

Comparação entre necessidade e disponibilidade de vento e radiação solar para fins de análise bioclimática de edificações em Florianópolis

Comparison between need and availability of wind and solar radiation for bioclimatic analysis of buildings in Florianópolis

Carolina Cannella Peña
Enedir Ghisi
Cláudia Donald Pereira

Resumo

As estratégias mais indicadas para amenizar o desconforto gerado pelo calor e pelo frio em Florianópolis são, respectivamente, a ventilação natural e o aquecimento solar. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar a disponibilidade das variáveis climáticas vento e radiação solar em ambientes submetidos ao clima de Florianópolis, pois as estratégias de ventilação e aquecimento solar somente serão eficientes com a presença da variável no local. Foram analisadas as estratégias bioclimáticas apresentadas por Baruch Givoni para o clima do local de estudo nos 3 meses mais quentes e nos 3 mais frios de 2006, através do programa computacional Analysis BIO. Tais estratégias foram confrontadas com a presença das variáveis naturais vento e sol, avaliando a viabilidade de sua aplicação. Constatou-se que, para os meses mais quentes, 74% das horas que indicavam a necessidade de ventilação apresentaram disponibilidade da variável vento. No entanto, nos meses mais frios, apenas 35% das horas em que o aquecimento solar era necessário tinham disponibilidade de sol. Conclui-se, portanto, que o projetista de edificações deveria verificar se há disponibilidade de ventilação natural e radiação solar quando indicadas como necessárias em análises bioclimáticas, pois outras estratégias devem ser consideradas para suprir a sua eventual ausência.

Palavras-chave: Ventilação natural. Radiação solar. Bioclimatologia.

Abstract

The bioclimatic strategies recommended to ease thermal discomfort under hot or cold conditions in Florianópolis are, respectively, natural ventilation and solar heating. Therefore, the main objective of this article is to assess the availability of wind and solar radiation in buildings under the climatic conditions of Florianópolis, as natural ventilation and solar heating will only be effective bioclimatic strategies if there is wind and solar radiation available. The bioclimatic strategies proposed by Baruch Givoni were analysed considering the three hottest and the three coldest months of 2006 in Florianópolis. The Analysis BIO computer programme was used. Such bioclimatic strategies were compared with the availability of wind and solar radiation. From the results, it could be observed that, for the hottest months, there was wind available over 74% of the time in which natural ventilation was needed. However, for the coldest months, there was sunshine over only 35% of the time in which solar heating was necessary. The main conclusion derived from the analysis is that building designers should check if natural ventilation and solar radiation are available when they are needed as bioclimatic strategies, as other strategies should be considered to account for their absence.

Keywords: Natural ventilation. Solar radiation. Bioclimatology.

Carolina Cannella Peña
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa
Catarina
Caixa Postal 476
Florianópolis - SC - Brasil
CEP 88040-900
Tel.: (48) 3269-9580
E-mail: cannella@labtrans.ufsc.br

Enedir Ghisi
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa
Catarina
Tel.: (48) 3721-5536
E-mail: enedir@labeee.ufsc.br

Cláudia Donald Pereira
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa
Catarina
Tel.: (48) 3721-5184
E-mail: claudia@labeee.ufsc.br

Recebido em 13/08/08
Aceito em 02/12/08

Introdução

No Brasil, um estudo sobre o uso final da energia elétrica (GHISI *et al.*, 2007), realizado a partir de dados residenciais de 12 dos 26 estados nacionais, entre 1997 e 1999, mostrou que as maiores parcelas de consumo estão concentradas na utilização de geladeiras e freezer, representando um total de 42% do consumo total, seguido do chuveiro elétrico com 20%, iluminação com 11% e ar condicionado com 10%, conforme a Figura 1. O consumo com ar condicionado no mesmo setor representava 7% do total em 1987, segundo Jannuzzi e Schipper (1991). Percebe-se, portanto, que o consumo de energia por meio da utilização de aparelhos de ar condicionado nas residências brasileiras vem aumentando. Tal aumento se deve possivelmente ao aumento da renda do brasileiro e às condições inadequadas de desempenho térmico de suas moradias.

Uma das formas mais adequadas de se melhorar o desempenho térmico de edificações e, conseqüentemente, as condições de conforto térmico dos usuários, é por meio da bioclimatologia aplicada ao projeto arquitetônico. Neves e Caram (2003) definem como “arquitetura bioclimática”, a concepção de edifícios adaptados ao seu próprio

clima. Ela consiste na utilização dos recursos que a natureza oferece, tais como sol, vento, vegetação, temperatura ambiental, entre outros, em proveito de um maior conforto aos ocupantes de um ambiente (NEVES; CARAM, 2003). Sendo assim, os conceitos da bioclimatologia poderiam e deveriam ser adotados em qualquer tipo de projeto.

Buscando interligar variáveis climáticas e estratégias de projeto, pesquisadores desenvolveram cartas bioclimáticas e métodos, levantando as necessidades e prioridades térmicas de determinadas regiões. Dentre tais pesquisadores, destaca-se Baruch Givoni que apresenta uma carta bioclimática onde sintetiza, em um diagrama psicrométrico, tipos de estratégias que devem ser utilizadas para cada clima particular (GIVONI, 1992). Nesta carta, ilustrada na Figura 2, devem ser plotadas a temperatura e a umidade relativa do ar. O ponto gerado através da inserção dessas variáveis indica as estratégias bioclimáticas mais adequadas ao bom desempenho térmico do ambiente. As estratégias indicadas por Givoni, e numeradas de 1 a 9 na Figura 2, são descritas no Quadro 1.

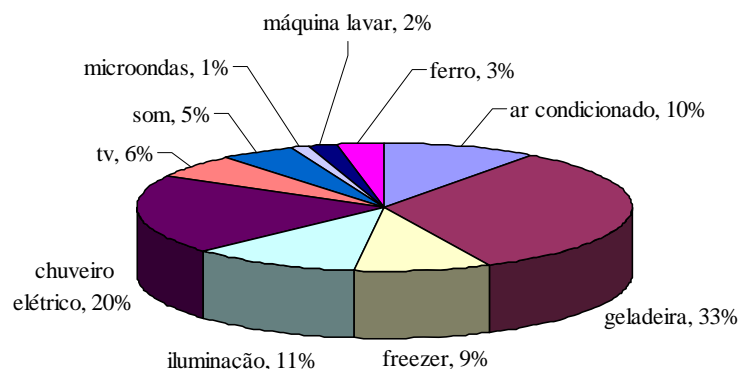
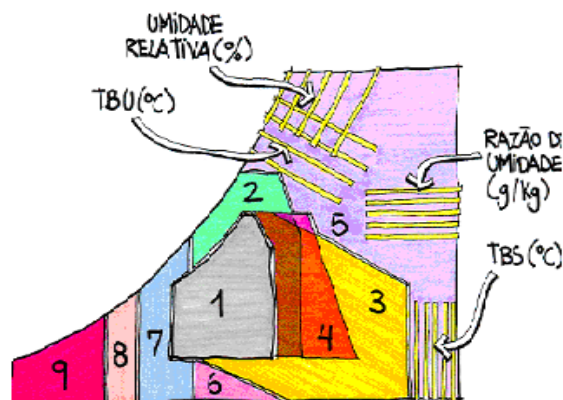


Figura 1 - Uso final de energia elétrica no setor residencial de doze estados no Brasil (GHISI *et al.*, 2007).



Notas: TBU: Temperatura de Bulbo Úmido; TBS: Temperatura de Bulbo Seco.
Fonte: Lamberts *et al.* (1997).

Figura 2 - Carta bioclimática de Givoni

Nº	Zonas	Estratégias bioclimáticas
1	Zona de conforto	Há grande probabilidade de sensação de conforto térmico no ambiente.
2	Zona de ventilação	Recomenda-se o uso da ventilação para melhorar a sensação térmica (ventilação de cobertura, cruzada, captadores de vento, etc.).
3	Zona de resfriamento evaporativo	Recomenda-se o uso da evaporação da água para reduzir a temperatura e aumentar a umidade relativa do ambiente (uso de vegetação e fontes de água).
4	Zona de massa térmica para resfriamento	Recomenda-se o uso da inércia térmica da edificação para diminuir a amplitude da temperatura interior em relação à exterior, evitando os picos.
5	Zona de ar condicionado	Recomenda-se o uso de aparelhos de ar condicionado para climatização dos ambientes, pois os sistemas passivos de resfriamento podem não ser suficientes para melhorar as condições de conforto.
6	Zona de umidificação	Recomenda-se a umidificação do ar para melhorar a sensação de conforto.
7	Zona de massa térmica para aquecimento	Recomenda-se o uso de massa térmica junto ao aquecimento solar passivo ou o aquecimento solar passivo com isolamento térmico.
8	Zona de aquecimento solar passivo	Recomenda-se a incorporação de elementos ao projeto que permitam a máxima captação do sol no período frio.
9	Zona de aquecimento artificial	Recomenda-se o uso de aquecimento artificial para climatização dos ambientes, pois o aquecimento solar passivo pode não ser suficiente para melhorar as condições de conforto.

Fonte: Lamberts *et al.* (1997)

Quadro 1 - Estratégias indicadas na carta bioclimática de Givoni

O programa computacional Analysis BIO (LabEEE, 2007) permite a plotagem de arquivos climáticos sobre a carta bioclimática de Givoni e fornece as estratégias bioclimáticas mais adequadas àquele clima, além da porcentagem de horas anuais de conforto e desconforto. Ele foi desenvolvido por pesquisadores do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Para as análises, são necessários dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Na bibliografia consultada foram encontrados estudos sobre as estratégias e suas influências relacionadas à forma da edificação, ao entorno, à taxa de ocupação etc., porém, de forma geral, estudos da disponibilidade das variáveis climáticas requeridas no local são pouco realizados.

É possível verificar uma série de estudos sobre o uso da ventilação natural como estratégia passiva de condicionamento, tais como: a relação da ventilação natural com o tamanho de aberturas (CORBELLÀ; MARQUES, 1997), com a taxa de ocupação e com a influência do entorno (BITTENCOURT *et al.*, 1997), os diferentes sistemas a serem empregados (TOLEDO, 2002), etc. Porém, existe informação reduzida a respeito da real disponibilidade da variável necessária, que nesses casos é o vento, para aplicação da estratégia.

Loureiro (2003) analisou, de forma geral, as frequências de ocorrências de ventos na cidade de Manaus e verificou que apesar da necessidade de ventilação natural em 65,2% das horas totais no ano climático de referência para aquela cidade, havia disponibilidade de ventos em apenas 28,6% das horas totais. Isso aponta a dificuldade de aplicação da estratégia indicada para a cidade. É importante mencionar que Loureiro (2003) verificou apenas a disponibilidade de ventos nas horas totais do ano, e não nas horas em que a ventilação natural era desejável.

A verificação da disponibilidade de vento em horas onde a ventilação é a estratégia mais adequada, ou ainda a verificação de radiação solar onde o aquecimento solar pode minimizar os efeitos de desconforto, são estudos que devem ser feitos juntamente com o levantamento de temperatura e umidade. A análise da presença de tais variáveis é fundamental para evitar uma indicação de estratégia bioclimática que não tenha capacidade real de aplicação para o local, uma vez que podem existir valores mínimos ou até mesmo a ausência dessas variáveis.

Este trabalho vem, portanto, ampliar essas informações através da análise de disponibilidade de ventos, assim como disponibilidade de radiação solar, enfatizando a importância de tais variáveis na concepção da estratégia adequada a ser

utilizada. Durante esta pesquisa, não foi encontrado na literatura nenhum trabalho que verificasse a disponibilidade de tais variáveis nos momentos em que elas são requeridas para manutenção do conforto.

O objetivo deste artigo é comparar quantitativamente a disponibilidade de vento e radiação solar em Florianópolis com a necessidade dessas variáveis nas horas requeridas pelas estratégias ventilação natural e aquecimento solar na carta bioclimática de Givoni.

Método

Este trabalho teve como objeto de estudo a cidade de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, na Região Sul do Brasil. A cidade localiza-se na latitude 27,7° S, a uma altitude média de 7 m, embora apresente altitudes de cerca de 500 m nos picos de alguns morros.

Seu clima é classificado como mesotérmico úmido (Cfa segundo Köppen), com as estações do ano bem definidas: altas temperaturas no verão e baixas no inverno. Caracteriza-se ainda por uma homogeneidade quanto à pluviometria e uma umidade relativa do ar elevada (média anual de 82,7%) conforme Goulart *et al.* (1998). Segundo Andrade (2006), o número de horas de insolação anual da cidade varia entre 2.200 e 2.400 horas. Os ventos predominantes têm suas frequências determinadas pelas estações e sofrem variações relativas à localidade de estudo.

Para verificar a aplicabilidade de estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade de Florianópolis, propõe-se o método apresentado nas quatro etapas enunciadas a seguir:

- (a) obtenção de dados climáticos do ano de 2006, da cidade de Florianópolis;
- (b) comparação entre os dados de 2006 e do ano climático de referência (TRY) da cidade;
- (c) verificação da indicação de estratégias bioclimáticas para Florianópolis – para dias completos, para períodos apenas diurnos e para períodos apenas noturnos; e
- (d) verificação e comparação da disponibilidade de vento e radiação solar quando as estratégias de ventilação natural e aquecimento solar são requeridas.

Dados climáticos de Florianópolis

Através do Laboratório de Energia Solar (LabSolar) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), foram coletados dados climáticos, medidos na estação solarimétrica de superfície do Laboratório. Ela está localizada no

Campus Trindade da UFSC, a 12 m acima do nível do mar, 27° 36' de latitude sul e 48° 30' de longitude oeste. São registradas, entre outros dados, a temperatura do ar, radiações solares global, direta e difusa, velocidade do vento, precipitação pluviométrica, pressão atmosférica e umidade relativa do ar.

Foram utilizados, para as análises deste trabalho, dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global e velocidade do vento referentes ao ano de 2006. Esse ano foi escolhido pela maior disponibilidade de dados completos na estação. Com esses dados, fornecidos minuto a minuto pelo LabSolar, foram calculadas médias horárias das quatro variáveis climáticas, para permitir a análise dos resultados do programa Analysis BIO em horas de conforto e desconforto.

Comparação entre 2006 e o ano climático de referência

O Ano Climático de Referência (Test Reference Year – TRY) foi definido para algumas cidades brasileiras, incluindo Florianópolis, mediante uma metodologia aplicada por Goulart *et al.* (1998). Nela, analisou-se uma sequência histórica (10 anos) de dados climáticos, escolhendo o ano mais representativo do período, sem valores extremos de temperatura. O ano climático de referência definido por Goulart *et al.* (1998) para Florianópolis é 1963.

Com a finalidade de verificar a representatividade dos dados do ano de 2006, fez-se uma análise comparativa entre as variáveis climáticas desse ano estudado e do ano climático de referência para a cidade de Florianópolis. Através de gráficos, foram comparados os valores de temperatura do ar e de umidade relativa do ar dos dois anos.

Foi feita também uma comparação entre estes dois anos a partir das horas de conforto e desconforto apontadas na carta bioclimática, utilizando o programa computacional Analysis BIO. Com isso foi possível comparar as indicações de estratégias bioclimáticas para ambos.

Para a utilização do Analysis BIO, foi necessário gerar arquivos de extensão “.try”. Para cada um dos dois anos foi organizado um arquivo com dados horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Para a análise dos anos completos foram inseridos dados das 8.760 horas de cada ano. Com esses arquivos, o programa plotou os dados na carta psicrométrica, mostrando as porcentagens de horas de conforto e desconforto e indicando as estratégias bioclimáticas adequadas. Assim, foram comparados os resultados de 2006 com o ano climático de referência.

Verificação das estratégias bioclimáticas indicadas para Florianópolis

Os dados do ano de 2006 foram adotados para a verificação das estratégias bioclimáticas indicadas para o clima de Florianópolis. Utilizou-se o programa computacional Analysis BIO como ferramenta de estudo. Para uma análise mais detalhada, foram separados os 3 meses mais quentes e os 3 mais frios de 2006.

Com os valores horários de temperatura e umidade dos 6 meses escolhidos, foram gerados arquivos do tipo “.try” da seguinte forma:

- (a) dados de cada um dos 6 meses escolhidos, com os dias inteiros.
- (b) dados dos 3 meses mais quentes:
 - com os dias inteiros;
 - apenas com dados diurnos;
 - apenas com dados noturnos.
- (c) dados dos 3 meses mais frios:
 - com os dias inteiros;
 - apenas com dados diurnos;
 - apenas com dados noturnos.

Dessa forma, as análises foram realizadas em etapas: inicialmente para os meses mais quentes e meses mais frios com os dias inteiros; e, depois, para esses meses com a divisão em dia e noite.

Verificação da aplicabilidade das estratégias bioclimáticas para Florianópolis

Tendo em vista as estratégias bioclimáticas mais indicadas para Florianópolis, para o período de desconforto por calor e de desconforto por frio, foi verificada a disponibilidade das variáveis ambientais necessárias para suprir tais estratégias.

Já tendo o conhecimento da indicação das estratégias de ventilação natural (para os horários de calor) e de aquecimento solar ou massa térmica com aquecimento solar (para os horários de frio), realizou-se a análise comparativa das horas com disponibilidade de vento e de sol.

Para isso, foi feito o cruzamento, através de planilhas eletrônicas, dos dados inseridos no Analysis BIO com os registros climáticos fornecidos pelo Labsolar. Nos pontos que indicavam a necessidade de ventilação natural, verificava-se a existência de vento. Quando era indicado o aquecimento solar, verificava-se a disponibilidade de radiação solar. As somatórias

das horas com disponibilidade das variáveis requeridas foram contabilizadas em porcentagens horárias dentro dos períodos com necessidade delas. Não foram consideradas as diferenças de velocidade do vento, nem a intensidade da radiação solar. Verificou-se apenas a presença da variável, ou seja, se elas possuíam valores diferentes de zero.

Para a indicação, nas tabelas das planilhas eletrônicas, dos pontos em zona de conforto ou com necessidade de aplicação das estratégias de ventilação natural, aquecimento solar passivo e aquecimento solar associado à massa térmica, foram utilizados os limites de temperatura e umidade relativa do ar estabelecidos na carta bioclimática de Givoni (1992).

Tendo sido avaliada a possibilidade de aplicação de cada estratégia, com a observação da presença da variável climática solicitada nos momentos de desconforto, foi discutida a real aplicabilidade das soluções em questão. Os resultados dessas investigações são apresentados a seguir.

Resultados

A partir da estação solarimétrica do Labsolar/UFSC foram obtidos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global e velocidade do vento. Tais dados, organizados em valores horários, permitiram a obtenção dos resultados aqui apresentados.

Comparação entre 2006 e o ano climático de referência

O gráfico da Figura 3 foi gerado a partir dos valores de temperatura média mensal do ar do ano de 2006 e do ano climático de referência de Florianópolis. Os dados de janeiro a dezembro de 2006 apresentaram valores de temperatura variando entre 18,9 °C e 27,4 °C. Já no ano climático de referência as temperaturas médias mensais variaram entre 16,3 °C e 24,7 °C. A maior diferença verificada foi de 4 °C, no mês de dezembro. Em todos os meses, o ano de 2006 apresentou valores mais altos de temperatura, sendo a diferença média de 2,2 °C.

Foram também comparados os valores de umidade relativa média do ar dos dois anos, mostrados na Figura 4. Pode-se observar que, de uma maneira geral, os valores de 2006 foram um pouco menores em relação ao ano de referência. A diferença máxima entre umidades médias dos dois anos foi de 7%, observada no mês de setembro, porém a diferença média entre todos os meses ficou em 2,7%.

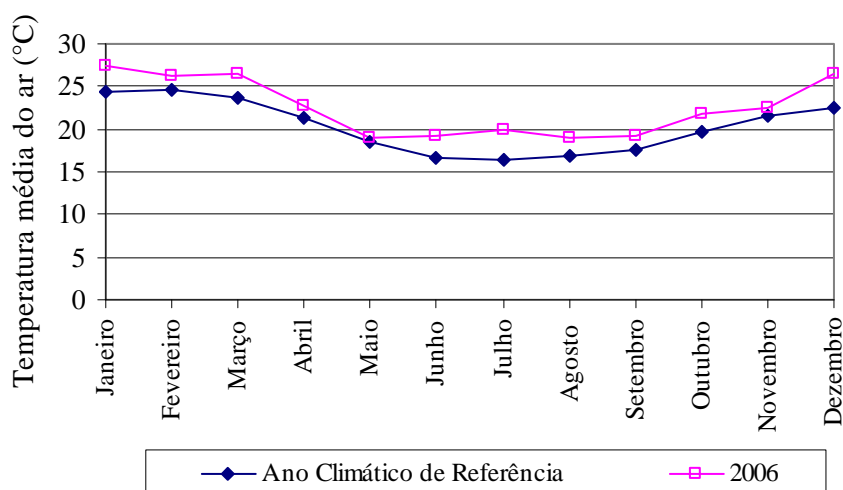


Figura 3 - Variação das temperaturas médias mensais de 2006 e do ano climático de referência

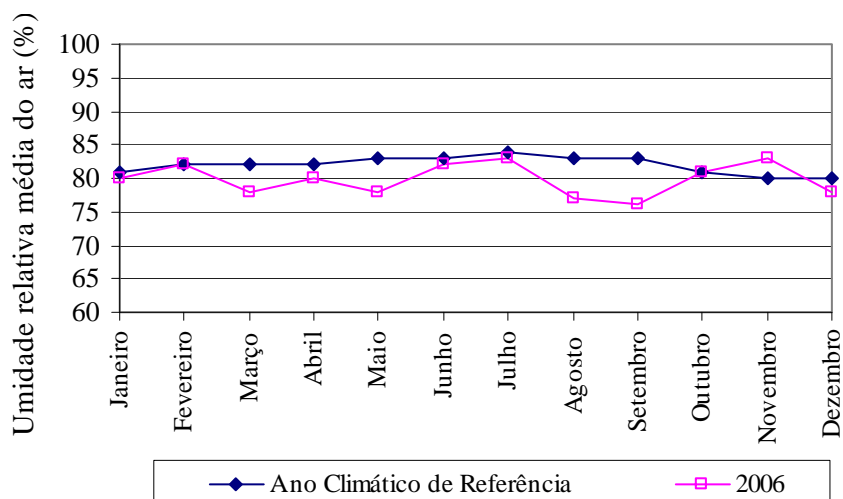


Figura 4 - Variação das umidades relativas mensais de 2006 e do ano climático de referência

A última comparação efetuada entre os dois anos foi com as indicações das cartas bioclimáticas obtidas no programa Analysis BIO. As Figuras 5 e 6 apresentam as cartas bioclimáticas para o ano climático de referência e para o ano 2006 respectivamente.

Para o ano climático de referência da cidade de Florianópolis, o relatório final emitido pelo Analysis BIO, mostrado na Tabela 1, indicou conforto térmico em 20,80% do total de horas do ano, e desconforto em 79,1% das horas. As horas de desconforto foram divididas em 40,70% com desconforto gerado por frio e em 38,30% gerado por calor. A somatória das porcentagens não é exatamente igual a 100%, pois alguns pontos que são plotados exatamente sobre as linhas de

definição das zonas não são computados em nenhuma delas.

Para o ano de 2006, conforme a Tabela 2, o relatório do Analysis BIO indicou 24,20% das horas do ano em conforto. O desconforto foi verificado em 75,70% das horas, sendo 28,80% de horas com desconforto por frio e 46,80% por calor. Nota-se que, de uma maneira geral, as porcentagens de conforto e desconforto do ano de 2006 mostraram pequenas alterações comparadas com o ano climático de referência.

A principal diferença entre os anos estudados encontra-se na proporção entre as horas de desconforto por frio e por calor. Isso porque em 2006 houve um acréscimo de 8,50% no desconforto gerado pelo calor. Nota-se que, com a

elevação das temperaturas em 2006, intensifica-se a aplicabilidade do resfriamento mecânico – o ar-condicionado –, que era adequado em 1,70% das horas do ano de referência e chegou a ser indicado em 6,07% das horas de 2006.

Apesar dessas diferenças, de maneira geral, o ano de 2006 manteve as mesmas recomendações do ano climático de referência. Consta-se que as estratégias apresentadas como mais efetivas para alcançar-se o conforto térmico foram as mesmas nos dois anos analisados. Com esses resultados foi possível aceitar a representatividade dos dados do ano de 2006 para as análises aqui propostas.

Verificação das estratégias bioclimáticas indicadas para Florianópolis e análise de sua aplicabilidade

Como explicado no método do trabalho, as análises foram realizadas para os 3 meses mais quentes e para os 3 mais frios de 2006. Os meses

de janeiro, março e dezembro possuíram os maiores valores médios mensais de temperatura do ar do ano de 2006, conforme a Figura 3, apresentada anteriormente. Já as temperaturas mais baixas foram observadas nos meses de maio, agosto e setembro.

Verificação de necessidade e disponibilidade de vento para os meses mais quentes

Com os dados dos 3 meses mais quentes inseridos no programa Analysis BIO, obteve-se a carta bioclimática mostrada na Figura 7. De acordo com a Tabela 3, nos meses com temperaturas mais altas, o desconforto demonstrou ser causado por calor em sua maioria (85,30% das horas). Para amenizar o calor, a ventilação é a principal estratégia, com 64,70% do total de horas, ou seja, 1.444 horas. Ela é a estratégia mais adequada para resfriamento inclusive isoladamente para cada mês, como pode ser verificado nas Tabelas 4, 5 e 6.

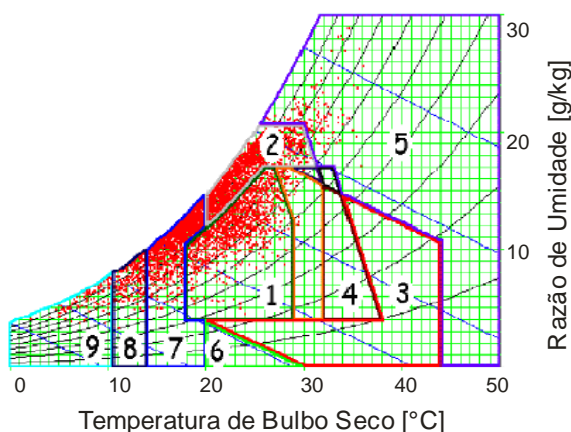


Figura 5 - Carta bioclimática para o ano climático de referência de Florianópolis (LAMBERTS *et al.*, 1997)

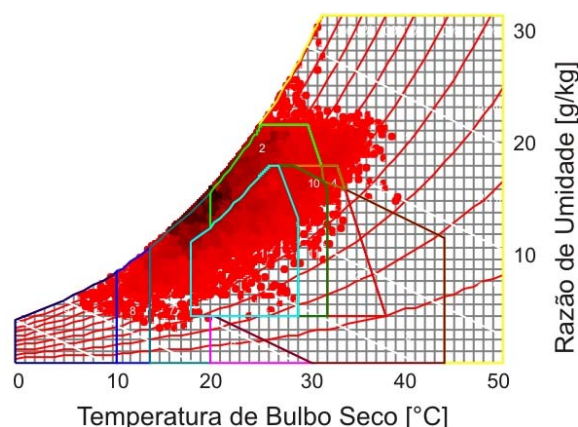


Figura 6 - Carta bioclimática para o ano de 2006 em Florianópolis

Conforto					20,80%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	35,40%	40,70%	79,10%
		Aquecimento Solar Passivo	3,80%		
		Aquecimento Artificial	1,50%		
	Calor	Ventilação	35,50%	38,30%	
		Alta Inércia para Resfriamento	0,90%		
		Ar Condicionado	1,70%		

Tabela 1 - Estratégias bioclimáticas indicadas para o ano climático de referência (TRY) de Florianópolis (8.760 horas)

Conforto					24,20%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	25,20%	28,80%	75,70%
		Aquecimento Solar Passivo	2,88%		
		Aquecimento Artificial	0,72%		
	Calor	Ventilação	39,90%	46,80%	
		Alta Inércia para Resfriamento	5,71%		
		Resfriamento Evaporativo	4,69%		
		Ar Condicionado	6,07%		

Tabela 2 - Estratégias bioclimáticas indicadas para o ano de 2006 em Florianópolis (8.760 horas)

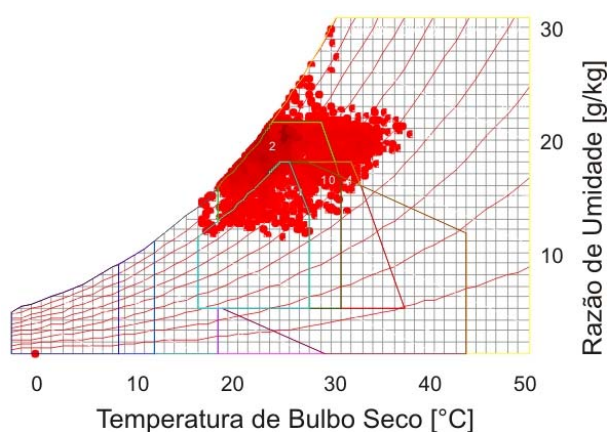


Figura 7 - Carta bioclimática para os 3 meses mais quentes do ano de 2006 em Florianópolis

Janeiro, Março e Dezembro de 2006					
Conforto					13,50%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	0,89%	0,90%	86,20%
		Calor	Ventilação		
	Resfriamento Evaporativo	6,00%	85,30%		
	Alta Inércia para Resfriamento	9,23%			
	Ar Condicionado	18,50%			

Tabela 3 - Estratégias bioclimáticas indicadas para os 3 meses mais quentes em Florianópolis (2.232 horas)

Conforto					4,03%
Desconforto	Frio	--	--	0,00%	95,80%
	Calor	Ventilação	70,00%	95,80%	
		Alta Inércia para Resfriamento	6,59%		
		Resfriamento Evaporativo	3,76%		
		Ar Condicionado	23,40%		

Tabela 4 - Estratégias bioclimáticas indicadas para janeiro de 2006 em Florianópolis (744 horas)

Conforto					19,90%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	1,21%	1,21%	79,70%
	Calor	Ventilação	59,40%	78,50%	
		Alta Inércia para Resfriamento	9,68%		
		Resfriamento Evaporativo	6,59%		
		Ar Condicionado	17,20%		

Tabela 5 - Estratégias bioclimáticas indicadas para março de 2006 em Florianópolis (744 horas)

Conforto					17,10%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	1,48%	1,48%	82,80%
	Calor	Ventilação	64,70%	81,30%	
		Alta Inércia para Resfriamento	11,60%		
		Resfriamento Evaporativo	7,66%		
		Ar Condicionado	14,50%		

Tabela 6 - Estratégias bioclimáticas indicadas para dezembro de 2006 em Florianópolis (744 horas)

A partir dessas verificações no Analysis BIO, foram elaboradas planilhas eletrônicas destacando os dados com necessidade da estratégia ventilação. Para esses dados, verificou-se a disponibilidade de vento, com base nos valores obtidos na estação climática do Labsolar. Os resultados, mostrados na Tabela 8, indicam que, dentro das 1.444 horas com necessidade de ventilação nos 3 meses mais quentes de 2006, a indisponibilidade de vento ocorreu em aproximadamente 26% dessas horas. A quantidade de horas com necessidade de ventilação, presente na Tabela 8, foi calculada a partir da porcentagem de horas da Tabela 4, onde a estratégia bioclimática indicada era a ventilação.

As análises seguintes foram realizadas separando os dados em períodos diurnos e noturnos. Isso foi feito com o intuito de demonstrar os horários em que as estratégias estavam sendo mais solicitadas, analisando a disponibilidade da variável vento. Para todos os meses analisados, o horário diurno foi considerado das 6h às 18h. Os resultados são descritos a seguir.

Foram criados arquivos para uso no programa Analysis BIO, sendo um com dados apenas das horas no período diurno e outro apenas das horas no período noturno. A Tabela 8 e a Figura 8(a) mostram a distribuição de estratégias para solucionar o desconforto térmico no período diurno dos 3 meses mais quentes de 2006. O desconforto provocado pelo calor acontece em 89,50% das horas. Estratégias mecânicas, como o uso do ar-condicionado em 26,00% das horas, são observadas, mas ainda é a ventilação que aparece como principal estratégia para resfriamento, com 60,40% do total de horas, ou seja, 745 horas.

Na Figura 8(b) e na Tabela 9 são mostradas as estratégias para solucionar o desconforto no período noturno dos meses mais quentes. Observa-se que o maior desconforto para os dados noturnos também é gerado pelo calor, presente em 80,30% dessas horas. Esse desconforto nas horas da noite pode ser minimizado prioritariamente com o uso da ventilação natural em 69,10% dessas horas.

A disponibilidade de vento nas horas em que a ventilação é necessária foi analisada para os períodos diurno e noturno, conforme a Tabela 10. Percebe-se que das 1.444 horas em que a ventilação foi necessária, foram observadas 53% das horas na parte diurna e 47% das horas no período noturno. Dos 26% de horas em que existiu ausência de ventos, pôde-se verificar a ausência igualmente dividida nos períodos diurno e noturno.

Observa-se, ainda, que das 763 horas diurnas com necessidade de ventilação 572 (ou seja, 75% delas) possuíam vento. Das 681 horas da noite com necessidade de ventilação, 493 (72% delas) tinham vento disponível. Sendo assim, nota-se que nesses 3 meses as porcentagens de horas com disponibilidade de vento são maiores que as de ausência da variável, tanto durante o dia quanto à noite.

Verificação de necessidade e disponibilidade de radiação solar para os meses mais frios

Os mesmos procedimentos foram realizados com os 3 meses mais frios de 2006, inserindo os dados no programa Analysis BIO, e obteve-se para eles a carta bioclimática apresentada na Figura 9. Em maio, agosto e setembro, que possuíam os menores valores médios mensais de temperatura

do ano de 2006, o desconforto demonstrou-se em sua maioria (55,90%) ser causado por frio, conforme a Tabela 11. Para os 3 meses, inclusive individualmente (Tabelas 12, 13 e 14), a estratégia

de aquecimento solar, aliada à alta inércia térmica, apresentou-se como a mais adequada para aliviar o desconforto.

Mês	Necessidade de ventilação		Disponibilidade de vento		Ausência de vento	
	Quantidade de horas	(%)	Quantidade de horas	(%)	Quantidade de horas	(%)
Janeiro	521	100	416	80	105	20
Março	442	100	292	66	150	34
Dezembro	481	100	357	74	124	26
Total	1.444	100	1.065	74	379	26

Tabela 7 - Necessidade de ventilação e disponibilidade de vento para os 3 meses mais quentes de 2006 em Florianópolis

Janeiro, Março e Dezembro de 2006 – Diurno					
Conforto					9,16%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar		1,13%	1,13%
		Ventilação		60,40%	
	Calor	Alta Inércia para Resfriamento		12,30%	89,50%
		Resfriamento Evaporativo		7,70%	
		Ar Condicionado		26,00%	
					90,70%

Tabela 8 - Estratégias bioclimáticas indicadas para o período diurno dos 3 meses mais quentes de 2006 em Florianópolis (1.234 horas)

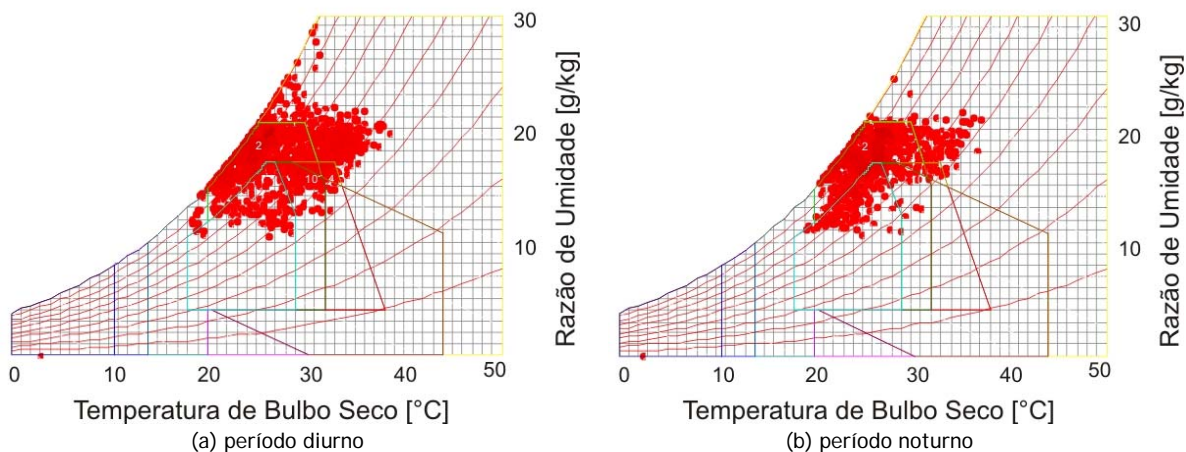


Figura 8 - Carta bioclimática para os 3 meses mais quentes de 2006: períodos diurno (a) e noturno (b)

Janeiro, Março e Dezembro de 2006 – Noturno					
Conforto					19,30%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	0,10%	0,10%	80,40%
	Calor	Ventilação	69,10%	80,30%	
		Alta Inércia para Resfriamento	4,81%		
		Resfriamento Evaporativo	3,34%		
		Ar Condicionado	10,30%		

Tabela 9 - Estratégias bioclimáticas indicadas para o período noturno dos 3 meses mais quentes de 2006 em Florianópolis (957 horas)

Mês	Período	Necessidade de ventilação		Disponibilidade de vento		Ausência de vento	
		Quantidade de horas	(%)	Quantidade de horas	(%)	Quantidade de horas	(%)
Janeiro, Março e Dezembro	Dia	763	53	572	40	191	13
	Noite	681	47	493	34	188	13
Total	-	1.444	100	1.065	74	379	26

Tabela 10 - Necessidade de ventilação e disponibilidade de vento para os períodos diurno e noturno dos 3 meses mais quentes de 2006 em Florianópolis relacionadas às horas totais

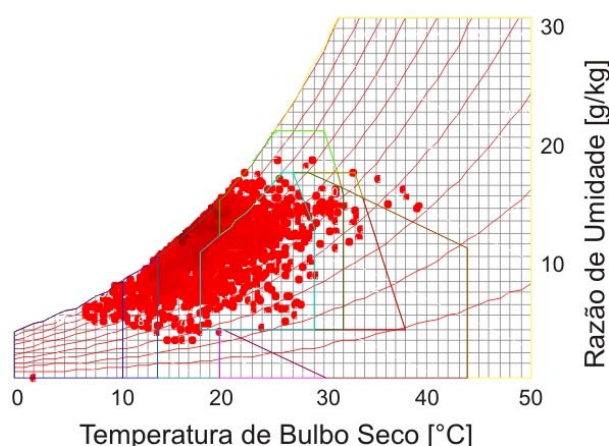


Figura 9 - Carta bioclimática para os 3 meses mais quentes do ano de 2006 em Florianópolis

Maio, Agosto e Setembro de 2006					
Conforto					32,00%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	45,40%	55,90%	68,00%
		Aquecimento Solar Passivo	8,24%		
		Aquecimento Artificial	2,26%		
	Calor	Ventilação	11,50%	12,10%	
		Ar Condicionado	0,32%		

Tabela 11 - Estratégias bioclimáticas indicadas para os 3 meses mais frios em Florianópolis (2.208 horas)

Conforto					38,70%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	47,00%	54,80%	61,30%
		Aquecimento Solar Passivo	7,80%		
	Calor	Ventilação	6,45%	6,45%	
		Alta Inércia para Resfriamento	0,27%		
		Resfriamento Evaporativo	0,27%		

Tabela 12 - Estratégias bioclimáticas indicadas para maio de 2006 em Florianópolis (744 horas)

Conforto					26,90%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	42,30%	56,30%	73,10%
		Aquecimento Solar Passivo	11,00%		
		Aquecimento Artificial	2,96%		
	Calor	Ventilação	16,00%	16,80%	
		Alta Inércia para Resfriamento	3,09%		
		Resfriamento Evaporativo	3,09%		

Tabela 13 - Estratégias bioclimáticas indicadas para agosto de 2006 em Florianópolis (744 horas)

Conforto					30,40%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	46,90%	56,70%	69,60%
		Aquecimento Solar Passivo	5,42%		
		Aquecimento Artificial	4,31%		
	Calor	Ventilação	11,80%	12,90%	
		Ar Condicionado	0,97%		

Tabela 14 - Estratégias bioclimáticas indicadas para setembro de 2006 em Florianópolis (720 horas)

Com o auxílio de planilhas eletrônicas, foram destacados os dados dos 3 meses mais frios de 2006, que apresentaram necessidade de aquecimento solar, e para esses dados foi verificada a disponibilidade de radiação solar. Conforme a Tabela 15, percebe-se que, das 1.184 horas em que o sol amenizaria a sensação de desconforto por frio (tanto pela estratégia de aquecimento solar passivo quanto pela massa térmica associada com aquecimento solar), houve ausência de radiação solar em aproximadamente 64% delas. A quantidade de horas com necessidade de aquecimento solar, presente na Tabela 16, foi calculada a partir da porcentagem de horas da Tabela 10, onde as estratégias bioclimáticas indicadas eram o aquecimento solar passivo e a alta inércia térmica com aquecimento solar.

Em seguida foram realizadas análises separando os dados em períodos diurnos (das 6h às 18h) e noturnos. Os resultados são descritos a seguir.

Com o mesmo procedimento, repetido para os meses mais frios, verificaram-se a necessidade e a

disponibilidade de radiação solar para os períodos diurno e noturno. A Tabela 16 e a Figura 10(a) mostram a distribuição de estratégias para solucionar o desconforto térmico gerado nos meses mais frios de 2006 no período diurno. Em 51,70% das horas o desconforto foi gerado pelo frio e o aquecimento solar (aliado ou não à alta inércia térmica) foi a estratégia bioclimática mais indicada para a solução desse desconforto, sendo necessário em 48,95% das horas diurnas.

Para os dados noturnos dos meses mais frios foi gerada a carta bioclimática da Figura 10(b) e o relatório mostrado na Tabela 17. Verifica-se que o desconforto gerado pelo frio alcançou 60,70% das horas. A estratégia para amenizar o desconforto térmico gerado pelo frio é o aquecimento solar em 59,03% das horas da noite. Isso significa que seria impossível alcançar o conforto através dessa estratégia, mais indicada para o período noturno, pois não há radiação solar à noite.

No período em que o aquecimento solar passivo mostrou-se como a estratégia mais adequada para solucionar desconforto, observa-se que 52% das

horas ocorreram à noite e 48% ocorreram durante o dia, como mostra a Tabela 18. Portanto, das 1.184 horas necessárias de sol, 616 horas jamais poderiam receber radiação solar por se tratar de período noturno. Mesmo nas horas diurnas quando

se desejava o aquecimento solar, nem todas possuíam radiação disponível. Das 568 horas do dia em que o aquecimento solar era indicado, 149 (ou seja, 26% delas) não possuíam sol disponível.

Mês	Necessidade de aquecimento solar		Disponibilidade de radiação solar		Ausência de radiação solar	
	Quantidade de horas	(%)	Quantidade de horas	(%)	Quantidade de horas	(%)
Maio	408	100	134	33	274	67
Agosto	398	100	147	37	250	63
Setembro	378	100	138	36	239	64
Total	1.184	100	419	35	763	64

Tabela 15 - Necessidade e disponibilidade de radiação solar para os 3 meses mais frios de 2006 em Florianópolis

Maio, Agosto e Setembro de 2006 – Diurno					
Conforto					37,60%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar		39,90%	51,70%
		Aquecimento Solar Passivo		9,05%	
		Aquecimento Artificial		2,73%	
	Calor	Ventilação		9,74%	10,80%
		Ar condicionado		0,52%	

Tabela 16 - Estratégias bioclimáticas indicadas para o período diurno dos 3 meses mais frios de 2006 em Florianópolis (1.165 horas)

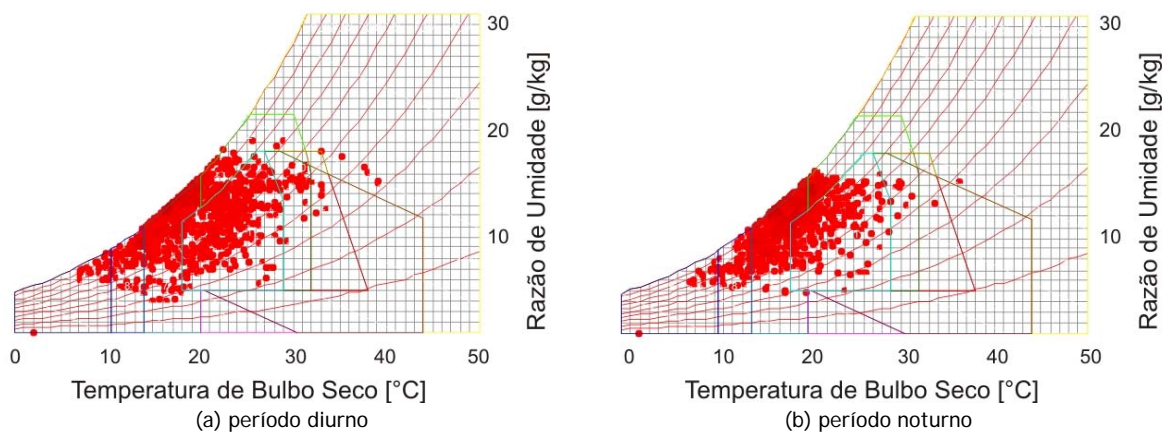


Figura 10 - Carta bioclimática para os 3 meses mais frios de 2006: períodos diurno (a) e noturno (b)

Maio, Agosto e Setembro de 2006 – Noturno							
Conforto							25,90%
Desconforto	Frio	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar		51,40%	60,70%	74,10%	
		Aquecimento Solar Passivo		7,63%			
		Aquecimento Artificial		1,72%			
	Calor	Ventilação		13,20%	13,30%		
		Ar condicionado		0,10%			

Tabela 17 - Estratégias bioclimáticas indicadas para o período noturno dos 3 meses mais frios de 2006 em Florianópolis (1.043 horas)

Mês	Período	Necessidade de aquecimento solar		Disponibilidade de radiação solar		Ausência de radiação solar	
		Quantidade de horas	(%)	Quantidade de horas	(%)	Quantidade de horas	(%)
Maio, Agosto e Setembro	Dia	568	48	419	35	149	13
	Noite	616	52	0	0	616	52
Total	-	1.184	100	419	35	763	65

Tabela 18 - Necessidade e disponibilidade de ventilação para os períodos diurno e noturno dos 3 meses mais frios de 2006 em Florianópolis relacionadas às horas totais

Conclusões

Este trabalho foi realizado com o intuito de verificar a disponibilidade das variáveis vento e radiação solar quando há a necessidade das estratégias de ventilação e aquecimento solar, respectivamente, indicadas pela carta bioclimática de Givoni, na cidade de Florianópolis. A seguir são descritas as conclusões obtidas na realização deste estudo.

Verificou-se uma semelhança entre o comportamento das curvas de médias de temperatura e de umidade relativa do ar do ano de 2006 e do ano climático de referência (TRY), para a cidade de Florianópolis. Percebe-se apenas, como diferença entre elas, uma elevação das temperaturas médias mensais em aproximadamente 2°C.

Foi possível também verificar uma semelhança nesses dois anos quanto à indicação de estratégias para melhoria do conforto térmico. Não houve alterações significativas nos totais de horas de conforto e desconforto entre o ano de 2006 e o ano climático de referência. Pôde-se constatar apenas um acréscimo no valor de desconforto por calor no ano de 2006, como consequência da elevação das temperaturas médias. Isto também resultou no aumento da porcentagem de soluções mecânicas indicadas para amenizar o desconforto.

Com essas similaridades, apesar das pequenas diferenças, foi atestada a aceitabilidade dos dados utilizados neste trabalho. Confirmaram-se como

estratégias adequadas para a cidade de Florianópolis, utilizando os dados de 2006, a ventilação natural para amenizar o desconforto gerado pelo calor, e o aquecimento solar, associado ou não à massa térmica, para o período de desconforto gerado por frio.

Para os dados do ano de 2006, o vento apresentou-se disponível em 74% das horas onde havia necessidade de ventilação nos meses mais quentes (dezembro, janeiro e março). Isso significa que, de um modo geral, a estratégia de ventilação seria aplicável. Ainda assim, como o vento não estava disponível em 26% dessas horas onde houve necessidade de ventilação natural, ela não solucionaria todo o desconforto.

Quanto à radiação solar, ela esteve presente em apenas 35% das horas nos meses mais frios (maio, agosto e setembro) onde houve necessidade de aquecimento solar. Ela mostrou-se em sua maioria ausente, com valores nulos em 65% das horas onde seria adequada. Mais da metade das horas (52% das horas) onde o aquecimento solar era requisitado tratava-se de período noturno, sendo, portanto, impossível a aplicação de tal estratégia, pela inexistência de radiação solar à noite.

Isso mostra que tais estratégias podem ser aplicadas em Florianópolis para suprir a sua necessidade apenas parcialmente. Conclui-se, portanto, que deve-se verificar a disponibilidade de ventilação natural e radiação solar quando indicadas como necessárias em análises bioclimáticas de projetos de edificações, pois

outras estratégias devem ser consideradas para suprir a sua eventual ausência. Apesar deste trabalho ter desconsiderado as intensidades da radiação solar e da velocidade do vento, sabe-se da importância de conhecer tais valores para confirmar a real possibilidade de utilização das estratégias analisadas.

Sendo assim, esta pesquisa contribui para alertar projetistas e pesquisadores sobre a importância de analisar as variáveis que são necessárias para que determinadas estratégias bioclimáticas sejam bem sucedidas. Tais análises devem ser realizadas não apenas verificando a disponibilidade da variável nas horas totais no ano, mas principalmente nas horas que elas são requeridas.

Sugere-se, por fim, que o programa Analysis Bio seja modificado de forma a permitir também a entrada de dados tais como velocidade do vento e intensidade de radiação solar, e indicar a disponibilidade destas variáveis quando apontadas como necessárias para melhorar as condições de conforto térmico dos ambientes.

Referências

ANDRADE, S. F. de. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

BITTENCOURT, L.; CRUZ, J. M.; LÔBO, D. G. F. A influência da relação entre taxa de ocupação x no de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes externos e internos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997.

CORBELLA, O. D.; MARQUES, A. M. O. B. Um estudo da ventilação natural e sua contribuição no uso racional de energia. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 1, p. 4107-4120, 2007.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** 2. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

JANNUZZI, G. M.; SCHIPPER, L. The structure of electricity demand in the Brazilian household sector. **Energy Policy**, v. 19, n. 1, p. 879-891, 1991.

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. **Programa Computacional Analysis BIO**, Versão: 2.1.3. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/analysisBIO.html>>. Acesso em: 15 dez. 2007.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997. 192 p.

LOUREIRO, K. C. G. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus.** 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

NEVES, L. de O.; CARAM, R. Análise de uma vila de pescadores em Ubatuba: indicativos para uma proposta arquitetônica bioclimática. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, E CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003.

TOLEDO, A. Ventilação Natural dos edifícios residenciais: os códigos de edificações brasileiros em discussão. In: NUTAU – SEMINÁRIO INTERNACIONAL, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: NUTAU-USP, 2002.