforto. De acordo com Barroso-Krause et al. (2004), “gerar uma arquitetura adequada a determinado clima significa elaborar espaços que propiciem ao seu usuário condições internas microclimáticas compatíveis ao funcionamento de seu metabolismo nas diversas atividades ali exercidas”. Rivero (1986) expressa muito bem como deve ser a postura de um profissional que projeta para um ser humano:

O que importa realmente é compreender que não fazemos arquitetura se somente enfocamos unilateralmente os problemas físicos, ou os funcionais, ou estéticos, ou os econômicos; será arquitetura, e daí sua enorme complexidade, na medida em que sejam solucionadas integralmente todas as exigências que cercam o indivíduo.

Em detrimento ao conforto e valorizando ao extremo a estética encontram-se diversas construções, na maioria das vezes inspiradas em edifícios produzidos para clima totalmente diferente do local edificado. O movimento moderno na arquitetura – início do século XX - contribuiu fortemente com esta situação, segundo Moore (1993), “alguns arquitetos (principalmente Frank Lloyd Wright, Le Corbusier e Alvar Aalto), fixavam muitos dos princípios históricos da orientação do lugar, ventilação natural, iluminação da luz do dia enquanto seletivamente incorporavam a nova tecnologia como um meio do processo do projeto de uma construção. Outros, ignorando o clima, usaram a nova tecnologia de construção como um fim, gerando a forma da construção diretamente”. O Estilo Internacional fez com que os arquitetos ignorassem todo o conhecimento acumulado passado de geração para geração, pois, ressalta Viggiano (2001) que “as tradições vernáculas nos ensinam que a observação do clima sempre foi o ponto de partida para a apropriação do espaço na consecução de uma nova moradia. Estes exemplos de Arquitetura adaptada ao clima são fartos e se espalham por todos os climas”.

Ao mesmo tempo, a sociedade, mercado consumidor destes profissionais, que se encanta cada vez mais com o mundo globalizado, tem se afastado, em um processo

acelerado, de suas raízes culturais. Com isso, a produção, não só da arquitetura, mas da cultura em geral, vem sendo manobrada por um sistema especulativo que dita as normas e conceitos que devem ser seguidos. Sobre a arquitetura popular Bardi (1996) destaca que “o homem do povo sabe construir, é arquiteto por intuição” e é enfática ao afirmar que “os homens *médios* não sabem construir. A pseudocultura, o desejo de sobrepujar, e o dinheiro desfiguram o intento da arquitetura. A casa não reflete mais a vida, mas sim um conjunto de preconceitos, de aparências e convenções; a arquitetura burguesa torna-se assim a direta responsável pela insuficiência do homem contemporâneo”.

No Brasil observa-se grande preocupação dos profissionais das áreas de urbanismo e arquitetura com relação as atuais intervenções. Segundo Silva (1987) “a produção da arquitetura moderna brasileira não tem levado na devida conta a variável climática da determinação do espaço, seja para a habitação, trabalho, educação e lazer”. O mesmo complementa ressaltando que “salvo alguns exemplares isolados, não tem considerado a ação conjugada dos fatores climáticos da região tropical onde se situa a maior parcela do território brasileiro”. Holanda (1976) recomenda que “trabalhem no sentido de uma arquitetura livre e espontânea, que seja uma clara expressão de nossa cultura e revele uma sensível apropriação de nosso espaço; trabalhem no sentido de uma arquitetura sombreada, aberta contínua, vigorosa, acolhedora e envolvente, que nos coloca em harmonia com o ambiente tropical, nos incite a nele viver integralmente”.

Foi com essa preocupação que Olgyay (1963), há aproximadamente 30 anos atrás, definiu, com seu irmão A. Olgyay, o Projeto Bioclimático como o projeto de arquitetura cujo processo é desenvolvido em resposta aos requisitos climáticos específicos. Givoni (1976) nas suas pesquisas relacionando o homem, o clima e a arquitetura, analisa a troca de calor entre o ser humano e o seu ambiente térmico e como as edificações modificam os efeitos diretos das variáveis climáticas. Viggiano (2001) coloca que “a Arquitetura Bioclimática, estuda as formas de se efetuar de maneira eficiente esta interface, seja através da escolha do sítio, utilização de materiais de construção adequados, da orientação da edificação, da eficiência das aberturas, do estudo da ventilação e da insolação, dos ganhos e perdas térmicas, do estudo do microclima e do macroclima, do impacto ambiental, da vegetação e dos aspectos culturais”.

2.4 O conforto térmico

A American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, (1992) define conforto térmico como: “um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto”. Ruas (1999) afirma que este conforto é resultado de uma combinação satisfatória, no ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar com a atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada.

Costa (1991) coloca que a temperatura juntamente com a umidade são os principais responsáveis pelas trocas de calor que acontecem entre o corpo humano e o exterior, sendo assim de fundamental importância para as definições das características do conforto térmico. O autor afirma que “a sensação de bem-estar causada por um determinado ambiente pode ser caracterizada, no que diz respeito a sua temperatura e umidade, pela chamada temperatura efetiva do mesmo” e conclui definindo que temperatura efetiva de um ambiente “é a temperatura de um ambiente saturado de umidade que, subjetivamente, apresenta as mesmas condições que o ambiente considerado”.

Gomes e Amorim (2003) no seu trabalho sobre arborização urbana também reforçam a importância que exercem conjuntamente a umidade relativa e a temperatura do ar e citam Landsberg que observou em suas pesquisas que quanto mais elevado for o valor da umidade, maior será o desconforto, pois a sensação térmica gradativamente vai aumentando, conforme mostra a Tabela 01.

Tabela 01 Sensação do organismo em função da umidade relativa do ar.

Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)					
	30	50	70	80	90	100
20.0	20.0	21.1	22.2	22.8	23.4	23.9
25.0	25.0	26.7	27.8	28.9	30.0	31.1
30.0	30.0	32.2	35.0	37.2	37.8	39.4
35.0	35.0	38.8	42.2	44.4	46.7	48.9
40.0	40.0	45.0	50.0	-	-	-

Fonte: Landsberg apud Gomes e Amorim (2003).

O homem é um ser homeotérmico, isto é, mantém, dentro de certos limites, a temperatura corporal interna relativamente constante, aproximadamente 37 °C, independente da temperatura ambiente. Assim o corpo humano age como um sistema termodinâmico que produz calor e interage continuamente com o ambiente para conseguir o balanço térmico indispensável para a vida. Ocorre uma grande troca de calor entre o corpo e o meio, regida pelas leis da física e influenciada por mecanismos de adaptação fisiológica, por condições ambientais e por fatores individuais. Segundo Ruas (1999), algumas pesquisas comprovam que o conforto térmico está estritamente relacionado com o equilíbrio térmico do corpo humano, e que esse equilíbrio é influenciado por fatores ambientais e pessoais. Coutinho (1998) afirma que fora de uma determinada faixa de conforto, o balanço térmico é obtido às custas de esforço do organismo. Esse esforço varia de um indivíduo para outro.

A temperatura do corpo não é igualmente distribuída em todo o organismo. Uma temperatura próxima dos 37 °C é mantida no interior do cérebro, do coração e nos órgãos abdominais, essa é a temperatura de núcleo. Macintyre (1980) cita que essa temperatura de núcleo, ajustada pelo sistema termorregulador, não é constante e depende da taxa de metabolismo - a Tabela 02 mostra os diferentes valores de taxa de metabolismo de acordo com a atividade desempenhada pelo ser humano. O autor afirma que em atividades físicas severas, com alta taxa de metabolismo, essa temperatura pode ser elevada até 39,5 °C e que a febre também eleva a temperatura de núcleo.

Tabela 02 Taxas de metabolismo

Atividade	Metabolismo	
	(W/m ²)	(met)
Reclinado	46	0.8
Sentado, relaxado	58	1.0
Atividade sedentária (escritório, residência, escola, laboratório)	70	1.2
Em pé, atividade leve (compras, laboratório, indústria leve)	93	1.6
Em pé, atividade média (trabalho com máquina, doméstico)	116	2.0
Andando em superfície nivelada		
2 km/h	110	1.9
3 km/h	140	2.4
4 km/h	165	2.8
5 km/h	200	3.4

Fonte: ISO 7730 (1994).

O principal objetivo da termorregulação é impedir grandes variações na temperatura interna do corpo de maneira que os sistemas vitais possam operar adequadamente. Essa tarefa é coordenada pelo hipotálamo, que é parte do diencefalo

situada na base do cérebro, onde se encontram numerosos centros do sistema nervoso simpático e parassimpático (reguladores do sono, do apetite, da temperatura corporal etc.). O hipotálamo recebe impulsos, originados em células termossensíveis existentes na pele, nos músculos e em outras partes do organismo, e manda através dos nervos comandos que acionam mecanismos de compensação, como a vasoconstrição e vasodilatação cutâneas e a sudação, que interferem nas trocas térmicas do corpo com o ambiente de forma a manter a temperatura interna. O processo pode ser assim exemplificado:

Quando se entra num ambiente quente, os sensores na pele verificam o diferencial de temperatura entre o corpo e o ambiente e informam ao hipotálamo, que inicia o processo de vasodilatação para permitir que uma maior quantidade de sangue percorra os vasos superficiais, aumentando assim a temperatura da pele e propiciando uma maior dissipação de calor por convecção e radiação. Adicionalmente poderia haver um aumento da frequência cardíaca para aumentar a vazão de sangue para a superfície do corpo. Quando as ações anteriores não são suficientes para manter o equilíbrio térmico é iniciada a produção de suor para que o corpo possa perder calor com a sua evaporação.

De forma recíproca, quando se entra num ambiente frio é iniciada a vasoconstrição, que restringe a passagem do sangue na superfície da pele, privilegiando a circulação no cérebro e em outros órgãos vitais, de maneira a manter a temperatura necessária à realização das funções críticas do organismo. Esse processo também abaixa a temperatura da pele, diminuindo assim a troca de calor com o meio. Quando a vasoconstrição não consegue o equilíbrio térmico o sistema termorregulador provoca o tremor muscular que aumenta o metabolismo nos músculos e, portanto, a produção de calor interno.

Ao contrário da temperatura de núcleo, a temperatura nos membros, nos músculos e especialmente na pele (temperatura periférica) sofre oscilações. As variações nessa última determinam as modificações na troca de calor por convecção e radiação entre o corpo e o ambiente. Rivero (1986) descreve que “a temperatura do sangue é de 37 °C; ela diminui em direção à superfície do corpo onde varia entre 34 °C na cabeça e 27 °C nos pés, dando uma temperatura média superficial de 33 °C. O sangue não deve ultrapassar os 42 °C nem ser menor de 32 °C, pois acarretaria conseqüências fatais”.

Nelson et al. (1987) em uma pesquisa desenvolvida utilizando câmaras de testes com temperatura e umidade controladas, analisaram a relação entre produtividade, fadiga e

estado psicológico. Seus resultados mostraram que a produtividade foi maior e a fadiga desenvolveu-se mais lentamente, em ambiente frio do que em ambientes quentes. Já foi mostrado em algumas pesquisas, por exemplo, a de Grandjean (1998), que o calor excessivo em ambientes proporciona cansaço e sonolência, que reduzem a prontidão de respostas e aumenta a tendência de falhas. Um ambiente para estar termicamente confortável, depende de diversas condições a primeira delas é o equilíbrio térmico do corpo, ou seja, que a quantidade de calor ganho (metabolismo + calor recebido do ambiente) seja igual à quantidade de calor cedido ao ambiente. Outro ponto é que o conforto térmico varia em relação às pessoas, isto é, o ambiente pode ser confortável para uma pessoa e desconfortável para outra. Em edificações o conforto depende das características construtivas do ambiente.

Essa satisfação com o ambiente térmico é também resultado do nível de atividade física em função desta estar ligada à taxa de produção de energia do corpo humano. Torna-se, assim, imperioso prever-se, na fase de projeto de uma edificação, o nível de atividade que será desenvolvida, visto que a referida taxa pode crescer em até 20 vezes, alterando completamente a sensação térmica no ambiente, podendo até causar desconforto.

O valor do isolamento térmico oferecido pelas vestimentas também é responsável pela troca de calor entre o corpo humano e o ambiente. Portanto, entende-se que quanto maior sua resistência térmica, menor será sua troca de calor com o meio ambiente, onde a unidade normalmente utilizada para mensurar esse isolamento é clo - *clothing* - (1 clo = $0,155\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W}$). Observa-se que a escala dos valores do clo inicia-se em 0,0 para pessoa nua e chega a 4,0 (roupas para locais frio, tais como os pólos), passando por 1,0 para o homem com traje "passeio". Podem-se observar os valores de isolamento térmico correspondente a algumas peças de roupa na Tabela 03.

Tabela 03 Isolamento térmico por peça de roupa.

Peca de roupa	Isolamento (clo)
Roupa de baixo	
Calcinha	0.03
Cueca	0.10
Camiseta com manga curta	0.09
Camiseta com manga longa	0.12
Calcinha e sutiã	0.03
Camisa-blusa	
Mangas curtas	0.15
Leve, mangas longas	0.20
Normal, mangas longas	0.25
Camisa de flanela, mangas longas	0.30
Blusa leve, mangas longas	0.15
Calça	
Leve	0.20
Normal	0.25
Flanela	0.28
Shorts	0.06

Fonte: ISO 7730 (1994).

A necessidade de se conhecer a sensação térmica das pessoas quando expostas a determinadas combinações das variáveis ambientais e pessoais levaram ao desenvolvimento de índices de conforto. Os mesmos são definidos como parâmetros que representam o efeito combinado das principais variáveis intervenientes. Através dos índices é possível avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente, bem como obter subsídios para melhor adequá-los às necessidades humanas. Devido a esta necessidade foi desenvolvido por Fanger o método do voto médio estimado (PMV – *Predicted Mean Vote*), relacionando o mesmo com o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*) a fim de conhecer a quantidade de pessoas termicamente descontentes com o ambiente. Através deste método Fanger (1970) afirma que para uma determinada taxa de metabolismo, a temperatura média da pele e a quantidade de calor perdida por evaporação do suor são as únicas variáveis fisiológicas que influenciam no equilíbrio térmico do corpo e, portanto, o conforto tem que estar relacionado com a magnitude delas. Isso representa que, para cada taxa de metabolismo existe uma temperatura média da pele e uma quantidade de calor perdida por evaporação do suor que correspondem à sensação de conforto.

A norma ISO 7730 (1994) mostra o modelo matemático que permite calcular o PMV utilizando as variáveis ambientais (temperatura radiante média, umidade relativa,

temperatura e velocidade relativa do ar) e as variáveis pessoais (taxa de metabolismo e isolamento térmico da vestimenta). Ruas (2002) define a velocidade do ar como a que efetivamente atua sobre o corpo humano, sendo, portanto, a resultante de duas componentes: uma é a velocidade do ar incidente sobre a pessoa, considerando-a parada, e a outra é em razão do movimento do corpo na realização de uma tarefa, considerando agora o ar parado. Para a medição das variáveis ambientais é indicada a ISO 7726 (1998) que especifica as características mínimas dos instrumentos e os métodos a serem utilizados, exceto para o caso da velocidade relativa do ar.

A temperatura do ar é um elemento meteorológico utilizado pela maioria dos índices de conforto térmico, constituindo um primeiro parâmetro de análise da condição térmica do ambiente. Este elemento influencia diretamente nos mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o meio por convecção e evaporação. Se a temperatura do ar estiver inferior à da pele, a perda de calor por convecção será tanto maior quanto menor for a temperatura do ar. Quando a temperatura encontrar-se superior à da pele, ele cederá calor para o corpo.

A velocidade do ar é outra variável que interfere no conforto térmico relacionando-se com as perdas por convecção e evaporação. Em uma situação de calor, o movimento do ar pode ser utilizado para reduzir o desconforto térmico. Entretanto, dependendo da temperatura ambiente, haverá um determinado valor de velocidade do ar em que poderá proporcionar desconforto, através de um resfriamento localizado.

A umidade relativa do ar ambiente também exerce influência na remoção de calor por evaporação, na medida em que a baixa umidade relativa permite ao ar seco absorver umidade da pele rapidamente, e, com isso, promover também de forma rápida a remoção de calor do corpo. A alta umidade relativa dificulta, podendo até interromper, essa perda. Segundo Fanger (1970), a influência da umidade do ar sobre a sensação de conforto é relativamente moderada, principalmente sob condições próximas às ideais.

Considerações fisiológicas e psicológicas próprias de cada indivíduo estão envolvidas no bem-estar térmico dos seres humano. Sendo assim, o ponto de partida para o conhecimento de conforto térmico é a definição de modelos que procurem montar um arcabouço teórico acerca dos elementos envolvidos no estudo. Com a finalidade de quantificar o comportamento humano perante o ambiente térmico são definidos valores

que expressam esta relação de causa e efeito, com a utilização de valores numéricos representativos do fenômeno. Estes índices tem sido diferentemente classificados baseados nos modelos teóricos adotados.

Almeida citado por Frota (1979) definiu-os e classificou-os em:

Índices biofísicos: Índices fundamentados na correlação entre as trocas de calor dos corpos com os elementos de conforto que as originam.

Índices fisiológicos: Baseados na análise das reações fisiológicas originadas por condições meteorológicas conhecidas.

Índices subjetivos: Índices em que são analisadas as sensações subjetivas de conforto dos indivíduos submetidos a várias condições ambientais.

Villas Boas (1983) alerta para o fato de que pode haver diferença na percepção térmica entre indivíduos de regiões e culturas diferentes, de forma que um modelo de conforto desenvolvido para um tipo de população, poderá não ser adequado para outro, define os índices como biometeorológicos e classifica-os como:

Índices meteorológicos: Índices em que todas as variáveis são relacionadas em elementos de clima e tempo.

Índices fisiológicos: Índices baseados em respostas fisiológicas.

Scarazzatto (1988) na busca de critérios para a definição do conforto propõe a seguinte classificação:

Índices termométricos ou fisiológicos: Índices que medem o desgaste do ser humano em determinadas condições de trabalho.

Índices subjetivos: Índices que procuram predizer quais as condições climáticas que podem proporcionar conforto para uma pessoa.

Índices psico-fisiológicos: Índices subjetivos desenvolvidos a partir de dados fisiológicos mensuráveis.

2.4.1 Zona de conforto térmico

Na definição de alguns desses índices, são utilizadas escalas de conforto térmico, 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. Baseadas nestas zonas e em 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.

Na elaboração destas cartas destaca-se Olgyay, que, na década de 1960, através da publicação *Design with climate* relacionou às condições de conforto humano e criou juntamente com seu irmão A. Olgyay a expressão Projeto Bioclimático. Givoni (1976) 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 e Labs (1983) e Gonzalez et al. (1986). Com exceção de Olgyay (1963) as outras cartas bioclimáticas montam-se sobre uma carta psicrométrica.

Gonzales et al. (1986) relacionam alguns limites de conforto adotados por diferentes autores. Segundo os mesmos autores, Givoni determinou uma faixa de temperatura do ar de conforto entre 21 °C e 26 °C com a pressão de vapor variando entre 5 e 17 mm Hg. O mesmo mostra ainda zona de conforto recomendada pela ASHRAE que tem como limites de temperatura do ar os valores de 22,2 °C a 29,5 °C e a pressão em torno dos 4 mm Hg.

Em pesquisas realizadas em países tropicais destacam-se as pesquisas de Olgyay (1968) que descreve um ambiente confortável aquele que proporcione uma temperatura do ar que varie dentro do intervalo de 23,9 °C e 29,5 °C e a uma umidade relativa do ar

variando entre 20% e 75%. Koenigsberger et al. (1977) determinaram para os trópicos uma zona de conforto onde a temperatura efetiva varie entre 22 °C e 27 °C, com a umidade relativa do ar mínima de 30% e a máxima de 70%. Brooks (1950) encontrou valores semelhantes aos encontrados por Olgay, os quais determinam que o conforto humano nos trópicos encontra-se no intervalo de 23 °C e 29,4 °C para a temperatura do ar e entre 30% e 70% para a umidade relativa do ar.

Com relação à adoção de uma determinada faixa de conforto Gouvêa (2002) afirma que “a rigor, cada grupo social tem diferentes padrões de conforto, apesar do ser humano ter limites bem definidos. Entretanto, não é difícil de imaginar as diferenças entre um alemão de Berlim e um pigmeu africano, ou de um tuaregue do deserto do Saara e um esquimó, pois seus hábitos alimentares, suas vestimentas e atividades são muito diferentes”. Porém, apesar de todas as diferenças estabelecidas pela capacidade de adaptação ao clima do homem, ao analisar as diferentes zonas de conforto propostas por vários pesquisadores, Gouvêa destaca que “existe uma semelhança grande entre as faixas de conforto estabelecidas pelos vários modelos estudados”. Apesar destas constatações, o mesmo ressalta a importância de pesquisas que possam melhor avaliar os níveis de conforto da região em estudo.

Gouvêa (2002) que no seu trabalho resgata aspectos positivos das relações entre as formas urbanas e a natureza, para que através da utilização da tecnologia ambiental possam se garantir os níveis de conforto da cidade contemporânea, cita Ferreira (1965) que utilizou nas suas pesquisas os limites de conforto desenvolvidos para os trópicos por Brooks (1950).

2.5 As trocas de calor

Para que aconteça a troca de calor é necessário que os corpos estejam a temperaturas diferentes, sendo que o fluxo ocorre do mais quente para o mais frio. Esta transmissão pode ocorrer de três formas:

2.5.1 Condução

Na condução o calor se propaga em todas as direções e a transmissão deste se faz entre dois corpos em contato molecular e de temperaturas diferentes, normalmente entre sólidos. No caso de fluidos, Rivero (1986) afirma que isto só é válido se a transmissão do

calor ocorrer sem movimentos convectivos. A propriedade fundamental de um material na transmissão do calor por condução é a condutividade térmica, expressa por “k”, que representa a quantidade de calor transmitido através de uma unidade de área com uma diferença de temperatura unitária entre dois pontos afastados de uma distância unitária ($W.m/m^2.K = W/m.K$). A magnitude do fluxo de calor para condução depende ainda de outros três fatores: da área transversal (A), tomada perpendicular à direção do fluxo e em m^2 ; da espessura (e) em m e da diferença de temperatura, $\Delta T = T_2 - T_1 (K)$, entre dois pontos considerados. Um outro fator importante a ser analisado na passagem do calor é a resistência térmica do material, que é inversamente proporcional à quantidade de calor transmitido.

2.5.2 Convecção

Segundo Lamberts et al. (1997), a convecção “de forma simplificada, pode ser considerada como a forma de transferência de calor de uma superfície de um sólido para um fluido (gás ou líquido) e vice-versa”. Sendo que a magnitude desta transferência de calor depende de três fatores: da área de contato, expressa por “A”, entre o fluido e uma superfície (m^2); da diferença de temperatura (ΔT), expressa em Kelvin, entre o fluido e uma superfície, e do coeficiente de troca por convecção (h_c), expresso em $W/m^2.K$ e que depende da viscosidade e da velocidade do fluido, bem como do tipo de deslocamento do fluido, se laminar ou turbulento.

2.5.3 Radiação térmica

A transmissão de calor ocorre quando dois ou mais corpos, de diferentes temperaturas e sem contato entre si, trocam calor via ondas eletromagnéticas através de um meio transparente ou não absorvente às ondas de calor, que não é significativamente aquecido. O fluxo de calor por radiação depende da diferença entre as temperaturas (ΔT) dos corpos, de sua capacidade de emissão (ϵ) e da absorção das superfícies (α). A energia radiante pode ser emitida, absorvida ou refletida, no caso de corpos opacos. No caso de vidros e materiais translúcidos, deve-se considerar, ainda, o coeficiente de transmissão do material (τ).

2.5.4 Evaporação e condensação

As três formas de transmissão de calor citadas anteriormente caracterizam as trocas de calor denominadas como trocas secas. Além destas, Rivero (1986) coloca que a evaporação e a condensação assumem grande importância no estudo do comportamento térmico dos espaços. A evaporação, mudança do estado líquido para o gasoso, e a condensação, mudança do estado gasoso para o líquido, são consideradas trocas úmidas. Durante a mudança de um estado a outro pode ocorrer absorção ou emissão de calor.

Rivero (1986) explica que, durante o verão, a pele fica umedecida pela transpiração e o calor do corpo é transmitido a esta fina camada de água através da condução. Com a evaporação da transpiração, a pele do corpo perde uma importante quantidade de calor. O processo inverso ocorre quando o ar está saturado, isto é contém uma quantidade máxima de vapor d'água. A partir deste ponto, se aumentarmos a massa de vapor, inicia-se o processo de condensação, mudança do estado gasoso para o líquido. O calor contido nas moléculas de água sobre a pele se transfere a esta, por condução, fazendo que a mesma ganhe calor.

Ainda segundo o mesmo autor, o vapor d'água se desloca dos pontos de maior para os de menor umidade absoluta. A resistência à difusão do vapor d'água, nos elementos de construção, depende de seu coeficiente de resistência a essa difusão e de sua espessura. Rivero (1986) cita exemplos como o tijolo e o concreto de baixa resistência e as lâminas metálicas, os cartões betumados e os filmes plásticos como sendo materiais de resistência elevada.

2.6 Trocas de calor em edificações

As trocas de calor no interior de uma edificação podem ocorrer através dos ganhos internos, com a presença de pessoas, iluminação artificial e outros equipamentos internos; e através das trocas térmicas pelas vedações deste ambiente, por exemplo: paredes, piso, teto, aberturas e janelas, sendo a radiação solar, a diferença entre a temperatura externa e interna e a ventilação as principais variáveis.

Estes materiais, quando expostos aos raios solares diretos ou difusos, podem ser classificados como:

Opacos – A transmissão de calor ocorre quando há diferença de temperatura entre as superfícies interior e exterior e o sentido do fluxo será sempre da superfície mais quente para a mais fria.

Transparentes - A intensidade do fluxo térmico que atravessa uma parede transparente ou translúcida, deve incorporar, além do que foi considerado para as paredes opacas, a parcela que penetra por transparência. Dependendo das características termofísicas dos materiais que compõem as vedações de determinado ambiente, estes irão retardar ou não a passagem do calor do exterior para o interior e vice-versa.

2.7 Resumo histórico

Na publicação "Energy Conservation in Buildings and the Indoor Environment - A Review", Lim (1983) destaca que a origem das pesquisas sobre 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, retirada da citada obra, apresenta uma seqüência de alguns autores que desenvolveram escalas ou índices de conforto térmico ou idealizaram trabalhos envolvendo as mesmas.

- No início do século XX, Haldane sugeriu a temperatura de bulbo úmido como um índice de stress térmico, baseado no seu trabalho sobre condições térmicas nas minas em Cornwall.

- Houghten e Yaglou (1923) e Yaglou e Miller (1925) desenvolveram nos Estados Unidos a Temperatura Efetiva. Macintyre (1980) define temperatura efetiva como um índice arbitrário que combina num único número o efeito da temperatura de bulbo seco, umidade e velocidade do ar na sensação térmica humana.

- 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 (TEC). A temperatura efetiva corrigida é então obtida nos ábacos de temperatura efetiva, substituindo a temperatura de bulbo seco pela temperatura do termômetro de globo.

- Dufton, em 1932, desenvolveu um indicador de conforto simulando a taxa de perdas do corpo humano que significa a temperatura equivalente.

- Em 1933, Hill desenvolveu o catatermômetro, modificado por Bedford et al. (1943). A catatermometria era um índice que relacionava o conforto térmico com a capacidade do ambiente em resfriar o corpo humano e isso era medido com catatermômetros, seco e úmido.

- O Equivalente de Calor foi desenvolvido por Bedford (1936), o qual inclui os efeitos da radiação, umidade, temperatura e movimento do ar.

Na busca da definição do conforto em países tropicais destacam-se as seguintes pesquisas:

- Newling em pesquisas realizadas em Singapura no ano de 1954, através da Unidade de Pesquisa Tropical, construiu o "homem de metal" para examinar o efeito da Temperatura Radiante Média.

- Ellis, em 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.

- Grocott, em 1948, usou a temperatura efetiva para estudar os limites máximos de conforto em casas condicionadas de propriedade da Companhia de Óleo Anglo-Iraniana.

- Mookerjee e Murgai também usaram a temperatura efetiva para determinação da zona de conforto para indianos durante o verão no norte da Índia, em 1952. No mesmo ano, Rao incorporou a umidade e a velocidade do ar para determinação da temperatura efetiva desejada para Calcutá.

As pesquisas realizadas na Austrália procuram caracterizar o comportamento das pessoas em regiões subtropicais.

- Drysdale (1948) 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, em 1962, trabalhando com o mesmo princípio sugeriram a temperatura do ar preferida de verão e inverno para Sydney. No mesmo ano Mac-Pherson também determinou a temperatura máxima do ar para a qual as pessoas aclimatadas em Caucasia não teriam distúrbios ao dormirem.

Em países de clima temperado a preocupação com o relacionamento do corpo humano com o ambiente surge principalmente na década de 1930.

- Gagge, Herrington e Winslow, em 1931, desenvolveram a temperatura operativa a qual era originalmente uma medida do efeito físico das paredes circundantes e a temperatura ambiente do ar.

- Em 1937, Winslow, Herrington e Gagge mostraram o equilíbrio das trocas térmicas com o ambiente através dos três caminhos conhecidos evaporação, convecção e radiação.

- Quatro anos depois Gagge expandiu o conceito de temperatura operativa 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 derivaram para condições de frio o poder de resfriamento da atmosfera ou o índice frio-vento, em 1945.

- MacArdle et al. (1947) idealizaram durante a Segunda Guerra Mundial no *Royal Naval Research Establishment*, Inglaterra, a taxa de suor prevista para quatro horas (*P₄SR - Predicted Four Hours Sweat Rate*), a qual foi usada para prever a perda de suor através de variadas condições. A roupa e a taxa de energia consumida são consideradas neste índice de stress térmico.

- Missenard (1948) desenvolveu a temperatura resultante para incluir os efeitos da umidade e o movimento do ar para indivíduos com e sem vestimentas.

Após a Segunda Guerra Mundial aconteceu um substancial aumento nas pesquisas sobre o comportamento do ser humano em relação às trocas térmicas com o ambiente.

- Yaglou e equipe, em 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).

- Em 1956, Lee 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 et al. (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.

A partir da década de 1970 as preocupações em relação ao conforto ambiental aumentam principalmente com a crise energética provocada pelo petróleo.

- Fanger e Rohles, em 1970, usaram o conceito do percentual de pessoas insatisfeitas (PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*) para complementar o voto médio

estimado (PMV – *Predicted Mean Vote*) de indivíduos na avaliação de um ambiente térmico.

- Os índices conhecidos 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 – *Predicted Mean Vote*) de um dado ambiente térmico.

- Humphreys (1976) 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).

- Em 1977, Lim e Rao, após observarem escolas e centros de vendas em Singapura (mercados de comida pronta), confirmaram que o índice de conforto equatorial de Webb (ICE) 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 à 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 sequência é importante mencionar as normas da ISO pertinentes as questões de conforto térmico.

- ISO - 7730 (1994) 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 - 7726 (1998) 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 et al (1972), define a temperatura efetiva padrão (TEP) 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 temperatura média da pele e que teriam os ocupantes no ambiente real não uniforme.

- 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.

O final do século XX foi marcado pelo surgimento de ferramentas que simulam o desempenho térmico em edificações. Barbosa (1997) cita alguns destes softwares:

THEDES – Desenvolvido para simular o desempenho térmico de edificações não condicionadas artificialmente. Segundo Sattler (1991), este programa, além de gerar resultados numéricos e gráficos dos valores horários de temperatura no interior da edificação, demonstra, também, a relação dessas temperaturas em relação às temperaturas de conforto determinadas por Fanger, assim como, apresenta uma descrição detalhada dos ganhos de calor através da envolvente da edificação.

NBSLD - Akutsu (1987) ressalta que se trata de modelo unicompartimental, onde os cálculos são efetuados através de equações simultâneas de balanço térmico do ambiente. Destaca-se no programa se encontra o método dos fatores de resposta térmica, para o cálculo das quantidades de calor, transmitido por condução através dos elementos e componentes da edificação.

COMFIE - Peuportier e Sommereux (1992) explicam que o módulo de cálculo é baseado na análise modal, aplicada ao estudo da transferência de calor, que possibilita simular simultaneamente vários ambientes de um edifício.

DOE2.1E, BLAST, ESP-r e TRNSYS - Estes programas, segundo Lamberts et al. (1996), são os softwares de simulação horária de consumo de energia mais utilizados atualmente.

No Brasil também foram produzidos softwares de simulação térmica, onde se destacam, principalmente, os desenvolvidos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

O ACTERM desenvolvido por Bayer e Salvadoretti, e o COBRA, foi desenvolvido por Schneider em 1994, na UFRGS.

Um sistema desenvolvido em 1989 por Abreu para analisar a comportamento térmico de edificações da Companhia Catarinense de Energia Elétrica, e um programa de simulação térmica para clima quente e úmido desenvolvido por Mendes na UFSC.

O programa ARQUITROP que se baseia no método da Admitância desenvolvido por Roriz e Basso em 1988 na UFSCar.

2.8 Pesquisas no Brasil

Gonçalves (2000) objetivou comparar os intervalos de conforto térmico encontrados na literatura com os obtidos em pesquisa de campo com população universitária da região metropolitana de Belo Horizonte. Os dados foram colhidos no período de março a outubro de 1999, em salas de aula, e houve a participação de 570 pessoas. As medições das variáveis ambientais foram realizadas depois de pelo menos 1 hora de permanência das pessoas na sala e as variáveis pessoais foram estimadas, por tabelas, de acordo com informações obtidas em questionário. Esse questionário continha também questões sobre a sensação térmica, sobre a satisfação com o ambiente, sobre a aceitação e possibilidade de estudo no local. Os índices de valor ótimo e os intervalos de conforto encontrados nestes estudos estão apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 - Níveis de conforto encontrados para Belo Horizonte-MG.

	Valor ótimo	Intervalo de conforto
Temperatura operativa	23.1 °C	21.1 a 24.9 °C
Temperatura bulbo seco	22.7 °C	20.8 a 24.7 °C
Temperatura bulbo úmido	16.7 °C	14.8 a 19.4 °C
Temperatura de globo	23.1 °C	21.3 a 25.1 °C
Umidade relativa	67%	64 a 93%
Velocidade do ar	1 m/s	0.4 a 1.7 m/s

Fonte: Gonçalves (2000)

Gonçalves (2000) conclui que o modelo proposto por Fanger é aplicável para a população estudada embora a porcentagem de insatisfeitos encontrada para condição de neutralidade ($\approx 27\%$) seja bem superior aos 5% obtido por Fanger para essa condição.

Quanto à normalização, o Brasil não dispõe de especificação de método para avaliar a sensação térmica das pessoas e a única norma relacionada ao assunto é a NBR 6401 (1980), que estabelece parâmetros para o projeto de instalações de ar condicionado para conforto. Nela estão especificados intervalos de temperatura do ambiente e umidade relativa para o conforto térmico de pessoas em atividade sedentária. Embora a norma não faça referência quanto à influência da temperatura radiante média, da velocidade do ar, da

vestimenta e da atividade física no conforto, os intervalos recomendados para atividades sedentárias não estão em desacordo com a ISO 7730 (1994), como pode ser observado nos valores da Tabela 05.

Tabela 05 - Comparativo entre os intervalos de conforto para atividade sedentária recomendados pela NBR 6401(1980) e ISO 7730 (1994).

	NBR 6401(1980)		ISO 7730 (1994)	
	tbs ⁽¹⁾ (°C)	UR ⁽²⁾ (%)	to ⁽³⁾ (°C)	UR (%)
Verão	23 a 25	40 a 60	23 a 26	30 a 70
Inverno	20 a 22	35 a 65	20 a 24	30 a 70

tbs⁽¹⁾ = Temperatura de bulbo seco
 UR⁽²⁾ = Umidade relativa
 to⁽³⁾ = Temperatura operativa

No que se refere à legislação, o Brasil possui a Lei federal nº 6514 de 22 de dezembro de 1977 que no seu artigo 178 (Brasil, 1977) estabelece “As condições de conforto térmico dos locais de trabalho devem ser mantidas dentro dos limites fixados pelo Ministério do Trabalho”, contudo a legislação elaborada pelo Ministério do Trabalho, Brasil (2001), ainda não definiu de forma clara e abrangente esses limites, restringindo-se a estabelecer, na Norma Regulamentadora 15, limites de tolerância para exposição ao calor. Esses limites procuram evitar a condição extrema que é a de sobrecarga térmica e assim estão muito distantes da condição desejável que é a de conforto térmico. A única menção a condições de conforto térmico é feita na Norma Regulamentadora 17 que usa o índice das temperaturas efetivas para estabelecer o intervalo de conforto para atividades sedentárias. O índice das temperaturas efetivas foi desenvolvido em 1923 por Yaglou e Houghten, e desde o final da década de 40 do século passado, segundo Yaglou (1947), não há dúvida quanto a sua imprecisão ao estimar a sensação térmica.

As recentes pesquisas têm sido realizadas em nível acadêmico dentre as quais citam-se Roriz (1987); Scarazzato (1988) e a edição de um manual por Frota e Schiffer (1995). A partir da década de 90 ressaltam-se os trabalhos da ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), organizando encontros na área de conforto e simpósios na área de normalização.

Loureiro et al. (2002) baseado nos parâmetros estabelecidos por Givoni propõem estratégias bioclimáticas para a cidade de Manaus-AM, utilizando dados climáticos de um

período de 15 anos para a caracterização do TRY (*Test Reference Year*) com a plotagem de uma carta bioclimática, onde se destacam três itens necessários para o conforto térmico nas edificações: ventilação (62,2%), ar condicionado (34,1%) e sombreamento (100%).

Roriz et al. (1998) apresentam uma proposta de Zoneamento Bioclimático do Brasil em uma pesquisa que foi desenvolvida “no âmbito da ABNT como parte de um projeto de normalização sobre desempenho térmico de habitações populares. O território brasileiro foi dividido em 8 zonas bioclimáticas relativamente homogêneas, através de uma metodologia baseada em dados climáticos medidos ou estimados por meio de interpolação”. Nesta pesquisa, Campina Grande está inserida na Zona 8; além das diretrizes construtivas citadas nos estudos, são recomendadas, também, as seguintes estratégias para as edificações construídas no local:

I As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

II A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois este pode alterar significativamente a direção dos ventos.

Araújo (1996) definiu índices de conforto térmico analisando usuários de edificações escolares na cidade de Natal – RN, e comparou os resultados com outros índices mais utilizados no Brasil, que são: índice de temperatura efetiva, zona de conforto de Givoni, modelo de Fanger e o índice da temperatura efetiva padrão. Os estudos constataram que é inadequado a utilização dos parâmetros para a região em estudo, excetuando apenas o índice de temperatura efetiva.

O desenvolvimento dos princípios bioclimáticos aplicados na escala urbana, Romero (2000), bem como a análise das aplicações destes princípios em espaços públicos (Romero, 2001), são trabalhos essenciais para uma melhor compreensão da Arquitetura Bioclimática. Corbella e Yannas (2003) seguindo uma linha semelhante de investigação, discutem o relacionamento entre a edificação e o clima na qual está inserida, procurando

desenvolver a sensibilidade de técnicos envolvidos em relação às questões do conforto térmico.

Lôbo e Bittencourt (2003) analisaram através do estudo de unidades habitacionais de dois conjuntos residenciais localizados em Maceió-AL, o trabalho investigou o potencial do uso de captadores de vento em habitações populares de regiões quentes e úmidas, visando a obtenção de conforto térmico nos ambientes internos.

Na Paraíba, além das pesquisas sobre ventilação desenvolvidas por Silva (1999) destacam-se os estudos de Carvalho (2001), que através da análise dados climáticos do período entre 1985 e 1994 definiu parâmetros climatológicos para estudos de balanço termo-energético em edificações na cidade de João Pessoa. Na sua pesquisa Carvalho além de tratar e descrever estatisticamente dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e nebulosidade, determinou as normais climatológicas, o TRY (*Test Reference Year*) para o período, calculou os números de graus-dia tanto para o período quanto para o TRY e finalmente identificou os dias típicos de projeto para os níveis de frequência de 1%, 2,5%, 5% e 10%.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição do local

O município de Campina Grande possui uma área de 970 km². A cidade situa-se à uma altitude de aproximadamente 550 metros acima do nível do mar, na região oriental do Planalto da Borborema, distante 130 km da capital do estado, João Pessoa. A cidade de Campina Grande ocupa o trecho mais alto do Planalto. O seu centro situa-se a 7°13'11" latitude Sul e 35°52'31" longitude Oeste de Greenwich. O fuso horário local é igual ao de Brasília exceto nos meses em que vigora o horário de verão, quando é de uma hora a menos.

Campina Grande é a segunda cidade em população no estado e exerce grande influência política e econômica sobre outros 57 municípios do Estado da Paraíba (42,5% do território estadual). Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em 2001, pouco mais de 355 mil pessoas residiam no município de Campina Grande, deste total, cerca de 337 mil pessoas encontravam-se na sede do município (Brasil, 2005). Dos 970 km² que compõem a área geográfica do município, 65% se encontram dentro da zona rural da cidade, que totaliza uma área de 630 km², enquanto que a área restante (340 km²) correspondem ao perímetro urbano.

A cidade situa-se na fronteira entre microrregiões de clima e vegetação diferentes. Ao nordeste, a paisagem é verde e arborizada, típica do brejo presente nas partes mais altas do planalto. Ao sudeste, encontra-se uma paisagem típica do agreste, com árvores e pastagens. As regiões oeste e sul do município são dominadas pelo clima e vegetação do Cariri, com vastas áreas de vegetação rasteira (Caatinga) e clima seco. Campina Grande está situada no agreste, entre o litoral e o sertão, usufruindo assim, de um clima menos árido que o que predomina no interior do Estado e na região ocidental do mesmo. Por estar localizada também em uma região alta, beneficia-se de temperaturas menores e de uma ótima ventilação, o que proporciona um clima ameno e agradável em todos os meses do ano. A temperatura média anual oscila em torno dos 24 °C e 25 °C, podendo atingir 33 °C nos dias mais quentes e 15 °C nas noites mais frias do ano. A cidade apresenta ainda uma umidade relativa do ar média de 70%, com índices pluviométricos médios em torno dos 600 mm anuais.

Suavemente ondulada, a topografia do Município apresenta um relevo com curvas de nível variando entre 500 m e 600 m acima do nível médio de mar. O relevo mais acidentado localiza-se a Nordeste, em direção ao município de Lagoa Seca. A Serra do Monte (alinhamento de Inselbergs), ao Sudoeste, separa o município de Campina Grande do de Boqueirão. Ao Sudeste, dois alinhamentos – as Serras de Catuama e de Bodopitá – o separam dos municípios de Fagundes e Queimadas. A principal característica hidrográfica do município de Campina Grande é separar, como área dispersora de águas fluviais, os afluentes do Rio Paraíba do Norte (nas direções sul e sudeste) dos afluentes do Rio Mamanguape (direções norte e nordeste).

As principais atividades econômicas do município de Campina Grande são: extração mineral; culturas agrícolas; pecuária; indústrias de transformação, de beneficiamento e de software; comércio varejista, atacadista e serviços. A agricultura constitui uma atividade de grande importância na economia campinense, pois serve de suporte à agricultura açucareira, atividade tradicional que deu origem às primeiras indústrias do Estado no final do século XIX. Os principais produtos agrícolas são algodão herbáceo, feijão, mandioca, milho, sisal e diversos produtos hortifrutigranjeiros que representam aproximadamente 6.000 toneladas comercializadas mensalmente. Na pecuária, destaca-se a bacia leiteira, com expressivos rebanhos bovinos, caprinos, ovinos, além de várias granjas avícolas (Rocha, 1997).

O solo do Município é de rala espessura e de natureza argilo-arenosa. Em função da pequena camada de terreno sedimentar e da escassez de chuvas, o solo de Campina Grande não favorece a formação de associações florestais densas. Desses fatores decorre a precariedade da roupagem vegetal. Não obstante, a paisagem florística é bastante diversificada, apresentando formações de palmáceas, cactáceas em geral, legumináceas e bromeliáceas, além de rarefeitas associações de marmeleiros, juazeiros, umbuzeiros, algarobas, etc.

3.2 Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida com base em elementos meteorológicos da cidade de Campina Grande, Paraíba. Estes dados, fornecidos pelo 3º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia – 3º DISME – INMET, foram coletados na estação meteorológica, tipo convencional, localizada na sede da EMBRAPA, dispondo-se de

registros diários verificados nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h no período de 1995 a 1999.

Desta forma foram registrados os seguintes elementos: temperatura de bulbo seco, precipitação, umidade relativa do ar, velocidade do vento, direção do vento, nebulosidade, insolação e pressão.

Apesar de não terem sido disponibilizados dados horários do período analisado, os horários verificados são representativos, pois além de traduzirem momentos de três fases do dia, manhã, tarde e noite, a bibliografia, considerando a temperatura do ar e a umidade relativa, mostra que em torno das 9:00 h acontece a temperatura que se aproxima da equivalente da média do dia (Rivero, 1986). Segundo o mesmo autor e de acordo com pesquisa de Carvalho (2001) a máxima temperatura do dia é freqüentemente verificada entre as 14 e 15 horas. Já o horário das 21:00 h apesar de não caracterizar um momento especial, na grande maioria dos instantes de sua ocorrência apresenta temperaturas mais altas que o provável instante de ocorrência do menor índice de temperatura do ar, que ocorre geralmente entre as 3 e 5 horas da manhã e mais baixas que a temperatura do ar às 9 horas. O mesmo raciocínio pode ser considerado para a umidade relativa do ar, entretanto este elemento varia na grande maioria das suas ocorrências de maneira inversa a variação da temperatura.

Para a análise do comportamento de todo o período, 1995 a 1999, foram obtidas as médias mensais da temperatura do ar, amplitude térmica, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, nebulosidade, pressão e insolação, assim como o acumulado mensal de precipitação e identificada a média da relação entre a insolação real (n) e a insolação máxima (N). Para se conseguir os valores de insolação máxima (N) foi aplicada a seguinte fórmula:

$$N = 2/15[\arccos(-\tan\alpha \times \tan\vartheta)] \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

α = latitude local (graus);

ϑ = declinação do sol (graus);

A declinação do sol (ϑ) foi obtida através da equação:

$$\vartheta = 23,45 \times \text{sen}[360/365 \times (284 + \text{DJ})] \quad \text{Eq. 02}$$

Sendo:

DJ = Dia Juliano – número de dias transcorridos desde o dia 1º de janeiro até o dia considerado.

O propósito da pesquisa foi de se analisar os extremos das condições climáticas locais, com isso foram identificados o mês de temperaturas do ar mais altas e o mês de temperaturas do ar mais baixas, em todo o período estudado. Assim, com o mês mais quente do período, janeiro, e o mais frio, julho, procedeu-se a análise e discussão da variação média mensal da temperatura do ar, umidade relativa do ar, e velocidade do vento, nos horários da 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h, para cada ano da pesquisa, bem como o comportamento destas variáveis em todo o período. O estudo destes elementos torna-se de grande importância para uma melhor avaliação do conforto humano, pois, segundo Talaia (2004):

O grau de conforto humano em qualquer ambiente depende da temperatura, umidade e velocidade do ar. A meteorologia e climatologia se forem usada nos setores público e privado pode contribuir na identificação de ambientes de stress térmico e propor correções. O conhecimento de parâmetros meteorológicos do ar, nas diferentes horas do dia e nos diferentes meses do ano, permite determinar o tipo e a eficiência da ventilação a usar, condicionado o microclima do interior de um edifício. Em condições de temperatura alta, uma pessoa, mesmo inconscientemente tenderá a diminuir os seus movimentos ficando afetado o desempenho intelectual e/ou profissional.

Os dados foram plotados graficamente no Excell em curvas de tendência, polinomial, apresentando simultaneamente, em cada gráfico, os meses de janeiro e julho, sendo, as análises da temperatura do ar e da umidade relativa do ar correlacionadas com os níveis de conforto térmicos e hídricos para seres humanos encontrados por Brooks (1950) e adotados por Ferreira (1965) e Gouvêa (2002). Os índices, já citados no capítulo 2, são os seguintes:

Para a temperatura do ar, mínima de 23 °C e máxima de 29,4 °C;

Para a umidade relativa do ar, mínima de 30% e máxima de 70%.

Os limites de umidade relativa do ar também são recomendados pela ISO.7730 (1994), segundo esta norma, “é recomendado que a umidade relativa situe-se entre 30% e 70%. Esses limites são estabelecidos para diminuir o risco de sensações desagradáveis de pele úmida ou seca, irritação nos olhos, eletricidade estática, proliferação de microorganismos e deficiências respiratórias”.

Para o estudo higrotérmico no período da pesquisa foram desenvolvidos gráficos – um para o mês mais quente e outro para o mês mais frio –, com dois eixos de ordenadas que apresentam, em cada um, as médias dos horários ao longo de todo o período da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. A zona de conforto, acima citada, dos dois elementos climáticos encontram-se justapostas, através de ajuste de escalas, para uma correta visualização e análise do comportamento.

Foram encontrados também os dias críticos da pesquisa; períodos em que realmente aconteceram os extremos das condições higrotérmicas meteorológicas nos meses de janeiro e julho em todo período da pesquisa. Estes dias são importantes na determinação das exigências térmicas de verão e inverno, pois apresentam condições reais, embora com baixa frequência. Para determinação destes foram escolhidos os dias em que ocorreram a maior e a menor média de temperatura do ar. Foram feitas, então, as análises de como se comportaram a temperatura do ar e a umidade em cada um desses dias, seguindo o mesmo procedimento descrito no parágrafo anterior.

Com os gráficos, além de se comparar nitidamente o comportamento dos elementos meteorológicos entre os dois meses, tornou-se possível, também, identificar em que horários do dia ocorreram o conforto térmico para os seres humanos, assim como os momentos em que os habitantes de Campina Grande provavelmente sentiram sensações de frio ou calor. Oferecendo assim subsídios para que uma edificação possa ser adequada às condições ambientais externas quando estas estiverem fora da zona de conforto térmico humano.

Nas observações também procurou-se analisar os efeitos da razão entre a insolação real e a insolação máxima (n/N) sobre as médias das temperatura diárias. Representou-se

em gráficos para cada um dos meses em estudo em cada ano e em todo o período, a correlação diária das duas variáveis juntamente com a zona de conforto adotada neste trabalho. Tornou-se possível, com esta representação, observar como se apresentava a relação n/N nos períodos de conforto e desconforto e assim procurar definir um índice de conforto térmico para esta variável climática, nos extremos das condições meteorológicas locais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Médias dos elementos meteorológicos

A Tabela 06 apresenta a média dos valores observados entre os anos de 1995 e 1999 na cidade de Campina Grande. A Tabela mostra em destaque os meses escolhidos com os mais representativos em relação aos extremos das condições de conforto térmico. Observa-se que além de ser um dos meses de maior média de temperatura do ar, janeiro também apresentou o menor nível pluviométrico com um total apenas 10 mm em todo o período. De maneira inversa, julho, que teve a menor média das temperaturas de bulbo seco, acumulou um total de 103,2 mm de chuva, em média. Foi neste mês em que se apresentou a maior média de umidade relativa do ar. Carvalho (2001) identificou também os meses de janeiro e julho como os meses onde ocorreram em João Pessoa as maiores e menores médias respectivamente de temperatura do ar, entre 1985 e 1994.

Tabela 06 – Médias dos valores observados entre os anos de 1995 e 1999.

MESES	t (°C)	Amplitude (°C)	P (mm)	UR (%)	V (m/s)	Dir. graus	Neb. 0 - 10	n (h)	n/N	Po (hPa)
JANEIRO	26.2	6.9	10.0	66.1	4.0	135	6.2	8.0	0.7	949.8
FEVEREIRO	26.2	6.2	43.0	63.6	4.1	90	6.5	8.0	0.7	950.4
MARÇO	26.1	5.8	84.5	71.0	3.8	90	7.1	7.7	0.6	949.7
ABRIL	25.5	5.2	88.2	73.8	3.6	135	7.0	7.1	0.6	950.3
MAIO	24.6	4.7	80.3	75.7	3.4	135	7.1	6.6	0.6	951.6
JUNHO	23.2	4.3	72.8	77.0	3.5	135	6.9	5.7	0.5	952.9
JULHO	22.4	4.3	103.2	78.7	3.6	135	7.2	5.4	0.5	953.8
AGOSTO	22.6	5.0	60.0	75.1	3.8	135	6.8	6.8	0.6	954.0
SETEMBRO	24.0	6.5	11.3	68.1	4.3	135	5.6	8.5	0.7	952.8
OUTUBRO	25.2	7.4	12.5	63.9	4.5	135	5.4	9.1	0.8	951.4
NOVEMBRO	25.7	7.0	17.2	65.2	4.4	90	6.2	9.1	0.7	950.7
DEZEMBRO	26.2	7.2	16.1	64.8	4.3	90	5.8	7.5	0.6	950.3
MÉDIAS	24.8	6.9	698.9*	70.3	3.9	136	6.6	7.6	0.6	951.6

* Este valor corresponde ao total anual.

4.2 Temperatura do ar

Apesar da falta de dados das 24 horas do dia é possível estimar a evolução da temperatura ao longo do dia. Vianello e Alves (2000) e Rivero (1986) comprovam que a marcha diária da temperatura do ar no decorrer de um dia corresponde a uma curva sinuosa, onde, na região em estudo, a temperatura mínima acontece antes do nascer do sol e máxima em torno das 14 e 15 horas. Plotando dados de dias típicos de verão encontrados por Carvalho (2001) encontrou-se a mínima entre as 3:00 h e 5:00 h, com uma diferença em torno dos 2,5°C em relação à temperatura encontrada às 21 horas. Baseado nestas constatações estima-se que as curvas dos gráficos encontrados seguem as mesmas condições.

A Figura 01 apresenta a média de temperatura do ar dos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h para os meses de janeiro e julho de 1995. Em relação ao mês de janeiro, observa-se que após as 21:00 h e antes das 8:00 h a temperatura do ar provavelmente esteve abaixo do nível inferior de conforto, podendo provocar sensação de frio no seres humanos; entre aproximadamente 13:00 h e 16:30 h os valores ultrapassaram a faixa de conforto térmico e provavelmente tenham provocado calor nestes horários. Nota-se que apenas nos períodos entre 8:00 h e 13:00 h e 16:30 h e 20:45 h a temperatura esteve dentro da faixa de conforto térmico. A Figura ainda mostra que no mês de julho todos os dias antes 11:00 h e após às 18:00 h estiveram abaixo da faixa de conforto térmico, o que possivelmente ocasionou sensações de frio em Campina Grande.

Sabe-se que a variação diária relaciona-se diretamente com a incidência da energia solar e seu conseqüente aquecimento do solo. Entretanto, existe uma defasagem entre a máxima temperatura do solo e a do ar. Em média esta defasagem, que aumenta a medida que se afasta da superfície, segundo Vianello e Alves (2000), é de 2 horas para o nível de 2 metros de altura, os mesmos autores verificaram ainda que em Viçosa - MG, as temperaturas máximas ocorrem, em geral, entre as 14 e 15 horas e as mínimas, antes do nascer do sol.

A temperatura média das máximas no mês de janeiro em João Pessoa, verificada por Carvalho (2001) foi 33,2 °C, enquanto que para o mês de julho, o valor encontrado foi 32,6 °C, estas temperaturas aconteceram entre 13 e 15 horas. As mínimas observadas, na mesma pesquisa de Carvalho, ocorreram entre as 3 e 6 horas, que foram para janeiro, 27,0

°C e para julho, 22,8 °C. Portanto adotar-se o horário das 15:00 h para a atual pesquisa, como momento da máxima temperatura não compromete nem inviabiliza as discussões, pois encontra-se apoio em pesquisas que utilizaram dados horários no período, e nas Figuras utilizadas.

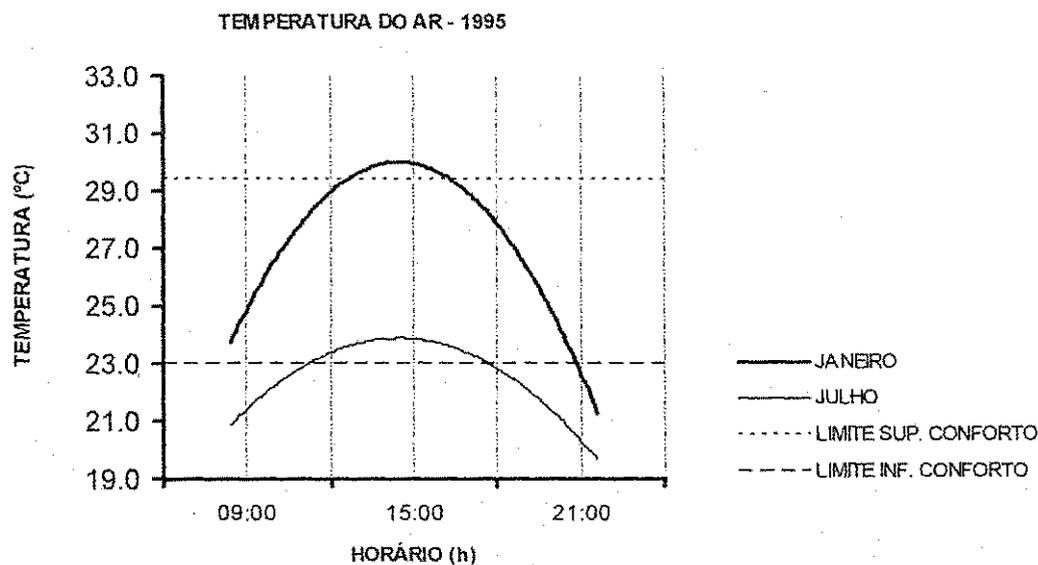


Figura 01 - Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995.

A Figura 02 revela a variação da temperatura do ar entre os horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h durante os meses de janeiro e julho de 1996, na mesma, observa-se que o conforto térmico em janeiro aconteceu entre aproximadamente os horários de 8:00 h e 12:00 h e 17:00 h e 21:00 h. Entre as 12:00 h e 17:00 h aconteceram índices elevados de temperatura do ar, acima do limite superior adotado como confortável termicamente, enquanto que depois das 21:00 h e antes das 8:00 h os níveis possivelmente estiveram abaixo da zona de conforto. Pode-se verificar ainda na Figura que em julho as temperaturas do ar estão situadas abaixo do limite inferior de conforto, portanto tanto os dias, com exceção dos horários entre 11:00 h e 18:00 horas, quanto às noites deste mês revelaram-se frias, onde a temperatura máxima, neste mês, ficou em torno do 24 °C.

A análise dos meses de janeiro e julho, como os períodos em que ocorrem, na região, as maiores e menores temperaturas favorecem ao estudo do desempenho energético das edificações, pois, pode-se perfeitamente estabelecer um paralelo entre os elementos de conforto com o consumo de energia. Santos (2000) em seu relatório técnico para o

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Agência Nacional de Energia Elétrica constatou que:

No Rio de Janeiro, as variações de temperatura foram bem acentuadas. A amplitude térmica máxima chegou a 12 °C em 1995 (mínimo de 23,5 °C e máximo de 35,5 °C) enquanto a variação da temperatura mínima chegou a 12°C em 1999 (mínimo de 13 °C e máxima de 25 °C). Já a umidade atingiu um máximo de oscilação de ordem de 11% em 1996. Verificou-se que o consumo, no geral, acompanhou a curva de temperatura, ou seja, quanto mais frio, menos se consumiu. Os meses de baixo consumo foram junho e julho (inverno) e os de alto consumo foram março e abril (outono), em 1995 e 1996, e janeiro e fevereiro (verão), em 1997 e 1998. No ano de 1999, os meses de alto consumo variaram de acordo com o setor: janeiro (residencial) e abril (comercial e público).

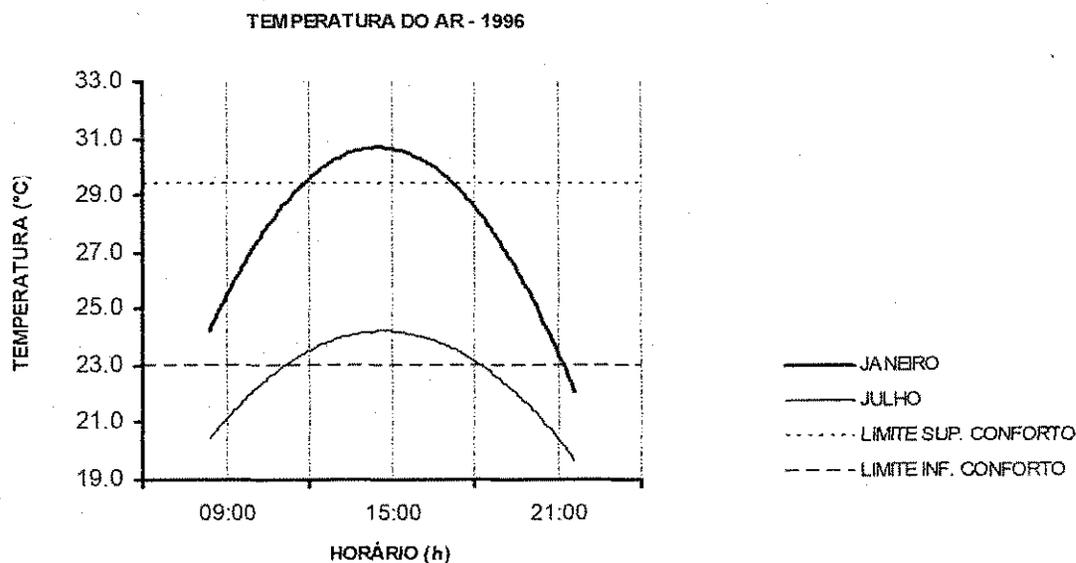


Figura 02 - Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1996.

Os dados médios das temperaturas do ar as 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h no decorrer dos meses de janeiro e julho de 1997 encontram-se representados na Figura 03. Nesta verifica-se que as manhãs do mês de janeiro, entre um pouco antes das 8:00 h e um pouco depois do meio-dia, assim como, entre as 17:00 h e 21:15 h apresentaram-se com níveis de temperatura do ar próximos ou dentro da faixa de conforto térmico. O período de um

provável desconforto por calor ficou estabelecido, aproximadamente, entre as 12:00 h e em torno das 17:00 h. Portanto constatou-se que em 1997, o mês de janeiro no que diz respeito à temperatura do ar, foi confortável no período de baixa ou baixíssima intensidade da energia solar.

No mês de julho deste mesmo ano, verificou-se através da Figura 03, que o desconforto térmico ocorreu praticamente todas as noites, estendendo-se até às 10:30 horas do dia seguinte, fazendo com que os seres humanos procurassem abrigos, principalmente aqueles que o protegem da ação do vento.

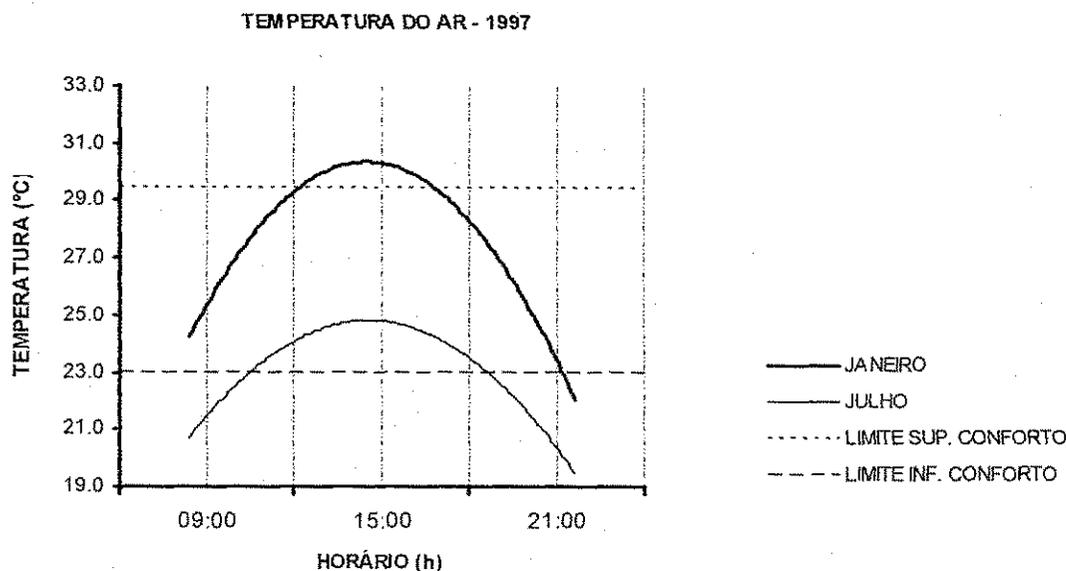


Figura 03 - Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1997.

As médias das ocorrências da temperatura do ar às 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1998 estão apresentadas na Figura 04. Verifica-se nesta Figura, que o mês de janeiro apresentou-se de forma diferente aos anos anteriores estando os horários entre as 7:30 h e 11:30 h assim como, entre as 17:00 h e 21:30 h dentro da faixa de conforto térmico estabelecida; a partir das 21:30 h até a 0:00 h e nas primeiras horas do dia até às 7:30 h a temperatura do ar encontrou-se abaixo do nível mínimo de conforto, enquanto que, no intervalo das 11:30 h as 17:00 h os índices estiveram acima do limite superior de conforto térmico. Por outro lado, as médias das temperaturas do ar no mês de julho ficaram em um determinado período dentro da faixa de conforto térmico, este fato estabeleceu-se aproximadamente entre as 9:30 h e 20:00 h, tornando os dias e inícios das noites deste ano bastante agradáveis no mês de julho. Pode-se verificar também que as

temperaturas máximas registradas, tanto em janeiro como julho deste ano foram da ordem de 31 °C e 26 °C respectivamente, demonstrando desta forma aquecimento causado pelo *El Niño*.

Segundo Santos (2000), “o fenômeno *El Niño* é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial Oriental. O aquecimento e o subsequente resfriamento num episódio típico de *El Niño* duram de 12 a 18 meses, com evolução típica que inicia no começo do ano, atingindo sua máxima intensidade durante dezembro daquele ano e janeiro do próximo e enfraquecendo na metade do segundo ano”.

Observa-se na Figura 04 que às 9:00 h a temperatura atingiu diferentes níveis nos dois meses analisados, em janeiro esta esteve próxima dos 25,5 °C, enquanto que em julho o valor médio ficou em torno dos 22,5 °C. Com a análise das temperaturas ocorridas no horário das 9:00 h pode-se também estimar um valor aproximado da temperatura média do dia. Esta constatação foi verificada por Rivero (1986) o qual exemplifica graficamente a variação típica da temperatura do ar no decorrer do dia e mostra que em torno do horário das 9:00 h observa-se um valor aproximado da média das temperaturas verificadas no período. Este fato também é observado ao serem analisados os dados obtidos por Carvalho (2001) na definição dos dias típicos para a cidade de João Pessoa - PB.

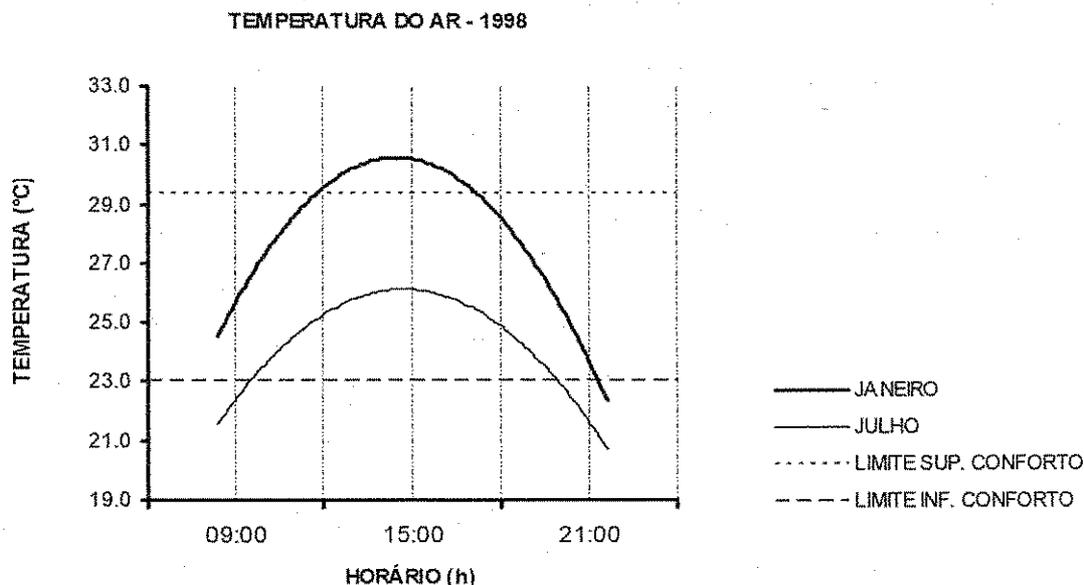


Figura 04 - Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1998.

Na Figura 05 as curvas representam as médias das temperaturas nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1999. A mesma apresenta que os

horários de conforto térmico no mês de janeiro, para a cidade de Campina Grande ficaram entre as 8:00 h e 21:00 h, o que representou dias bastante agradáveis neste mês. No intervalo das 11:00 h e 12:00 h a temperatura encontrou-se próxima ao limite superior da faixa de conforto térmico, enquanto que após as 21:00 h e com grande probabilidade de até as 8:00 h, o tempo apresentou-se mais ameno com níveis abaixo do limite inferior de conforto. O mês de julho, mais uma vez apresentou, apesar de poucas horas, intervalo de conforto térmico incluindo o horário crítico do dia, desta vez no período das 10:00 h as 19:00 h, proporcionando tardes bastante agradáveis para a cidade de Campina Grande. Está evidenciado também por estes resultados, que o mês de janeiro de 1999 foi mais confortável que o mês de julho, pois o mesmo teve quatro horas a mais de conforto térmico.

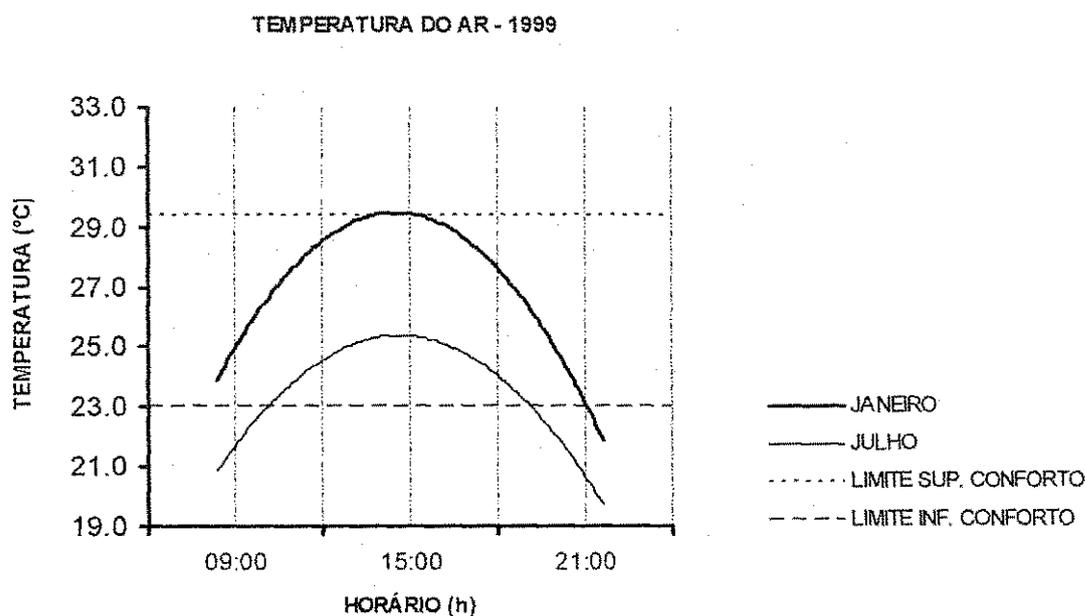


Figura 05 - Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1999.

As médias da temperatura do ar nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho em todo o período da pesquisa, 1995 a 1999, estão representadas na Figura 06. Pode-se, pela Figura 06, avaliar com maior precisão o comportamento da temperatura do ar ao longo do período da pesquisa nos meses extremos dos limites de conforto térmico para o ser humano. Pela Figura fica bem claro que no período das 12:00 h as 16:30 h as temperaturas do ar estiveram fora do limite superior de conforto térmico no mês de janeiro, uma média de 4 horas e meia, caracterizando um mês de tardes quentes. A zona de conforto esteve nas maiorias das ocorrências dividida em dois intervalos, das 8:00

h as 12:00 h e das 16:30 h as 21:00 h, ou seja, 8:30 h diárias. A zona de desconforto por frio teve um período maior de duração, embora boa parte deste encontrou-se nas madrugadas, que foi das 21:00 h até as 8:00 h. Os meses de julho do período 1995 a 1999 caracterizaram-se como confortáveis termicamente no intervalo de tempo entre 10:30 h e 19:00 h, sendo desta forma bem mais saudáveis, pois, apesar de apresentar a mesma quantidade de horas de conforto térmico, existe continuidade, o que tornaram os dias do mês de julho mais agradáveis.

Estratégias construtivas no sentido de fazer com que as edificações tenham um desempenho energético favorável ao conforto humano com relação à temperatura do ar podem ser propostas de posse da avaliação acima. Sabe-se que a edificação, assim como o ser humano, age como um sistema termorregulador e que as respostas às condições climáticas são conseqüências da influência de um conjunto de fatores. Entretanto a análise preliminar dos elementos meteorológicos isoladamente viabiliza um posterior e mais complexo estudo, para que se tenha efetivamente uma definição diante de todos os fatores. As Figuras que representam a variação da temperatura do ar mostram que em janeiro atingem-se níveis bem acima do limite superior de conforto nas tardes de Campina Grande enquanto que no mês de julho os valores caem, chegando no período noturno a índices bem baixos, principalmente nas madrugadas, onde é necessária a utilização de cobertores, tão mais espessos quanto menos idealizada for a construção.

Diante desta constatação, recomenda-se especial atenção às fachadas sul e oeste com utilização de grandes beirais e adequada sombreamento por arborização de forma que possam garantir a proteção dos elementos verticais atingidos. A escolha correta dos materiais e acabamentos externos aplicados nestas faces da edificação, assim como paredes com mais espessura provocando uma maior inércia térmica, também proporcionam melhor adequação às condições climáticas. Para adequar-se ao frio no mês de julho deve-se procurar proteger menos da insolação as fachadas de maior incidência solar para que se possa aquecer naturalmente o interior da construção e ao mesmo tempo acumular calor durante o dia para que possa ser aproveitado no período noturno. Como a fachada oeste deve estar sombreada devido ao intenso calor nos meses quentes, as fachadas leste e norte exercem a principal função deste período que é a de absorção de calor nas horas de sol, é adequado inclusive que esta fachada tenha uma maior área em relação às outras. Quanto à utilização e o acabamento dos materiais das alvenarias externas, na fachada norte pode ser

aplicado produtos que melhor absorvam os raios solares incidentes, diferentes dos que se aplicam nas outras fachadas.

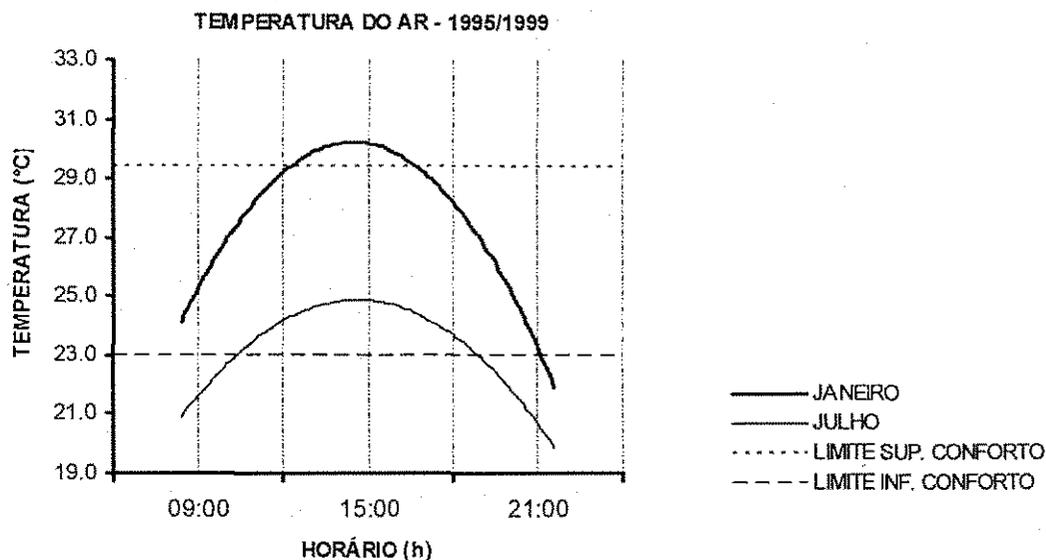


Figura 06 - Média das temperaturas das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho no período de 1995 a 1999.

4.3 Umidade relativa do ar

A Figura 07 mostra a média dos índices de umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995. Pode-se observar através da mesma que o mês de janeiro de 1995 apresentou-se na maior parte de seus dias a umidade relativa do ar, entre as 09:00 h e 19:30 h a média dos índices verificados ficaram dentro dos limites adotados como confortável higrometricamente. Para o mês de julho a Figura revela que a média dos horários medidos esteve acima da zona adotada como confortável em relação à umidade relativa do ar em todos os dias de observação, revelando que a baixa temperatura baixa e a nebulosidade tiveram forte influencia neste elemento meteorológico.

No mês de julho o desconforto em todos os horários constatados pelos índices de umidade relativa do ar – bem como, em alguns horários de baixa temperatura do mês de janeiro -, indica que o habitante de Campina Grande deverá encontrar na Arquitetura e Engenharia condições ambientais, de modo que as edificações possam oferecer alternativas de aquecimento e isolamento térmico durante o período noturno.

A redução dos níveis de umidade relativa do ar dentro das edificações nos momentos de baixa temperatura deve ser solucionado através da ventilação higiênica que segundo Mascaró (1991) tem como principal função a de renovar o ar interior do edifício, pois, como afirma a autora, “deve ser produzida na parte superior do local (onde está o ar aquecido), longe do usuário para lhe evitar desconforto” .

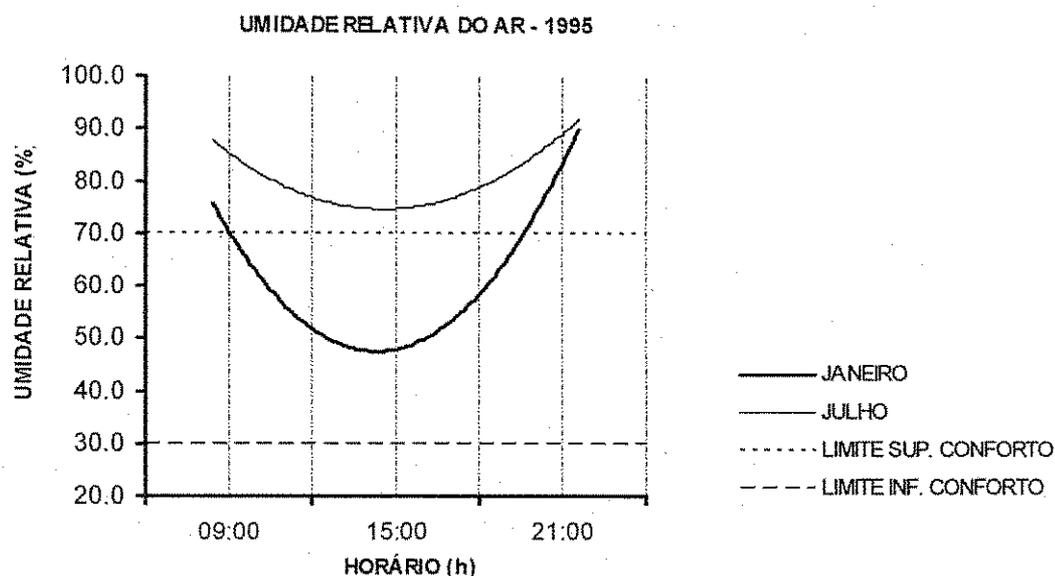


Figura 07 - Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995.

As médias da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1996 estão expostos na Figura 08. Nesta torna-se claro que em praticamente metade do dia a umidade relativa do ar se manteve em valores de conforto no mês de janeiro; os índices estiveram acima da zona de conforto principalmente nas noites, bem como em todas as madrugadas até o horário das 9:00 h do mês de janeiro. O mês de julho representado graficamente na Figura 08 apresentou valores fora da zona de conforto determinada em praticamente todos o horários encontrando-se no nível de conforto apenas em torno das 15:00 h.

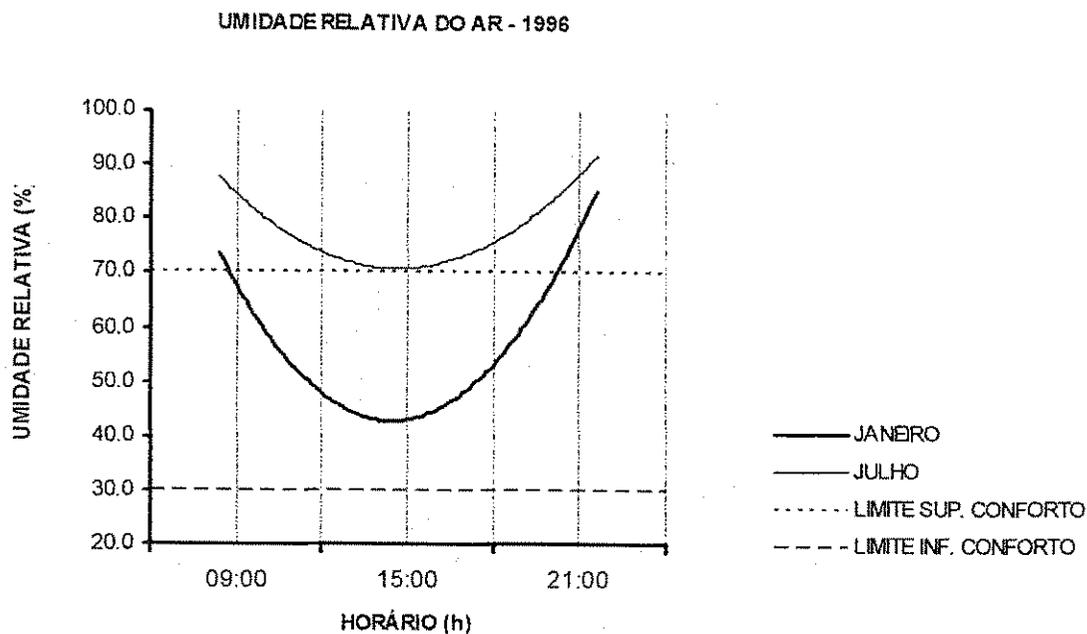


Figura 08 - Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1996.

O comportamento das médias dos valores de umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1997 estão representados na Figura 09. Observa-se na Figura que o mês de janeiro manteve seu perfil semelhante ao ano anterior, com parte das manhãs e todas as tardes confortáveis, onde esteve fora dos níveis máximos de conforto apenas entre as 20:00 h e as 9:00 h. Entretanto o mês de julho apresentou de forma diferente dos anos anteriores, ou seja, a média dos índices revelou conforto hídrico entre as 11:30 h e as 17:30 h, proporcionando, juntamente com as temperaturas, tardes de muito conforto higrométrico para o ser humano. Percebe-se ainda nesta Figura, que os outros horários dos dias do mês de julho foram desconfortáveis, com elevados valores de umidade relativa do ar.

As variações observadas neste elemento são perfeitamente compreensíveis, pois, Romero (2000) explica que “a umidade relativa varia nas diferentes horas do dia e épocas do ano, mesmo quando a pressão de vapor permanece constante. Isto é devido às mudanças diurnas e anuais na temperatura do ar, que determinam a capacidade potencial do ar em conter determinada quantidade de vapor”.

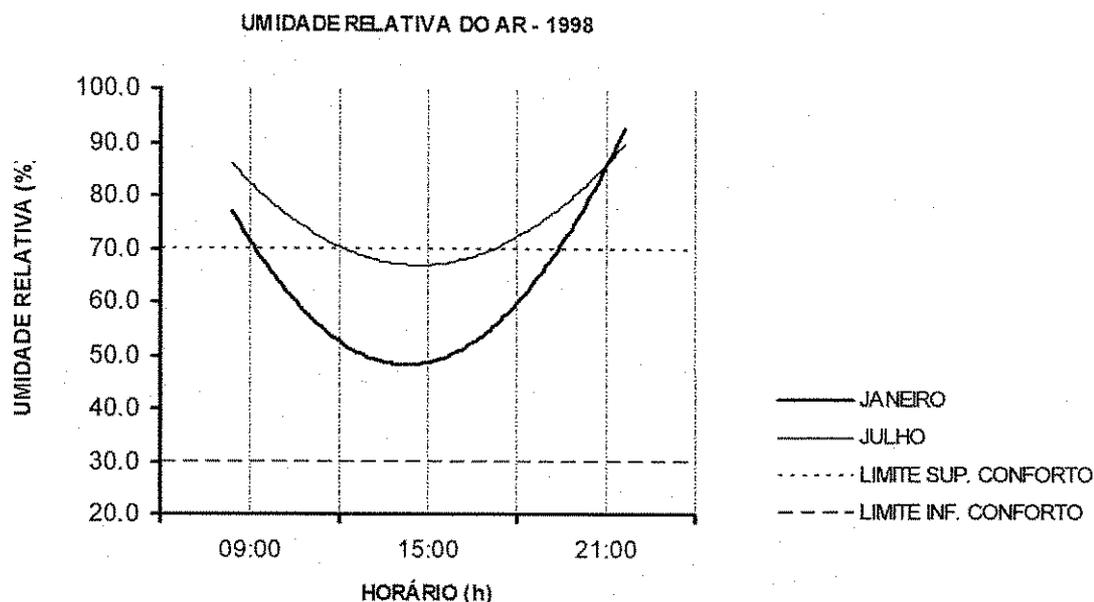


Figura 10 - Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1998.

Na Figura 11 estão apresentados as curvas de umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1999. O mês de janeiro no horário das 20:00 h até as 09:00 h encontrou-se com níveis acima do considerado confortável hidricamente. A partir das 09:00 h a umidade apresentou-se confortável e continuou desta maneira até 20 horas. No mês de julho a média dos valores da umidade relativa do ar esteve acima da faixa de conforto aproximadamente das 19:00 h até as 10:00 h. Entre as 10:00 h e as 19:00 h a umidade esteve dentro da faixa de conforto para seres humanos.

O melhor desempenho térmico das telhas cerâmicas em relação às telhas de fibrocimento é explicado por Bueno (1994) através da troca de umidade entre as telhas e o ar externo e interno. Essas trocas seriam então uma técnica natural utilizada para diminuir o fluxo de calor nas coberturas e o desconforto no interior das edificações. À noite, com as perdas de energia por radiação em ondas longas para o céu, a temperatura da telha fica mais baixa que a temperatura do ar, proporcionando a redução na pressão de saturação do vapor junto à superfície, assim a telha passa a ganhar umidade por condensação. Devido a sua porosidade a migração da umidade torna-se maior. Bueno (1994) explica o final do processo da seguinte forma:

Pela manhã, a telha está com concentração de umidade alta em seu interior e, com a incidência da radiação solar, o processo se inverte. A telha ganha energia e eleva a sua temperatura. Conseqüentemente, ocorre aumento da pressão de vapor do ar na superfície da telha, passando ela a perder umidade. Como a energia do sol está sendo utilizada para evaporar a umidade incorporada na noite, a temperatura da telha cerâmica fica menor ao longo do dia. Observe que este processo é menor em telhas pouco permeáveis, como as de fibrocimento.

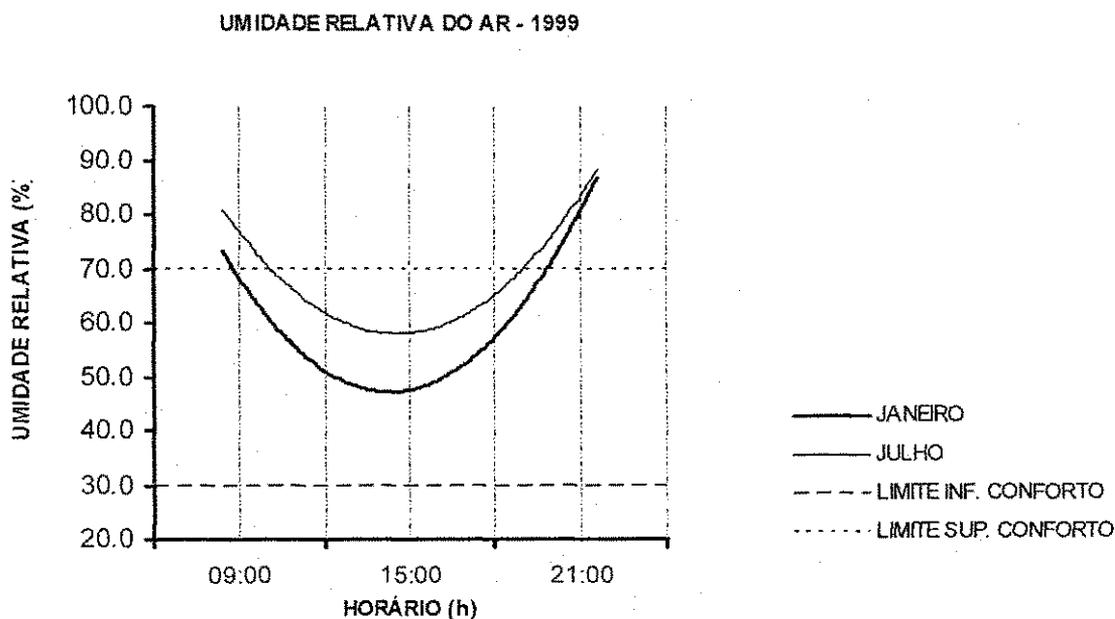


Figura 11 - Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1999.

Os valores de umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho do período entre 1995 e 1999 estão graficamente representados na Figura 12. Observa-se nesta Figura que o mês de janeiro entre, aproximadamente, as 09:00 h e as 20:00 h nas médias dos valores de todo o período da pesquisa, esteve confortável em Campina Grande, onde a umidade relativa do ar esteve dentro da faixa de conforto térmico adotada. O limite superior de desconforto foi alcançado a partir das 20 horas e provavelmente se estendeu até as 9:00 h da manhã seguinte. Nos anos estudados o mês de julho apresentou-se na maior parte dos momentos analisados dentro da faixa de conforto térmico, entretanto ocorreram desconfortos após as 16:30 h e antes das 10:30 horas.

A umidade assume um papel importante para o conforto humano, entretanto merece o mesmo destaque na conservação nos componentes das construções, Mascaró (1991) alerta que “torna-se necessário providenciar a ventilação de exaustão onde se produz o vapor d’água, isto é, em cozinhas e banheiros, por exemplo. Nesse caso, o vapor d’água deve ser removido antes de se dispersar, sendo que a pressão de vapor interna é reduzida só com a ventilação permanente”. Rivero (1986) ressalta que a condensação nos fechamentos das edificações provoca a destruição de pintura e outros materiais, “bem como propiciam a proliferação de microorganismos nocivos à saúde”.

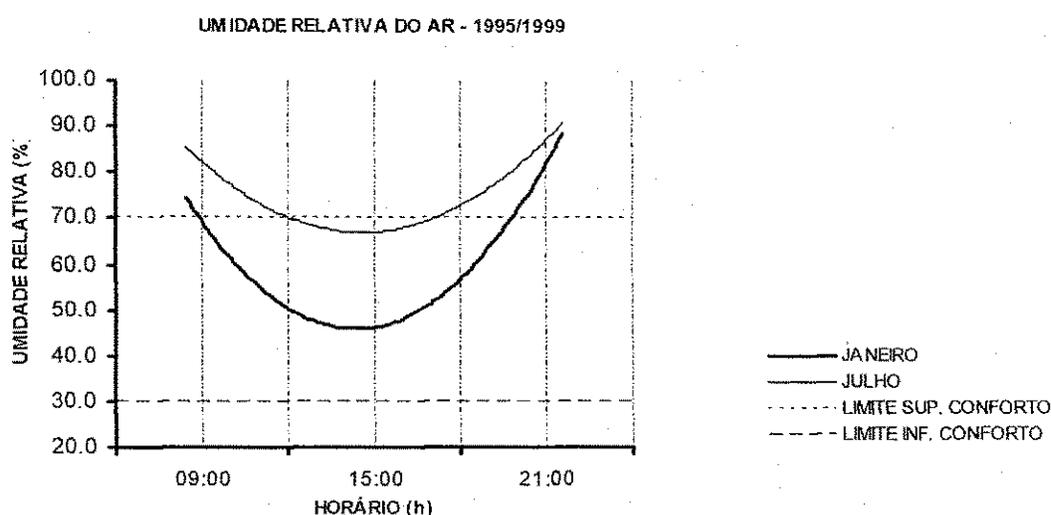


Figura 12 - Média da umidade relativa do ar das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho do período entre 1995 e 1999.

4.4 Higrotermia

A relação entre a temperatura do ar e a umidade relativa do ar verificada nos horários da 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h no mês de janeiro no período entre 1995 e 1999 está retratada na Figura 13. Nesta Figura percebe-se que o conforto higrotérmico para seres humanos aconteceu aproximadamente entre as 9 horas e o meio-dia, assim como das 17:00 h as 20:00 h. Observa-se ainda nesta que próximo as 15:00 h acontece o momento crítico do mês de janeiro onde a temperatura atinge uma média de 30,0°C enquanto que a umidade relativa do ar se aproxima dos 45,0%, momentos dos extremos das médias mais altas e mais baixas respectivamente destes valores.

Para alguns autores os valores da temperatura e da umidade relativa do ar permitem estabelecer com mais confiabilidade a zona pela qual a maioria das pessoas se sente confortável. Entre eles Barroso-Krause et al. (2004) fazem a seguinte afirmação:

(...) na realidade existe uma relação indissociável entre o valor da temperatura e da umidade do ar para o conforto humano, assim, em Conforto Ambiental usa-se este termo - higrotermia - para caracterizar a relação destas duas grandezas físicas, ao invés de simplesmente Térmica ou Higrometria. Em países onde os valores de umidade permanecem sempre estáveis ou dentro dos limites aceitáveis, a Higrometria tende a ser colocada de lado como fonte de desconforto e estuda-se somente os fenômenos térmicos.

Fazendo uma avaliação do clima brasileiro Villas Boas (1985) explica que “assim como nas regiões intertropicais como um todo, não iremos encontrar na região tropical brasileira condições ambientais climáticas extremamente adversas. Seus extremos higrotérmicos se situam dentro dos limites de tolerância para os indivíduos aclimatados”, entretanto, existem alguns lugares onde o autor afirma que no ano todo ou “em certos períodos do ano, (...) oferecem condições de desconforto, seja para o calor ou para o frio”.

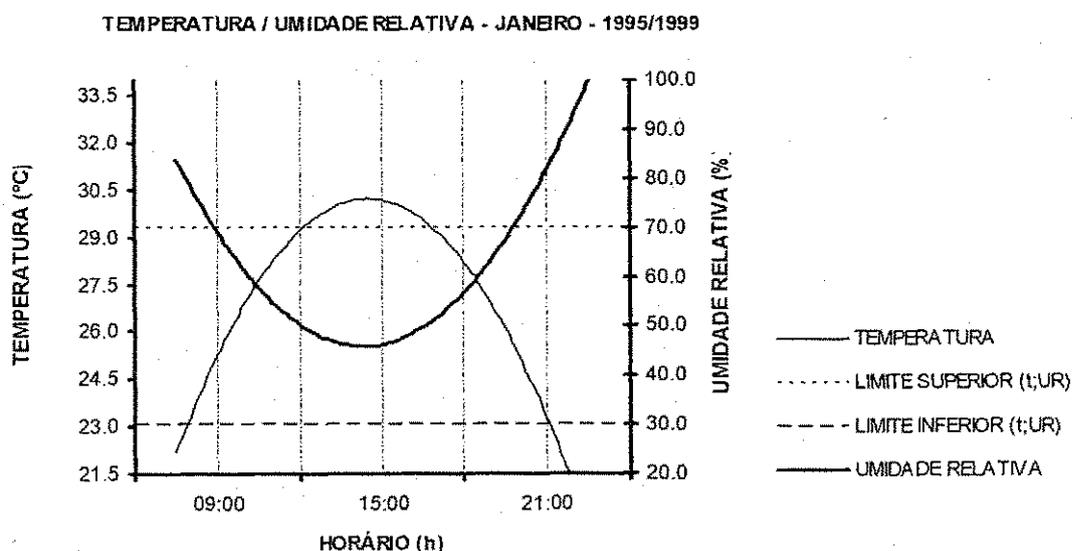


Figura 13 - Média da temperatura do ar correlacionada com a umidade relativa do ar nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h no mês de janeiro no período entre 1995 e 1999.

A Figura 14 mostra a correlação entre a temperatura do ar e a umidade relativa do ar verificada nos horários da 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h no mês de julho no período entre 1995 e 1999. A Figura retrata que, aproximadamente entre as 12:00 h e as 17:00 h, a temperatura do ar e a umidade relativa do ar estiveram ao mesmo tempo dentro da zona de conforto, demonstrando com isso que o mês de julho proporcionou tardes agradáveis, no que se refere a higrotermia, para os habitantes de Campina Grande. Nota-se ainda que a Figura 14 apresenta uma tendência do momento higrotérmico crítico nas madrugadas daquele mês, onde provavelmente a temperatura encontrou-se muito baixa e a umidade relativa do ar apresentou-se elevada.

Fica claro nas duas Figuras (13 e 14) que durante os na maioria dos horários diurnos a média da umidade relativa e temperatura do ar – exceto alguns momentos do mês de janeiro - não atingem níveis altos, ficando na maior parte das manhãs e tardes dentro da faixa de conforto. A análise mostra que deve haver uma atenção especial para as tardes do mês de janeiro, em virtude das altas temperaturas, assim como para todas as noites e madrugadas do ano, pelo fato de apresentarem baixas temperaturas e altos valores de umidade relativa do ar. Entretanto as soluções devem levar em conta as afirmações de Corbella e Yannas (2003), segundo as quais, “o ambiente construído, quando ocupado, terá maior temperatura e umidade que no exterior das edificações, devido à perda de calor e umidade das pessoas, plantas, animais, da cocção de alimentos, da iluminação e dos aparelhos em funcionamento”.

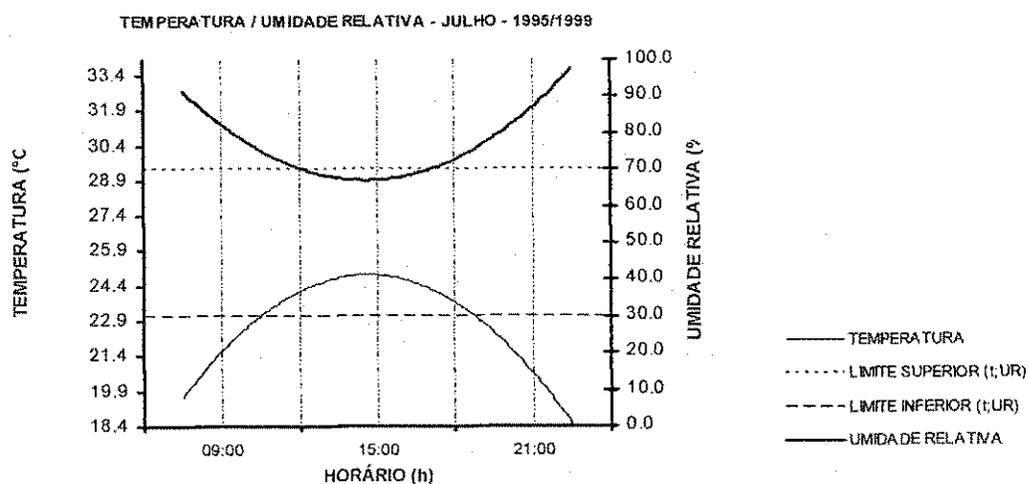


Figura 14 - Média da temperatura do ar correlacionada com a umidade relativa do ar nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h no mês de julho no período entre 1995 e 1999.

4.4.1 Dias críticos

Na Figura 15 estão representadas as curvas correspondentes a temperatura e umidade relativa do ar no dia em que apresentou a maior média diária da temperatura do ar (07/01/1996). Em um dia de altas temperaturas, onde ocorreram aproximadamente 8 horas de desconforto térmico, entre as 10:30 h e 18:30 h, os habitantes de Campina Grande tiveram apenas dois pequenos períodos de conforto higrotérmico; o primeiro entre as 8:00 h e 10:30 h e o outro das 18:30 h as 20:00 h, totalizando 4 horas de bem-estar. O tempo de desconforto higrotérmico foi maior, pois, aconteceu desde a 0:00 h até as 7:30 h voltando a ocorrer em torno das 21:00 h até a meia-noite. Nesses horários o tempo apresentou baixas temperaturas e altos níveis de umidade relativa do ar.

Para situações de desconforto térmico, como a verificada neste mês, com os níveis de umidade relativa do ar encontrando-se na faixa de conforto, a solução é estar em espaços sombreados e ventilados para evitar a radiação solar direta, se o sombreamento for natural e em espaços cobertos por vegetação o efeito do conforto higrotérmico será melhor, pois, será reduzida também a radiação por ondas longas. Portanto, é recomendável a utilização em volta das construções de jardins gramados e arborizados, desde que, a localização destes vegetais não prejudique a ventilação natural e a insolação das fachadas e dos ambientes internos em períodos mais frios.

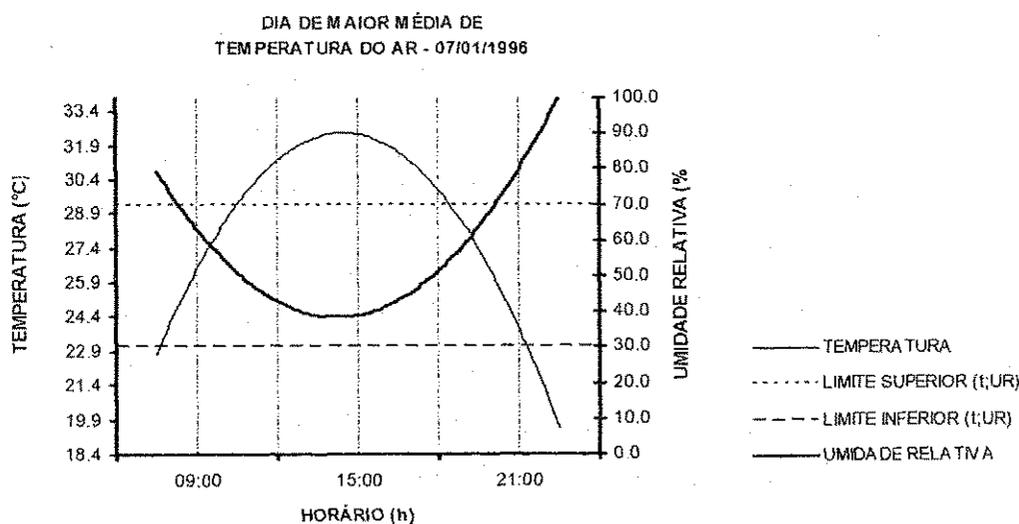


Figura 15 – Temperatura e umidade relativa do ar no dia em que ocorreu a maior média de temperatura do ar no período entre 1995 e 1999 (07/01/1996).

As curvas correspondentes à temperatura e umidade relativa do ar no dia em que apresentou a menor média diária da temperatura do ar (17/07/1996) estão apresentadas na Figura 16. Esta revela que os elementos climáticos provocaram desconforto higrotérmico em todos os horários, entretanto pode-se observar que houve uma certa constância nos níveis verificados e em nenhum momento se aproximaram dos limites de conforto. Os elevados níveis de umidade relativa do ar e baixos valores de temperatura do ar revelam o comportamento de um dia típico de elevado índice pluviométrico na cidade com total ausência de insolação.

Situações semelhantes provavelmente ocorrem neste período mais frio na cidade de Campina Grande. É conveniente que os técnicos considerem esta ocorrência no desenvolvimento dos projetos de edificações. Para isso, ou seja, um dia frio, com baixa insolação, alta umidade relativa do ar e chuvoso, os beirais da cobertura voltados para a direção do vento devem proteger das chuvas as aberturas superiores das esquadrias (bandeiras), por onde deve fluir a ventilação considerada higiênica, e assim reduzir a umidade que em alguns setores dentro da edificação, como já foi discutido, tende a ser maior que o espaço externo. As bandeiras das esquadrias devem ter mecanismos que permitam o controle de suas aberturas, para que em alguns momentos de incômodo térmico possam ser fechadas. Não é uma tarefa fácil solucionar este problema, segundo Mascaró (1991) o frio causado neste caso nem sempre justifica a calefação em todos os ambientes, entretanto produz desconforto, com isso os ocupantes tendem a reduzir a ventilação nestes espaços para não deixarem mais desconfortáveis. A autora argumenta que:

Como um dos maiores problemas é a condensação, torna-se necessário providenciar a ventilação de exaustão onde se produz o vapor d'água, isto é, em cozinhas e banheiros, por exemplo. Nesse caso o vapor d'água deve ser removido antes de se dispersar, sendo que a pressão de vapor interna é reduzida só com a ventilação permanente.

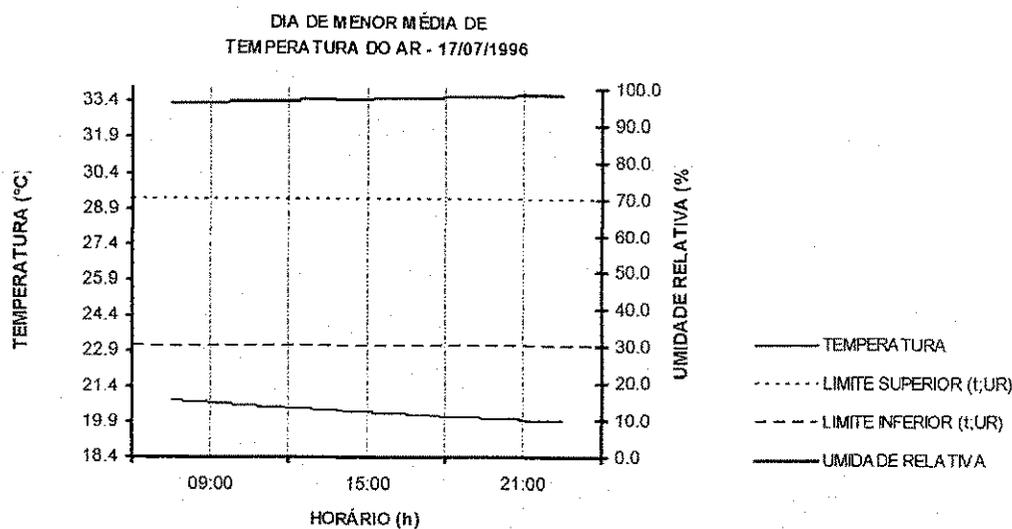


Figura 16 – Temperatura e umidade relativa do ar no dia em que ocorreu a menor média de temperatura do ar no período entre 1995 e 1999 (17/07/1996).

4.5 Ventilação

A Figura 17 mostra a média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995. Observa-se nesta Figura que a velocidade do vento entre as 9:00 h e 15:00 h do mês de janeiro esteve em níveis aceitáveis de conforto para espaços externos com uma tendência de aumento ao aproximar-se do período noturno. O mês de julho também estabeleceu valores confortáveis para o ser humano ao ar livre, embora, devido às baixas temperaturas do ar, estes níveis podem ocasionar sensação de frio. Verificou-se que em julho a velocidade tendeu a diminuir a partir das 14:00 h, o que evidentemente contribuiu para um menor desconforto à noite.

A ventilação natural é muito importante para o conforto térmico das pessoas. Os autores recomendam que a velocidade do ar deve ser maior quanto maior for a temperatura e a umidade relativa do ar. Assim, segundo Corbella e Yannas (2003) no conjunto umidade relativa do ar/temperatura do ar dentro dos ambientes a ventilação é necessária para retirar o calor e a umidade do ar no momento em que externamente a temperatura estiver mais baixa que no interior da edificação. Os mesmos complementam explicando que “se a temperatura externa for maior, a circulação do ar, apesar de aquecer o ambiente, é benéfica para as pessoas, pois contribui para retirar a umidade permitindo que elas percam calor por evaporação”.

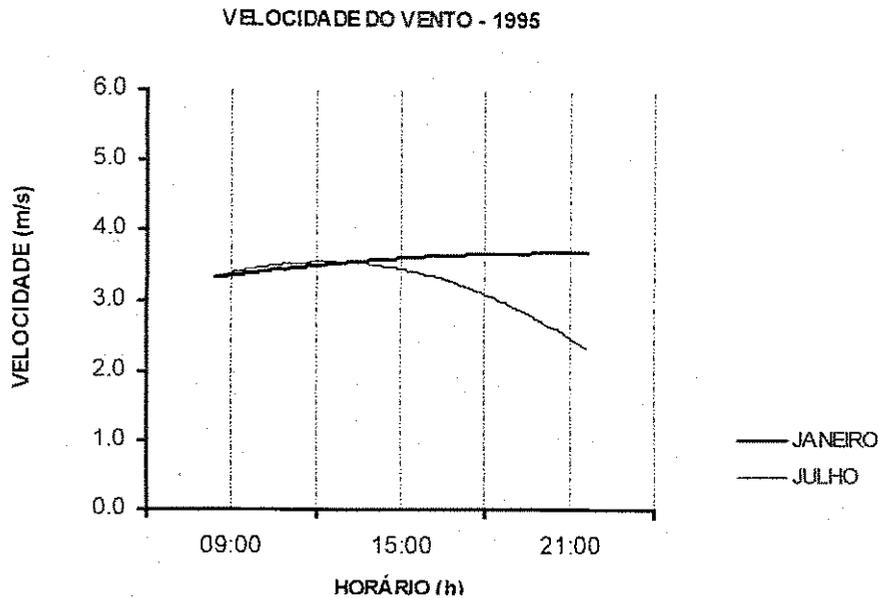


Figura 17 - Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1995.

A média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1996 estão representadas na Figura 18. O mês de janeiro propiciou aos habitantes de Campina Grande níveis de velocidade adequados para o conforto térmico, estando em curva crescente desde as 9:00 h até as 21:00 h. Em julho, a curva apresentou o seu pico, aproximadamente de 4,0 m/s em torno das 15:00 h, decrescendo seus valores ao aproximar-se das 21:00 h, mas mesmo assim, mantendo-se confortáveis termicamente.

Torna-se importante ressaltar que em qualquer época do ano é necessário o uso da ventilação no ambiente construído. Entretanto, suas necessidades são bastante diferentes. Em períodos de altas temperaturas as necessidades de ventilação dizem respeito às questões térmicas e higiênicas. Porém, em épocas frias a necessidade é apenas de ordem higiênica, mas, Lambert et al. (2005) enfatizam que “as exigências higiênicas têm caráter permanente e devem ser satisfeitas a qualquer época do ano”.

Pietrobon et al. (2001) também discutem a importância da ventilação em edificações com relação à salubridade, para a “provisão de oxigênio para a respiração, redução da concentração de CO₂, prevenção na concentração de bactérias nocivas e remoção de odores”, assim como relacionada aos aspectos higrotérmicos para o “resfriamento ou aquecimento da estrutura construída, remoção do calor ambiente,

resfriamento do corpo humano” e contribuir para a durabilidade dos materiais e componentes da edificação, controlando a ação da umidade.

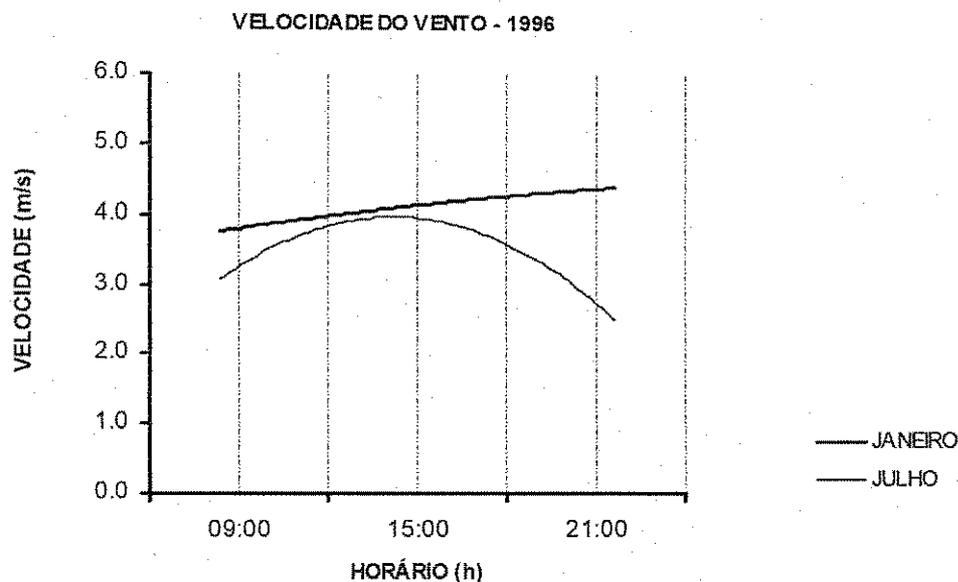


Figura 18 - Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1996.

Representados na Figura 19 estão as médias dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h no mês de janeiro de 1997. Esta Figura apresenta apenas o mês de janeiro em virtude da ausência dos dados referentes ao mês de julho deste ano. Janeiro se comportou confortavelmente em relação aos níveis de velocidade do vento verificados, em torno dos 4,0 m/s, entretanto, neste ano, com uma pequena tendência de queda ao anoitecer.

No mês de janeiro, como o mais quente do ano, a ventilação é extremamente importante tanto para a edificação quanto para o usuário desta. Lôbo e Bittencourt (2003) esclarecem esta situação afirmando que:

(...) a ventilação pode ser usada para duas finalidades complementares. A primeira é resfriar o edifício, aquecido pela radiação solar e por ganhos internos de calor (através da ocupação, iluminação artificial, etc.), onde altas taxas de ventilação podem fazer com que a temperatura interna se aproxime da externa. A segunda finalidade da ventilação consiste no resfriamento fisiológico e se refere à evaporação do suor e trocas de calor por convecção, quando as correntes de ar estão em contato com o corpo humano. O resfriamento fisiológico é

particularmente importante nas regiões quentes e úmidas, já que o suor é, geralmente, uma importante causa de desconforto.

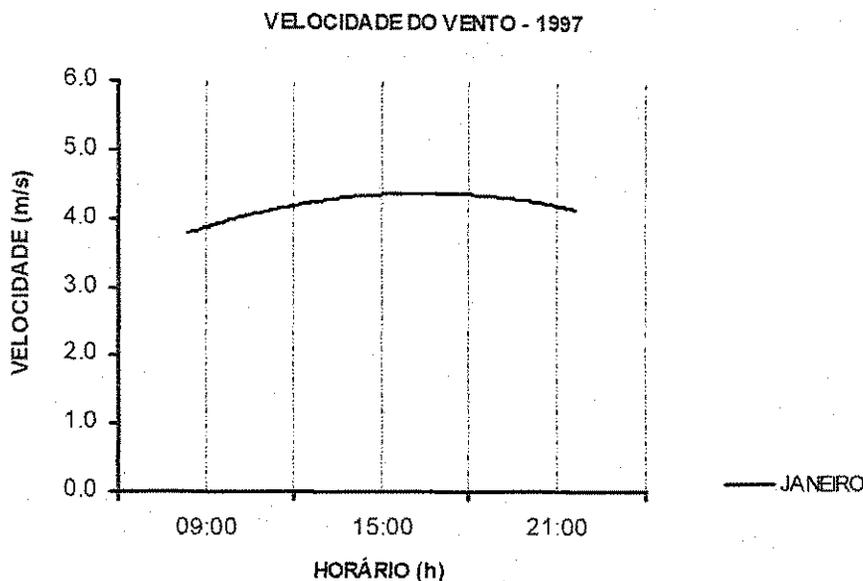


Figura 19 - Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro de 1997.

A Figura 20 mostra a média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1998. Em curva crescente, com velocidade do vento, as 9:00 h, um pouco acima dos 3,0 m/s, o mês de janeiro apresentou valores confortáveis para o ser humano, o mesmo acontecendo com o mês de julho que apresentou valores acima dos verificados em janeiro, chegando próximo dos 5,00 m/s as 15:00 h.

Campina Grande tem à sua disposição condições externas de ventilação muito boa durante todo o ano. Controlar a entrada e saída deste elemento dentro das edificações é tarefa do projetista. Mesmo em julho quando a temperatura do ar apresenta-se abaixo do nível de conforto é fundamental o aproveitamento da ventilação natural. Rivero (1986) coloca que uma simples atividade provoca um razoável consumo de oxigênio e a liberação de anidrido carbônico das pessoas, e o ser humano só admite uma pequena quantidade deste gás no ar, reforçando com isso a necessidade da renovação do ar. O autor exemplifica mostrando a seguinte situação:

Suponhamos que em um dia de inverno o ar exterior está a uma temperatura de 10°C e uma umidade relativa do ar de 80%; em uma sala de estar se reuniram oito

peçoas, sendo a temperatura interior 20°C. Ao renovar o ar, a maior temperatura do ar faz com que a umidade relativa desça aos 42%. Se evitarmos todo o tipo de ventilação, somente o vapor de água proveniente das peçoas fará com que no decurso de duas horas a umidade relativa do ar suba aos 80% provocando seguramente sua condensação em algumas superfícies.

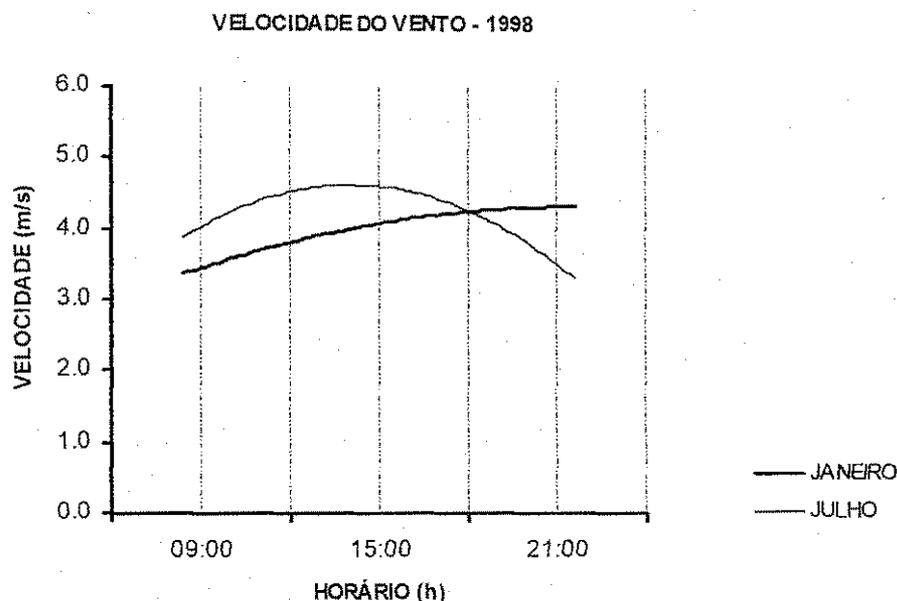


Figura 20 - Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1998.

Os valores médios de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1999 estão apresentados pela Figura 21. Em janeiro a velocidade do vento se comportou de forma crescente, durante o período, se aproximando dos 5,0 m/s as 21:00 h. Com velocidade em torno dos 4,0 m/s durante parte da manhã e início da tarde, a curva do mês de julho chegou aos 3,0 m/s as 21:00 h. Nos dois meses pode-se firmar que aconteceram níveis de velocidade do vento confortáveis, embora em se tratando de julho ser um mês mais frio, os valores verificados da velocidade podem proporcionar certo desconforto térmico ao ser humano, principalmente depois de 21:00 horas.

Para um bom aproveitamento da ventilação em ambientes internos é necessário que o projetista observe não somente o tamanho das aberturas para entrada e saída do vento, mas principalmente a correta disposição e integração dos compartimentos, bem como a

localização e altura das paredes internas, que, segundo Givoni (1976), soluções inadequadas podem reduzir bastante a velocidade do ar, chegando, em alguns casos, a prejudicar completamente a passagem do ar em determinados setores de um edifício. Mascaró (1991) reforça a importância da ventilação natural nesses ambientes, sob o aspecto do consumo energético, baseando-se nos resultados de uma pesquisa realizada em uma edificação na cidade de Porto Alegre - RS, onde nas horas de maior radiação solar esta recebe em torno de 47 kcal/m²h de carga térmica e juntamente com o calor gerado pelas pessoas equivalente a 22 kcal/m²h. A autora destaca que “se por meio da ventilação natural fossem retiradas as 69 kcal/m²h existente no local, a economia de energia seria da ordem de 1 Kw/h para cada 20 m² do local”.

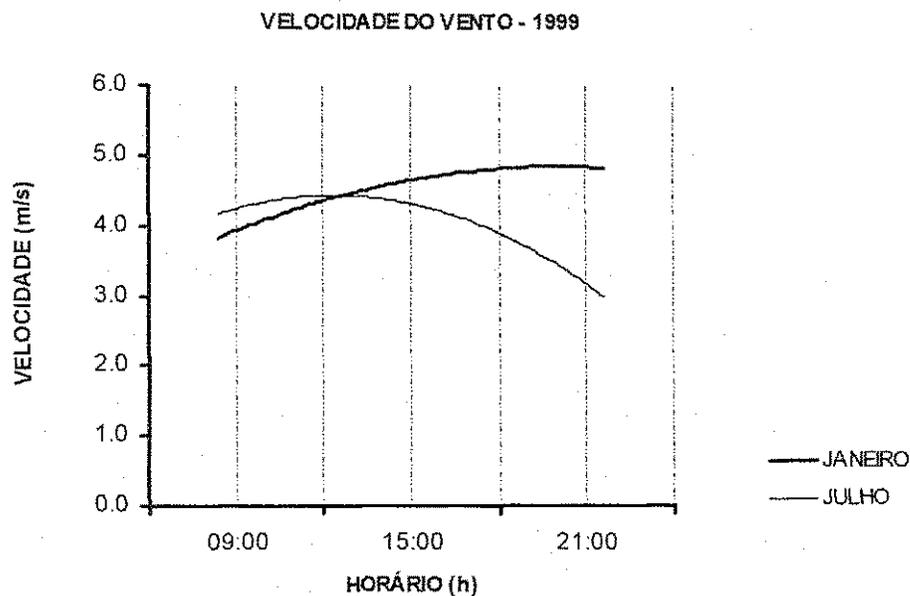


Figura 21 - Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho de 1999.

A média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho no período de 1995 a 1999 encontram-se na Figura 22. Em termos de valores médios apresentados nos meses de janeiro, pode-se observar na Figura que janeiro apresentou-se durante todo o período com níveis confortáveis de velocidade do vento, variando entre 3,5 m/s e 4,5 m/s, com tendência ao aumento da velocidade no período noturno. Da mesma forma, em julho foram verificados valores confortáveis para o ser humano, entretanto, a curva, que atingiu os valores máximos em

torno dos 4,0 m/s as 12:00 h, apresentou-se em queda ao aproximar-se do final do dia, o que geralmente foi observado de ano a ano.

A análise do movimento do ar - direção e velocidade do vento -, da região em estudo oferece ao responsável pelo projeto das edificações no local subsídios importantes para um melhor dimensionamento e posicionamento das aberturas de entrada e saída da ventilação do edifício. Observou-se no comportamento em todo o período que Campina Grande dispõe de níveis de velocidade adequados para ventilar os espaços internos, entretanto, o projetista deve proporcionar elementos que reduzam a velocidade dentro das edificações sem prejudicar a sua fluidez pelos ambientes.

Os níveis verificados são na sua maioria confortáveis para o espaço externo, entretanto não são adequados para o interior das construções; Araújo (1996) recomenda que a velocidade do vento esteja entre 0,12 m/s e 0,83 m/s e para que a redução aconteça é necessário, a princípio, que os vãos de entrada do ar sejam maiores que os de saída, ou, se forem do mesmo tamanho, que estejam em alturas diferentes. Segundo Boutet (1991) a velocidade do vento aceitável em interiores varia de 0,5 a 2,0 m/s. Este limite é baseado em problemas práticos, como desordem de papéis sobre mesas, por exemplo, ao invés de ser baseado em exigências de conforto. Entretanto, em regiões de clima quente e úmido, é provável que o poder de resfriamento da ventilação com velocidades maiores possa compensar essas desvantagens. Givoni (1994) admite que o conforto por ventilação tem seu limite, a uma velocidade do ar a 1,5 a 2 m/s para regiões ou estações onde a temperatura máxima externa não exceda 28°C a 32°C (dependendo da aclimatização da população) e aonde a amplitude diária não exceda 10°C (típico de clima quente e úmido).

A ventilação dentro dos ambientes deve ser tratada de forma diferente nos dois meses em estudo. As esquadrias utilizadas devem possibilitar diferentes formas de abertura para o período quente e frio. No mês de janeiro recomenda-se que as aberturas de entrada de ar estejam mais baixas que as de saída, pois, como cita Mascaró (1991), "os elementos da janela devem direcionar o fluxo, fazendo-o passar pelo usuário, aumentando a evaporação do suor". A mesma recomenda para meses frios como julho em Campina Grande, uma ventilação higiênica, onde, as aberturas ficam na parte superior dos ambientes, próximas ao forro, proporcionando apenas a renovação do ar saturado.

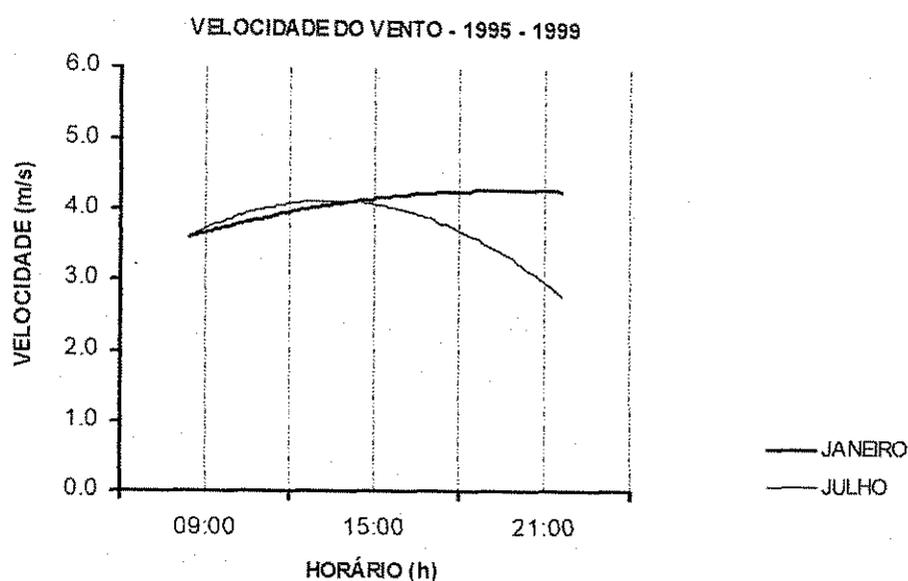


Figura 22 - Média dos valores de velocidade do vento nos horários das 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h nos meses de janeiro e julho no período de 1995 a 1999.

4.6 Correlação entre n/N e a média da temperatura do ar

A pesquisa procurou estabelecer uma ligação entre a razão insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas verificadas dos meses analisados.

A Figura 23 mostra a razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1995. Percebe-se pela Figura 23 que nos dias em que a média da temperatura se apresentou dentro da zona de conforto térmico a razão n/N esteve aproximadamente compreendida entre os índices de 0,33 a 0,88. Entre os dias 4 e 8 os índices mostraram-se desconfortáveis por esta relação, evidentemente por terem sido dias quentes, nublados e conseqüentemente abafados; os dias 14 e 15 foram desconfortáveis por terem sido quentes e de alta insolação real.

Além da influência nos índices de temperatura do ar, o conhecimento da insolação real (n) assim como da sua relação com a insolação máxima (N) oferece condições para o projetista estimar a carga térmica que receberão os planos envolventes da edificação. Em edificações térreas, segundo Mascaró et al. (1992) a coberta recebe "o dobro da carga

térmica por radiação solar recebida por qualquer parede, mesmo a de pior orientação. Isto mostra a situação crítica das coberturas (superfície horizontal da envolvente)”.

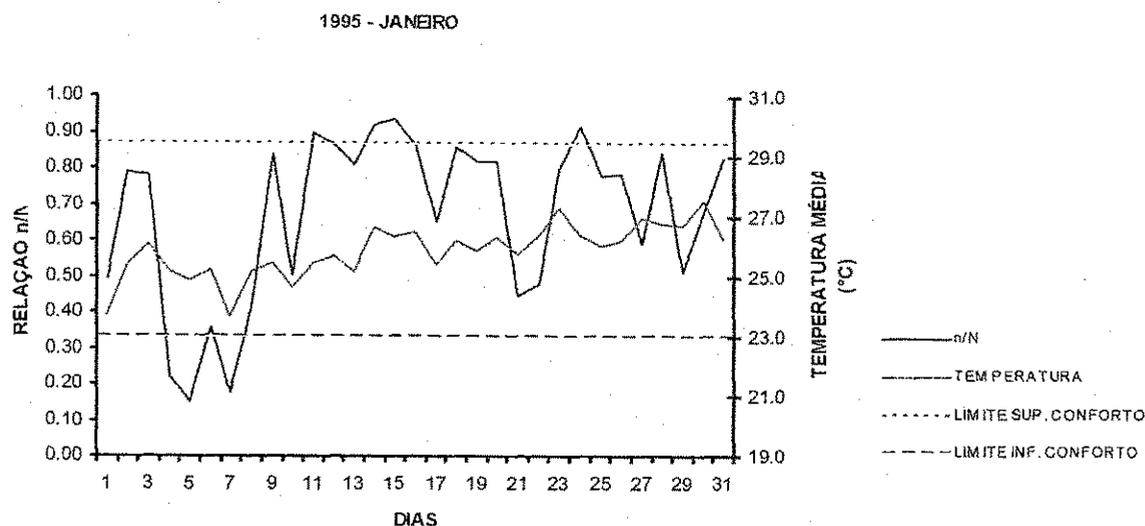


Figura 23 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1995.

Estão representadas graficamente na Figura 24 as curvas da razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas no mês de julho de 1995. Observa-se nesta Figura que a média das temperaturas verificadas neste mês estiveram quase todas abaixo do limite inferior de conforto térmico; é visível também que a razão n/N esteve na maioria dos dias deste mês variando em torno dos valores de 0,5 e 0,0. Fica claro que a baixa quantidade de horas de insolação contribuiu também para o desconforto térmico nos seres humanos, pois com raras exceções, os dias desconfortáveis termicamente, também apresentaram insolação inferior a 0,33.

A análise do comportamento da insolação de uma determinada região é fundamental para o planejamento de edifícios. Rivero (1986) compara um edifício com um enorme receptor de radiação solar que troca de calor com o seu espaço circundante. Com isso o autor destaca que a forma, a orientação, os materiais componentes e os dispositivos de controle dos fechamentos envidraçados exercem grande influência no planejamento de uma edificação confortável higrotermicamente para os seres humanos.

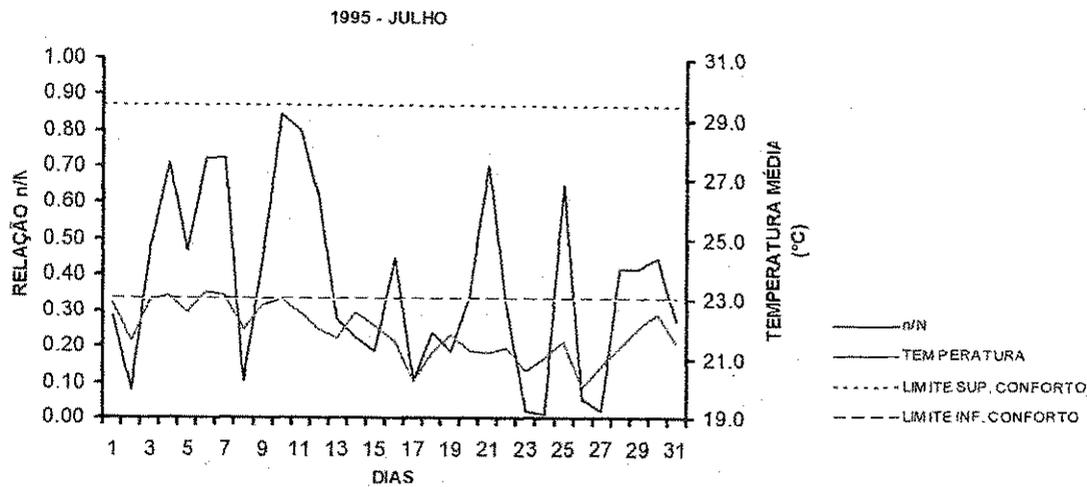


Figura 24 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) as médias das temperaturas no mês de julho de 1995.

As curvas representando a razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1996 encontram-se na Figura 25. Nesta Figura, observa-se que em todo o mês de janeiro a média da temperatura do ar esteve dentro da faixa de conforto, ao mesmo tempo, a referida Figura também mostra que na maioria dos dias a razão n/N esteve variando entre os valores 0,50 e 0,80, embora a nebulosidade tenha contribuído para o desconforto nos dias 14, 15 e 16 (nublado) e 26 e 27, caracterizados como dias claros e quentes.

A alteração da temperatura, como já discutido, está relacionada com a chegada da energia solar e o conseqüente aquecimento do solo. Em experimentos realizados em Viçosa-MG, Vianello e Alves. (1991) analisando a marcha diária da temperatura observaram que “na ausência de nebulosidade ou chuvas, a curva mostra-se bem comportada, podendo, teoricamente, ser representada por uma série trigonométrica de senos e cossenos”.

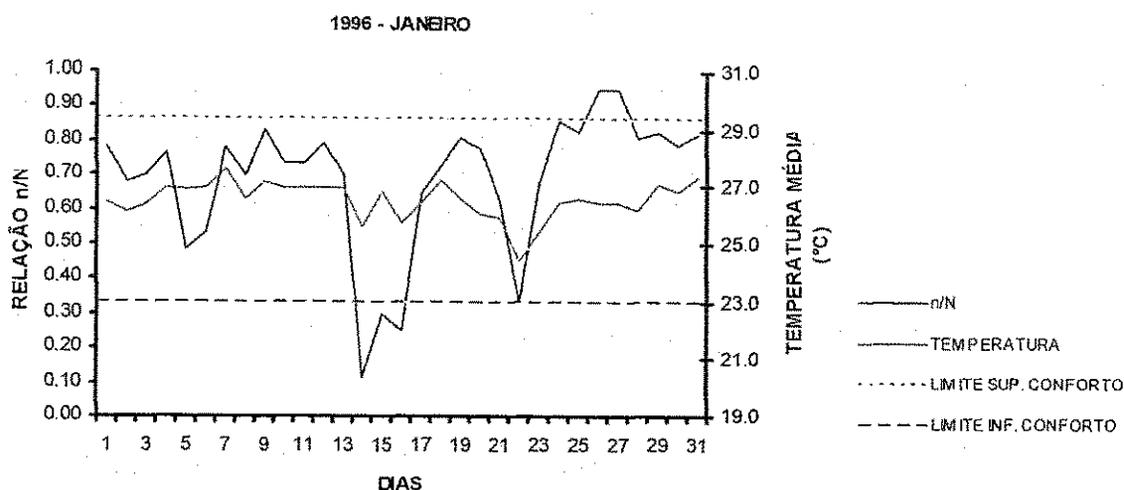


Figura 25 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1996.

A Figura 26 apresenta a correlação entre a razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas no mês de julho de 1996. Pela Figura em apreço, percebe-se que o mês de julho esteve em quase todos os dias com as médias da temperatura do ar abaixo da zona de conforto térmico estabelecida pela pesquisa; nota-se também que na maioria dos dias a razão n/N encontrou-se abaixo do índice de 0,6, evidenciando que neste mês ocorre chuvas, caracterizando-o como um dos meses da estação chuvosa, e por outro lado, também verifica-se que os dias mais desconfortáveis foram aqueles cuja razão de insolação foi inferior a 0,10.

Neste mês torna-se necessário o máximo aproveitamento da insolação, o Atlas de energia elétrica do Brasil (2002) enfatiza a utilização da energia solar neste período demonstrando que “o aproveitamento térmico para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, ocorre através da absorção ou penetração da radiação solar nas edificações, reduzindo as necessidades de aquecimento e iluminação. Melhor aproveitamento térmico da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção”.

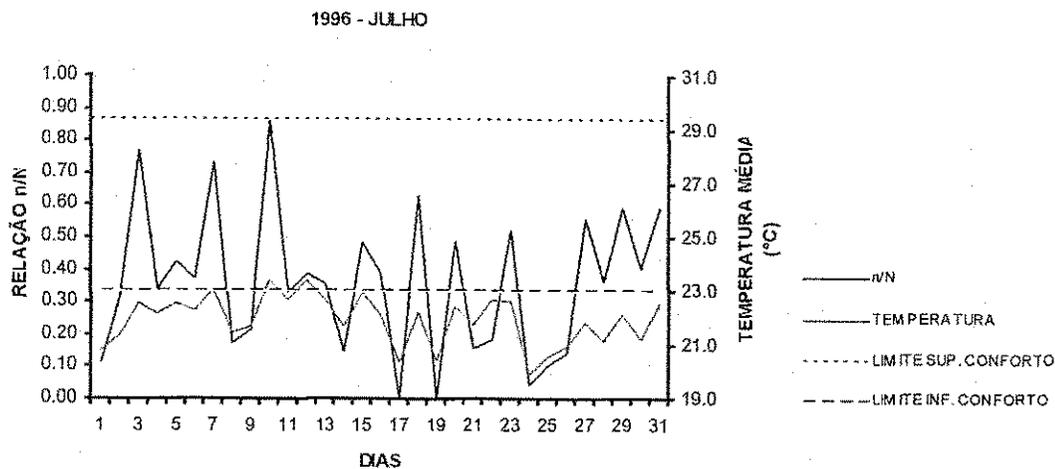


Figura 26 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de julho de 1996.

Observa-se nas curvas da Figura 27 a razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas verificadas nos 3 horários de observação no mês de janeiro de 1997. Os dados referentes aos últimos dias deste mês (29, 30 e 31) não foram fornecidos. Nesta Figura percebe-se que em todo o mês de janeiro, a média da temperatura do ar esteve dentro da faixa de conforto, concomitantemente, a mesma Figura também mostra que na maioria das observações a razão n/N esteve acima do valor de 0,33, proporcionando maior atenção da energia solar nestes dias mais aquecidos.

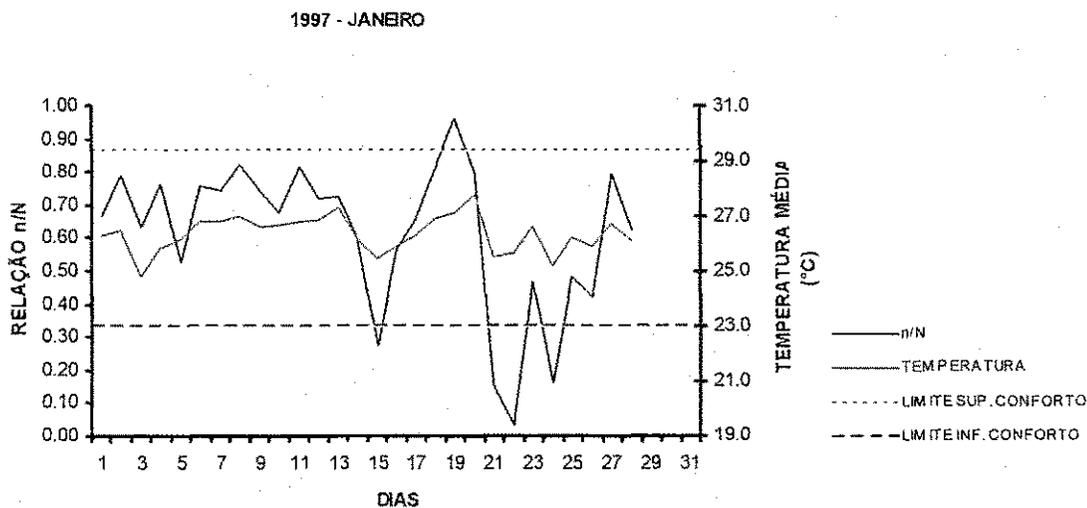


Figura 27 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1997.

Estão representadas na Figura 28 as curvas da razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas no mês de julho de 1997. Nota-se nesta Figura que a média das temperaturas verificadas neste mês estiveram quase todas um pouco abaixo do limite inferior de conforto térmico e é visível também que a razão n/N esteve na maioria dos dias deste mês variando entre 0,20 e 0,85, evidenciando que com exceção, praticamente dos dias 3, 4, 11, 12 e 31 os demais dias foram bem confortáveis.

Em lugares onde existe um período, mesmo que não muito longo, de baixas temperatura alguns autores recomendam a utilização da inércia térmica nas edificações. O conceito de inércia térmica está relacionado com a capacidade térmica da estrutura por unidade de superfície, que é o produto da densidade pela espessura e pelo calor específico do material. Papst (1999) ressalta que “em clima pouco frio, os materiais construtivos armazenam o ganho de calor solar e o ganho de calor interno durante o dia, e evitam que a edificação perca com facilidade o calor para o exterior no período noturno” e complementa que “o uso da inércia térmica em edificações além de amortecer os picos de temperatura externa, proporciona um atraso no pico máximo e mínimo na temperatura interna”.

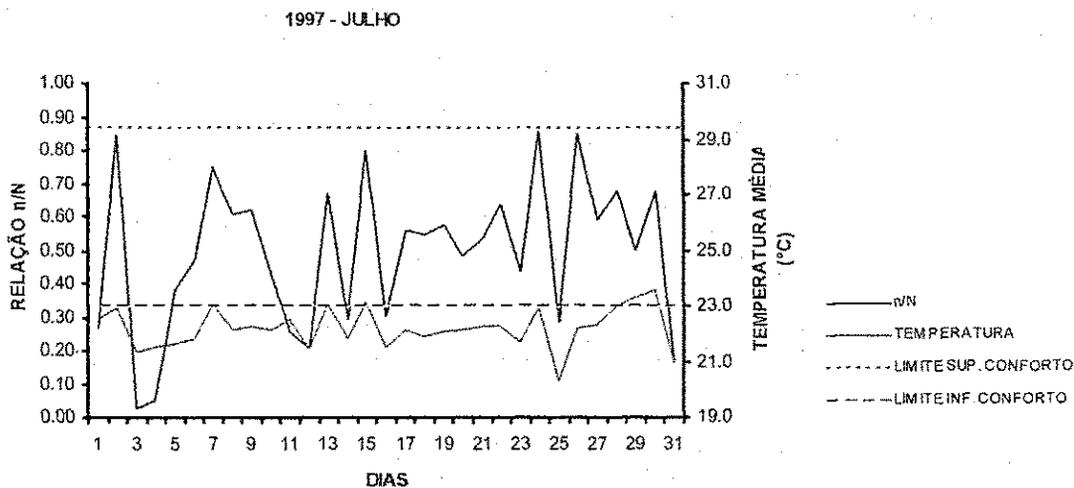


Figura 28 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de julho de 1997.

A Figura 29 mostra a razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1998. Constata-se pela Figura que no mês de janeiro a média da temperatura se apresentou dentro da zona de conforto térmico em todos os dias e que a razão n/N esteve na maioria dos dias

compreendida aproximadamente entre os índices de 0,33 a 0,88, e que o dia mais desconfortável foi o dia 1º de janeiro.

Mesmo em períodos de muita insolação como ocorre no mês de janeiro à utilização da inércia térmica nas construções é muito importante. Papst (1999) citando Santamouris e Asimakopoulous (1996) explicam que:

O uso de inércia térmica tem efeito positivo tanto no verão como no inverno. (...) No verão, o calor é armazenado na massa térmica, reduzindo o pico das cargas de resfriamento. O calor é liberado para o interior da edificação, com um tempo de atraso, há uma mudança no horário de pico da carga de resfriamento, e uma redução deste valor. E comparando edificações com pouca e muita inércia térmica para meia-estação (outono e primavera), observou que edificações leves podem precisar de aquecimento para uma parte do dia e resfriamento para outra parte do dia. Já edificações com inércia térmica não apresentam esta variabilidade, e dependendo das condições externas, podem apresentar condições internas confortáveis.

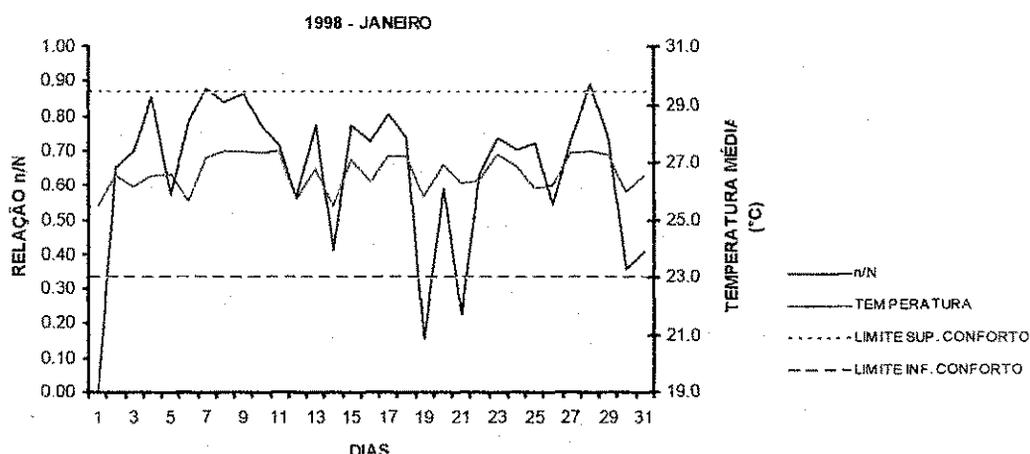


Figura 29 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas verificadas no mês de janeiro de 1998.

Está representado na Figura 30 a variação da razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas no mês de julho de 1998. Fica claro nesta Figura que apesar de apresentarem-se vários dias com as médias das temperaturas abaixo da faixa confortável, nos dias em que no mês de julho estes valores estiveram próximos ao nível de conforto térmico os índices da razão n/N encontraram-se

superiores a 0,60, e que ainda, os dias mais desconfortáveis deste mês, a temperatura média diária foi inferior a 20,0°C e a razão de insolação abaixo de 0,10, evidenciando desta forma, dias frios e nublados.

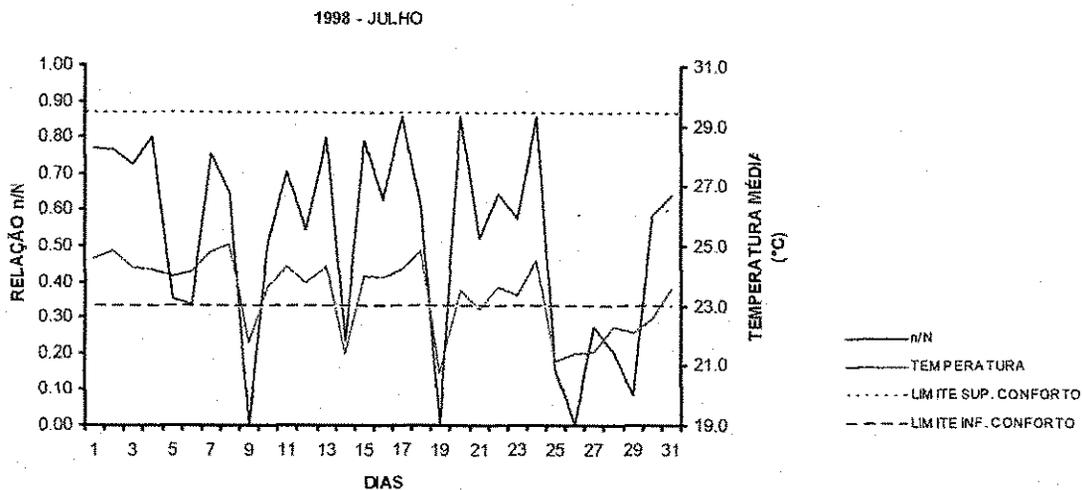


Figura 30 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas verificadas no mês de julho de 1998.

As curvas representando a razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1999 encontram-se na Figura 31. Nesta Figura, observa-se que em todos os dias do mês de janeiro, a média da temperatura do ar esteve dentro da faixa de conforto; a Figura também mostra que na maioria dos períodos observados a razão n/N nos dias em que aconteceram o maior conforto oscilou entre 0,33 e 0,55.

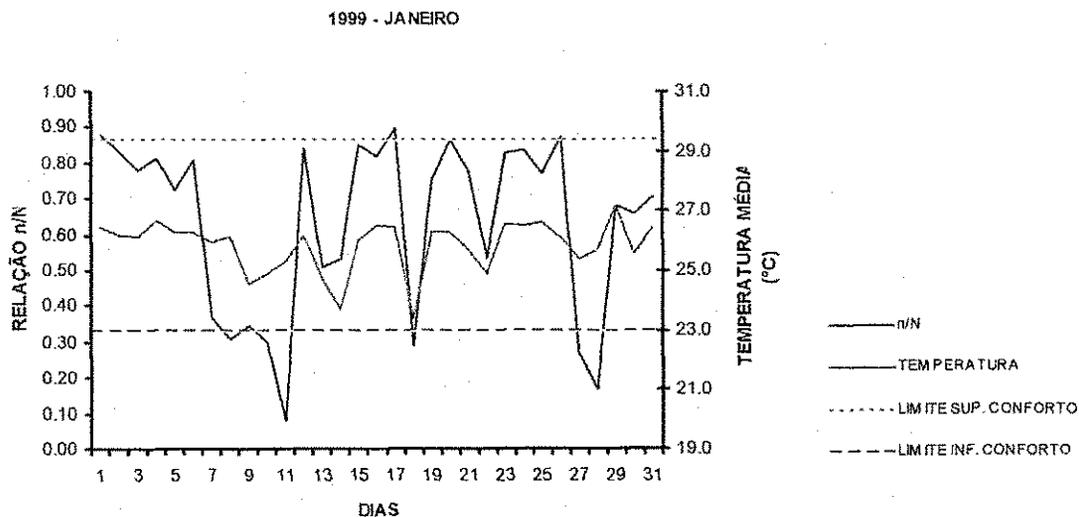


Figura 31 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de janeiro de 1999.

Estão representadas na Figura 32 as curvas da razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas no mês de julho de 1999. A Figura 32 esclarece que a média das temperaturas verificadas neste mês estiveram parte abaixo do limite inferior de conforto térmico, nota-se também que a razão n/N sempre superior a 0,70 nos dias mais confortáveis, ou seja, dias mais claros deste mês.

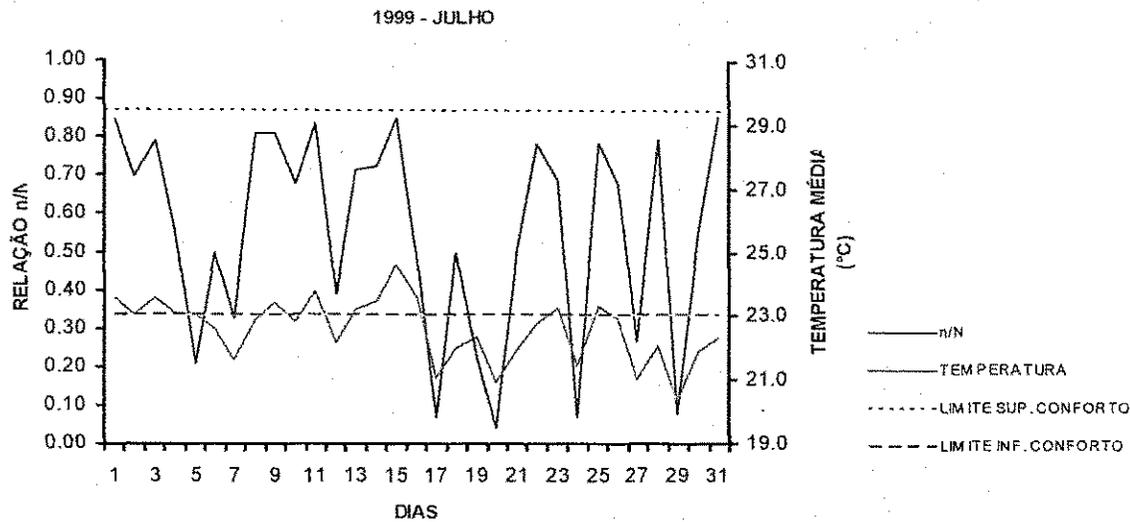


Figura 32 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas no mês de julho de 1999.

A Figura 33 apresenta a razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo com as médias das temperaturas dos meses de janeiro entre 1995 e 1999. Ao observar o comportamento médio dos dois elementos ao longo de todo o período nos meses de janeiro torna-se mais fácil analisar a correlação. As médias de temperatura do ar estiveram variando aproximadamente entre 25,2 °C e 27,0 °C, a Tabela 06 mostra uma média de 26,2 °C, ao mesmo tempo observa-se que os níveis da razão n/N estiveram variando com mais frequência entre 0,60 e 0,75 onde a mesma Tabela citada apresenta uma média de 0,70 para um valor médio de 8 horas de insolação por dia nos meses de janeiro. Com relação à razão de insolação verifica-se através desta Figura que os dias mais confortáveis também apresentam em média, valores inferiores a 0,50, ou seja, no mês de janeiro, isto é caracterizado como dias nublados, o que significa conforto para os seres humanos em dias considerados quentes.

Mesmo com o período apresentando-se completamente dentro da faixa de conforto a utilização da inércia térmica ainda é recomendada. Dexter (1980) enfatiza que “a

economia de energia devida ao uso de massa, é maior em climas onde a temperatura está em grande parte do ano dentro da zona de conforto. Isto é, locais com clima ameno e com longas estações quentes”.

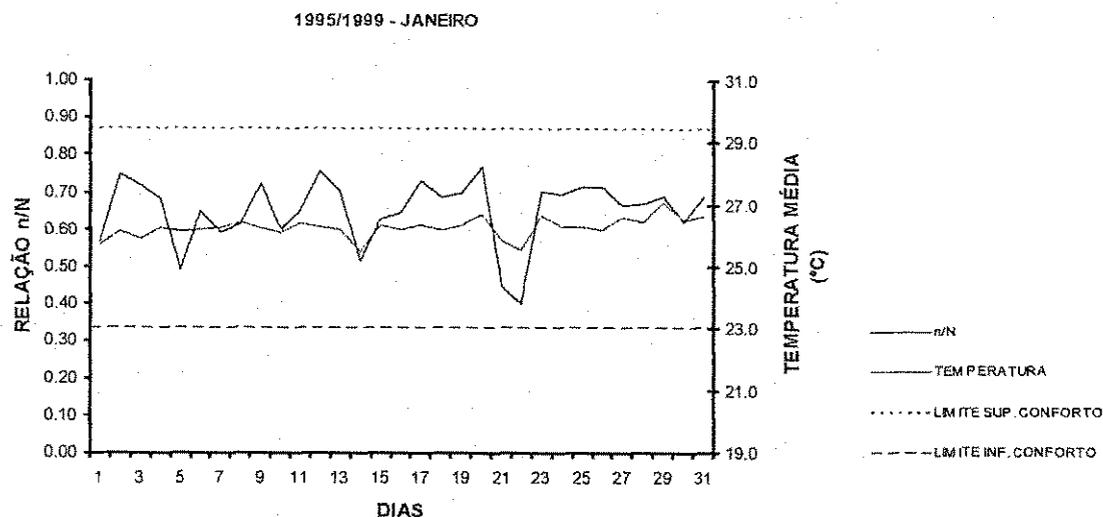


Figura 33 - Razão da insolação real e insolação máxima (n/N) e as médias das temperaturas dos meses de janeiro entre 1995 e 1999.

Estão representadas na Figura 34 as curvas da razão da insolação real e insolação máxima (n/N) da localidade em estudo e as médias das temperaturas nas médias dos meses de julho entre 1995 e 1999. A Figura mostra que na segunda quinzena deste mês a média das temperaturas estiveram abaixo da zona de conforto térmico, evidenciando dias desconfortáveis termicamente, principalmente à noite. Está representado também, nesta Figura, uma maior oscilação da razão n/N comparando com o mês de janeiro e que os dias menos confortáveis esta razão superou 0,50. Fica claro que com essas taxas o conforto térmico para o ser humano ficou comprometido, exigindo, pelo menos, agasalhos naquelas noites mais claras deste mês.

Verifica-se que houve uma resposta positiva da temperatura do ar quando os níveis da razão ultrapassaram o valor de 0,6, enquanto que este número para o mês de janeiro foi plenamente satisfatório. Isto se deve ao fato de que em janeiro a insolação máxima (N) varia entre 12,41 horas no dia primeiro e 12,31 horas no dia 31, ou seja, a razão n/N de 0,60 varia entre 7,45 horas e 7,39 horas, enquanto que em julho a insolação máxima (N) varia entre 11,59 horas (01/07) e 11,69 horas (31/07) e a razão n/N de 0,60 para este mês fica entre 6,95 horas e 7 horas. Torna-se evidente então que deve haver uma zona de conforto que se contemple a época mais fria, onde o período de insolação é menor e o

5. CONCLUSÕES

Em janeiro a atenção volta-se para o desconforto térmico que ocorreu nas suas tardes, quando a temperatura do ar esteve acima da zona de conforto adotada pela pesquisa. Para este mês o aproveitamento adequado da ventilação é uma estratégia correta para minimizar o *stress* térmico. Observou-se ainda que, apesar de ser um mês considerado quente, as noites, a partir das 21:00 h, e as madrugadas encontraram-se desconfortável higrotermicamente, com baixas temperaturas e elevados índices de umidade relativa do ar.

Como julho não apresentou desconforto térmico em relação a elevadas temperaturas, os cuidados devem estar focados para uma adequação da edificação nos horários de desconforto higrotérmico, que neste mês ocorreram desde as 18:30 h até as 9:00 h, ou seja, mais de catorze horas de frio a alta umidade relativa do ar.

Os estudos mostraram que, através de métodos simplificados, havendo disponibilidade de dados, torna-se possível realizar uma avaliação coerente dos elementos meteorológicos de forma a viabilizar os projetos de Arquitetura e Engenharia.

As recomendações construtivas são apenas estratégias gerais para o desenvolvimento de projeto ou eventuais adaptações em edificações existentes. Para uma correta adoção das soluções técnicas é necessário um estudo detalhado das características do local onde será executada a intervenção, pois, podem existir fatores que exerçam influência, como topografia, cobertura do solo, edificações próximas, e assim, alterar os elementos climáticos.

O efeito da razão entre a insolação real e a insolação máxima (n/N) sobre as médias das temperaturas diárias foi graficamente evidente. A zona de conforto encontrada para esta variável, compreendida entre 0,33 e 0,88, revela que em janeiro, se a razão for maior que 0,88, provavelmente acontecerá desconforto, em virtude das altas temperaturas, principalmente se ocorrerem ventos fracos no período. Para o mês de julho não haverá conforto se o valor de n/N encontrar-se abaixo de 0,33, agravando-se o desconforto por frio com a ocorrência de ventos moderados ou fortes.

6. RECOMENDAÇÕES

Sente-se a necessidade de pesquisas com os habitantes de Campina Grande, para que se tenha uma adequada comparação com relação aos níveis de conforto humano na região, visto que, apesar de ser adotada uma zona de conforto encontrada para os trópicos, o fator aclimatação pode influenciar nas sensações higrotérmicas das pessoas.

A pesquisa revela que para uma melhor definição do efeito da razão entre a insolação real e a insolação máxima (n/N) sobre as médias das temperatura, recomenda-se que sejam realizadas correlações mais detalhadas utilizando-se modelos matemáticos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, M.S.; SATO N.M.; PEDROSO, N. G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares: manual de procedimento para avaliação**. São Paulo: IPT, 1987. 74p. (IPT Publicação n. 1732).

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of Fundamentals. , Atlanta. **ASHRAE 55**; Thermal environmental conditions for human occupancy. 1981.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of Fundamentals. , Atlanta. **ASHRAE 55**; Thermal environmental conditions for human occupancy. 1992.

ARAÚJO, V.M.D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. Tese (Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1996, 125p.

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. Tese (Doutorado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997, 277p.

BARDI, L. B. Apresentação. In. Ferraz, M. C. **Arquitetura rural na serra da Mantiqueira**. São Paulo: Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, 1996, 93p.

BARROSO-KRAUSE, C.; SANTOS, M. J. O.; NIEMEYER, M. L.; PORTO, M. M.; GOMES, A. M. R. C.; TEIXEIRA, K. C.; GOMES, J. C. P. **Bioclimatismo no projeto de arquitetura: dicas de projeto**. Rio de Janeiro: Proarq – DTC, FAU- UFRJ, 2004, 82p.

BEDFORD, T. **The warmth factor in thermal comfort at work**. MRC. Industrial health Board Report, nº 76. London, HMSO, 1936.

BEDFORD, T.; WARNER, C. G.; CHRENKO, F. A. Observations on the natural ventilation of buildings. Londres: **Journal of the Royal Institution of British Architects**, 51:7-11, 1943.

BELDING, H. S.; HATCH, T. F. Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain. **Heating Piping Air Condit** 27:129-136, 1955

BOUTET, T. S. **Controlling air movement: a manual for architects and builders**. New York: MacGraw-Hill, 1991.

BRASIL. Lei Federal nº 6514 de 22 de dezembro de 1977, artigo 178.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. **NBR 6401**; instalações centrais de ar condicionado para conforto - parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro, 1980. 21p.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº 3214 de 8 de junho de 1978: Normas Regulamentadoras relativas a segurança e medicina do trabalho. In: **Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do Trabalho**, 49ª edição, São Paulo: Atlas, 2001. 690 p.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002. 153p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. [http\\:www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), 2005.

BROOKS, C. **Climate in Everyday Life**. Londres: Ernest Benn Ltd.1950.

BUENO, A. D. **Transferência de Calor e Umidade em Telhas : Simulação e Análise Experimental**. Florianópolis: Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, 1994, 115p.

CARVALHO, H. J. M. **Parâmetros climatológicos para o estudo do balanço termo-energético de edificações da cidade de João Pessoa – PB**. Natal – RN: Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2001, 87p.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003, 288p.

COSTA, E. C. **Física aplicada à construção**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1991, 264p.

COUTINHO, A.B. **O problema da habitação higienica nos paizes quentes em face da "Architectura Viva"**. Rio de Janeiro: Oficinas Alba Graphics, 1930.

COUTINHO, A. S. **Conforto e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. João Pessoa: Edições PPGE, 1998.

DESSOLIERS, H. **L'habitation dans les pays chauds: contribution à l'art de l'acclimatation**. Alger: Imprimerie P. Bienvenu, 1882.

DEXTER, M.E. Including Mass and Insulation in Buildings Walls, **ASHRAE Journal**, Março-1980, pp. 35-38.

DRYSDALE, J. W. **Technical study**, Austrália: nº 27, Comm. Exp. Bldg. Station. 1948.

FANGER, O. Calculation of Thermal Comfort - Introduction of a basic Comfort Equation. In: **ASHRAE Transactions**, v. 73, II, 1967. 20p.

FANGER, O. **Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering**. Copenhagen, 1970. 244p.

FERREIRA, P. C. **Alguns dados sobre o clima para edificação em Brasília**. Dissertação (Mestrado). Brasília: Universidade de Brasília, 1965.

HOUGHTEN, F.C.; YAGLOU, C.P. Determining lines to equal comfort, and determination of the comfort zone. In: **ASHVE Transactions**, v.29, 1923.

HUMPHREYS, M.A. Field studies of thermal comfort compared and applied. **Building Services Engineer**, v. 44, 1976.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzerland. **ISO 7726**; thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities. Switzerland, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. **ISO 7730**; moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1994.

KOCH, W.; JENNINGS, B.H.; HUMPHREYS, C.M. Environmental study II – Sensation responses to temperature and humidity under still air conditions in the comfort range. In: **ASHRAE Transactions**, v. 66, 1960.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Viviendas y edificio em zonas cálidas y tropicales**. Madri: Editorial Paraninfo, 1977, 327p.

LAMBERTS, R.; LOMBARDO, L.; AGUIAR, J. C.; THOMÉ, M. **Eficiência Energética em edificações: estado da arte**. Rio de Janeiro: PROCEL, 1996.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. E.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: UFSC/Procel/ Eletrobrás, 1997. 192p.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C. **Desempenho térmico de edificações**. Apostila. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 90p.

LIM, B. B. P. Energy conservation in buildings and the indoor environment - a review. **Architectural Science Review**, v. 26, n. 1, p. 6-12, 1983.

LÔBO, D. G. F.; BITTENCOURT, L. S. A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 57-67, abr./jun. 2003.

LOUREIRO, K.; CARLO, J.; LAMBERTS, R. **Estudos de estratégias bioclimáticas para a cidade de Manaus**. Foz do Iguaçu: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002.

MACINTYRE, D.A. **Indoor Climate**. London: Applied Science Publishers, 1980. 443p.

MASCARÓ, L.E.R. **Energia na edificação – estratégia para minimizar seu consumo**. 2ª edição, São Paulo: Projeto editores associados, 1991, 213p.

MASCARÓ, J.L.; MASCARÓ, L.E.R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. 2ª edição, Porto Alegre, Sagra-DC Luzzatto, 1992, 134p.

MACARDLE, B.; DUNHAM, W.; HALLING, H. E.; LADELL, W. S. S.; SCALT, J.W.; THOMSON, M. L.; WEINER, J. S. The prediction of the physiological effects of warm and hot environments. **Medical Research Council Rep**, 47/391. Londres: RNP, 1947.

MISSENARD, A. Equivalences thermiques des ambiances; equivalences passage; equivalences de sejour. **Chaleur et Industrie**, julho-agosto, 1948.

MOORE, F. **Environmental Control Systems**. McGraw Hill, USA. 1993, 427p.

NELSON, T.M.; NILSSON, T.H. ; HOPKINS, G.W. Thermal comfort: advantages and deviations. In: **ASHRAE Transactions**, v. 93, part 1, 1987.

OLGYAY, V. **Design with climate**. 4th ed. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1963, 185p.

OLGYAY, V. **Clima y arquitectura en Colombia**. Cali, Colômbia: Universidade del Valle, Facultad de arquitectura, 1968.

PAPST, A. L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical - estudo de caso em Florianópolis - SC**. Florianópolis: Dissertação (Mestrado), Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. 1999, 180p.

PEUPORTIER, B.; SOMMEREUX, I. B. **Comfie passive solar design tool for multizone buildings** - User's Manual Centre d'Énergétique, Ecole des Mines de Paris Version 2.0, 1992.

PIETROBON, C. E.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. O. R.. Estratégias bioclimáticas para o projeto de edificações: conceituação e aplicação para Maringá, Paraná. São Pedro-SP: **VI encontro nacional e III encontro latino-americano sobre conforto no ambiente construído**, 2001.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2. ed. Porto Alegre: D. C. Luzzatto editores, 1986. 239 p.

ROCHA, H. L. S. **Campina Grande**. <http://helderdarocha.com.br/paraiba>. 1997

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda, 2000, 123p.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001, 225p.

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. Dissertação (Mestrado), 1987.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**. Parte 3. Projeto ABNT 02:135.07-003: Rio de Janeiro, 1998, 28p.

RUAS, A.C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999. 94 p.

RUAS, A.C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. Tese (Doutorado). Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 182 p.

SÁ, P. **Arquitetura e conforto na Cidade Universitária**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1952.

SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOULOS, D. **Passive Cooling of Building**. UK: James & James (Science Publishers) Ltd, Cap. 8: Heat attenuation, 1996.

SANTOS, M. M. Relatório técnico: Vulnerabilidade climática e consumo de energia elétrica em áreas urbanas. Enabling Brazil to fulfill its commitments to the United Nations framework convention on climate change. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000, 105p.

SANTOS, R. F. **A arquitetura e a eficiência nos usos finais da energia para o conforto ambiental**. Dissertação Mestrado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002, 87p.

SATTLER, M.A. Thedes - um programa de computador para simulação de desempenho térmico de edificações. **Encontro nacional de normalização ligada ao uso racional de energia e ao conforto ambiental em edificações**. Florianópolis: Anais ... Florianópolis: UFSC, 1991. p. 151-156.

SCARAZZATO, P. S. **Investigação sobre critérios para determinação e medição dos níveis de conforto térmico**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1988.

SEGAWA, H. Clave de sol: notas sobre a história do conforto ambiental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 37-46, abr./jun. 2003.

SILVA, F. A. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: uma aplicação ao Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado). São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1999.

SILVA, P. C. O clima tropical e a arquitetura moderna brasileira In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE TROPICOLOGIA**, 1, 1986, Recife. **Anais...** Recife: Fundaj, Massangana, 1987. p. 329-333.

TALAIA, M. A. R. **O conforto humano e as alterações ambientais - um estudo de caso em ambiente quente**. Asociación Meteorológica Española. <http://ame-web.org/JORNADAS/talaia.pdf>. 2004.

VERNON, H.M.; WARNER, C.G. **The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures**. J. Hyg. Camb., v. 32, p. 431-462, 1932.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 2000, 449p.

VIGGIANO, M. H. Bases conceituais do projeto casa autônoma. In. **VI ENCAC – Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído**. São Pedro, **Anais em CD**. ANTAC. 2001.

VILLAS BOAS, M. **Índices de conforto térmico**. In: Curso de especialização, por tutoria à distância: Controle do ambiente em Arquitetura. Módulo 7, Brasília, CAPES. PP. 5-8 (mimeo), 1983.

VILLAS BOAS, M. Significado da arquitetura nos trópicos – um enfoque bioclimático. In: **Seminário Nacional de Arquitetura nos Trópicos**, 1, 1985, Recife. **Anais...** Recife: Massangana, 1985.

VITRUVIUS, M. L. **Los diez libros de arquitectura**. Barcelona: Editora Ibéria S.A. 1982

WATSON, D.; LABS, K. **Climatic Building Design: Energy-Efficient Buildings/Principles and Practice**, Ed. McGraw-Hill, Inc. New York, 1983, 280 p.

WEBB, C. G. **An analysis of some observations of thermal confort in equatorial climate**. London: Britain J. Industr. Med., 16, 1958.

YAGLOU, C. P. Radiant Cooling – Investigated in texts at Harvard and discussed at New York meeting by Dr. Yaglou. **Heating and ventilating**. Pp 102-104, Maio, 1947.

YAGLOU, C.P.; MILLER, W.E. Effective temperature with clothing. In: **ASHVE Transactions**, 31: 89 - 99, 1925.

YAGLOU, C. P.; MINARD, D. **Control of heat casualties at military training centers**. Am Med Assoc Arch Ind Health 16:302–316 y 405. 1957.