

## **Estratégias construtivas na busca de conforto térmico e eficiência energética em edificações unifamiliares de interesse social nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras**

**Constructive strategies in search of thermal comfort and energy efficiency for single family social interest buildings in the brazilian bioclimatic zones 1, 2 and 3**

**Madalena Russi**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Santa Maria  
madalenarussi@gmail.com

**Egon Vettorazzi**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Santa Maria  
egon.arquiteto@gmail.com

**Joaquim C. Pizzutti dos Santos**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Santa Maria  
joaquim@smail.ufsm.br

**Giana da Rocha Zófoli**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Santa Maria  
gianazofoli@yahoo.com.br

**Roberta Mulazzani Doleys Soares**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Santa Maria  
roberta.doleys@gmail.com

### Resumo

O objetivo deste estudo é apresentar estratégias construtivas passivas e de baixo custo para melhoria do conforto térmico e da eficiência energética em habitações de interesse social. Tem como foco as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras, que se caracterizam por períodos bem definidos de elevadas e baixas temperaturas. Como referenciais teóricos foram utilizadas a Carta Bioclimática de Givoni, as Planilhas de Mahoney, a Norma NBR 15220 e conceitos de sustentabilidade. Os pré-requisitos adotados para a escolha das estratégias de projeto foram a flexibilidade de uso tanto para períodos frios como quentes, a facilidade de controle pelo usuário e a utilização de materiais reciclados e/ou de baixo custo. O projeto apresenta estratégia de calefação, que utiliza o insuflamento de ar aquecido do ático do telhado, para os períodos frios e para os períodos de elevada temperatura é proposto o uso de ventilação cruzada por diferença de pressão, esta é maximizada pelo uso de resfriamento evaporativo e massa térmica. Além disso, foi proposto um sistema alternativo de aquecimento solar da água com o uso de um painel solar associado à estrutura do telhado. Os sistemas foram propostos com a intenção de adaptar-se de maneira simples aos diferentes modelos construtivos e estéticos de habitações de baixo custo.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Energia solar; Conforto térmico; Eficiência energética.

## Abstract

The objective of this study is to present passive and low cost constructive strategies to improve the thermal comfort and energy efficiency in social housing. Focuses in Brazilian bioclimatic zones 1, 2 and 3 characterized by well-defined periods of high and low temperatures. Theoretical frameworks were used as the Charter of Bioclimatic of Givoni, the worksheets Mahoney, the NBR 15220 and sustainability concepts. The prerequisites adopted for the choice of design strategies have the flexibility to use both for cold and warm periods, ease of user control and use of recycled materials and / or low cost. To the cold periods the design strategy is heating, which uses the heated supply air from the attic, and to periods of high temperature is proposed to use cross ventilation for pressure difference, this is maximized by using evaporative cooling and thermal mass. Also, an alternative system has been proposed solar heating of the water using a solar panel associated at roof structure. The systems were proposed with the intent to adapt in a simple manner to different aesthetic designs and construction of low cost housing.

Keywords: Sustainability, Solar Energy, Thermal Comfort, Energy Efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

Para aumentar a sensação de conforto do homem, desde a metade do século passado, diversos autores têm estudado estratégias bioclimáticas para projetos arquitetônicos. Entre os principais pesquisadores, os irmãos Olgyay (OLGYAY, 1963) foram os pioneiros em propor um procedimento sistemático para adaptar o projeto de uma edificação às condições climáticas. Posteriormente este método foi aperfeiçoado por Givoni (GIVONI, 1992) e quando associado às planilhas de Mahoney (RORIZ, 1995) indicam adequadas soluções e estratégias para melhoria do conforto térmico.

Segundo a Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), o Brasil é dividido em 8 zonas bioclimáticas, das quais são foco deste estudo as zonas 1, 2 e 3. Estas três zonas possuem grande complexidade na busca de estratégias para o conforto térmico, pois as mesmas devem atender tanto ao clima frio quanto o clima quente, que ocorrem nestas zonas no decorrer do ano.

Três pontos são as principais preocupações neste projeto:

- Aquecimento ambiental no inverno e resfriamento no verão: pois segundo Lamberts (1997), observando-se a carta bioclimática de Porto Alegre (zona 3 brasileira), por exemplo, apenas em 22,4% das horas do ano haverá conforto térmico e nas horas restantes em 51,6% ocorrerá desconforto devido ao frio e em 26% haverá desconforto devido ao calor;

- Aquecimento solar de água para consumo: pois o chuveiro elétrico responde pela maior parcela de consumo de energia elétrica residencial. Considerando-se que um banho tenha tempo médio de 8 a 10 minutos, no final do mês, o chuveiro representará entre 25% a 35% do consumo de energia elétrica residencial e essa parcela chega até 40% do consumo de energia elétrica nas habitações das classes menos favorecidas. Segundo estimativa do PROCEL (2005), calcula-se que o chuveiro

consome de 6,2% a 8,7% do total de energia elétrica produzida no país.

Os principais critérios adotados na escolha das estratégias do projeto apresentado neste trabalho foram a flexibilidade de uso, para adaptar-se tanto ao período de calor como o de frio, a facilidade de controle pelo usuário, de acordo com a necessidade de conforto momentânea, e o uso de materiais alternativos reciclados e/ou de baixo custo, visando aos conceitos de aplicabilidade e de sustentabilidade das soluções propostas.

Com base nos estudos de bioclimatologia e nos aspectos básicos da sustentabilidade, neste trabalho são propostos sistemas de climatização natural e de aquecimento de água para consumo, focados na melhoria do conforto térmico e redução do consumo de energia.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item aborda as possíveis estratégias de conforto térmico a serem adotadas em projetos de edificações nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras. Além disso, é citado um sistema alternativo de aquecimento de água para consumo com uso de materiais recicláveis.

### 2.1 Bioclimatologia

A bioclimatologia é a ciência que estuda as interações da climatologia com os seres vivos. Ela abrange o conhecimento de elementos meteorológicos e respostas fisiológicas e comportamentais do homem visando a melhorar o conforto térmico.

Este item busca revisar os métodos desenvolvidos por pesquisadores que buscaram interligar diversas variáveis, como as climáticas, padrões fisiológicos de conforto e estratégias de projeto.

### 2.2 Carta bioclimática de Olgyay

Na década de 60 estudos dos irmãos Olgyay culminaram na elaboração de um diagrama, organizado em função da temperatura de bulbo seco

e da umidade relativa do ar, referentes aos dados de temperatura de vários períodos do ano. Como resultado, foram definidas estratégias para as diferentes regiões divididas por zonas de conforto.

Esse diagrama foi elaborado para regiões de clima quente e úmido e para regiões temperadas ele baseia-se nas temperaturas médias de verão. Isso permitiu cada lugar obtivesse uma região de conforto próprio com recomendações de implantação do projeto dando detalhes de tipo de edificação como volume, forma, orientação, tipo de aberturas, cor, etc.

### 2.3 Carta Bioclimática de Givoni

Como o método dos irmãos Olgyay é aplicável apenas ao ambiente externo, Givoni melhorou essa carta considerando que uma edificação de maior massa possui um clima interno diferente do externo.

Givoni corrigiu a limitação do método anterior estendendo a zona de conforto por meios de zonas de estratégias, relacionando as alterações das condições climáticas externas através de princípios básicos de projeto da edificação, juntamente com propriedades de sua envoltória. Essa Carta é a mais aconselhada para países com clima mais quente, como o Brasil.

### 2.4 Planilhas de Mahoney

Carl Mahoney desenvolveu tabelas que quando preenchidas com as informações climáticas locais, resultam em indicativos sobre orientação solar, formato e estrutura, necessários ao estágio inicial de projeto. Tem como vantagem não necessitar de hipóteses preliminares, sendo necessários apenas os resultados obtidos com o preenchimento das tabelas e os valores de conforto limite, aconselhados para cada local.

### 2.5 Zonas bioclimáticas

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005) existem 8 zonas bioclimáticas, identificadas segundo características próprias. Esse estudo aborda as zonas 1, 2 e 3, que se caracterizam por estações de verão e inverno bem definidas, altos índices de umidade do ar e a sistemática entrada de frentes frias. Nestas zonas é aconselhado pela norma o uso das estratégias de aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas (inércia térmica) no período de frio, sendo também mencionado que apenas o condicionamento passivo é insuficiente para o período mais frio. Para os períodos de calor o uso de

ventilação cruzada é tido como uma das principais estratégias.

Como diretrizes construtivas e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo, foram considerados: tamanhos das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e estratégias de condicionamento térmico passivo.

Para a desumidificação dos ambientes, que também melhora a sensação térmica, foi considerada a renovação do ar interno, através da ventilação dos ambientes.

Observa-se ainda que pela NBR 15220, as maiores fachadas devem ser orientadas a norte e sul, visando a redução da exposição solar no período quente e permitindo maior exposição no período frio; as coberturas devem ser leves e isoladas, e as paredes leves para as zonas 1 e 2 e leves e refletoras para a zona 3; a abertura média para ventilação de 15% a 25% e que permita a entrada de sol no período frio.

### 2.6 Sistemas de aquecimento de água de baixo custo

O sistema proposto neste artigo está embasado em informações obtidas nos estudos de Alano (2004), que propôs um aquecedor solar com materiais reciclados e de baixo custo.

O coletor solar de Alano (2004) possui tubos e conexões de PVC para as colunas de absorção; caixas Tetra Pak e garrafas tipo "PET" que substituem a caixa metálica, o painel de absorção térmica e o vidro nos coletores convencionais. Além disso, as garrafas PET têm a função de proteger o interior do coletor das intempéries.

## 3. ESTRÁTEGIAS DE PROJETO UTILIZADAS

Para o melhoramento do conforto térmico e redução no consumo de energia elétrica em habitações de interesse social, foi considerada a possibilidade de adaptação dos sistemas propostos neste trabalho a projetos existentes e o baixo custo de implantação. Também foi considerado que os sistemas deveriam ter utilidade em ambos os períodos, verão e inverno, apenas alterando o modo de operação.

Na Figura 1 é possível ver de forma esquemática os sistemas propostos. A energia térmica proveniente da radiação solar que incide na cobertura da edificação é usada para aquecimento de água de consumo, para calefação no período frio e também para melhorar a ativação do sistema de ventilação

por diferença de pressão nos períodos de calor.

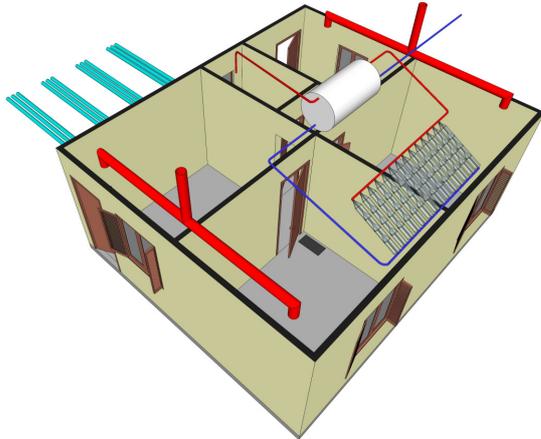


Figura 1- Perspectiva esquemática do conjunto dos sistemas propostos na edificação.

#### 4. SISTEMA DE CALEFAÇÃO

O forro das casas populares geralmente é feito com materiais leves, com baixo isolamento térmico e capacidade térmica, mas que formam uma camada de ar entre a cobertura e os ambientes da edificação. Este sistema propõe a abertura de uma grelha no forro de cada ambiente da habitação. As grelhas são interligadas por meio de canos de PVC de 150mm, conforme Figura 2, dentro do ático do telhado, que formam um duto (1) que vai até a parte mais alta do mesmo. Com a incidência dos raios do sol sobre as telhas, o ar do ático vai sendo aquecido e a parcela mais aquecida vai ascendendo e se acumulando na parte superior interna desse espaço, devido às correntes de convecção criadas pela diferença de densidade do ar.

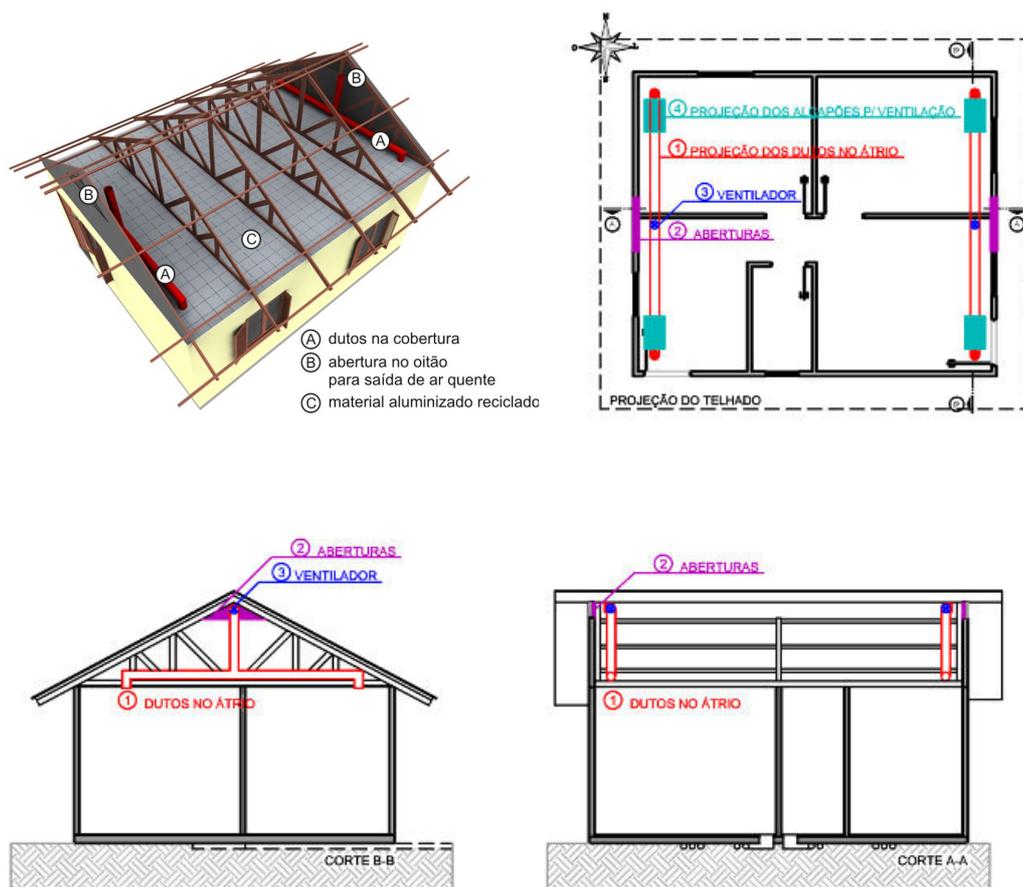


Figura 2 - Esquema geral do sistema de calefação.

Na porção mais alta do duto de calefação é colocado um ventilador (3) que, dependendo da diferença de temperatura entre o ar neste local e no interior dos ambientes, entra em funcionamento insuflando o ar aquecido no interior dos recintos como mostra a Figura 3, esse controle é feito pelo uso de automação.

Nos períodos de frio, as aberturas de ventilação (2) na parte mais alta do telhado são mantidas fechadas, reduzindo o efeito de convecção, fazendo com que o ar contido no espaço do ático se aqueça para que seja insuflado. O funcionamento geral do sistema de calefação pode ser melhor compreendido na Figura 3.

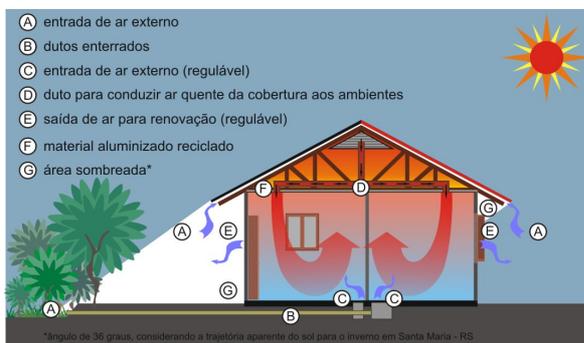


Figura 3- Funcionamento geral do sistema de calefação.

#### 4.1 Sistema de ventilação cruzada no verão

Conforme os resultados obtidos na Carta Bioclimática de Givoni e nas Planilhas de Mahoney, para as regiões de clima subtropical, a ventilação cruzada é uma importante estratégia para conforto térmico, em períodos quentes. A corrente de ar deve passar pelo nível dos ocupantes retirando o ar aquecido e ampliando as trocas térmicas do seu corpo, melhorando a sensação de conforto.

A Figura 4 apresenta o esquema geral proposto para a melhoria da ventilação. São utilizadas aberturas no piso e no teto, dispostas em lados opostos de cada ambiente para otimizar a ventilação por diferença de pressão. O fato de estas aberturas localizarem-se em lados opostos faz com que a ventilação vinda do piso cruze pelo ambiente, saindo da edificação pelas aberturas nos oitões do telhado. A diferença de altura entre a entrada e a saída do ar na parte interna da edificação facilita as correntes de ascensão do ar criadas pela diferença de pressão. O ventilador é usado no sentido inverso retirando o ar dos ambientes e levando-o para a parte mais alta do telhado, onde é expulso pelas aberturas nos oitões, que são abertas no verão.



Figura 4- Esquema geral de funcionamento do sistema de ventilação no verão.

De acordo com Costa (1982), a temperatura embaixo da superfície da terra mantém-se praticamente constante ao longo do ano sendo que 6 metros de

profundidade ela fica em torno de 22°. Assim, no verão, ao passar por baixo da terra, o ar é resfriado pelo contato com as paredes do duto, que por sua

vez estão em contato com o solo, dessa forma a terra retira o calor do ar que circula dentro dos dutos resfriando-o. Esse tipo de estratégia bioclimática é chamado de massa térmica para resfriamento.

Segundo Roaf (2009) “jardins baixos são um exemplo clássico de um pequeno lago de resfriamento para dentro do qual o ar mais frio desce. Os jardins frios úmidos sombreados ao redor da casa podem baixar a temperatura de 2 a 5°C em climas quentes e secos”.

Os dutos para passagem desse ar são feitos reciclando materiais, as garrafas plásticas tipo “PET”, cortados em suas extremidades e encaixados entre si, elas são colocadas antes da concretagem da laje de fundação de forma que fiquem em contato com a terra. O controle da saída de ar dentro da residência é feito por meio de uma grelha, com um mecanismo que permite que ela seja regulada de acordo com a necessidade dos usuários. Nos dias quentes ela é totalmente aberta para maximizar a ventilação cruzada, que passa no nível dos ocupantes, melhorando consideravelmente o conforto térmico.

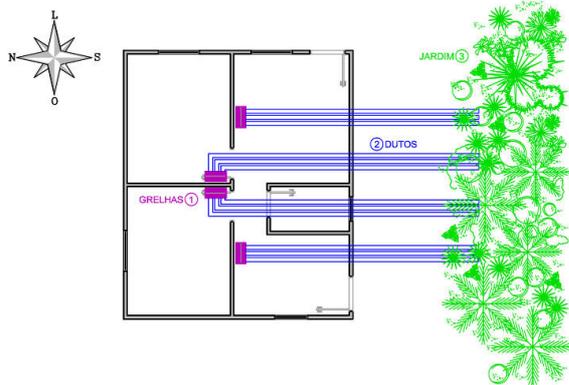


Figura 5- Dutos para entrada do ar no sistema de ventilação cruzada de verão.

A Figura 5 sintetiza o funcionamento dos dutos, o ar é captado pelos dutos enterrados no solo junto a massa verde (3) localizada nos fundos do terreno,

entrando nos dutos (2) a uma temperatura mais baixa, ao passar por baixo da terra o ar vai sendo refrigerado pela inércia térmica do solo ao longo do percurso. Esse ar em uma temperatura mais baixa entra na edificação por meio de grelhas (1) e é sugado pelas aberturas no forro devido à diferença de pressão, criada pela diferença de altura e pelo aquecimento do ar abaixo da cobertura, saindo então nas aberturas nos oitões.

## 4.2 Aquecimento de água de consumo

### Painel solar alternativo

Para o aquecimento de água (Figura 6) foi utilizada a cobertura da edificação, sendo utilizadas telhas de fibrocimento (1) e na porção a qual está o painel solar são utilizadas telhas transparentes (2), que devido ao efeito estufa que proporcionam, aumentam a temperatura do sistema. Diferentemente do painel para aquecimento de água de Alano 2004, que fica exposto, o painel proposto é protegido por telhas transparentes, essa prática diminui as perdas por convecção e protege o painel das intempéries.

Foram utilizados canos de PVC de 25mm (3) para a circulação da água, sendo escolhidos pelo baixo custo e boa durabilidade. Para aumentar o rendimento do sistema, os canos de circulação do painel são envoltos por garrafas plásticas tipo PET (4) cortadas e encaixadas umas na outras, dentro de cada garrafa é colocada uma caixa Tetra Pak (5) recortada no formato da garrafa e com o lado de papelão voltado para cima e pintado com tinta preta fosca.

Para dar rigidez ao sistema, e diminuir ainda mais as trocas térmicas com o ambiente, o painel é revestido com placas de compensado (6), que é revestido internamente com as mesmas caixas Tetra Pak pintadas de preto e com o lado aluminizado voltado para baixo.

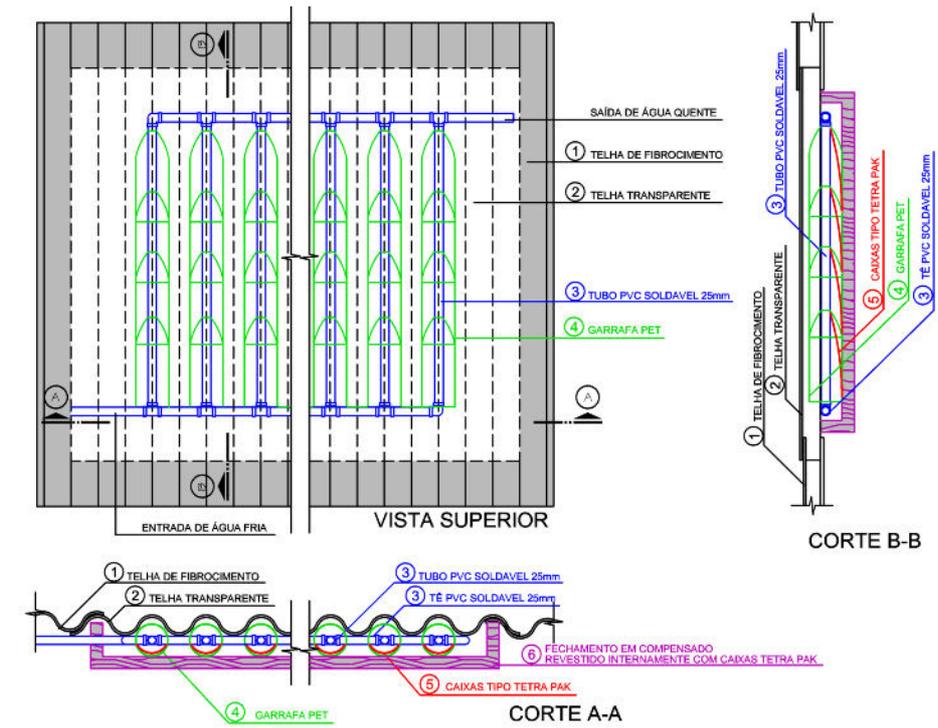


Figura 6 - Painel solar alternativo.

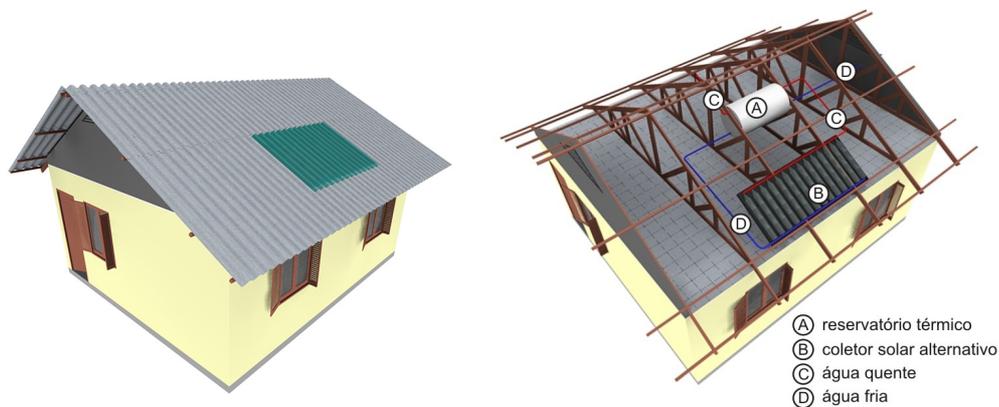


Figura 7 - Esquema geral do sistema de aquecimento de água.

O aquecimento da água (Figura 7) é feito pela circulação da mesma dentro do painel (A), e retornando para o reservatório térmico, ele está localizado em uma posição mais elevada para que devido à diferença de temperatura a circulação da água se dê naturalmente por termossifão. Para que esse fenômeno ocorra a condição física necessária é uma diferença de altura entre a parte superior do coletor e a parte inferior do reservatório térmico. A circulação da água acontece devido à diferença de

densidade entre a água fria e a água aquecida no painel.

Nos períodos mais frios e com pouca irradiação solar, o aquecimento de água pelo painel solar não será suficiente, sendo utilizado o chuveiro elétrico com controle eletrônico de temperatura, que complementarmente o aquecimento da água ao nível adequado. Como a variação de temperatura será menor haverá diminuição do consumo de energia, visto que a água já está pré-aquecida.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposto um sistema de baixo custo de condicionamento térmico com eficiência energética para utilização em moradias de interesse social, ou em outros tipos de edificações. O sistema foi desenvolvido para habitações situadas nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras, que apresentam clima de grande amplitude térmica no decorrer do ano.

Foram utilizados sistemas de aquecimento e resfriamento do ar que apresentam flexibilidade de uso para diferentes estações e de fácil controle pelo usuário. Também foi proposto o aquecimento solar de água para o consumo. Para os sistemas foi priorizado o uso de materiais reciclados e/ou de baixo custo que visam tornar a residência mais acessível e sustentável.

No Brasil, os cuidados com conforto térmico não são habituais em projetos de habitações de médio e baixo custo. Este trabalho busca suprir essa deficiência através de estratégias de climatização para proporcionar conforto aos indivíduos, e renovação/higienização do ar. Essas estratégias baseiam-se no uso de ventilação cruzada e arrefecimento do ar pelo uso de lagos de resfriamento e por massa térmica para os períodos de calor e aproveitamento de energia térmica que se armazena entre o forro e o telhado nos períodos de frio.

Para o aquecimento de água de consumo foi proposto um sistema alternativo de aquecimento, tendo em vista a redução do consumo de energia despendida pelos chuveiros elétricos, responsável por boa parcela do consumo de energia de uma edificação residencial. O sistema é abastecido por energia solar e utiliza-se da própria estrutura de cobertura da edificação para o seu recolhimento, evitando custos adicionais e desperdício de material.

O sistema proposto tem simplicidade de construção, sendo sua aplicação viável para condicionamento térmico e aquecimento de água de edificações.

### Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio Janeiro, 2005.

COSTA, E. **Arquitetura Ecológica**: condicionamento térmico / Ennio Cruz da Costa, São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

FUENTES, M.; THOMAS, E; ROAF, S. **Ecohouse**: casa ambientalmente sustentável. 3. ed / Porto Alegre: Brokman, 2009.

GIVONI. **Confort climate analysis and building design guidelines**. Rev. Energy and Building 18 (1) Lausanne, 1992.

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

OLGYAY, V.; OLGAY, A. **Design with climate**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

RORIZ, M. **Apostila de conforto térmico**. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos. (mimeo), São Carlos, SP, 1995.