

# MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE PERFORMANCE DE CONFORTO DE VERÃO PARA CONSTRUÇÕES NÃO CLIMATIZADAS

Arq. Cláudia Barroso-Krause, D.Sc.

PROARQ - Programa de Pós-graduação em Arquitetura - FAU-UFRJ

Prédio da Reitoria, sala 433, Cidade Universitária. CEP 21.941-590 Rio de Janeiro/RJ

Tel.: 021-290.2112 r.2752/2753 Fax.: 021-590.1992 E-mail: krause@acd.ufrj.br

## RESUMO

A avaliação do conforto de verão em clima tropical para construções não-climatizadas continua um problema de difícil solução. Enquanto é possível em qualquer clima avaliar a eficiência de um projeto climatizado via custo energético, quando se trata de construções não-climatizadas, ou eventualmente condicionadas, a dificuldade de avaliar-se a performance de uma variante de projeto vis-a-vis as disponibilidades higrotérmicas de seu entorno persiste.

A partir de discussão sobre os principais parâmetros envolvidos - possibilidades efetivas de climatização do clima, local, conforto mínimo e máximo teórico esperado, período de ocupação - propõe-se um método de geração de escalas regionais, baseado no conceito de graus-hora, considerando-se a influência da umidade relativa.

## ABSTRACT

The assessment: of the summer comfort parameters for non-conditioned housing within a tropical climate environment remains a complex issue. Whilst it is rather simple to compare conditioned spaces on the basis of the energy consumption, several difficulties show of whenever one tries to figure out the performance of a certain, project related to the hygrothermal availability of its surroundings.

The discussion of the main parameters (actual possibilities of using passive cooling techniques, waited minimum/maximum comfort, occupation profile) is proposed to be built upon the generation of regional scales using a. degree-hour concept, which is taken into account besides the influence of the relative humidity. Results may be summarized on an electronic spread sheet.

## CENÁRIO DA PESQUISA

Este estudo insere-se em pesquisa desenvolvida entre 1991 e 1995, no Centre d'Energétique da Ecole des Mines de Paris, sobre a modelagem de objetos arquitetônicos como forma de ajuda na concepção arquitetônica em clima tropical (BARROSO-KRAUSE,1995) e posteriormente no PROARQ (FAU-UFRJ). Baseia-se na tese de uma linguagem para a informação tecnológica adaptada à cada fase do processo de concepção arquitetônica. O resultado daquele estudo resumiu-se em uma planilha iconográfica de elementos arquitetônicos e tecnológicos, reunidos em grupos regionais e climáticos e acompanhados de uma «nota» de desempenho térmico provável, o DICA-T. A planilha foi aplicada para conjuntos habitacionais de baixa renda, estando em fase de validação. O que este artigo busca apresentar é o processo de obtenção da notação utilizada e da escala de avaliação correspondente.

## NATUREZA DOS PROBLEMAS DE CONFORTO EM CLIMA TROPICAL: APRESENTAÇÃO DO CONCEITO DE GRAU-HORA NATURAL

O projeto de Arquitetura, se considerado sob a ótica bioclimática, resume-se ao bom conhecimento e à correta administração das ligações existentes entre o usuário e o meio geo-climático. Na realidade, as construções antigas, que não podiam apelar a outros sistemas além da climatização natural, constituem para alguns (XB89), pelos dispositivos adotados, exemplos preciosos da verdadeira compreensão dos efeitos do clima sobre a sensação do conforto e a ocupação. Mas o que sabemos realmente a respeito deste conforto? Ao mesmo tempo muito e muito pouco: muito, quando consideramos o volume de informações setoriais publicado. Pouco quando examinamos as experiências de sua integração no processo conceptual.

Na ausência de um modelo que globalise e faça interagir todos os "confortos", e tendo em mente as necessidades de nossa pesquisa, restringimo-nos ao conforto higrotérmico, ao analisarmos as principais relações existentes entre o clima e o usuário importantes para a avaliação das disponibilidades climáticas, para a escolha das estratégias e para a criação de uma escala real de desempenho de variantes de projetos bioclimáticos.

Avaliação do potencial bioclimático para obtenção do conforto de verão: o conceito de grau-hora natural.

Se refletirmos sobre o clima de um lugar, onde os fenômenos podem ser descritos a partir dos dados das estações meteorológicas, podemos dizer que estes dados constituem a «identidade higratérmica» deste local, permitindo a reconstituição e a previsão - em termos normais - das efemérides que lá ocorrem. Avançando um pouco mais, poderíamos afirmar que estes dados reunidos proporcionam portanto o potencial «de resfriamento» e a carga «térmica» natural do local. Ou seja, os limites dos recursos climáticos locais, já que, evidentemente, em climatização passiva, não se pode obter mais que o que está disponível naturalmente.

Para quantificar esta «identidade» é proposto aqui um conceito de grau-hora externo, o  $dh_{nat}$  - grau-hora natural - de um local, baseado no conceito usualmente fornecido por estações meteorológicas, que quantificaria tanto o potencial para resfriamento quanto a carga térmica preliminar esperada em determinado local. Os  $dh_{nat}$  - definidos como o valor dos graus-hora da temperatura do ar externo à sombra submetido a um determinado limite - se dividiriam pois em  $dh_{nat}$  de conforto e  $dh_{nat}$  de desconforto por calor ou por frio, segundo sua relação à faixa de conforto admitida.

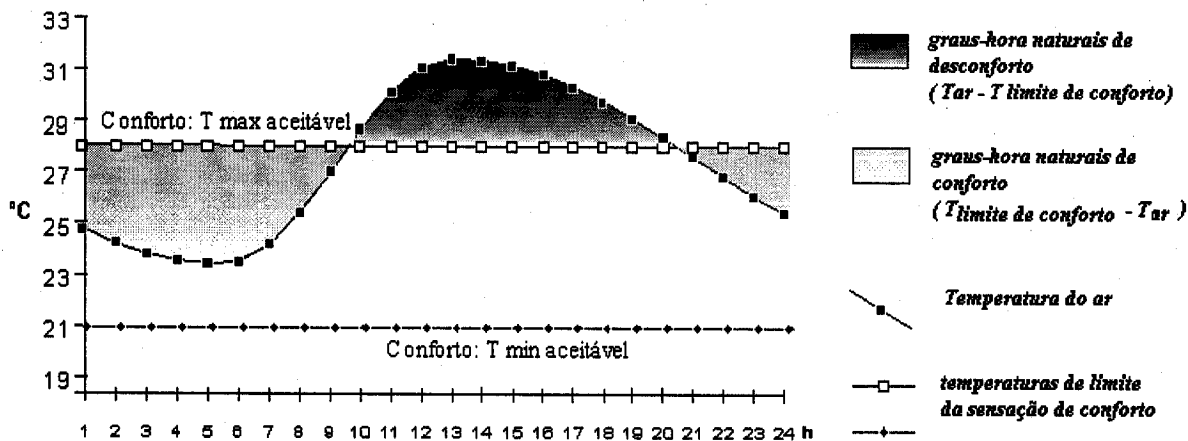


Figura 1. Evolução da temperatura exterior, limites de conforto térmico e os graus-hora.

## SENSIBILIDADE DA NOTAÇÃO EMPREGADA

Podemos verificar a sensibilidade dos  $dh_{nat}$  às variações geográficas, através da comparação de sua aplicação em três locais, com configurações geográficas distintas em um raio de 100 km, no Estado do Rio de Janeiro, Brasil:

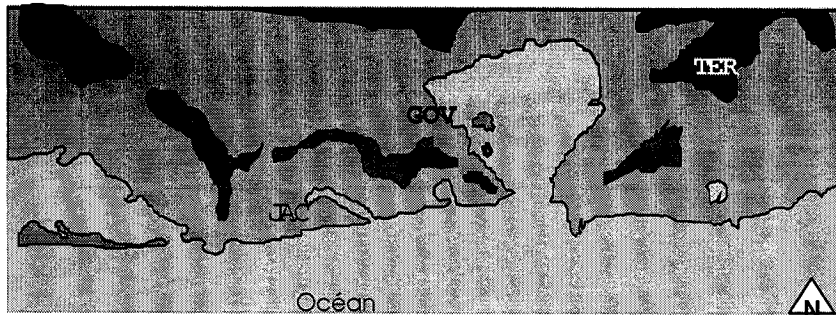


Figura 2. Localização das estações de Governador, Jacarepaguá e Teresópolis no Rio de Janeiro

A estação de Governador se situa em uma planície ao nível do mar, no interior da Baía de Guanabara. Subúrbio bastante urbanizado, é afetada pela ilha de calor de Bonsucesso e possui valores médios anuais de temperatura e umidade relativa em torno de 24,9°C e 74%. Jacarepaguá é uma planície litorânea, banhada pelo Oceano Atlântico, cortada por numerosos rios e lagos e muito menos urbanizada. A temperatura média anual situa-se em torno de 24,2°C e a umidade relativa média anual é de 77,9%. Finalmente Teresópolis é uma pequena cidade de veraneio, em um vale a 870m de altitude, em meio à zona de mata atlântica, com clima considerado já como tropical de altitude (IBGE,1989), com médias anuais de 17,7°C e 84%.

Os valores retidos para o estudo de sensibilidade são os do mês de fevereiro (valores médios sobre cinco anos), estação de verão para o Hemisfério Sul. Observe-se que, para um mesmo clima geral, e para as mesmas temperaturas de sensação de conforto (19°C e 27°C) obtemos  $dh_{nat}$  bastante diferentes:

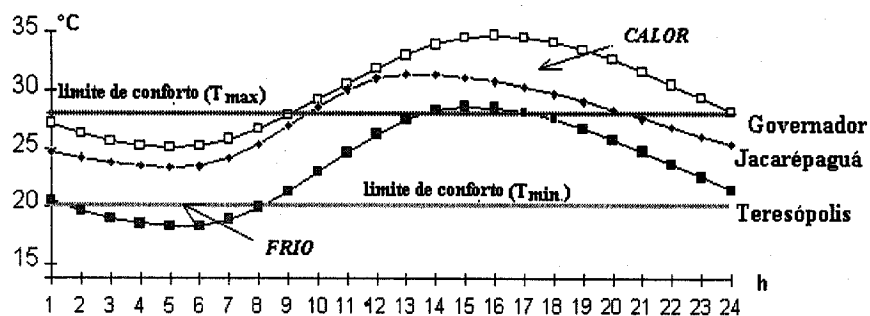
**Tabela 1. Dados geo-climáticos típicos de verão (Fevereiro) das 3 estações (Barroso-Krause, 1995)**

| Estação     | lat S | long O | alt (m) | vent        | vento       | T        | T        | H       | H       | dh <sub>nat</sub> desconforto diário |       |      |
|-------------|-------|--------|---------|-------------|-------------|----------|----------|---------|---------|--------------------------------------|-------|------|
|             |       |        |         | o dia (m/s) | noite (m/s) | min (°C) | max (°C) | min (%) | max (%) | Σ                                    | calor | frio |
| Governador  | 22°49 | 43°15  | 10      | 5,1         | 2,6         | 25,1     | 34,7     | 53      | 92      | 77                                   | 77    | 0    |
| Jacarépaguá | 22°59 | 43°22  | 10      | 3,5         | 3,1         | 23,4     | 31,4     | 63      | 91      | 35                                   | 35    | 0    |
| Teresópolis | 22°27 | 42°58  | 870     | 3,0         | 0,1         | 18,2     | 26,6     | 56      | 87      | 9                                    | 7     | 2    |

**Tabela 2. Resultado horário do cálculo dos graus-hora naturais para as 3 estações em dia típico de verão.**

| Cálculo des dh naturais para as 3 estações no Rio (Brasil)(ref.: T <sub>conf</sub> max = 27°C; T <sub>conf</sub> min = 19°C) |                 |    |             |                |    |              |                 |    |              |
|--|-----------------|----|-------------|----------------|----|--------------|-----------------|----|--------------|
| h  | Rio Teresópolis |    |             | Rio Governador |    |              | Rio Jacarépaguá |    |              |
|  | T air           | HR | dh nat      | T air          | HR | dh nat       | T air           | HR | dhnat        |
| 1  | 20,48           | 81 | conforto    | 27,17          | 62 | 0,17         | 24,78           | 85 | conforto     |
| 2  | 19,62           | 84 | conforto    | 26,31          | 66 | conforto     | 24,26           | 87 | conforto     |
| 3  | 18,94           | 85 | -0,06       | 25,65          | 68 | conforto     | 23,84           | 89 | conforto     |
| 4  | 18,47           | 87 | -0,53       | 25,24          | 70 | conforto     | 23,56           | 90 | conforto     |
| 5  | 18,23           | 87 | -0,77       | 25,1           | 71 | conforto     | 23,4            | 91 | conforto     |
| 6  | 18,27           | 86 | -0,73       | 25,29          | 75 | conforto     | 23,49           | 91 | conforto     |
| 7  | 18,83           | 84 | -0,17       | 25,86          | 82 | conforto     | 24,16           | 90 | conforto     |
| 8  | 19,88           | 81 | conforto    | 26,76          | 80 | conforto     | 25,4            | 86 | conforto     |
| 9  | 21,31           | 76 | conforto    | 27,91          | 75 | 0,91         | 26,98           | 80 | conforto     |
| 10   | 22,97           | 72 | conforto    | 29,22          | 68 | 2,22         | 28,64           | 74 | 1,64         |
| 11   | 24,68           | 67 | conforto    | 30,58          | 62 | 3,58         | 30,08           | 68 | 3,08         |
| 12   | 26,24           | 62 | conforto    | 31,89          | 55 | 4,89         | 31,05           | 64 | 4,05         |
| 13   | 27,5            | 59 | 0,50        | 33,04          | 50 | 6,04         | 31,4            | 63 | 4,4          |
| 14   | 28,32           | 57 | 1,32        | 33,94          | 48 | 6,94         | 31,33           | 64 | 4,33         |
| 15   | 28,6            | 56 | 1,60        | 34,51          | 45 | 7,51         | 31,11           | 68 | 4,11         |
| 16   | 28,48           | 56 | 1,48        | 34,7           | 46 | 7,7          | 30,77           | 65 | 3,77         |
| 17   | 28,12           | 58 | 1,12        | 34,56          | 48 | 7,56         | 30,29           | 67 | 3,29         |
| 18   | 27,54           | 59 | 0,54        | 34,15          | 50 | 7,15         | 29,72           | 69 | 2,72         |
| 19   | 26,77           | 62 | conforto    | 33,49          | 51 | 6,49         | 29,06           | 71 | 2,06         |
| 20   | 25,84           | 65 | conforto    | 32,63          | 53 | 5,63         | 28,34           | 73 | 1,34         |
| 21   | 24,79           | 68 | conforto    | 31,6           | 54 | 4,6          | 27,59           | 76 | 0,59         |
| 22   | 23,68           | 72 | conforto    | 30,48          | 56 | 3,48         | 26,83           | 78 | conforto     |
| 23   | 22,56           | 75 | conforto    | 29,32          | 58 | 2,32         | 26,09           | 81 | conforto     |
| 24   | 21,48           | 78 | conforto    | 28,20          | 60 | 1,17         | 25,40           | 83 | conforto     |
| total diário frio (-)  |                 |    | -2,26       |                |    | 0            |                 |    | 0            |
| total diário quente  |                 |    | 6,56        |                |    | 77,19        |                 |    | 35,38        |
| total diário de desconforto  |                 |    | <b>8,82</b> |                |    | <b>77,19</b> |                 |    | <b>35,38</b> |

Verifica-se, mesmo em situação de verão, a ocorrência de dh<sub>nat</sub> de desconforto ligada não somente ao sobreaquecimento esperado pela estação, mas ao resfriamento. Se os valores de conforto e desconforto são de mesma ordem, é possível esperar por uma estratégia de defasagem para atingir um nível médio de conforto. Já a situação de Teresópolis, tal como descrita aqui, ilustraria o caso de um local onde o pleno atendimento às necessidades de verão poderia conduzir à situações de desconforto na estação fria.



**Figura 3. Evolução das temperaturas de ar em dia típico de verão, para as 3 estações mencionadas.**

Ou seja, é possível inferir estratégias globais apenas pela análise dos  $dh_{nat}$  calculados. Além disto uma análise hora a hora dos valores (Tabela 2) permite um refinamento na escolha das grandes estratégias bioclimáticas, sobretudo se trabalharmos as diferenças encontradas com as margens permitidas sob certas condições (como as descritas nas normas ISO 7243 e 7730, em função dos valores de vestimentas (clo) e atividades (met) esperados), quando poderemos optar mesmo por negligenciar algumas horas internas de desconforto, o que reduziria as escolhas de concepção.

## DEFINIÇÃO DE UMA NOTACÃO DE PROJETO: O GRAU HORA DE DESCONFORTO INTERNO

Uma vez definida uma forma de avaliação do «potencial bioclimático» de dado local, propôs-se, para comparação do desempenhos de variantes simuladas de um mesmo projeto, um método de avaliação, baseado na noção de graus-hora naturais já exposta. Trata-se de um índice chamado grau-hora de desconforto interno. Este índice, na realidade é uma sofisticação da noção anterior de grau-hora natural, incorporando o conhecimento das relações entre temperatura, umidade e atividade humana - metabolismo e período de ocupação - e é definido pela seguinte expressão:

### Equação 1. Índice utilizado para comparação de desempenho das variantes simuladas de projeto

$$dh_{inconf_{oc}} = \sum \int_{t_{1oc}}^{t_{2oc}} [T_{res_{oc}} - T_{cc_{oc}}]^+ dt$$

ocupação,  
conforto considerado,

onde:  $T_{res_{oc}}$  é a temperatura resultante para um período de  
 $T_{cc_{oc}}$  é a temperatura de ar do limite de  
conforto considerado  
corrigida segundo a umidade (IPT, 1981) e os eventuais  
efeitos  
da velocidade dos ventos, segundo nossa interpretação  
de estudo  
feito pelo CSTB (CSTB, 1992)

O desconforto interno (diferença entre  $T_{res_{oc}}$  e  $T_{cc_{oc}}$ ) é contabilizado durante o período de ocupação ( $T_{1oc}$  e  $T_{2oc}$ ), somente se positivo. Este cálculo é feito através de uma simples planilha eletrônica.

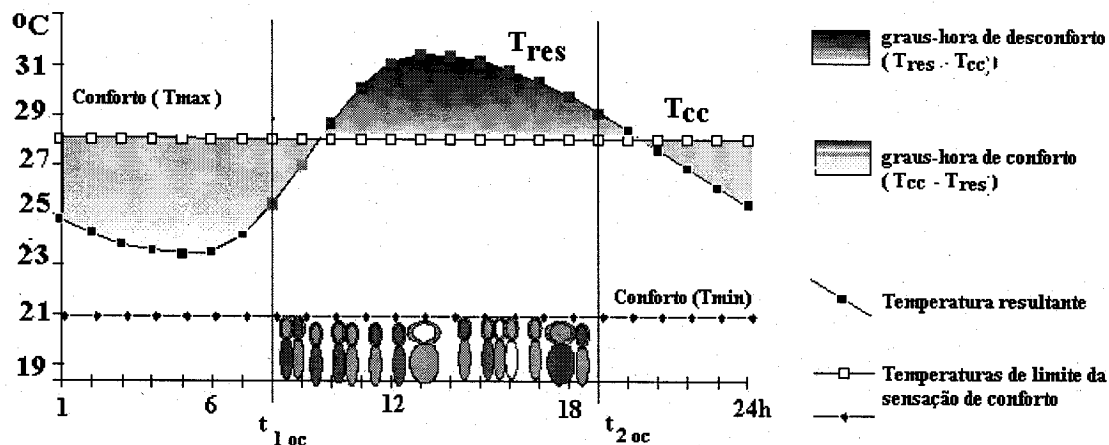


Figura 4. Os graus-hora de desconforto

A temperatura de limite de conforto é também submetida às correções de umidade e velocidade do ar. Esta correção, leva às seguintes modificações para os valores limites:



**Tabela 3. Valores obtidos para correção da temperatura de referência da sensação de conforto de verão, em função da velocidade do ar**

| T conf-ref     | Temperatura-limite de conforto ( $T_{\text{seuil conf}}$ ) corrigida pelo velocidade de ar (°C) |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $T_o$<br>0 m/s | 0<br>m/s  | 0.06<br>m/s | 0.13<br>m/s | 0.50<br>m/s | 0.80<br>m/s | 1.00<br>m/s | 1.50<br>m/s | 2.00<br>m/s | 3.00<br>m/s |
| 26             | 26  | 26,4        | 26,8        | 28,5        | 29,5        | 30,0        | 30,8        | 31,3        | 31,8        |
| 27             | 27  | 27,4        | 27,8        | 29,5        | 30,5        | 31,0        | 31,8        | 32,3        | 32,8        |
| 28             | 28  | 28,4        | 28,8        | 30,5        | 31,5        | 32,0        | 32,8        | 33,3        | 33,8        |
| 29             | 29  | 29,4        | 29,8        | 31,5        | 32,5        | 33,0        | 33,8        | 34,3        | 34,8        |

### A ÚLTIMA REFERÊNCIA PARA A ESCALA PARA AVALIAÇÃO DAS VARIANTES SIMULADAS- A TEMPERATURA RESULTANTE DE REFERÊNCIA DO PROJETO IDEAL

Para ter uma avaliação das variantes e saber se as modificações introduzidas são significativas, o arquiteto precisa de uma escala onde inserir seus resultados. Já podemos lhe oferecer os  $dh_{\text{nat}}$  resultantes das condições climáticas de seu terreno; também, na mesma escala, estão disponíveis os  $dh$  internos resultante de suas escolhas de projeto. Faltaria apenas uma referência ótima, para que constitua uma escala.

Assim foi criada uma temperatura resultante interna de referência ideal do projeto ideal, igual à temperatura do ar externo, subtraída toda fonte de sobreaquecimento - a radiação solar - e reduzida ainda através da introdução de perdas pelo efeito dos ventos e da emissão para a calota celeste. Esta temperatura obedece à seguinte formula;

Equação 2. A temperatura de referência ideal.

$$T_{id} = (T_{ext} * 0,96) - 4$$

onde  $(T_{ext} * 0,96)$  equivale à temperatura equivalente do céu, média para alguns meses, em regiões tropicais úmidas (Molle, 1984), em °C.

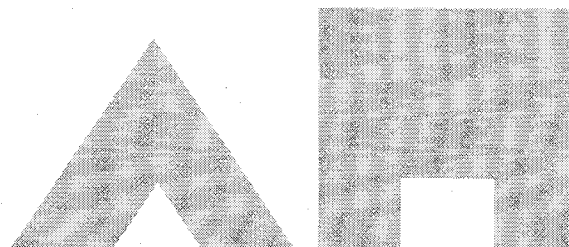
Para introduzir o cálculo do efeito da ventilação sobre a temperatura, houve uma dificuldade, pela variação da velocidade do ar ao longo do dia (e do ano). Para resolver, apelamos para os resultados das experiências do CSTB sobre potencial de ventilação natural nas Antilhas (CSTB, 1992). O valor de 4°C representa assim o ganho médio em temperatura efetiva, para uma zona de conforto em zona tropical submetida a uma velocidade de ar de 1m/s.

A temperatura de referência ideal é uma temperatura fictícia, naturalmente, mas permite manter uma coerência com as demais temperaturas envolvidas, levar em conta os eventuais  $dh$  de desconforto iniciais, criados pelo local e pelo período de ocupação e oferecer ao arquiteto um último ponto de referência para orientação da performance de seu projeto. Ainda mais, por representar uma referência na prática inacessível, mas coerente ao projeto local, ela - e as diferenças obtidas com os projetos reais- não se alterará face a novos processos e materiais performantes. Assim os eventuais  $dh$  de desconforto interno da temperatura ideal local se escrevem:

### Equação 3. Cálculo dos $dh$ de desconforto interno para uma construção ideal.

$$dh_{inconf_{id}} = \sum \int_{t_{1oc}}^{t_{2oc}} [T_{id_{oc}} - T_{cc_{oc}}]^+ dt$$

O conjunto destas notas - aquela disponível no terreno, a(s) resultante(s) da concepção do projeto e a representativa do que se poderá fazer de melhor como intervenção - gera uma escala suficiente de ajuda à avaliação de projetos bioclimáticos.



## CONCLUSÃO: O UTILIDADE DE UM GRAU-HORA DE DESCONFORTO - O FATOR CUSTO

Criamos um índice de avaliação que permite a comparação entre variantes simuladas de um projeto. Quanto mais a nota global - expressa em dh - for elevada tanto mais - do ponto de vista higrotérmico - o projeto real se tornará desconfortável para o usuário. Definimos este dh de desconforto interno como a integral de sobreaquecimento do projeto no período de ocupação, o que possui um sentido físico.

Entretanto, para fundamentar integralmente uma decisão tomada nestas bases, seria necessário uma última ação: poder avaliar o custo econômico de uma solução em relação a outras. Isto permitiria ao arquiteto compatibilizar esta informação, de «conforto higrotérmico» às demais informações de custo no seu orçamento de projeto. ou seja, o problema que se coloca diz respeito à obtenção de um cálculo capaz de «monetizar» os graus-hora.

E o problema não é pouco importante: podemos admitir que se uma situação de desconforto térmico se apresenta, o usuário tentará, se seu orçamento o permitir, soluções não necessariamente ligadas à economia de energia. Assim, dentro de um quadro de preocupações energéticas importantes, em um clima propício à não opção pela climatização artificial em boa parte do ano, das atividades e do território nacional, trabalhar sobre o envelope construtivo é trabalhar sobre a base do problema e reduzir a probabilidade e as consequências de escolhas como o emprego de aparelhos de janela em peças não isoladas termicamente, por exemplo.

Ora, raciocinando sobre as opções do usuário - o desconforto ou o condicionamento de ar - o que queremos é evitar, através da escolha de processos e materiais construtivos, a segunda opção, minorando ou resolvendo a primeira. Se, pensarmos que um aparelho de ar condicionado corretamente projetado e instalado obtem uma redução, em um ambiente típico residencial, de até 5°C na temperatura resultante (ADEME, 1991), conseguir, sobre a mesma volumetria e ocupação, um grau de diferença (1°C) por meio de um processo passivo (por exemplo 24 dh/dia), significará obter 20% do consumo deste aparelho, o que não é pouco.

Neste contexto, três possibilidades se apresentam para avaliar economicamente os dh de desconforto:

- 1) pela expressão: custo de isolamento do ambiente+ custo do equipamento de condicionamento+ consumo (kWh) realizado necessário para a «extração» dos graus acima do limite de conforto estabelecido, ao longo de um dia típico;
- 2) pelo método anterior, mas utilizando um valor inferior de limite de conforto, já que uma vez o sistema em ação o usuário poderá regulá-lo a seu bel prazer ( e a prática nos mostra valores não de 27°C, mas de 18 ou 20°C)
- 3) usar uma versão simplificada, levando-se em conta apenas o valor de consumo no cálculo do custo.

A utilização de um destes métodos facilita ainda a decisão de concepção inicial pela climatização natural ou artificial - em função do clima e da atividade prevista, ao permitir a comparação entre opções condicionadas ou não.

Parece-nos que o uso do método de avaliação descrito otimiza o processo de concepção arquitetônica, no aspecto do conforto higrotérmico esperado de seus ocupantes, respeitando a liberdade de escolha do arquiteto- premissa da pesquisa global realizada (BARROSO-KRAUSE,1995), otimizando o custo da edificação e da manutenção das condições de conforto, por parte do usuário e do país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEME - Fiche d'Information Habitat en Climat Tropical, Maison de l'Energie, ADEME, Paris, 1991
- BARROSO-KRAUSE, C.- La Climatisation Naturelle: Modelisation des Objets Architecturaux, Aide à la Conception en Climat Tropical, tese de doutorado, Centre d'Energétique, E.N.S.Mines de Paris, França, 1995
- CSTB - Guide sur la Climatisation Naturelle de l'Habitat en Climat Tropical Humide, tomo 1, CSTB, Paris,1992
- IPT - Avaliação de Desempenho de Habitações térreas Unifamiliares - conforto higrotérmico, relatório nº 6.277, vol.4, documento preliminar, S.Paulo, Brasil, 1981
- LAVIGNE, P.; FERNANDEZ,P.; BREJON, P. - Architecture Climatique: une Contribution au Dveloppement Durable, tome 1, Ed. Le Moniteur, Paris, 1992
- MOLLE, N. - Étude Théorique et Expérimentale du Comportement Thermique de L'habitat en Milieu Tropical Humide, tese de doutorado, Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Paris, França, 1984
- BERGER, X. e all - Transferts parieto-dynamiques en climat tropical chaud et humide, 4eme Journées Internationales de Thermique, JITH 89, Bouzareah, Alger, Argélia, 1989
- IBGE - Anuário Estatístico (e suplemento), Ed. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil, 1989