SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MEDIDA DA RADIAÇÃO SOLAR – DataRad

Waldeir Amaral Vilela - waldeir@las.inpe.br
Antonio Fernando Beloto - beloto@las.inpe.br
Luiz Angelo Berni – berni@las.inpe.br
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Laboratório de Sensores e Materiais-LAS
Célio Costa Vaz - orbital@bighost.com.br
Orbital Engenharia Ltda

Resumo.
Sistemas de aquisição de dados são dispositivos indispensáveis no processo de medidas de radiação solar. Neste trabalho é apresentado um dispositivo de aquisição de dados denominado DataRad, que foi desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar do LAS/INPE especialmente para atender as necessidades de engenheiros e pesquisadores da área de energia solar. O dispositivo desenvolvido é um *datalogger* dedicado, de 12 bits com cinco Mbyte de memória, capaz de adquirir e armazenar dados simultaneamente de quatro radiômetros e dois termopares, durante mais de um ano na menor periodicidade, que é a aquisição de uma medida de cada sensor por minuto, considerando-se 16 horas de aquisição por dia. Os sinais de cada transdutor é amostrado e calculada a média de 30 medidas, então esta média é convertida em valores e unidades adequadas a grandeza que está sendo medida e armazenado na memória. Os dados que são enviados para memória também podem ser simultaneamente apresentados no mostrador digital do dispositivo ou enviados ao microcomputador.

1. INTRODUÇÃO

Um dos elementos estratégicos no estudo e aproveitamento da energia solar no Brasil é o domínio da tecnologia de aquisição automática de dados. A grande dificuldade enfrentada para realizar aquisição de dados de radiação solar em campo é, além dos altos custos dos equipamentos devido à necessidade de importação, a ausência de um dispositivo que seja prático de usar e forneça dados que não exijam grandes manipulações matemáticas para serem utilizados. O DataRad é um dispositivo eletrônico de aquisição e armazenamento de dados, desenvolvido pelo LAS/INPE, que foi concebido especialmente para atender a demanda de mercado e ser uma alternativa aos engenheiros e pesquisadores da área de energia solar que necessitam de um sistema para medida e monitoramento de radiação solar em campo. Este dispositivo é um "datalogger" dedicado à medida da radiação solar, mas também possui flexibilidade para monitorar outras grandezas físicas que possam ser de interesse como temperatura, velocidade do vento, umidade e outras. Ele possui uma série de características que o torna o instrumento ideal para o levantamento de dados de radiação solar e ambientais em regiões remotas, onde não se dispõem de energia elétrica e sistemas de comunicação. É um instrumento simples de usar, compacto, porém robusto o suficiente para o trabalho em campo, possui grande capacidade de armazenamento de dados, baixo consumo de energia podendo operar com baterias por longos períodos e capacidade de suportar as intempéries de operação em campo. Acoplado a um sistema de alimentação por painéis solares e a um transmissor UHF que seja capaz de transmitir dados ou a qualquer outro sistema “wireless”, por exemplo, este sistema pode operar em campo sem assistência, realizando funções equivalentes a uma pequena plataforma de coleta de dados ambientais.

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho foi a metodologia comumente utilizada no INPE nos projetos de satélites e de outros componentes de aplicações espaciais e que também já havia sido aplicada no desenvolvimento de radiômetros solares pelo grupo de células solares do LAS/INPE. Embora esta metodologia possua critérios rígidos de avaliação e exigências no cumprimento de prazos e metas, neste projeto ela foi adaptada e aplicada com certo grau de flexibilidade, necessário para que não impedisse a criatividade que é tão necessária em trabalhos de pesquisa cientifica. Esta metodologia consiste basicamente numa técnica de gerenciamento de projeto onde o objetivo final é previamente estabelecido e um plano de metas e atividades é criado para atingi-lo. Na metodologia utilizada, o projeto nasceu com a concepção do produto que foi definido a partir das especificações feitas com auxilio de uma intensa pesquisa de produto similares no mercado e através de sugestões de uma equipe de especialista e colaboradores. As especificações também estão conforme as recomendações da Organização Meteorológica Mundial – OMM, (WMO, 2008) cujos limites das faixas de trabalho dependem das condições climatológicas locais para cada variável, no caso considerou as condições nacionais. As especificações serviram como critério de qualificação do dispositivo e da instrumentação utilizada nos testes, principalmente para os testes de medição da radiação solar. A partir da especificação do produto foi elaborado o plano de metas para o desenvolvimento deste produto.

2. DESCRIÇÃO DO DataRad

O DataRad é um *datalogger* dedicado com resolução de 12 bits que possui seis entradas analógicas para a conexão de transdutores, sendo quatro entradas para transdutores do tipo radiômetros ou similar e duas entradas para termopares. Ele é capaz de periodicamente amostrar, adquirir, condicionar, digitalizar e armazenar os sinais provenientes dos transdutores. Estes sinais são amostrados e uma média de 30 medidas é convertida em valores e unidades adequadas a grandeza que está sendo medida, podendo ser apresentadas em tempo real no mostrador digital do próprio dispositivo ou em um microcomputador, através de comunicação via interface do tipo USB ("Universal Serial Bus") ao mesmo tempo em que são armazenadas na memória do próprio dispositivo. Os dados armazenados no dispositivo podem posteriormente serem transferidos diretamente para um microcomputador ou a um dispositivo de armazenamento de dados como, por exemplo, uma memória *flash* (pen drive). O dispositivo possui diversos parâmetros, que são ajustáveis tanto em modo local, via teclado do próprio dispositivo, como de forma remota, via interface USB, conectada a um microcomputador. Os parâmetros ajustáveis são:

- Identificação do tipo de Radiômetro
- Escalas de medição
- Constante de calibração, conforme as características dos radiômetros.
- Período de Varredura ou Taxa de Aquisição (1 min, 5 min, 10 min).
- Data no formato dd/mm/aa
- Hora no formato hh:mm:ss
- Período de aquisição (início e fim diário de aquisição no formato hh:mm:ss)

Os radiômetros são identificados como alguns tipos pré-estabelecidos como, radiômetro global, radiômetro PAR, Saldo radiômetro. O DataRad possui sete escalas para medições, que foram dimensionadas para permitir a conexão dos principais transdutores disponíveis no mercado

As medidas de intensidade da irradiação solar são apresentadas com as unidades em mW/cm², µmol/m²s e para o caso de usar outro tipo de transdutor a unidade é o mV e as medidas de temperatura são apresentadas em ºC.

2.1 ARQUITETURA

O DataRad é composto basicamente por uma interface para sensores, uma unidade micro-controlada, um conjunto de teclas para programação, um mostrador digital e uma interface de comunicação, conforme representado no diagrama de blocos da Fig. 1.

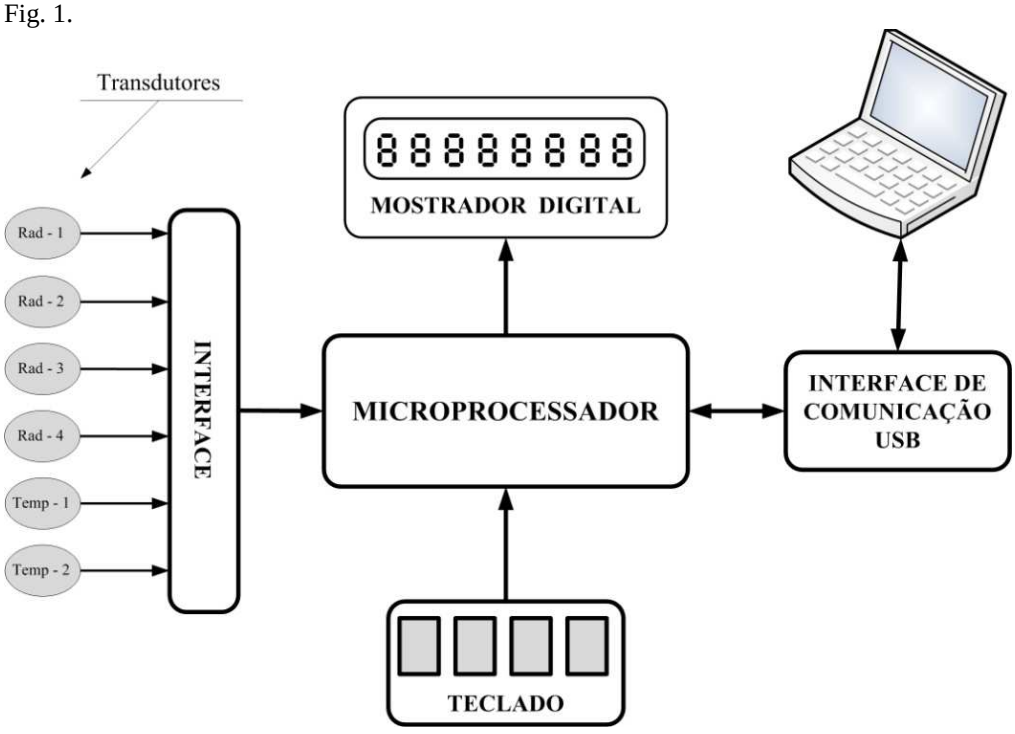

Figura 1 - Diagrama de blocos do dispositivo de aquisição de dados para radiômetro (DataRad).

A interface para os transdutores são circuitos condicionadores que foram desenvolvidos para permitir a conexão de até quatro transdutores de radiação solar ou qualquer outro transdutor que tenha em sua saída dentro da faixa de operação do dispositivo. Esta interface permite também a conexão de até dois termopares tipo T na faixa de -20ºC até

+80ºC e com compensação de junção fria. As saídas dos amplificadores de instrumentação são ligadas ao circuito integrado do microcontrolador através das entradas do multiplexador analógico e do conversor analógico-digital de 12 bits. Ela permite operação nas escalas de 5 mV, 10 mV, 20 mV, 50 mV, 100 mV, 200 mV e 500 mV. (1)

A unidade microcontrolada tem a função de executar o software interno, de armazenar as medidas e de controlar os demais periféricos. É constituída basicamente por um microprocessador, um contador de endereço, uma memória de dados de 2 Mbytes tipo Flash EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) e um gerador de data e hora do tipo RTC - *(Real Time Clock).* O microcontrolador contém toda a lógica de processamento, portas de entrada e saída, memória de programa e memória de parâmetros. Ele recebe do teclado externo os parâmetros ajustáveis e os armazena na memória de parâmetros, recebe também o comando para enviar os dados a uma unidade de gravação externa como, por exemplo, um *pen drive* que esteja conectado à interface USB tipo *host*. Ele pode também receber os comandos de um microcomputador tipo pessoal via interface USB tipo *device* e lhe enviar os parâmetros ajustáveis e as medidas armazenadas ou adquiridas em tempo real.
As principais características do microcontrolador utilizado são:

- Processador RISC de 16 bits e de baixo consumo
- Freqüência de operação: 8 MHz
- Memória de programa: 48 Kbytes
- Memória de parâmetros: 10 Kbytes
- Conversor AD de 12 bits
- Nove entradas analógicas
- Duas interfaces seriais USART
- Até 48 pinos de entrada / saída
- Relógio interno (RTC - “Real Time Clock”)

A capacidade da memória de dados foi dimensionada tendo por base uma periodicidade de aquisição de 5 minutos e uma autonomia de 13 meses (396 dias). Das 24 horas do dia consideraram-se 16 horas iluminadas e 8 horas escuras. Portanto o DataRad poderá ser programado para fazer medidas das 04:00 até as 20:00 horas e permanecer em estado de espera das 20:01 até as 03:59 horas. Nesta condição, que seria a mais crítica em termos de memória, serão realizadas 192 varreduras por dia e 76.032 varreduras no período de 396 dias. A cada varredura deverão ser armazenados 16 bytes, uma vez que as medidas serão armazenadas já calculadas em unidade de medida e convertidas. Isso significa que, por hora serão armazenados 194 bytes, por dia serão armazenados 3.107 bytes e no período de 396 dias serão necessários 1.230.372 bytes.

O DataRad possui um mostrador digital que é constituído basicamente por um “display” padrão de cristal líquido de duas linhas com dezesseis caracteres cada. Ele tem a função de auxiliar o operador do sistema no ajuste dos parâmetros de operação. Para cada passo de definição de parâmetro é apresentado no mostrador qual o parâmetro que está sendo modificado e qual o valor inserido pelo teclado. Além de auxiliar na programação dos parâmetros, o mostrador digital, quando solicitado pelo usuário, pode também apresentar os resultados das medidas em tempo real, sendo que a cada 1/6 do período de varredura, a medida referente a um dos sensores é apresentada.
O programa interno do microprocessador do DataRad propicia o controle de todas as partes constituintes do dispositivo, bem como a comunicação com o computador tipo PC e com o pen drive. Ele foi desenvolvido em linguagem própria do microcontrolador e na sua concepção foi elaborado um conjunto de diagramas de fluxo de dados, empregando a metodologia de Ward-Mellor, proporcionando uma análise funcional simples, porém bastante concisa. Na fig. 2 é mostrado um foto do DataRad

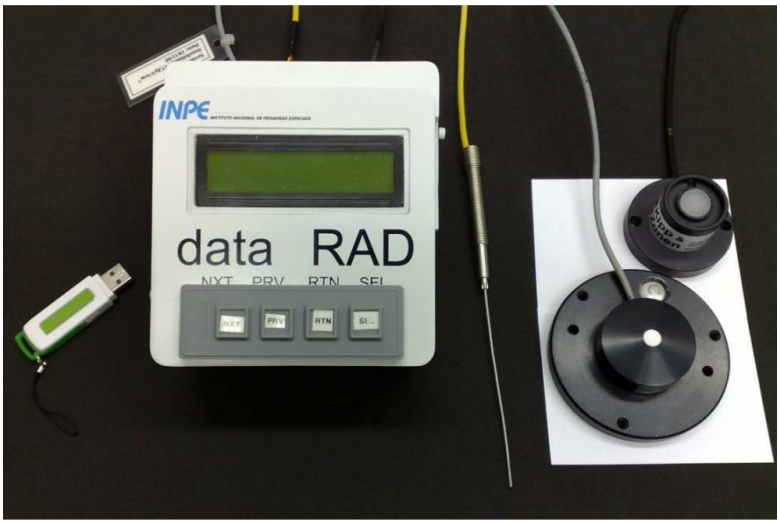

Figura 2 Foto do sistema de aquisição dados (DataRad) desenvolvido no LAS/INPE

2.2 Operação do DataRad

A operação do DataRad é simples, ele foi concebido para ser operado por qualquer pessoa, não exigindo nenhuma qualificação especial além de um rápido treinamento de operar o dispositivo. Basicamente a operação do sistema consiste em conectar os sensores e fornecer os parâmetros de operação do sistema. O dataRad possui quatro modos de operação: o modo de definição de parâmetros; o modo medidas e os modos de comunicação com microcomputador PC (modo *device*) e de comunicação com *pen drive* (modo *host*). Ao ligar o dispositivo, ele já se encontra no modo de definição de parâmetros, estado este no qual não realiza medidas e aguarda que o usuário defina os parâmetros ajustáveis através do teclado ou através de um computador via interface USB. Através de um comando SEL (seleção), ele entra no modo medidas. Para entrar no modo de comunicação USB, para comunicação com o pen drive, o DataRad deve receber um comando (CMD) do teclado da unidade microcontrolada. Uma vez iniciada esta comunicação, operando em modo *host*, a comunicação com o computador tipo PC é inibida. O DataRad só volta ao modo de medidas, habilitando novamente a comunicação com o microcomputador quando a transferência de dados for concluída. Para entrar no modo de comunicação com o microcomputador, o RAD deve receber um comando deste. Uma vez iniciada esta comunicação, operando em modo device, a comunicação com o pen drive é inibida. O RAD só volta ao modo de medidas, habilitando novamente a comunicação com o *pen drive*, quando a transferência de dados for concluída ou a comunicação cancelada.

2.3 Interface homem-máquina

Para ajustar remotamente os parâmetros de operação do DataRad, bem como para solicitar as medidas adquiridas, foi desenvolvido um programa específico para o DataRad, com uma interface visual de comunicação homem-máquina fácil de ser utilizada que permita programar os parâmetros ajustáveis de forma análoga ao teclado do dispositivo, bem como de descarregar as medidas gravadas ou visualizar em tempo real os sinais medidos.
Esta interface é composta por um conjunto de telas e é executada em um microcomputador do tipo PC utilizando a plataforma Windows. A tela principal é composta por um conjunto de campos para a definição de todos os parâmetros ajustáveis previstos e oito botões, conforme é mostrado na Fig. 3. Alguns campos são próprios para digitar o valor desejado, como é o caso de data, horário, constantes de calibração, início diário de aquisição e fim diário de aquisição. Já outros campos são do tipo caixa de seleção, como é o caso escala, período de varredura e tipo de transdutor. Os botões são para realização de várias atividades relacionadas a interface. O botão "ler parâmetros" resulta no envio do comando que solicita a demonstração na tela dos parâmetros que estão ajustados no dispositivo. O botão "Receber Medidas" resulta no envio do comando solicitar dados ao dispositivo que então apresenta na tela os dados medidos no monitor do micro. Estes dados são apresentados na forma de tabela que é automaticamente aberta no programa Excell do Windows Office.

Figura 3 - Tela Principal

Ao acionar o botão "Enviar Parâmetros" os parâmetros ajustados na tela são enviados ao DataRad substituindo os parâmetros anteriormente ajustados. Ao definir o "Início diário de aquisição", o "Fim diário de aquisição" será automaticamente definido como o horário de início mais 16 horas, mas poderá ser alterado pelo usuário para qualquer outro horário de término. Para um funcionamento continuo é necessário colocar um valor ligeiramente menor que o horário de início como fim diário da aquisição, assim o dispositivo irá desligar e reiniciará imediatamente podendo

gastar menos de um minuto par essa operação. O botão "Parar Medidas" coloca o DataRad no modo definir parâmetros, o que faz com que o dispositivo paralise as medidas. Com as medidas paralisadas, o botão “Parar Medidas” modifica tornando-se o botão “Iniciar Medidas”. O botão "Ler/Exportar dados pen drive" permite transferir todo o conteúdo da memória de dados do DataRad para uma unidade externa de gravação que pode ser um pen drive, um gravador de CD ou DVD ou qualquer outro dispositivo até mesmo um sistema de transmissão de dados sem fio. O botão "Alterar Porta Serial" deve ser utilizado para selecionar a porta de comunicação do micro em que o dispositivo foi conectado. Esta função é importante principalmente quando se tem mais de um dispositivo conectado ao mesmo computador. O botão "Tempo Real" quando acionado e se o dispositivo estiver adquirindo dados irá mostrar uma outra tela no monitor. Esta tela permite visualizar os valores adquiridos pelo dispositivo em tempo em tempo real. Na fig. 4 é mostrada uma imagem desta tela.

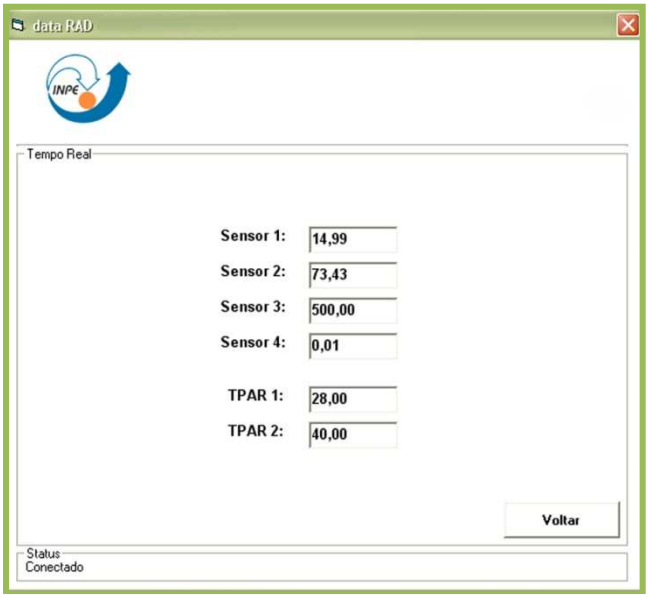

Figura 4 - Tela que mostra os dados adquiridos em tempo real.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para qualificação do dispositivo DataRad foram realizados uma série de testes no protótipo utilizando a metodologia previamente determinada pelo plano de desenvolvimento e teste. Foram realizados testes em bancadas utilizando fontes de tensão e décadas de resistores de precisão para simular os mais diversos tipos de sensores que poderão ser conectados no dispositivo e para testar também as diversas escalas de tensão em que o dispositivo pode operar. Realizaram-se testes funcionais do dispositivo onde se testou a comunicação com micro, envios e leitura de parâmetro, transferência do conteúdo da memória para “pen drive”, visualização dos valores adquiridos pelo dispositivo em tempo real e teste de início e término do período de aquisição de dados. Testes de aquisição de dados foram realizados em situações reais utilizando radiômetros importados, radiômetros desenvolvidos no próprio LAS/INPE e termopares do tipo T. Várias medidas de irradiação solar em dias de céu claro e em dias nublados foram adquiridas pelo dispositivo. Os radiômetros utilizados nestes testes foram devidamente calibrados, sendo que os radiômetros importados foram adquirido com certificados de calibração e o radiômetros desenvolvidos no INPE, que utilizam como elemento sensor uma célula de silício monocristalino, (Vilela, et AL.,2008), foram “calibrados” por comparação com um piranômetro padrão, marca Kipp & Zonen, modelo CM 22, com rastreabilidade ao PMO/WRC (*Physikalisch-Meteorologische Observatorium / World Reference Center*) Davos, Suiça.

A verificação do sistema foi realizada por comparação com termopares, fontes e multímetros de precisão compatível com a resolução do DataRad. Hoje não é possível no Brasil, a calibração de dispositivos de aquisição de dados "*datalogger*", que mede tensão DC/AC ou corrente DC/AC. Na NIT-DICLA-012 não consta "*datalogger* - coletores de dados" (Santana, et al., 2008). Uma verificação precisa do dispositivo deverá ser realizada em breve, no INPE que possui laboratório devidamente acreditado pelo INMETRO para calibração de medidas elétricas (INMETRO, 2007).

Atualmente o DataRad encontra-se em testes para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Ele foi instalado no laboratório de Energia Solar do LAS/INPE a pouco mais de um mês e está realizando ininterruptamente aquisições diárias de dados de irradiação solar através de dois radiômetros, das seis às dezoito horas. Na figura 5 é mostrado uma curva referente aos dados de radiação solar adquirido pelo DataRad utilizando sensor fotovoltaico desenvolvido no LAS/INPE ao longo de um dia com céu aberto com poucas nuvens e com taxa de uma aquisição a cada cinco minutos. Na figura 6 é mostrada a aquisição nas mesmas condições para um dia com muitas nuvens.

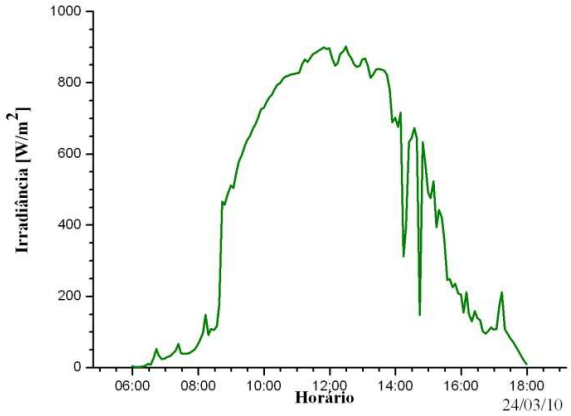

Figura 5 Irradiância medida no dia 24/03/10

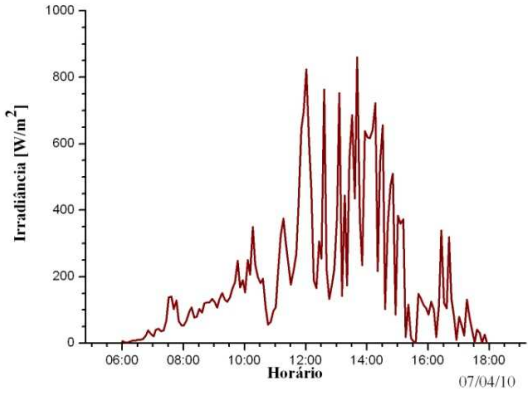

Figura 6 Irradiância medida no dia 07/04/10

4 CONCLUSÃO

O DataRad associado aos radiômetros fotovoltaicos desenvolvido no LAS/INPE é uma alternativa em termos de custo e praticidade que deverá ser oferecida a curto prazo no mercado nacional (Vilela, et AL., 2008). O desenvolvimento deste projeto teve como objetivo principal o domínio nacional da tecnologia de aquisição automática de dados voltados principalmente para o setor da energia solar. Porém, por apresentar flexibilidade no uso de diversos tipos de sensores, vislumbra-se a utilização deste dispositivo em outras aplicações como, por exemplo, no monitoramento de outros dados ambientais de interesse como fonte de energias alternativas, tais como velocidade do vento, vazão de rios etc.

Baixo consumo de energia, grande capacidade de memória e a alta precisão do dispositivo, foram os principais quesitos no desenvolvimento deste dispositivo e graças ao uso da metodologia aplicada no desenvolvimento deste projeto, obteve-se uma documentação consistente que permitirá a total transferência da tecnologia ao setor privado.

Os resultados preliminares dos testes realizados no protótipo mostraram que seu desempenho é compatível com os dispositivos similares importados. Algumas melhorias poderão ser implementadas no caso de uma nova versão deste dispositivo, principalmente no que diz respeito à Interface Homem-Máquina. Os resultados de medidas realizadas em longo prazo, como as que estão sendo realizadas no Laboratório de Energia Solar do LAS/INPE atualmente, permitirão uma melhor avaliação do dispositivo, principalmente no que diz respeito à estabilidade do sistema.

Medidas de irradiação solar feitas no LAS/INPE com o DataRad comparadas com medidas feitas nas mesmas condições e mesmos sensores com outro dispositivo de aquisição de dados semelhante e importado (marca Fourier, modelo DaqPro -5300 de 16 bits) apresentam semelhantes resultados e desempenho dos dispositivos.

REFERÊNCIAS

World Meteorological Organization. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.* 2008. seventh edition.

Vilela, Waldeir Amaral, et al. *Célula Solar de Silício como Elemento Sensor para Medidas da Radiação Solar Global.* II Congresso Brasileiro de Energia e III Conferência Regional Latino - Americana da ISES. 18 a 21 de novembro de 2008; Florianópolis – SC

INMETRO. "Norma n° NIT-DICLA-012 – Relação padronizada de serviços de calibração acreditados - rev. n° 9. Abril 2007

Santana, Márcio Antonio Aparecido, et al. *Rastreabilidade Metrológica e os Critérios de Aceitação para a Instrumentação **A**mbiental.* ENQUALAB-2008 - *Congresso da Qualidade em Metrologia Rede Metrológica do Estado de São Paulo – REMESP 09 a 12 de junho de 2008, São Paulo* – SP.

***Key words**:* Solar Energy, Data Acquisition Systems, Solar Radiation, Radiometer.

Abstract. *Data acquisition systems are essential devices used to collect information of solar radiation measurements. This work presents a data acquisition system named DataRad, which was developed at INPE (National Institute for Space Research) in the Associate Laboratory of Sensors and Materials (LAS) especially to meet the needs of engineers and researchers from the solar energy area. The device is a dedicated datalogger of 12bits with memory of 5Mbytes, capable of simultaneously acquiring and storing data from four radiometers and two thermocouples for more than one year. One measurement is performed for each sensor per minute, taking into consideration 16 hours of acquisition per day. The transducer signals are collected and an average calculated for 30 measurements. The result is converted into appropriate units that are measured and then stored in the memory. The data that are sent to the memory can also be simultaneously presented in the display or sent to microcomputer.*