

## **ANALISE E PROPOSTAS DE DESENHO PASSIVO PARA EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS NA ZONA CENTRAL DO CHILE**

**Ernst Müller**

Laboratório de Construção Experimental, Departamento de Arquitetura,  
[Forschungslabor für Experimentelles Bauen FEB, FB 6 Architektur]  
Universidade de Kassel [Universität Kassel]

Menzelstraße 13, D-34109 Kassel, Alemanha; telefone: (49) 1624466111; fax: (49-561) 8045428  
e-mail: Ernst.Mueller@epost.de (ernstm@hrz.uni-kassel.de)

### **RESUMO**

O desenho passivo é uma estratégia prometedora para melhorar as condições de conforto em edificações habitacionais da zona central do Chile. A existência tanto de uma época fria como de uma época calorosa exigem uma otimização cuidadosa de todos os aspectos construtivos e da sua interação com as condições climáticas e o tipo de uso. Por isso, calculou-se e comparou-se o comportamento térmico de um ambiente de uma casa e de casas completas com um programa computacional de simulação térmica de forma dinâmica a nível horário durante um ano típico completo. Os dados climáticos necessários tinham sido preparados com uma metodologia própria. Como indicadores principais do conforto térmico calculou-se os graus-hora diários de calor e frio. Foram realizados estudos detalhados da influência dos principais aspectos construtivos e das estratégias de climatização passiva.

A elaboração de recomendações concretas e várias propostas de desenhos passivos permitiu comprovar que é possível oferecer condições boas de conforto térmico na região com desenhos passivos e empregando materiais locais. Com uma metodologia de pesquisa exigente, que também é transferível para outras regiões, foi possível encontrar e publicar, na forma de um manual, soluções simples e econômicas que aportam a um desenvolvimento habitacional sustentável na América Latina.

### **ABSTRACT**

Passive design is a promising strategy to improve thermal comfort conditions in dwellings of the central zone of Chile. The existence of both a cold and a hot period require a careful optimisation of all constructive aspects and their interaction with climatic conditions and the use of a house. Therefore, the thermal behaviour of a room within a house and of complete houses was calculated and compared with a dynamical computational simulation program for a complete typical year. The necessary climate data had been prepared with an own method. The daily degree-hours of heat and cold were calculated as the main comfort indicators. Detailed studies of the influence of the main constructive aspects and of passive design strategies were realised.

The elaboration of specific design recommendations and different passive design proposals permitted to prove that it is possible to offer good thermal comfort conditions in that region with passive design using local building materials. With a high-level method of investigation, that can be transferred to other regions as well, it was possible to find and publish as a manual simple and economic solutions, that contribute to a sustainable development in the housing sector of Latin America.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Na zona central do Chile, na região mais povoada, o clima apresenta um verão quente combinado com um inverno frio. Os problemas de sobreaquecimento no verão provêm das temperaturas máximas e da radiação solar muito alta por causa do clima seco, ainda que a temperatura média pareça confortável (ver Figura 6). Em contrapartida, as grandes variações diárias de temperatura no verão e os invernos ensolarados oferecem boas condições para uma arquitetura passiva, que ainda não são bem conhecidas nem aproveitadas. Essa pesquisa é parte de um projeto internacional que pretendeu elaborar e publicar numa forma didática recomendações de desenho para edificações habitacionais aproveitando ao máximo materiais locais como a terra, os potenciais do clima local e respeitando a necessidade de construção sismoresistente. Aqui serão apresentados resultados para o aproveitamento do potencial do desenho passivo com o objetivo de melhorar a qualidade térmica das edificações e de elaborar metodologias úteis também para outras regiões da América Latina.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Indicadores de Conforto Térmico

Para a avaliação do comportamento térmico de uma construção necessita-se de critérios das condições do conforto térmico das pessoas: Os graus-hora diários de calor ( $> T_{base} = 26^{\circ}\text{C}$ ) e frio ( $< T_{base} = 19^{\circ}\text{C}$ ) foram definidos e calculados em (Kh/dia) baseados nas temperaturas operativas e numa forma análoga aos graus-dia usados em cálculos tradicionais de aquecimento como meio por dia para qualquer período de N horas, para fazer comparáveis de períodos de duração diferente (meses, verão etc.):

$$\text{graus-hora por dia} = \left\{ \sum_{i=1}^N (T_i - T_{base}) \times 1h \right\} \times 24 / N \quad [\text{Eq. 01}]$$

Para a avaliação da grande quantidade de informação gerada para os 8760 horas do ano foram calculados diferentes indicadores com um programa próprio para todos os meses, o período quente (meses 12~2) e o período frio (meses 5~9). Estes indicadores permitem uma síntese do comportamento térmico e assim uma rápida comparação de diferentes alternativas de desenho.

### 2.2 Desenho Passivo

Foram empregados tanto métodos tradicionais de desenho passivo (gráficos climáticos, diagramas solares, diagramas bioclimáticos de Givoni, diagramas de Mahoney) como métodos de cálculo simples (posição e radiação solar; normas térmicas chilenas, alemãs e européias). Estes métodos são de uma aplicação relativamente fácil e rápida, pois exigem pouca informação sobre o clima e o projeto e por isso são úteis para recomendações gerais do desenho, casos padrões e na fase inicial do desenho. Para obter informações mais detalhadas sobre o comportamento térmico é preciso utilizar ferramentas muito mais potentes e exigentes: programas computacionais de simulação térmica.

### 2.3 Simulação Térmica

O comportamento térmico de diferentes alternativas de desenho na zona de Santiago de Chile foi calculado mediante a simulação do comportamento térmico para um ano típico com o programa DEROB-LTH. Este programa utiliza de forma detalhada os dados climáticos a nível horário, o perfil de uso, o projeto arquitetônico com a sua geometria e as características dos materiais de todos os elementos construtivos para calcular numa forma dinâmica o comportamento térmico com valores horários de temperaturas de ar, operativas e superficiais, assim como os fluxos de energia radiativa e térmica. Em nenhum caso considerou-se um sistema de aquecimento ou de ar condicionado de acordo com a finalidade do desenho passivo nesta pesquisa.

Os dados climáticos requeridos, tipo TRY (“test reference year”) não estavam disponíveis para o Chile, nem em estudos iniciais do mesmo autor (MÜLLER, 1997; 1998; 1998b), assim que foram preparados com uma metodologia própria a partir de dados horários medidos em Santiago. A metodologia foi publicada em (MÜLLER, 2001).

### 3. ANÁLISE E RECOMENDAÇÕES POR ASPECTO CONSTRUTIVO

#### 3.1 Metodologia

Foi realizado um número grande de simulações térmicas (>500) com o modelo térmico de um ambiente de uma casa de um piso, típica para a região, para o desenvolvimento de um método de cálculo simples (MÜLLER, 2001c). Essas simulações foram aproveitadas para analisar e demonstrar por separado a influência de diferentes aspectos construtivos nas condições de conforto. Assim cada ponto nas figuras deste capítulo representa o meio de vários desenhos que compartilham a construção básica (tabique, taipa, ...) e o aspecto do desenho analisado, variando outros aspectos construtivos como a orientação ou as estratégias de climatização passiva. Por isso, as variações mostradas em cada figura ou grupo de figuras são mais significativas e universais que estudos paramétricos comuns onde são comparados somente desenhos únicos. Informação adicional sobre as construções consta no capítulo 4.1 com os mesmos elementos de construção.

#### 3.2 Resultados

O comportamento térmico é caracterizado pelos graus-hora diários de calor no verão (valores positivos) e os graus-hora diários de frio no inverno (valores negativos). Em ambas estações do ano os desenhos melhores tem valores mais perto do zero. O importante é a variação e a diferença entre os desenhos básicos, enquanto que para um valor absoluto seria preciso realizar o cálculo do caso específico. Porém as figuras representam uma forma gráfica e por isso mais didática para mostrar as tendências principais a arquitetos e profissionais menos acostumados aos cálculos abstratos.

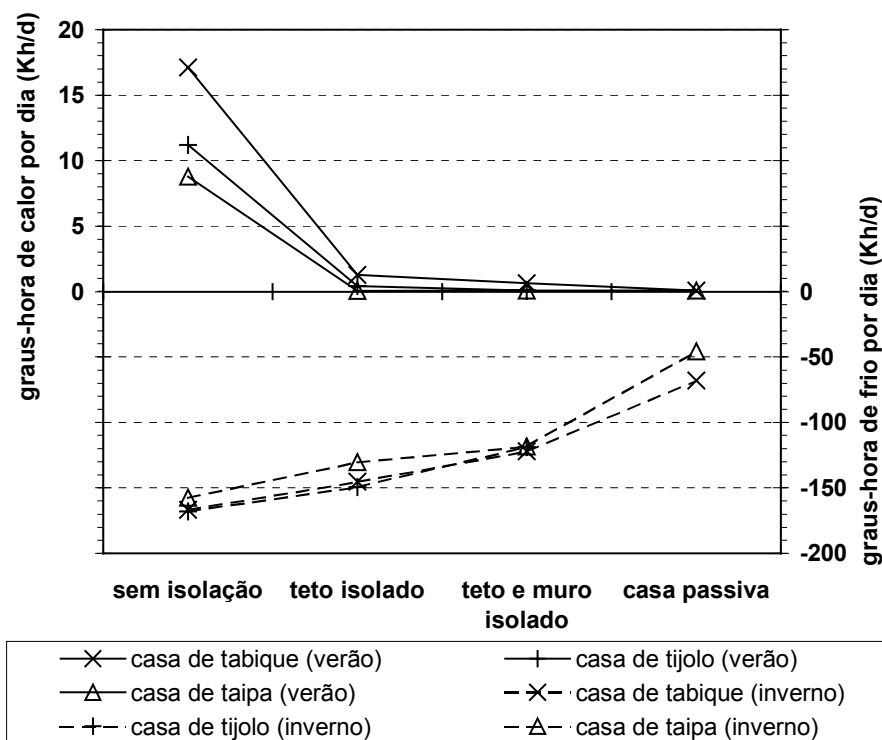
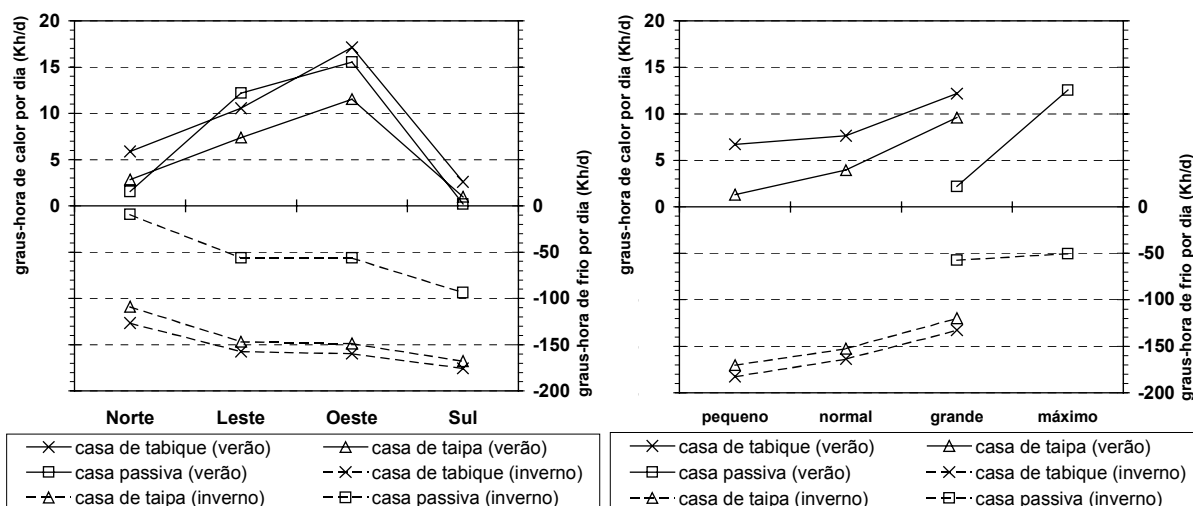
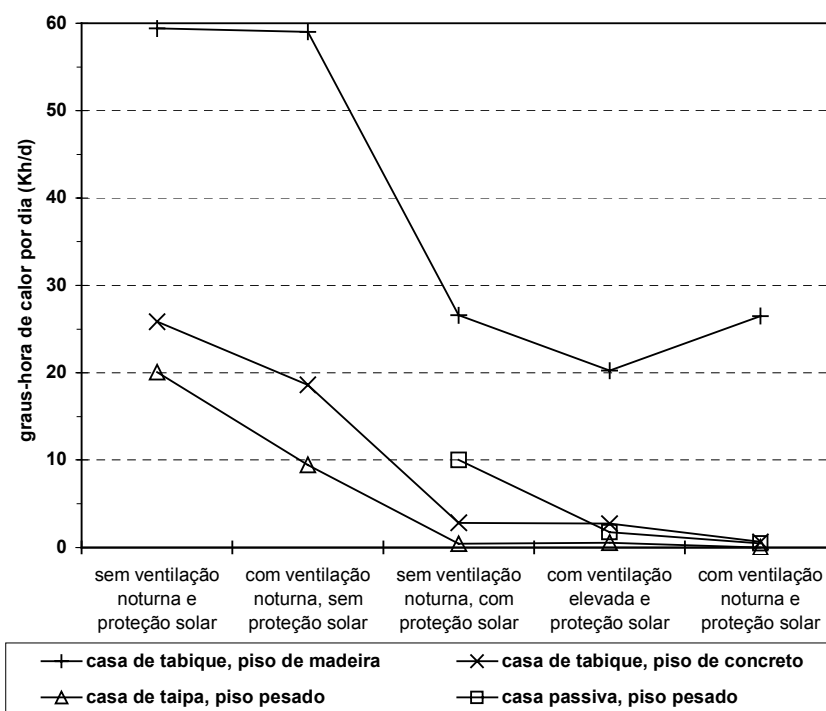


Figura 1: Nível de isolamento térmica

A Figura 1 mostra o melhoramento das condições de conforto térmico nos dois períodos principais em paralelo com o melhoramento do nível da isolamento térmica. Chama atenção a importância da isolamento térmica no verão para reduzir os ganhos excessivos de calor pelo aquecimento do teto exposto ao sol. A Figura 2 mostra que só a orientação norte pode oferecer bom conforto em ambas épocas do ano em combinação com um desenho passivo bom. Enquanto janelas maiores (bem orientadas) melhoram as condições de conforto, na época fria exigem medidas compensadoras suficientes no verão. Na Figura 3 se pode observar que a proteção solar é indispensável no verão e como a ventilação noturna perde eficiência numa casa de tabique sem capacidade térmica suficiente.



**Figura 2: Orientação e tamanho das janelas**



**Figura 3: Estratégias de climatização passiva no verão**

As figuras aqui só são exemplos de um número bem maior de comparações, que no seu conjunto permitiram recomendações bem fundamentadas e claras para as estratégias de desenho passivo mais eficientes em (MÜLLER, 2002). Uma estratégia escolhida para uma época do ano normalmente exige medidas compensadoras para a outra época. Essa interdependência, as prioridades e o aspecto climático essencial para o funcionamento das estratégias principais são resumidos no seguinte:

- inverno - redução das perdas de calor: ganhos solares e internos
  - inverno: isolamento térmico e janelas duplas (para casa passiva), janelas e portas bem seladas;
  - compensação no verão: aberturas para ventilação noturna ou aumento da ventilação geral.
- inverno - ganhos solares diretos ou indiretos: boa disponibilidade de radiação solar na época fria
  - inverno: janelas grandes ao norte sem sombra, capacidade térmica;
  - compensação no verão: proteção solar fixa e móvel eficiente.
- verão - ventilação noturna: temperaturas noturnas frescas na época quente;
  - verão: possibilidade de ventilação cruzada ou aumentada pela noite, grande capacidade térmica;
  - compensação no inverno: boa vedação das aberturas de ventilação.

- verão - ventilação aumentada: temperaturas diurnas agradáveis ou pelo menos aceitáveis
  - verão: possibilidade de ventilação cruzada ou aumentada, não depende da capacidade térmica;
  - compensação no inverno: boa vedação das aberturas de ventilação.

## 4. COMPARAÇÃO DE CASAS CONVENCIONAIS COM DESENHOS PASSIVOS

### 4.1 Metodologia

A comparação foi realizada mediante a simulação do comportamento térmico do modelo geométrico e térmico de uma casa de dimensões típicas na região de Santiago de Chile. A casa simulada tem uma área de 62,72m<sup>2</sup> e a distribuição dos seus espaços interiores corresponde de forma aproximada a uma situação típica. O desenho do modelo básico parece-se com a casa de ganhos solares diretos no desenho direita da Figura 4 com exceção das janelas mais pequenas na fachada frontal orientada para o norte. As figuras foram geradas com o programa de simulação DEROB-LTH sem mostrar a cobertura e o teto. A vista é desde a posição solar na data e na hora indicada. Foi comparado o comportamento térmico de desenhos convencionais e de algumas propostas de desenho passivo.

Os desenhos alternativos simulados compartilham as seguintes características principais na sua orientação para o norte (com exceção das descrições detalhadas a seguir):

- O piso é de concreto sobre 80mm de saibro e 1m de terra (como modelo para a simulação).
- A cobertura é de zinco e o teto é composto com uma placa de gesso de 12mm, 80mm até 200mm de isolamento com poliestireno expandido ou sem isolamento; 80mm corresponde à nova regulamentação térmica Chilena (MINVU, 2000).
- A cobertura da fachada norte está calculada de tal forma, que o quebra-sol resultante ofereça sombra às janelas da fachada norte no verão e pleno acesso solar na época mais fria do inverno.
- As janelas possuem cortinas de tecido fechadas como proteção solar móvel entre Novembro e Março.
- O perfil de uso considera ganhos variáveis de calor por pessoas e equipamentos de 15,18kWh/dia.
- A taxa de infiltrações de ar corresponde à qualidade da isolamento térmica (0,5/h - 3/h); ventilação noturna: 10/h de 20 horas até 6 horas de Dezembro até Fevereiro.
- Estratégias de climatização passiva consideradas para o verão: orientação norte, proteção solar fixa e móvel, ventilação noturna.

Foram avaliadas as seguintes alternativas, considerando as combinações mais interessantes e lógicas (ver Figura 5). Alternativas de construção básica:

- construção convencional: de tijolo ou tabique oco de madeira, sem isolamento térmica;
- construção ligeira de tabique, sem ou com 150mm de isolamento; com muros internos pesados de adobe de pé.
- taipa: 400mm com 2x 15mm de reboco de barro; ligeira (densidade  $\rho=1200\text{kg/m}^3$ ,  $\lambda=0,47\text{W/mK}$ , opção 100mm de isolamento) ou normal ( $\rho=2000\text{kg/m}^3$ ,  $\lambda=0,93\text{W/mK}$ , opção 200mm de isolamento); muros internos pesados de adobe de pé (total 130mm).

Estratégias de climatização passiva consideradas como alternativas para o inverno:

- ganhos solares diretos:
  - As janelas duplas ocupam totalmente a fachada norte o que exige uma construção especial. Todos os muros internos são pesados: no caso da construção em tabique isolado são de adobes de pé com reboco de barro (total 130mm), amarrados numa estrutura de madeira para resistir aos sismos; nos casos de taipa, os muros interiores rebocados são de taipa de 430mm e formam elementos de tipo “L” ou “T” pelas mesmas razões sísmicas. As janelas são duplas de vidro comum ou janelas duplas especiais com um vidro de baixa emissão infravermelha.
- muro Trombe:
  - Construção de 400mm de taipa pesada ( $\rho = 2200\text{kg/m}^3$ ,  $\lambda = 1,4\text{W/mK}$ , com agregado de saibro) e 15mm de reboco interior de terra ( $\rho = 2000\text{kg/m}^3$ ), para obter valores máximos de capacidade e contabilidade térmica no muro Trombe, coberto com dois vidros. Entre Abril e Outubro a área de

intercâmbio de ar com o interior corresponde a 6% da superfície vidrada, de Novembro até Março os muros Trombe são assombrados e fechados para evitar temperaturas altas.

- jardim de inverno anexado à fachada norte (ver desenho esquerdo na Figura 4): com janelas duplas no lado exterior (fachada norte) e com muros opacos em suas fachadas leste e oeste. Tanto as janelas como os muros e o teto são da mesma qualidade em toda a casa. O muro de separação entre o jardim de inverno e a casa é sem isolamento térmico e as janelas são simples para permitir o fluxo de calor. No inverno toda a entrada de ar é pelo jardim de inverno e a saída pelo lado oposto da casa, para esquentar o ar de ventilação e reduzir as perdas de calor.

Como referência, as casas "convencionais" correspondem a um tipo de construção e de uso comum no Chile com baixa qualidade térmica: sem sombreamento fixo, com cortinas mais simples; sem ventilação noturna especial, mais com uma ventilação / infiltrações constantes de 3/h no verão e 1,5/h no inverno; o teto é sem isolamento e a orientação é arbitrária; os muros são de tabique oco de madeira ou de tijolo. As propostas para casas passivas são de taipa com 200mm de isolamento exterior, climatização passiva no verão e aproveitamento máximo dos ganhos solares diretos no inverno.

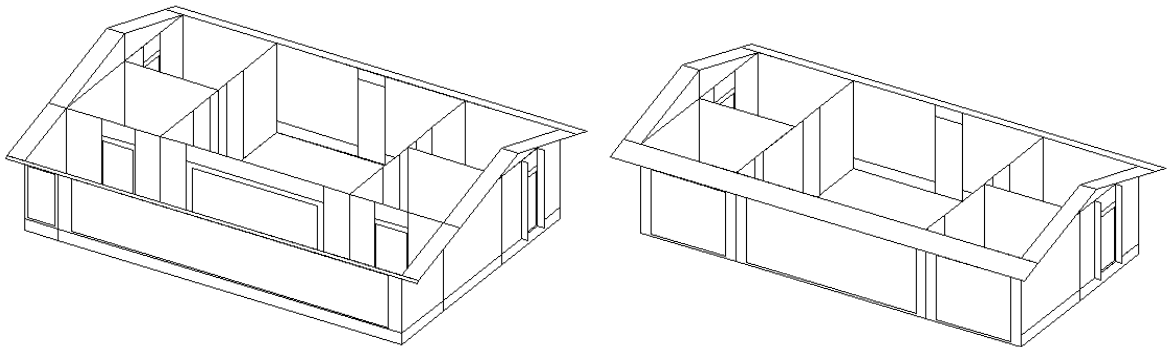


Figura 4: Desenhos passivos – jardim de inverno e ganhos solares diretos: 15.7. – 14 horas

## 4.2 Resultados

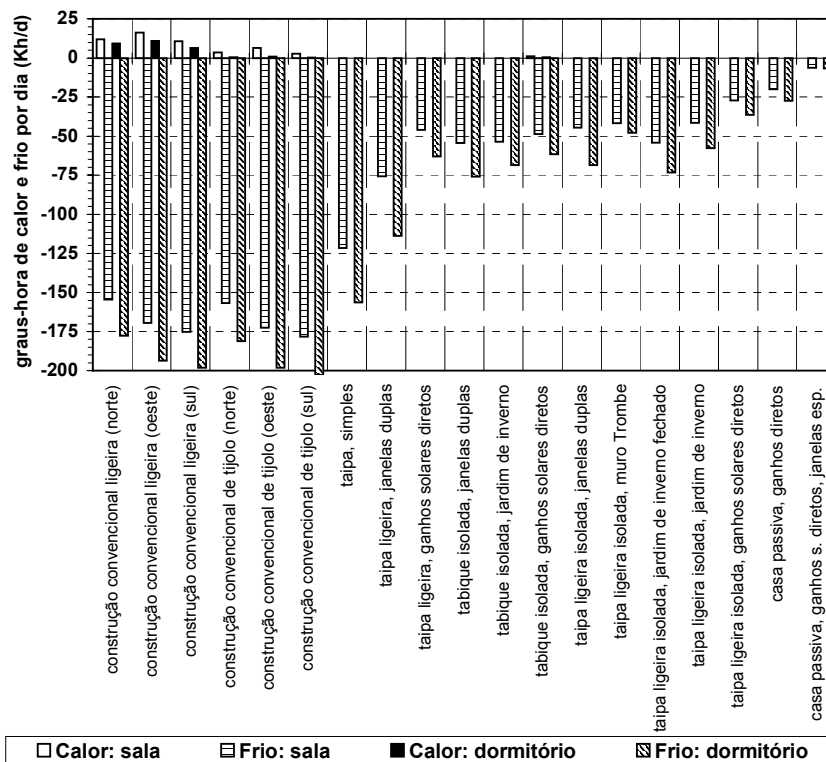


Figura 5: Graus-hora de calor no verão (positivos) e de frio no inverno (negativos) para a sala e o dormitorio (N, opção muro Trombe)

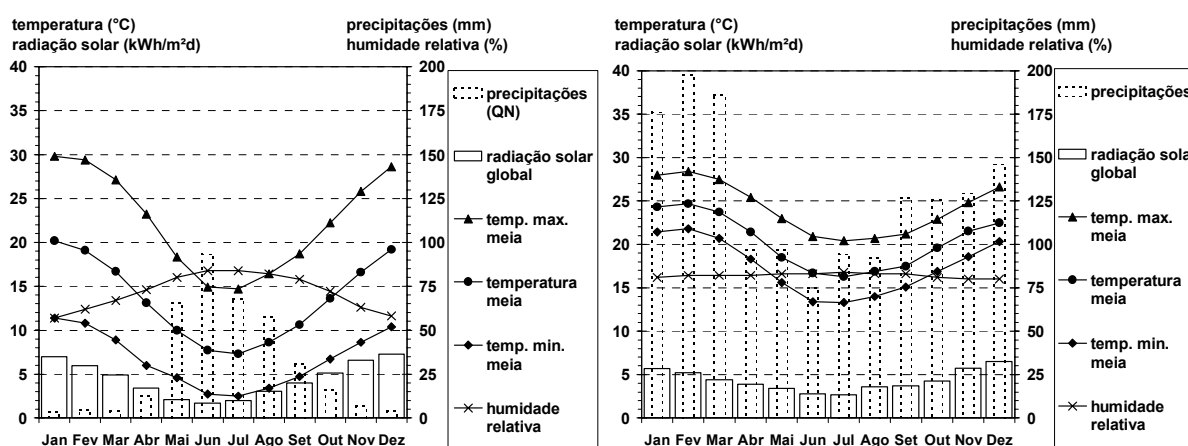
Ainda que os problemas de conforto são menores no verão, este é um problema muito comum nas casas da zona central do Chile e o ar condicionado não constitui uma solução viável. Por isso é importante que as estratégias de climatização passiva possam resolver os problemas de verão numa construção com uma capacidade térmica suficiente. A construção de tabique isolada com ganhos solares diretos demonstra pequenas deficiências de conforto térmico durante o período quente devido ao fato de não existir massa suficiente para a acumulação do calor. Porém em todas as construções pesadas de taipa, a ventilação noturna eficiente permite manter condições de conforto perfeitas no período quente.

No inverno, a primeira prioridade é a redução das perdas de calor para poder aproveitar melhor os ganhos internos e solares passivos. Todas as estratégias de aquecimento solar tem aspectos interessantes: o jardim de inverno oferece um espaço habitável adicional, o muro Trombe tem a vantagem de aportar também à resistência sísmica da construção, porém a estratégia mais simples e eficiente é o ganho direto de energia solar. Medidas simples levam a uma melhora significativa do conforto e um desenho passivo de maior custo pode oferecer condições quase perfeitas de conforto térmico no inverno sem precisar de aquecimento adicional.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Foi demonstrado que a zona central do Chile dispõe de um grande potencial para o desenho de casas, que oferecem boas condições de conforto térmico através da climatização passiva. É importante ter clareza sobre a interdependência das características climáticas e das estratégias de desenho passivo: o clima analisado aqui é muito seco no verão e mostra certo caracter continental, o que leva a grandes variações de temperatura no ritmo diário e anual. Num clima mais úmido com forte influência marítima, típico do Brasil como no exemplo comparativo na Figura 6, no verão a capacidade térmica certamente teria menos importância e a ventilação permanentemente elevada seria mais recomendável que a ventilação noturna. A necessidade de aquecimento no inverno ainda existe, mas seria menor.

Além das diferenças no detalhe das soluções, a pesquisa demonstrou que a climatização passiva é uma estratégia prometedora para o melhoramento da qualidade térmica das habitações na América Latina: A diferença p. ex. do centro ou norte da Europa é que as condições climáticas muitas vezes permitem soluções simples e econômicas com materiais locais, que são compatíveis com as condições sociais e permitem satisfazer as necessidades de conforto térmico de forma sustentável.



**Figura 6: Gráficos climáticos para Santiago de Chile (esquerda) e Florianópolis / SC (direita)**  
Chile: radiação solar de (SARMIENTO, 1995), outros dados de (DIRECCION METEOROLOGICA DE CHILE, 1991); Brasil: radiação solar de (ABREU, 2000), outros dados de (DNM, 1992)

A simulação térmica constitui uma ferramenta flexível de grande valor e eficiência: Permitiu avaliar rapidamente e com baixo custo um espectro grande de alternativas de estratégias e desenhos não convencionais, que seria impossível provar com protótipos. Assim, o emprego de uma metodologia de pesquisa de alta tecnologia permitiu criar e respaldar soluções técnicas simples, econômicas e eficientes. O conjunto de metodologias aplicadas e desenvolvidas para esse trabalho pode servir como modelo também para outras regiões com condições climáticas diferentes.

Deste modo este projeto contribuiu para o melhoramento das condições de vida e a redução do consumo energético no setor habitacional com o melhoramento térmico e energético de edificações como elemento essencial de um processo de desenvolvimento sustentável.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L. de, COLLE, S., ALMEIDA, A. P., MANTELLI, S. L. (2000) Qualificação e Recuperação de Dados de Radiação Solar Medidos em Florianópolis – SC. In: ENCIT 2000 - 8th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, Porto Alegre.
- DIRECCION METEOROLOGICA DE CHILE (1991) *Normales Climatológicas 1961 - 1990*. Santiago - Chile.
- DNM, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento Nacional de Meteorologia (1992) *Normais Climatológicas (1961-1990)*, Brasília - Brasil.
- MINKE, GERNOT (2001) *Manual de construcción en tierra, La tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*; Montevideo. 222 p.
- MINKE, GERNOT (2001b). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*; Forschungslabor für Experimentelles Bauen, Universidad de Kassel, Alemanha. 51 p.
- MINVU Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2000) *Manual de Aplicación, Reglamentación Térmica, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*, Santiago de Chile.
- MÜLLER, ERNST (1997) *Recommendations and Methods for Thermal Improvement of Dwellings in Central Chile*. Wall Building Technical Brief, German Appropriate Technology Exchange, Eschborn - Germany. 4 p.
- MÜLLER, ERNST (1998) Architecture, Thermal Comfort and Energy in Chile - A Case Study and Design Rules for Houses in the Central Region. Architecture. *Energy & Environment Compendium 1996*. Lund Centre for Habitat Studies, Lund University (Sweden). p. 21-50.
- MÜLLER, ERNST (1998b) Mejoramiento Térmico de Viviendas con Climatización Pasiva para la Zona Central de Chile con Programas de Simulación Térmica. En: Congreso Internacional De Energías Sustentables SENESE X. *Anales del Congreso*. Punta Arenas, Chile. 10 p.
- MÜLLER, ERNST (2001) Desenvolvimento de regras de desenho passivo para Edificações habitacionais na zona central do Chile. En: II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - ELECS, Canela / RS. *Anais*. p. 329-336.
- MÜLLER, ERNST (2001b) Development of a Test Reference Year on a Limited Data Base for Simulations on Passive Heating and Cooling in Chile. In: Building Simulation 2001, Rio de Janeiro – Brasil. *Proceedings of Seventh International IBPSA Conference*. p. 135-142.
- MÜLLER, ERNST (2001c) Development of New Design Tools and Recommendations For Passive Design in a Mediterranean Climate; PLEA 2001, Florianópolis – Brasil, Novembro 2001
- MÜLLER, ERNST (2002) *Manual de diseño para viviendas con climatización pasiva*. Forschungslabor für Experimentelles Bauen, Universidad de Kassel, Alemanha. 60 p.
- SARMIENTO M., PEDRO (1995) *Energía Solar, Aplicaciones e Ingeniería, Sistemas Pasivos*. 3ª edición, Valparaíso. 261 p.

## 7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível graças ao projeto de pesquisa "Edificações sísmoresistentes com materiais locais e climatização passiva em zonas rurais da região andina" do Laboratório de Construção Experimental (FEB) da Universidade de Kassel com financiamento das instituições alemãs Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) e Cooperação Técnica Alemã (gtz). Os aspectos construtivos da terra foram tratados por Prof. Dr.-Ing. Gernot Minke, diretor do FEB, em (MINKE 2001b) e antes em (MINKE, 2001). O programa de simulação térmica DEROB-LTH foi utilizado graças à cooperação com a Universidade de Lund, Suécia (Department of Construction and Architecture).