

## SOFTWARE PVSIZE – DESEMPEÑO EN SIMULACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

<sup>11</sup>Luis Horacio Vera y <sup>22</sup>Arno Krenzinger,

<sup>1</sup>Av. Las Heras n° 727, Resistencia, Chaco, Argentina, Teléfono: 0054-3722-420076, Email:

[lh\\_vera@yahoo.com.ar](mailto:lh_vera@yahoo.com.ar)

<sup>2</sup>Sarmiento Leite n° 425, Porto Alegre, (Rio Grande do Sul) Brasil, Telephone: 0055-51-3316-6841, Email:

[arno@mecanica.ufrgs.br](mailto:arno@mecanica.ufrgs.br)

### RESUMEN

En este trabajo se presenta el comportamiento de un programa computacional para dimensionar e simular sistemas fotovoltaicos autónomos, denominado PVSize, escrito en lenguaje de programación Visual Basic 5.0. PVSize es capaz de evaluar, para una cierta configuración, el número de baterías y módulos con su correspondiente riesgo de déficit de energía. El programa permite proyectar sistemas de abastecimiento de energía eléctrica para cargas en corriente continua y alterna, para lo que posee base de datos de módulos fotovoltaicos, baterías, controladores de carga, inversores, elementos de consumo, así como también genera datos horarios de radiación y temperatura a partir de valores medios mensuales de radiación solar y temperatura convirtiéndose en una herramienta importante para proyectar, dimensionar y estudiar sistemas fotovoltaicos autónomos. Resultados obtenidos a través de la simulación de diferentes instalaciones fueron comparados con resultados alcanzados por otros programas, de amplio reconocimiento en el área, obteniéndose valores y comportamientos similares.

PALABRAS CLAVES: Simulación, Sistemas Fotovoltaicos, Dimensionamiento.

### INTRODUCCIÓN

Entre las diferentes formas de utilización de energías renovables en el mundo, los sistemas fotovoltaicos se presentan como una alternativa promisoría, destacándose su alta confiabilidad, posibilidad de generación descentralizada (que da la posibilidad de instalar el generador junto a la carga), carácter modular (que facilita la instalación y manutención), ausencia de residuos, renovabilidad y, del punto de vista económico, una tendencia a la disminución de los precios con un aumento de la eficiencia. También resulta una opción interesante para el abastecimiento de energía eléctrica a consumidores que se encuentren distanciados de la red de distribución de energía (Marini J. e Rossi L., 2003).

A pesar de esta disminución en los costos, aún son elevados los valores invertidos para la implementación de estos sistemas, por lo que surge la necesidad de profundizar el conocimiento del comportamiento de estas instalaciones, obteniendo así sistemas más adecuados y confiables tanto técnica como económicamente. A través de simulación numérica es posible estimar el desempeño del sistema sobre diversas condiciones de funcionamiento. Además de esto, por medio del programa, es posible variar los parámetros del sistema y observar los efectos de esta variación, observación que, en tiempo real, podría corresponder al comportamiento de años. De esta forma se pueden proyectar sistemas lo más próximo posible a la realidad, evitando sobredimensionarlo para que no se torne dispendioso ni sub-dimensionarlo para evitar constantes faltas de energía.

Estos y otros factores llevan al desarrollo de programas computacionales que permitan estudiar, dimensionar y simular sistemas fotovoltaicos que, a través de ambientes computacionales amigables, son escritos con el objeto de que resulten de fácil utilización para usuarios no especializados. Estos *softwares* nacieron como una modificación de programas utilizados para simulaciones solares térmicas, y solo funcionaban en computadoras *mainframe* (Keating et al., 1991). Actualmente se encuentran en el mercado programas desarrollados por empresas, laboratorios o universidades, que permiten simular sistemas fotovoltaicos autónomos, conectados a la red y también sistemas híbridos (Knaupp, 2003).

### ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

Para el dimensionado y simulación de los sistemas, los elementos que conforman el mismo pueden ser divididos en una serie de bloques para su estudio individual (fig. 1). Cada bloque es representado a través de modelos matemáticos que simulan el comportamiento del componente en cuestión. Estos elementos integrados y aplicada la metodología de cálculo apropiada permiten obtener un programa completo para dimensionar y simular

La representación de un sistema real a través de un modelo matemático o lógico es una herramienta básica en los procesos de simulación, ya que permite describir, explicar y prever el comportamiento del sistema en diferentes condiciones de operación.

---

<sup>1</sup> Departamento de Ing. Mecánica, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE).

<sup>2</sup> Laboratório de Energia Solar, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Los componentes que fueron modelados para obtener el software son: módulo fotovoltaico, controlador de carga, batería, inversor, generador de datos horarios de radiación solar y temperatura ambiente, y una interfase amigable para definir los elementos de consumo con su perfil de carga correspondiente. Para cada componente se desarrolló una interfase intuitiva que permite acceder a una base de datos, que puede ser incrementada en el caso de no encontrarse el modelo deseado.

PVSize es un programa gratuito que puede ser obtenido entrando en la página del Laboratorio de Energía Solar de la UFRGS ([www.solar.ufrgs.br](http://www.solar.ufrgs.br)). Detalles de los modelos matemáticos utilizados, metodología integradora y capacidad aplicativa del *software* se encuentran en Vera (2004).

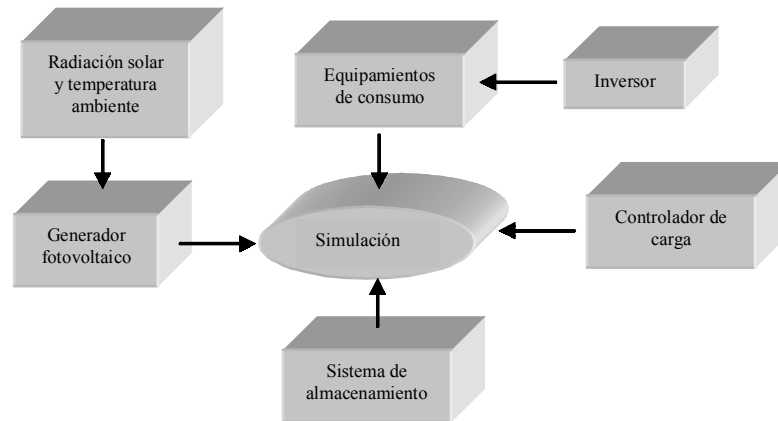


Figura 1. Bloques desarrollados e integrados para obtener PVSize.

## METODOLOGIA DE SIMULACIÓN

El método de simulación numérica se basa en balances energéticos para diferentes períodos de tiempo a lo largo de un número determinado de años, donde se hace un seguimiento del comportamiento del sistema, para calcular en función de la cantidad de módulos y de baterías la probabilidad que se produzca una falla (LLP, Loss of Load Probability). Esta probabilidad de falla o pérdida de carga está definida de dos formas: la primera (Narvarte y Lorenzo, 1996) como la relación entre el déficit y la demanda de energía durante el tiempo de funcionamiento de la instalación, y la segunda (Ibrahim, 1995) como la relación entre las horas en las que se presentaran estos déficits durante las horas de funcionamiento de la instalación (ecuación 1), esta última es utilizada en el programa para la simulación de un año meteorológico típico (TMY). Este método facilita la optimización energética de la instalación, permitiendo trabajar con el concepto de confiabilidad energética.

$$LLP = \frac{\text{Horas de falla}}{\text{Horas de funcionamiento}} \quad (1)$$

Debido a la importancia de determinar la influencia que tienen los diferentes intervalos de tiempo sobre los resultados finales, Notton et al. (1996), compararon el comportamiento de sistemas usando base de tiempos diarios y horarios, determinando una subestimación del área de los módulos para simulaciones diarias, y para un cambio del intervalo de tiempo de horas a minutos concluyen que no son significativas las variaciones en los valores de capacidad de almacenamiento. Basados en estos estudios el método de simulación numérica utilizada adopta valores horarios da radiación solar y perfiles de consumo, metodología que también es utilizada por otros autores (Klein y Beckman, 1987) y programas.

El programa realiza balances horarios de energía para calcular el estado de carga de la batería (EC), teniendo en cuenta la energía que entra en la batería debido a la radiación solar recibida por los módulos, y la que sale hasta los dispositivos de consumo. Este proceso también es afectado por el comportamiento de las baterías durante su carga y descarga. Los valores del EC son limitados en el intervalo entre 0,2 y 1. Si el EC alcanza un valor menor que 0,2, el controlador de carga cortará la entrega de energía a la carga, produciéndose entonces una falla, debido al déficit de energía en la instalación. Si el EC llega a valer 1, la batería no puede aprovechar la energía producida por el generador fotovoltaico debido a que se encuentra en su EC máximo. Estos dos valores límites son de fácil modificación.

Para realizar los balances, primeramente se debe determinar la energía generada (EG) por los módulos, que será inyectada en el banco de baterías. PVSize posee dos métodos para calcular la EG: el primero, denominado “método I<sub>max</sub>”, considera la corriente igual que la corriente del módulo en el punto de máxima potencia, corregida para la radiación del momento, y una tensión fija, el segundo, denominado “método I-V”, considera el valor de tensión y de corriente obtenidos a través de modelos matemáticos (Vera, 2004). El valor de la corriente en el punto de máxima potencia, en general, es menor que la corriente real de trabajo, pero muy próximos a los valores reales.

PVSize utiliza un método simplificado de dimensionamiento para hacer un cálculo previo del sistema y obtener una estimativa del número de módulos y de baterías antes de realizar la simulación. Este método también llamado de Intuitivo (Egido y Lorenzo, 1992), consiste en la realización de un balance de energía con valores medios mensuales, durante el mes

en el que ocurren las condiciones más desfavorables para la instalación. Se supone que si el sistema funciona en ese mes, funcionará también en los otros meses del año.

## RESULTADOS

Para verificar el comportamiento del programa en su conjunto, se optó por simular diferentes situaciones en varios lugares en el Brasil, y comparar los valores obtenidos con los resultados alcanzados por otros programas, desarrollados por entidades con renombre en el área.

Los programas utilizados para realizar esas comparaciones son PVSYSY (www.pvsyst.com.) y Homer (<http://analysis.nrel.gov/homer>). Homer es un *software* libre, con simulaciones en base horaria, posibilidades de amplias configuraciones de sistemas, y fue desarrollado por la National Renewable Energy Laboratory (NREL), organismo de amplio reconocimiento en el área. El programa PVSYSY permite la obtención, en base horaria durante un año, de diferentes parámetros de un sistema, y puede simular en modo de versión completa por un período de 10 días. PVSYSY también se encuentra en citaciones de trabajos de análisis de sistemas fotovoltaicos (Shaari, y Bowman., 1998, Spanos y Duckers, 2004), y su utilización es recomendada en el relatorio de la ETSU (1997).

### *Comparación de valores obtenidos con Pvsiz y otros Softwares*

Antes del análisis de los valores resultantes obtenidos de la simulación, se sinterizaron datos de radiación solar y temperatura mediante los programas PVSYSY y Homer, datos que luego fueron utilizados por PVSize para realizar una simulación comparativa. Este procedimiento fue utilizado debido a la aleatoriedad de los métodos para generar estos datos, ya que la comparación con datos de radiación diferentes sería imposible. Los gráficos que se muestran más adelante corresponden a un consumo constante anual de 150 Wh en la ciudad de Porto Alegre, con una potencia instalada de 1100 Wp y una capacidad de acumulación de 2900 Ah. El sistema fotovoltaico fue realizado con elementos de consumo de corriente continua. Los valores comparados son: tensión y EC de la batería, así como la EG.

### *Tensión de la batería*

La Figura 2 muestra la variación de tensión en la batería a lo largo de un año de simulación obtenido con PVSize, y la tensión obtenida por medio del programa PVSYSY. Esta comparación no fue posible con Homer debido a que en su simulación no se calcula el mencionado parámetro. Para la obtención de estos valores fueron realizadas simulaciones, recibiendo como datos de entrada idénticos valores de radiación solar, temperatura ambiente y perfil de carga del sistema para un año. A seguir se verificó un comportamiento afín para sistemas con diferentes números de baterías, módulos y perfiles de carga.

La divergencia entre la curva simulada por medio de PVSize y por PVSYSY se justifica debido a que el modelo que ocupa PVSYSY trabaja con tensiones de reposo y tasas de carga y descarga menores que las utilizadas en el modelo empleado por PVSize, obteniéndose en la batería valores de tensiones de trabajo de menores magnitudes. En la figura 2 se puede observar que el comportamiento de ambas curvas es similar.

Fueron observados picos de tensión en el perfil de la curva de PVSYSY, que corresponderían al comportamiento de la batería para estado de sobre carga y sobre descarga, estados que no son contemplados en el programa PVSize.

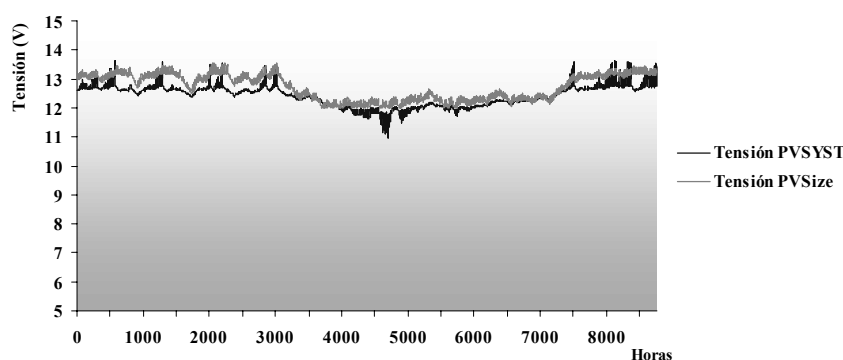


Figura 2. Variación de tensión en la batería, obtenidas de la simulación de PVSize y PVSYSY.

### *Energía generada*

En las Figuras 3 y 4 se ven los valores de la EG por los módulos fotovoltaicos a través de una simulación anual utilizando los métodos I<sub>max</sub> e I-V, y los valores de EG obtenidos empleando PVSYSY y Homer. Analizando los resultados se percibe que el método I-V produce valores mayores en relación al método I<sub>max</sub>, pero más próximos a los obtenidos por los otros programas.

Con los valores obtenidos, se calculan las diferencias cuadráticas medias, alcanzando como máximo valores de la orden de 20% en relación al PVSYSY y de 12% para Homer, utilizando el método I<sub>max</sub>. De igual manera, fue hecha esta comparación

utilizando el método I-V, obteniéndose como máximo valores de la orden de 3% en relación al PVSYST y de 14% para Homer. Se puede observar que el acompañamiento del perfil de las curvas es similar.

Para una mejor visualización del comportamiento fueron ampliados 3 días de simulación

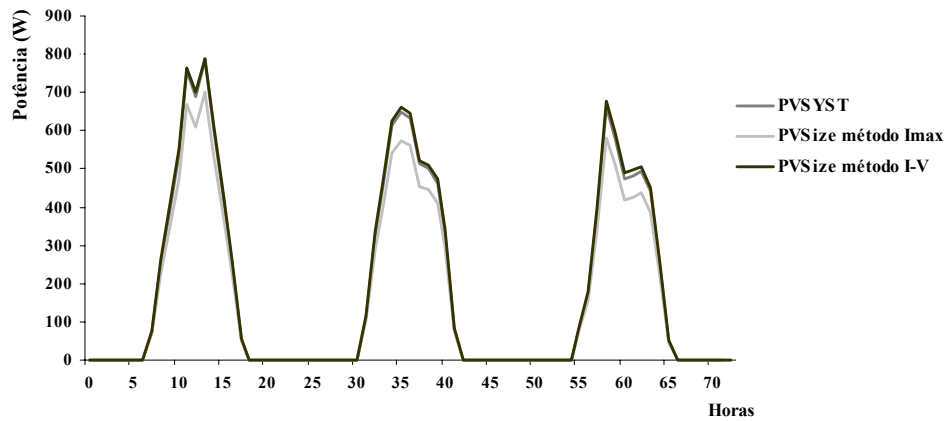


Figura 3. Potencia generada por PVSise y por PVSYST.

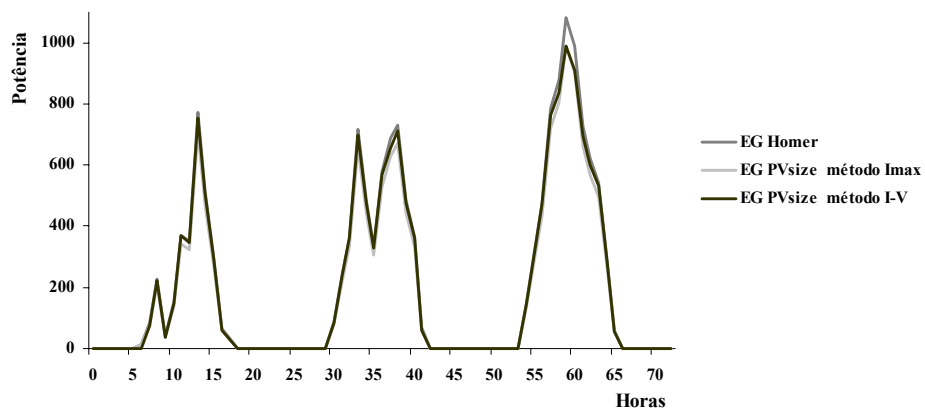


Figura 4. Potencia generada por PVSise y por Homer.

Estas situaciones fueron repetidas para diferentes sistemas, manteniéndose las características generales del comportamiento antes presentado.

#### *Estado de carga de la batería*

La variación del EC de la batería, después de una simulación, utilizando el método Imax y método I-V muestran que el último, produce un EC mas elevado, y que, conforme al tamaño de la instalación, llega a ser del 15 % como máximo. Con los valores obtenidos por PVSise, utilizando el método Imax, PVSYST y Homer, son calculadas las diferencias cuadráticas medias, alcanzando valores máximos de la orden de 5 % en relación a PVSYST y de 4% para Homer. De la misma manera fue hecha la comparación utilizando el método I-V, alcanzando valores máximos de la orden de 15 % en relación al PVSYST y de 12% para Homer.

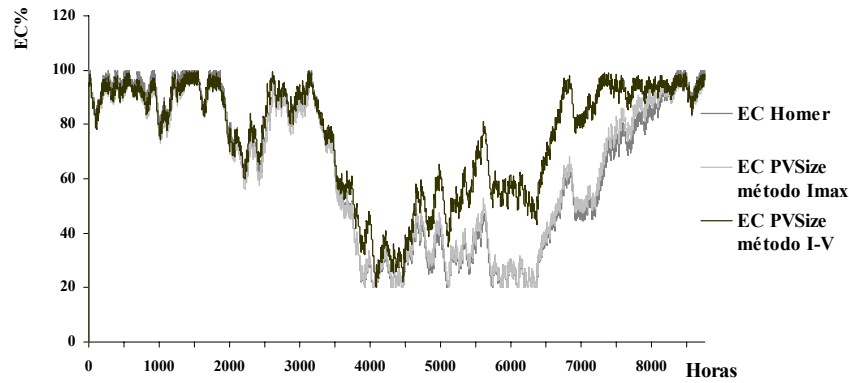


Figura 5. EC del sistema de acumulación obtenido con PVSsize y Homer.

También se determinó que las diferencias cuadráticas medias para los valores medios anuales de EC, disminuyen para valores elevados o bajos.

El análisis del EC fue repetido para diferentes sistemas, esto hace referencia a sistemas con otras capacidades de generación, acumulación y elementos de consumo, manteniéndose las características generales del comportamiento que se presentan en las figuras 5 y 6.

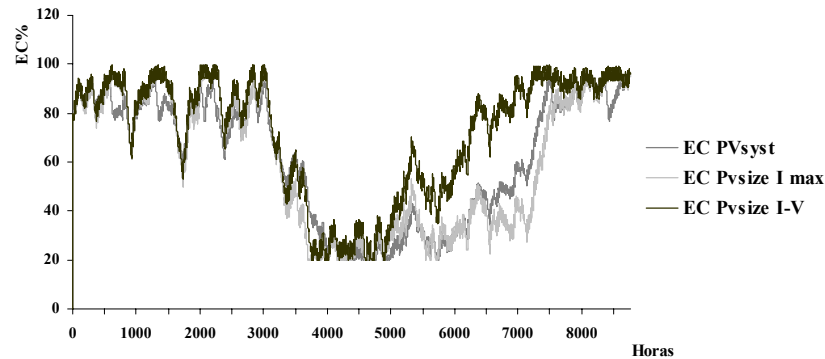


Figura 6. EC del sistema de acumulación obtenido con PVSsize y PVSYST.

Los valores de EC obtenidos por el método Imax son más próximos a los obtenidos por otros programas computacionales. Este hecho se atribuye a las pérdidas o coeficientes de seguridad que estos programas computacionales establecen para el cálculo, los que no son considerados en el método I-V.

Uno de los inconvenientes encontrados en la comparación con otros programas fue, por ejemplo, que Homer posee un “*Derating Factor*” que es un factor de escala aplicado a la potencia de salida del generador fotovoltaico, que tiene en cuenta pérdidas, que son ocasionadas por elevadas temperaturas de los módulos, diferentes tensiones de operación y suciedad en los módulos, que asociadas provocan una disminución de la potencia en la salida de los módulos.

Este factor es dejado al criterio del usuario, que debe saber que es un factor del cual depende la energía que será entregada al sistema. Para las comparaciones que fueron realizadas, se utilizó un *Derating Factor* de 80 %. Este valor fue escogido teniendo en cuenta las posibles pérdidas que los sistemas presentan, conforme los estudios efectuados por Kurokawua. (1998).

## CONCLUSIONES

Este trabajo tuvo como objetivo central mostrar el desarrollo, realizado en el Laboratorio de Energía Solar da UFRGS, de una herramienta de fácil utilización que auxilie tanto en el dimensionamiento como en la simulación de sistemas fotovoltaicos autónomos. El programa permite seleccionar los diferentes elementos que componen la instalación, o modificar parámetros de los mismos, además de proveer resultados anuales que pueden ser observados a través de un entorno gráfico con múltiples herramientas de visualización, o ser guardados para luego trabajar con estos datos. El programa fue concebido con modelos matemáticos conocidos y validados.

Los resultados simulados se aproximaron en gran medida a los resultados producidos por otros programas, demostrando la eficacia de los modelos empleados y la utilidad integradora de la herramienta computacional para la simulación de sistemas fotovoltaicos.

En el futuro PVSize incorporará una serie de módulos que permitirán un análisis económico, rutinas y modelos matemáticos que permitan proyectar sistemas en cualquier localidad del mundo, y una prolongación del tiempo de simulación a 10 años, lo que permitirá obtener el comportamiento del sistema no solo para un año típico meteorológico (TMY) y ponderar los efectos de envejecimiento de las baterías.

## REFERENCIAS

- Egido M. y Lorenzo E. (1992), "The Sizing of Stand Alone PV-Systems: a Review and a Proposed New Method". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, nº 26, pp 51–69.
- ETSU, (1997), A survey of design tools. Studio E Architects Ltd. Photovoltaics in Buildings. Report No. S/P2/00289/REP, ETSU for DTI, UK;. pp. 4, 12, 15–16, 18–19.
- Keating, L. Mayer, D., McCarthy, S., Wrixon. G. T., (1991). "Concerted Action on Computer Modeling and Simulation", Tenth E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisboa, Portugal.
- Klein, S. A. y Beckman W. A (1987), "Loos-of-Load Probabilities for Stand-Alone Photovoltaic System", *Solar Energy*, Vol 39, Nº 6, pp. 499-512
- Knaupp, W (2003), "Optimizing System Planning", Photon International, vol 9.
- Kurokawa, K. (1998) "Realistic Values of Various Parameters for PV System Design", *Renewable Energy*, Vol 15, pp. 157-164.
- Ibrahim O. E. (1995), Sizing Stand-Alone Photovoltaic Systems for Various Locations in Sudan. *Applied Energy*, 52, 133-140.
- Marini, J. A. y Rossi, L. A., (2003), "Suprimento de Eletricidade por Meio de Paineis Fotovoltaicos: Programa Computacional para Dimensionamento", V Congresso Latino-Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica (Clagtee), São Paulo.
- Narvarte, L. y Lorenzo, E., (1996), "On de Sizing of Solar Home Systems", EUROSUN'96, Freiburg, Germany.
- Notton G. Muselli, M. Poggi P. y Louche, A. (1996). Autonomous photovoltaic systems: Influences of some parameters on the sizing: Simulation timestep, input and output power profile". *Renewable Energy*, Vol 7, nº 4, 353-369.
- Shaari, S., y Bowman, N., (1998) "Photovoltaic in buildings: A case study for rural England and Malaysia", *Renewable Energy*, Vol 15, pp.558-561.
- Spanos, I., y Duckers, L., (2004), "Expected cost benefits of building-integrated PVs in UK, Through a quantitative economic analysis of PVs in connectin wiyh buildings, focused on UK and Greece", *Renewable Energy*, Vol 29, pp.1289-1303.
- Vera, L.H. (2004). "Programa para Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

## ABSTRACT

A computer program for sizing and simulation of autonomous photovoltaic systems was developed within the scope of this work. This software was written in Visual Basic 5.0 and was named *PVSize*. The software estimates, for a certain system configuration, the necessary number of batteries and modules with the associated risk of energy deficit. *PVSize* uses a database for selection of the components of the system, and generates series of hourly solar radiation and temperature data. The program allows to design photovoltaic electricity generation systems to supply loads in direct and alternating current, becoming an important tool for studying, designing and sizing photovoltaic autonomous systems.

KEYWORDS: Simulation, Photovoltaic System, Sizing.