



## **CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE PESQUISAS E DA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO DA CASA EFICIENTE/ FLORIANÓPOLIS-SC**

**Sylvio L. Mantelli Neto(1); Juliana Oliveira Batista(2); Roberto Lamberts (3)**

- (1) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/CPTEC – e-mail: [sylvio@labsolar.ufsc.br](mailto:sylvio@labsolar.ufsc.br)  
Doutorando do Departamento de Engenharia e Gestão do Conhecimento e do  
Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil
- (2) Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE - Departamento de Engenharia Civil -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: [juliana@labeee.ufsc.br](mailto:juliana@labeee.ufsc.br)
- (3) Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE - Departamento de Engenharia Civil -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: [juliana@labeee.ufsc.br](mailto:juliana@labeee.ufsc.br)

### **RESUMO**

A Casa Eficiente, localizada em Florianópolis, funciona como vitrine de tecnologias e laboratório de pesquisas, onde é realizado o monitoramento do clima e das condições ambientais internas de uma edificação residencial. O projeto é resultado de uma parceria entre a ELETROSUL/ELETOBRÁS/PROCEL e o LABEEE/UFSC. Este artigo tem como objetivo caracterizar o ambiente de pesquisas e a estação de monitoramento climático, cujos dados são utilizados para avaliar o desempenho térmico da edificação. Os critérios utilizados para a configuração da estação foram baseados nos padrões definidos pelas agências do serviço meteorológico, para facilitar a comparação dos dados com as estações mais próximas em estudos abrangentes. A estação encontra-se em operação contínua desde novembro de 2007, registrando a radiação global, temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação de chuva, direção e velocidade do vento. Tais dados possibilitarão uma caracterização detalhada do desempenho térmico da Casa Eficiente, uma edificação residencial que se encontra submetida às condições climáticas características do meio urbano de Florianópolis. Os dados obtidos são utilizados em pesquisas relacionadas a sustentabilidade e eficiência energética, englobando temas como aproveitamento de água da chuva, geração de energia fotovoltaica e aquecimento solar de água.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental; Sustentabilidade; Eficiência energética.

### **ABSTRACT**

The Efficient House, located in Florianópolis-SC, Brazil, is a showroom and research laboratory built to evaluate the implementation of energy efficiency solutions and new technologies for architecture at residential buildings. The whole project is a joint effort among ELETROSUL, ELETOBRÁS, PROCEL and LABEEE/UFSC. To support the research activities developed, internal and external environment are monitored. The current work makes a preliminary characterization of the house and the environmental station, whose data is used to evaluate the house thermal behavior. An automatic station was established to characterize the impact of the external environment inside the house. The criteria used for the set up and selection of the equipments and sensors were based on the recommendations of commonly used meteorological synoptic stations. The station was established in November 2007 and is measuring by global radiation, air temperature, relative humidity, atmospheric pressure, rain fall, wind speed and direction. Data is intended to represent a typical local urban environment. Data will also be used for sustainability and energy efficiency researches, like rainwater harvesting for water supply, photovoltaic energy generation and solar water heating systems.

Keywords: Environment Monitoring; Sustainability; Energy Efficiency.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. Caracterização do ambiente de pesquisas

A Casa Eficiente, localizada em Florianópolis-SC (Figura 1), é resultado de uma parceria firmada entre a ELETROSUL<sup>1</sup>, a ELETROBRAS<sup>2</sup>, o PROCEL<sup>3</sup> e o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina. O projeto arquitetônico, de autoria das arquitetas Alexandra Albuquerque Maciel e Suely Ferraz de Andrade, incorpora estratégias de adequação climática, eficiência energética e uso racional da água, as quais foram reunidas em uma edificação residencial que funciona como vitrine de tecnologias e laboratório de pesquisa (MACIEL et al, 2006) (ELETROSUL, 2008).



Figura 1 - Casa Eficiente: (a) fachada sul e (b) Vista das fachadas leste e norte.

No dia 29/06/2006 foi criado o Laboratório de Monitoramento Bioclimático e Eficiência Energética – LMBEE, que se encontra instalado na Casa Eficiente. As principais atribuições do LMBEE são o desenvolvimento de atividades de pesquisa científica, com base no monitoramento termo-energético e do uso da água na Casa Eficiente, sob responsabilidade de uma equipe de pesquisadores composta por professores e alunos dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Civil da UFSC.

A equipe de pesquisadores do LMBEE subdivide-se em três Grupos de Trabalhos (GT's), cada qual dedicado a um tema específico, conforme descrito a seguir.

- **GT- 1: Eficácia das estratégias de condicionamento ambiental.** Este grupo é responsável pela análise do desempenho das estratégias de condicionamento ambiental passivo, incorporadas ao projeto arquitetônico da Casa Eficiente. O GT-1 desenvolve trabalhos de avaliação de ventilação natural, insuflamento do ar noturno e o uso de cobertura ajardinada (teto-jardim).
- **GT - 2: Potencial de geração solar fotovoltaica interligada à rede elétrica de distribuição.** Este grupo é responsável por estudos relativos à capacidade de auto-geração de energia pelo sistema fotovoltaico instalado na Casa Eficiente. O GT-2 desenvolve trabalhos de avaliação das estimativas de consumo de energia elétrica do sistema fotovoltaico, considerando-se perfis diferenciados de consumo.
- **GT - 3: Uso racional da água.** Este grupo é responsável por estudos que abrangem o aproveitamento de água pluvial e o reúso de água, destinados para fins não potáveis em edificações residenciais.

---

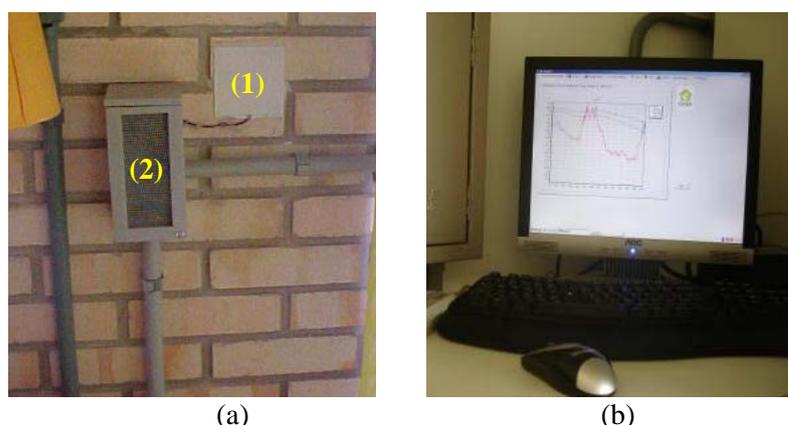
<sup>1</sup> ELETROSUL Centrais Elétricas S. A.

<sup>2</sup> ELETROBRÁS Centrais Elétricas Brasileiras S. A.

<sup>3</sup> PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

Para possibilitar o desenvolvimento das pesquisas dos grupos mencionados, a Casa Eficiente foi instrumentada com quatro sistemas de monitoramento, três internos e um externo. Os principais dados gerados pelos sensores de monitoramento interno são adquiridos e controlados por um software desenvolvido pelo LMPT – Laboratório de Materiais e Propriedades Térmicas (EMC/UFSC)<sup>4</sup>.

O primeiro sistema de monitoramento interno é um sistema do tipo termo-energético (Figura 2) que visa atender as demandas de trabalho do GT-1. Este sistema consiste de um conjunto de sensores destinados à medição de diversas variáveis ambientais internas, tais como: temperatura, umidade e fluxos de calor através dos componentes construtivos (paredes e cobertura). O segundo sistema de monitoramento interno, também do tipo termo-energético, visa atender às demandas de trabalho do GT-2. Este sistema efetua o registro da potência elétrica dos eletrodomésticos e da energia gerada pelo sistema fotovoltaico, posicionado sobre a cobertura da edificação (Figura 3).



**Figura 2** – Sistema de monitoramento termo-energético: (a) fluxímetro (1) e o invólucro do sensor de temperatura (2), posicionados na parede interna e (b) tela do software instalado na central de aquisição de dados.

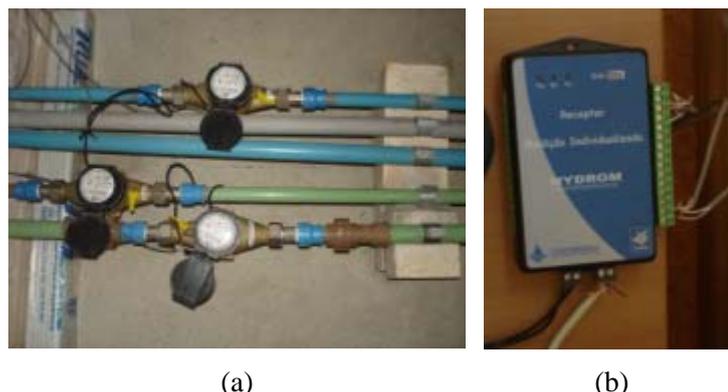


**Figura 3** – Vista externa da Casa Eficiente, observando-se o painel fotovoltaico (cobertura central) e coletores solares orientados a Norte.

O terceiro sistema de monitoramento interno é um sistema de medida de consumo, que visa atender as demandas de trabalho do GT-3, monitorando o consumo de água através de um conjunto de hidrômetros instrumentados (Figura 4). O quarto sistema é responsável pelo monitoramento climático, o qual efetua registros dos dados meteorológicos que servem de subsídio aos três grupos de trabalho. A descrição do sistema de monitoramento climático será abordada a seguir. Maiores detalhes acerca das atividades relativas às pesquisas em andamento podem ser obtidos nos endereços dos *sites* da Casa Eficiente e do LabEEE na internet<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> EMC/UFSC: Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

<sup>5</sup> Endereços: Casa Eficiente: <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente>. LabEEE: <http://www.labeee.ufsc.br>



**Figura 4** – Sistema de medição do consumo de água na Casa Eficiente: (a) hidrômetros instrumentados e (b) receptor.

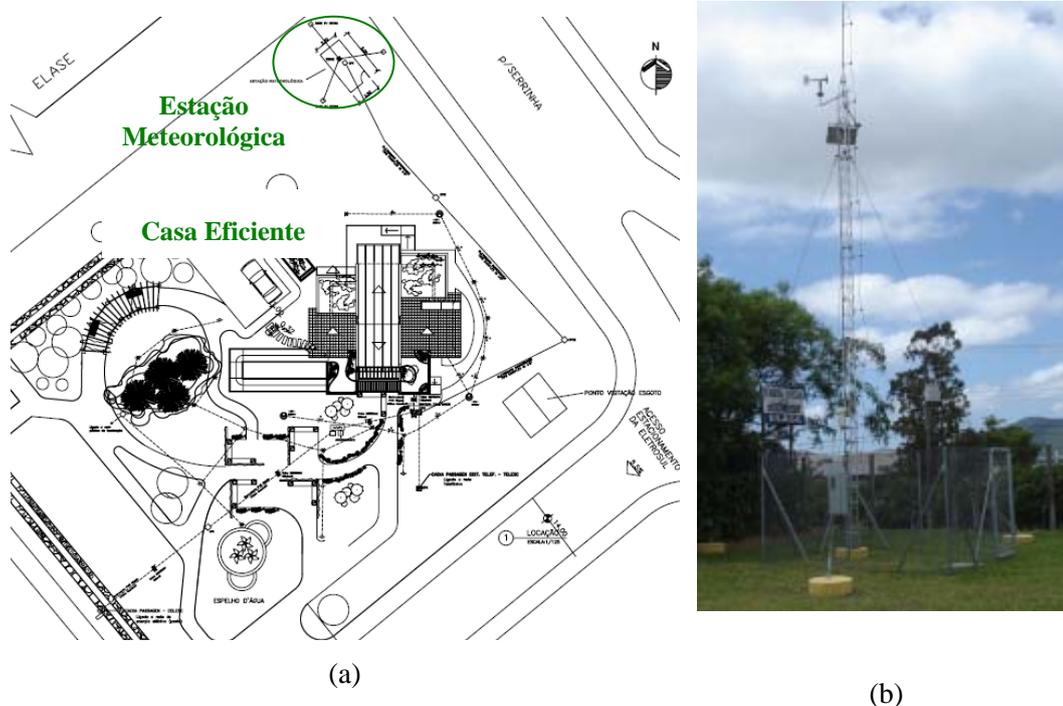
## 2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é descrever a estação de monitoramento climático, situada junto à Casa Eficiente, cujos dados são utilizados como base para as pesquisas de análise de desempenho térmico da edificação. Ao final do presente trabalho serão apresentados alguns dados preliminares, obtidos a partir da análise dos registros da estação.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Descrição geral da estação de monitoramento climático

A estação de monitoramento climático da Casa Eficiente fica localizada junto à edificação (Figura 5), na área norte do terreno, de onde são efetuados os registros de radiação global, temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação de chuva, direção e velocidade do vento.



**Figura 5** – Estação meteorológica LMBEE/Casa Eficiente: (a) localização; (b) vista da estação, podendo-se observar a torre de 10 m de altura onde foram instalados os sensores.

A estação de monitoramento climático possui os mesmos sensores de uma estação meteorológica, de acordo com as normas recomendadas pela OMM<sup>6</sup>. Convém salientar que não é conveniente tal denominação, uma vez que a referida estação não está localizada em uma área meteorologicamente ideal para uma estação de observação sinóptica. No entorno existem árvores, edificações, pavimentos e outras interferências que não atendem às normas de alocação da OMM. Entretanto, a estação encontra-se inserida em um ambiente urbano típico, cujas variáveis representam as condições ambientais às quais a Casa Eficiente está sujeita. Os padrões de aquisição e coleta de dados adotados são os mesmos de uma estação meteorológica, para que os dados possam ser comparados e validados na mesmo intervalo de tempo e ordem de magnitude utilizados nas estações de monitoramento mais próximas: LABSOLAR<sup>7</sup> e EPAGRI-CIRAM<sup>8</sup>.

Tais dados fornecem subsídios para caracterizar adequadamente o clima local e, junto com os dados do monitoramento ambiental interno, possibilitam uma avaliação detalhada do desempenho térmico da edificação<sup>9</sup>.

### 3.2 Descrição técnica da estação de monitoramento climático

Medidas especiais foram adotadas para preservar a qualidade das medições da estação. Buscou-se atender as diversas normas de documentação e instalação dos sensores de radiação, temperatura, vento e precipitação. Algumas destas medidas são mencionadas a seguir. A Figura 6 apresenta um esquema geral da estação de monitoramento climático da Casa Eficiente.

Devido à limitação na disponibilidade de verbas para pesquisas, é comum a utilização de sensores de baixo custo. Entretanto, estes sensores comprometem a qualidade dos dados, especialmente os piranômetros. No mercado são oferecidos basicamente dois tipos de piranômetros: semicondutores e termopilhas. Os dispositivos semicondutores têm se tornado muito populares em função do baixo custo, encontrando um largo campo de aplicação desde a sua descoberta. Porém, no caso de piranômetros semicondutores para a radiação solar, estes dispositivos possuem certas limitações. A primeira é a resposta espectral limitada do piranômetro semicondutor à energia enviada pelo sol, que vai pouco além do faixa da luz visível. A segunda limitação é que a sua resposta não é linear ao longo desta faixa. Em termos práticos, o piranômetro semicondutor apresenta uma resposta que se aproxima a de uma fotocélula, conforme pode ser observado no manual de diversos fornecedores (Li-Cor, 2004). Por fim, os piranômetros semicondutores não respondem bem às ondas do infravermelho próximo, tornando-se limitados para estudos que envolvem aplicações térmicas.

Desse modo, para assegurar a qualidade dos dados, buscou-se durante a aquisição e a instalação da estação atender as normas internacionais vigentes: ISO<sup>10</sup> e OMM<sup>11</sup>; WMO (1996), WMO (1998) e

---

<sup>6</sup> OMM Organização Mundial de Meteorologia

<sup>7</sup> LABSOLAR- Laboratório de Energia Solar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina <http://www.labsolar.ufsc.br>

<sup>8</sup> EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A.; CIRAM - Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. <http://ciram.epagri.rct-sc.br>

<sup>9</sup> As especificações técnicas dos sensores podem ser obtidas junto aos fabricantes nos seguintes endereços eletrônicos.

<http://www.kippzonen.com>

<http://www.eppleylab.com>

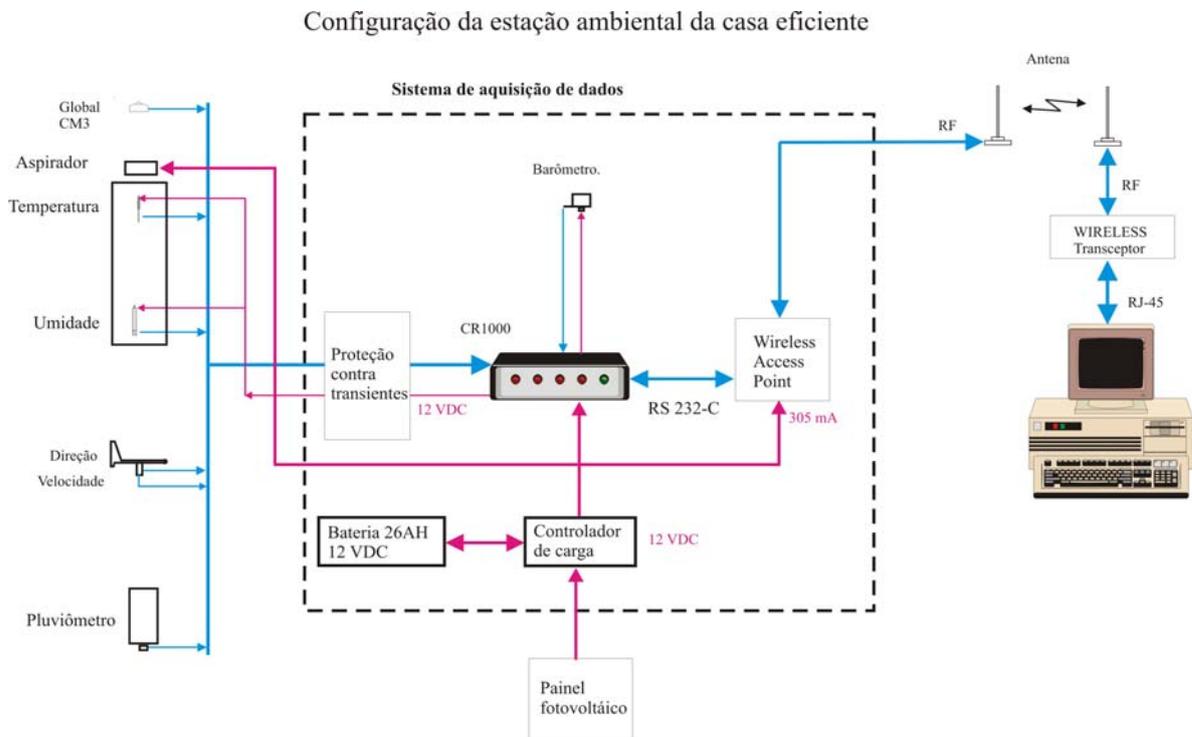
<http://www.rmyoung.com>

<http://www.campbellsci.com>

<sup>10</sup> ISO - International Standards Association.

<sup>11</sup> WMO - World Meteorological Organization ou OMM - Organização Mundial de Meteorologia.

WMO (2004). Para a Casa Eficiente, foi utilizado um piranômetro do tipo termopilha de segunda classe, segundo o manual do fabricante (Kipp&Zonen).



Eng. Sylvio L. Mantelli Neto 06/nov/2006

**Figura 6** - Esquema geral da estação de monitoramento ambiental da Casa Eficiente.

Um dos erros mais comuns com relação aos piranômetros é que estes sensores não devem ter o campo de visão obstruído além dos 5%. Por esta razão, o piranômetro foi colocado na parte alta da torre, livre das obstruções (árvores e prédios ao redor). Foi utilizado um suporte especial regulável, para evitar erros de nivelamento, decorrentes de desvios de prumo da torre (Figura 7 a). Uma solução similar foi adotada para o nivelamento do anemômetro (Figura 7 b). Já no caso dos sensores de temperatura e umidade, foi construído um abrigo ventilado para protegê-los de erros sistemáticos, causados pelo aquecimento resultante da incidência direta da radiação solar. Com relação ao pluviômetro, o mesmo foi colocado em um local o mais aberto possível, próximo da casa, para minimizar os efeitos das abstruções ao redor (Figura 7 c).



(a)

(b)

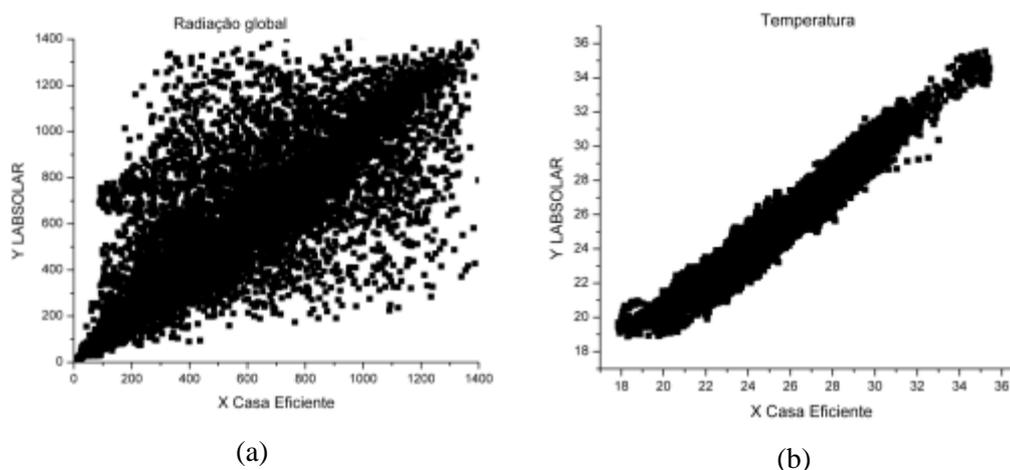
(c)

**Figura 7** - Instalação dos sensores: (a) piranômetro e (b) anemômetro no topo da torre de 10 m, ilustrando o sistema de nivelamento na base dos sensores e pluviômetro (c) instalado próximo a Casa Eficiente.

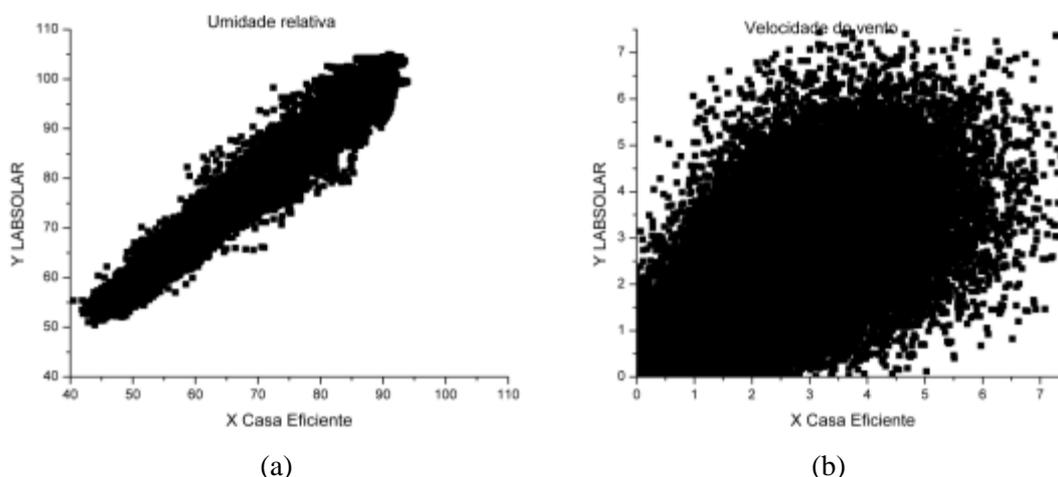
## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A estação de monitoramento ambiental encontra-se instalada desde novembro de 2007. Para uma avaliação preliminar dos dados registrados pela estação, optou-se pela utilização do mês de janeiro de 2008, comparando-os com os dados da estação mais próxima, pertencente ao LABSOLAR, localizada aproximadamente a 500 metros de distância da Casa Eficiente. Os dados preliminares foram coletados e separados através do programa LOGGNET/SPLIT V3.1.2, do fabricante do sistema de aquisição de dados<sup>12</sup>. Após a separação, os dados foram carregados no programa ORIGIN 7.0<sup>13</sup> e, posteriormente, a análise de correlação foi efetuada utilizando o pacote estatístico MINITAB 14<sup>14</sup>.

Foi utilizado somente um mês de dados. A análise comparativa entre as estações foi feita basicamente com gráficos de dispersão, demonstrando que existem algumas diferenças entre ambas. Os resultados obtidos na análise comparativa podem ser visualizados a seguir.



**Gráfico 1** - Coeficientes de correlação de Pearson obtidos nas análises comparativas entre os dados do LABSOLAR e da Casa Eficiente: (a) para Radiação Global = 0,955 e (b) para Temperatura = 0,9756.



**Gráfico 2** - Coeficientes de correlação de Pearson obtidos nas análises comparativas entre os dados do LABSOLAR e da Casa Eficiente: (a) para Umidade Relativa = 0,974 e (b) para Velocidade do Vento = 0,696.

<sup>12</sup> CAMPBELL SCIENTIFIC INC.

<sup>13</sup> ORIGIN LAB CORPORATION.

<sup>14</sup> MINITAB INC.

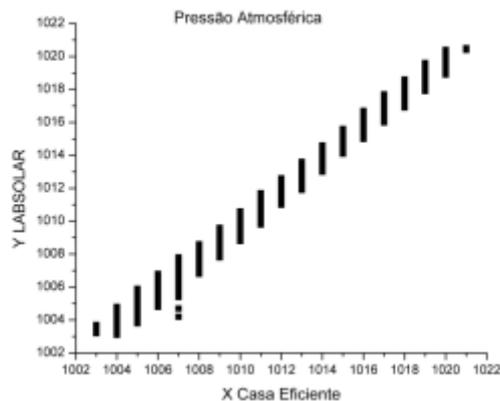


Gráfico 3 - Coeficiente de correlação de Pearson obtido na análise comparativa entre os dados do LABSOLAR e da Casa Eficiente para pressão atmosférica= 0,996.

A correlação de Pearson foi obtida através do *software* MINITAB 14 e indicou em todos os casos uma forte correlação dos dados entre as duas estações. Convém salientar que o mês escolhido para análise, janeiro 2008, foi atipicamente encoberto. Chuvas torrenciais na região de Florianópolis obrigaram vários municípios a decretar estado de calamidade pública por causa de enchentes (BERTOLINI, 2008). Observando-se o Gráfico 1 a, verifica-se a grande dispersão dos valores de radiação global entre as duas estações durante o mês de janeiro. A variabilidade na densidade da camada de nuvens e as diferenças de causa temporal e espacial entre as duas estações, mesmo estando próximas, podem justificar a diferença entre os dados, que é bem típica em condições de céu encoberto, já que as nuvens são o maior fator de modulação da radiação solar.

Os gráficos de temperatura e umidade também apresentaram diferenças entre as duas estações, devido à diferença de alocação dos sensores (Gráficos 1 b e 2 a). A estação da Casa Eficiente possui sensores colocados sobre um gramado, enquanto que a estação do LABSOLAR está localizada sobre edifício do bloco B, pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica. Desse modo, uma pequena diferença devido a erros sistemáticos é esperada, tanto para a temperatura, quanto para a umidade, neste caso. Para os dados de vento, a dispersão observada foi significativa (coeficiente de Pearson < 0,7), devido as grandes diferenças de alocação existente entre os dois anemômetros (Gráfico 2 b). Enquanto o anemômetro do LABSOLAR encontra-se em uma torre a 10 metros do topo de um edifício de três pavimentos, o sensor da Casa Eficiente encontra-se a 10 metros do solo. A turbulência causada pelos edifícios do entorno pode ser apontada como a grande causa da correlação menor entre as duas estações.

Por fim, o maior índice de correlação entre os dados ocorreu entre os dados de pressão atmosférica, onde as diferenças identificadas são praticamente resultantes das incertezas associadas aos erros inerentes às medições (Gráfico 3).

## 5 CONCLUSÕES

O presente artigo constitui-se em uma análise preliminar. Esta análise demonstrou que a correlação entre as duas estações comparadas é muito boa, tendo sido obtidos coeficientes de Pearson maiores que 0,95, com exceção dos valores de velocidade do ar, o que se justifica devido às diferenças entre os locais onde ambas as estações foram instaladas. Uma análise estatística mais detalhada será efetuada com base em um conjunto de dados maior, para confirmar as conclusões obtidas a partir do presente estudo preliminar.

## 6 REFERÊNCIAS

ELETROSUL, 2008. **Projeto Casa Eficiente**. <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente>. Acesso em: 19 fevereiro 2008.

LI-COR, INC. **Radiation Measurement Instruments Brochure: Kipp & Zonen CMP 11 series Brochure and instruction manual**. Doc# 980-06621 0604. Kipp & Zonen, 2004, p. 7.

MACIEL, A. A. ; ANDRADE, S. F. ; GUGEL, E. C. ; BATISTA, J. O. ; MARINOSKI, D. L. ; LAMBERTS, R. . Projeto Casa Eficiente: demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation n. 8**. 6 ed. WMO, 1996.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Update of technical plan for BSRN data management**. Technical report 2 v. 1.0. World Climate Research Program, World Radiation Monitoring Center, Baseline Surface Radiation Network. October 9, 1998.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **BSRN Operations Manual version 2.1**. World Climate research program. L. J. B. MacArthur, April 2004.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a ELETROBRÁS, PROCEL, ELETROSUL, pelo financiamento às atividades de pesquisa; ao LEPTEN-UFSC pela instalação dos equipamentos, em especial ao técnico Edevaldo pela montagem dos sensores; ao Prof. Saulo Güths e equipe do LMPT-EMC-UFSC pelo suporte técnico fundamental ao serviço de instrumentação da Casa Eficiente e ao LABSOLAR, pelo fornecimento dos dados da estação meteorológica para realização do presente estudo.