

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DO SISTEMA DE POTÊNCIA DO
CUBESAT IRBP**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Ruan Fernandes Nogueira (EEL/USP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: ruanfnogueira@gmail.com

Luís Eduardo Antunes Vieira (DGE/INPE, Orientador)
E-mail: luis.vieira71@googlemail.com

Flávia Reis Cardoso (EEL/USP, Orientadora)
E-mail: flaviacardoso@usp.br

Julho de 2015

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

PROJETO

**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DO SISTEMA DE
POTÊNCIA DO CUBESAT IRBP**

PROCESSO: 105314/2015-3

Índice

1. Fundamentação teórica	6
1.1 A atividade solar.....	6
1.2 O radiômetro	9
2. Justificativa do andamento do projeto.....	11
3. Objetivos	11
5.1 Objetivo geral.....	11
5.2 Objetivos específicos	12
4. Metodologia	12
5. Resultados iniciais e discussão	13
6. Referencias Bibliográfica	15

Resumo

Analisando o disco solar - região visível do Sol - é possível observar a presença de manchas escuras, as quais são caracterizadas por campo magnético intenso e temperatura menor que nas regiões vizinhas. A variação de manchas ao longo dos anos indica uma variação da atividade solar. Medidas de radiação do Sol mostram que a variação da radiação ao longo do tempo está relacionada à oscilação da atividade solar. A radiação pode ser medida por instrumentos conhecidos como radiômetros, que são instalados a bordo de satélites ou projetados para permanecer em solo. A radiação solar interfere em fenômenos atmosféricos como clima, variações na cobertura de nuvens, diminuição da quantidade de ozônio, e até mesmo, na influência do ciclo de tempestades de chuvas/relâmpagos. Portanto, este projeto, que teve início em março de 2015, visa o desenvolvimento de instrumentação aplicada ao estudo da atividade solar e a elaboração de um sistema automático de aquisição de dados.

Abstract

Analyzing the solar disk - the visible region of the sun – it is possible to observe the presence of dark spots, which are characterized by intense magnetic field and temperature lower than in the neighborhood regions. The variation on the number of spots over the years indicates a variation on the solar activity. Radiation can be measured by instruments known as radiometers, which are installed on board satellites or designed to work from the ground. The solar radiation interferes with atmospheric phenomena such as weather, variations in cloud cover, reducing the amount of ozone, and even affecting the rain/lightning storms cycle. Therefore, this project, which has begun in March of 2015, aims to develop instrumentation applied to the study of solar activity and the development of an automatic data acquisition.

1. Fundamentação teórica

1.1 A atividade solar

O Sol é a principal fonte de energia e de radiação para Terra, devido à sua proximidade com o planeta - cerca de 150×10^6 km. O interior solar é composto por um núcleo, com temperatura em torno de 10^7 K, onde ocorrem as reações nucleares que geram energia. Esta energia é transportada para fora por radiação através de uma camada, denominada região radioativa, a qual alcança até 70% do raio solar. A partir desta região, inicia-se a camada convectiva, neste ponto a absorção da radiação se torna significativa, impedindo o transporte de energia por radiação fazendo com que mecanismos de convecção predomine (SILVA, 2006).

A atmosfera solar é composta pela fotosfera, cromosfera e coroa. A fotosfera, cerca de 330 km de espessura e temperatura de 5785 K, é a camada visível do Sol. Esta região possui a aparência da superfície de um líquido em ebulição. Através de observações desta região é possível visualizar manchas escuras que indicam um valor de temperatura menor perante o seu entorno. Tais manchas são denominadas manchas solares e indicam a presença de um campo magnético intenso. As manchas solares são caracterizadas por duas partes, a umbra, parte central mais escura com temperatura em torno de 3800 K, e a penumbra, região mais clara que circunda a umbra (OLIVEIRA FILHO, SARAIVA, 2004).

Acima da fotosfera encontra-se a região da cromosfera, fraca na região do visível e é caracterizada por possuir espículas – jatos de gases que

se elevam a 10 mil km. A temperatura nesta região pode variar de 4300 K a mais de 40 000 K a 2500 km de altura.

A última região da atmosfera solar é a Coroa, que possui uma temperatura de aproximadamente 10^6 K. Esta temperatura possibilita a emissão do vento solar, um fluxo contínuo de íons de hidrogênio e elétrons liberados para o meio interplanetário. O vento solar resulta da diferença de pressão entre a cora e o espaço interplanetário. O gradiente de pressão decresce com o inverso da distância, e como consequência as partículas sofrem uma aceleração intensa, alcançando uma velocidade na ordem de centenas de km/s. Porém na órbita terrestre, sua velocidade e densidade médias são de 400 km/s e 5 partículas/cm³, respectivamente, além de apresentar um campo magnético de 5 nano Tesla (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

A atividade solar, a qual possui um período de 11 anos, está diretamente relacionada com o número de manchas presentes na fotosfera (Cecatto, 2009). A presença destas manchas informa a existência de campos magnéticos intensos, que se estendem para a atmosfera solar - cromosfera e coroa – e assumem uma forma característica de arco, na sua configuração mais simples. Portanto, quando a atividade solar alcança seu pico máximo, há uma liberação maior de energia solar para o meio interplanetário, e conseqüentemente, uma maior quantidade de radiação e partículas atinge o planeta.

De acordo com Kopp e Lean (2011) a variabilidade da radiação solar tem se mostrado estar relacionada ao ciclo de variação da atividade solar de 11 anos e durante três décadas cientistas compilaram um registro da radiação solar através de dados coletados por satélites. A Figura 1 é um gráfico que mostra a variação entre a radiação solar total e o número de

manchas e o tempo. As cores na curva da radiação representam os diferentes instrumentos utilizados nas medições. As flutuações na radiação ao longo do tempo correspondem ao ciclo de manchas solares e, portanto, indicam que a atividade solar influencia na variabilidade da radiação solar.

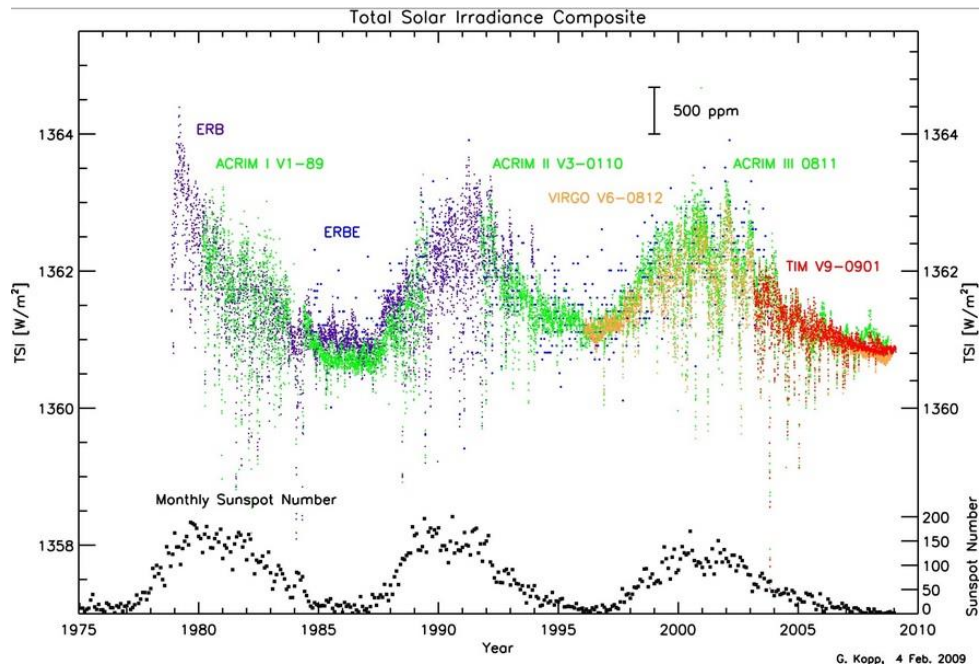


Figura 1 : Radiação solar total e o número de manchas ao longo do tempo. As cores na curva da radiação representam os diferentes instrumentos utilizados nas medições.

A atividade solar influencia as estruturas magnéticas, formadas de plasma e campo magnético, que permeiam o meio interplanetário e atingem a Terra. A interação entre o vento solar e a magnetosfera da Terra, região onde o campo geomagnético domina os processos sobre as partículas carregadas, produz fenômenos geomagnéticos como tempestades e subtempestades magnéticas, alterando sistemas de correntes dentro da magnetosfera e provocando perturbações magnéticas na superfície do planeta. Em 1989, o ciclo solar atingiu o seu máximo e provocou danos a toda rede elétrica em Quebec, no Canadá (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2015).

Durante uma tempestade magnética, há uma intensificação e aumento das partículas que se movem ao redor da Terra, sendo que os prótons derivam para o oeste e os elétrons para leste, causando o enriquecimento da chamada corrente de anel, um sistema de correntes que circula a Terra em latitudes equatoriais. A corrente de anel produz um campo magnético oposto ao terrestre e produz decréscimo do campo magnético na superfície terrestre (COSTA JUNIOR et al., 2011).

A atividade solar, além de produzir variações no campo magnético terrestre, pode alterar o clima terrestre, afetando a cobertura de nuvens, diminuindo a camada de ozônio, e até mesmo influenciando no ciclo de tempestades de chuva/relâmpagos (VILELA, 2010). Por estes motivos, o estudo da atividade solar tornou-se de grande importância, motivando o desenvolvimento de instrumentos capazes de monitorar a atividade do Sol e estudar seus efeitos na Terra.

1.2 O Radiômetro

As primeiras medidas sobre a radiação, emitida pelo Sol, foram realizadas por K. Angstrom e Kurlbaum no fim do século 19, através de um radiômetro – instrumento capaz de quantificar a radiação. No ano de 2002, o radiômetro *Total Irradiance Monitor (TIM)* foi lançado e iniciou suas operações em órbita terrestre para realizar medições da radiação solar durante um período de 5 anos (LAWRENCE; ROTTMAN; KOPP, 2000). O instrumento era composto por quatro cavidades cônicas, entre as quais, somente duas recebiam a radiação solar enquanto as outras possuíam uma temperatura controlada por aquecedores. Um termistor - dispositivo elétrico

que têm a sua resistência elétrica alterada termicamente – entre as diferentes cavidades era responsável por receber os dados da radiação e repassar a informação para um controlador, que por sua vez, gerava um sinal para o aquecedor, de modo que a temperatura entre ambas estivesse próxima de zero.

De acordo com Vilela (2010) um detector de radiação é genericamente definido como um dispositivo sensível a uma dada radiação, ou seja, o detector recebe e responde a um estímulo ou sinal de radiação. Em muitos detectores o calor é absorvido e convertido em energia mecânica enquanto em outros, denominados transdutores, há a conversão direta para energia elétrica, podendo ser fotovoltaicos ou termoeletrônicos.

Os sensores fotovoltaicos são os sensores fotoelétricos mais empregados para medida da energia solar. Este dispositivo é constituído por um material semicondutor, geralmente composto por silício, e normalmente apresenta vantagens aos demais tipos de sensores de radiação. Entre elas destacam-se o baixo custo, tempo de resposta extremamente rápido (cerca de 10 μ s), elevada corrente de saída, proporcionalidade entre a corrente de saída e a radiação incidente e baixa degradação ao longo do tempo.

Os sensores termoeletrônicos são constituídos por um par metálico de materiais distintos com os seus extremos conectados. Quando há uma diferença de temperatura entre as duas junções, surge uma força eletromotriz, que é proporcional à diferença de temperatura e depende das características dos metais utilizados. A tensão presente nos terminais de um sensor termoeletrônico é muito baixa, por isso, costuma-se associar vários sensores em série para obtenção de uma tensão mais elevada (HAAG, 2007).

2. Justificativa do andamento do projeto

O projeto intitulado “Desenvolvimento conceitual do sistema de potência do CUBESAT IRBP“, iniciou-se com o bolsista Marcelo Coletto Rola (Universidade Federal do Pampa) no ano de 2014. Em março de 2015 o bolsista anterior foi substituído pelo atual aluno Ruan Fernandes Nogueira (EEL/USP). Este trabalho continua se tratando do desenvolvimento de instrumentação, embora o enfoque atual seja destinado ao estudo da radiação solar.

3. Objetivos

3.1 Objetivo geral

Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de instrumentação aplicada ao estudo da atividade solar e a elaboração de um sistema automático de aquisição de dados.

3.2 Objetivos específicos

- Estudo dos conceitos básicos relacionados ao Sol, a atividade solar e a sua interação com a magnetosfera e atmosfera terrestre.
- Familiarização com os diversos tipos de sensores associados a medições da intensidade da radiação solar.

- Desenvolvimento de um projeto do instrumento juntamente com a coleta de dados.
- Aprendizagem de sistemas de calibragem em projetos microcontrolados.
- Familiarização com o processo de divulgação científica.

4. Metodologia

Para iniciar o projeto de desenvolvimento de instrumentação aplicada ao estudo da atividade solar, foi necessário um estudo sobre artigos relacionados ao desenvolvimento de instrumentação, essencialmente na área de coleta de dados da intensidade da radiação solar e pesquisas sobre radiômetros já existentes e em funcionamento, além da aprendizagem teórica e prática de circuitos eletrônicos.

A etapa inicial do processo de desenvolvimento do instrumento radiômetro está sendo a elaboração de um sistema automático de aquisição de dados para a medida da radiação solar. Dessa forma, é necessária a aquisição de conhecimento e planejamento de circuito eletrônico, de plataforma de controle e de técnicas para acompanhamento simultâneo dos dados.

O circuito será elaborado de forma com que o microprocessador receba um sinal analógico do sensor térmico, capaz de captar a radiação do corpo de prova. Em conjunto com *softwares* gráficos será possível obter a curva de temperatura do corpo versus tempo. Em seguida, uma resposta também analógica será enviada para um resistor, dispositivo que transforma a energia elétrica integralmente em calor (efeito Joule), de modo que este

produza uma temperatura controlada para alcançar o valor da radiação emitida pelo corpo de prova. Um segundo sensor receberá a informação da temperatura produzida e a enviará para o microprocessador, que por sua vez, controlará a temperatura do resistor de modo que as temperaturas do corpo de prova e do resistor possuam o mesmo valor.

Visando a elaboração de um protótipo de instrumento, será necessário o trabalho com a plataforma Arduino em conjunto com softwares gráficos. De acordo com Banzi(2011), o Arduino é uma plataforma de computação física de fonte aberta, com base em uma placa simples de entrada/saída. Para adquirir uma maior precisão da medição diferentes sensores de temperatura serão testados.

A estabilidade e precisão são pré-requisitos em muitos sistemas e equipamentos, portanto técnicas de controle serão implementadas. O controle PID (Proporcional Integral Derivativo) é uma das técnicas mais empregadas quando se deseja realizar o controle de variáveis contínuas, o qual consiste em um algoritmo matemático, que tem por função o controle preciso de uma variável em um sistema, permitindo ao sistema operar de forma estável no ponto de ajuste desejado, mesmo que ocorram variações ou distúrbios que afetariam sua estabilidade (FERREIRA, 2009).

5. Resultados iniciais e discussão

Conforme mencionado, houve substituição de bolsista nesse projeto, sendo que o atual aluno iniciou suas atividades em março de 2015, há apenas 4 meses atrás. A etapa inicial da elaboração do radiômetro está em andamento com a confecção de um sistema automático de aquisição de

dados para a medida da radiação solar. Ao implementar o circuito para a coleta das medidas de temperatura, espera-se encontrar um ajuste correto do sistema, de forma que a temperatura analisada pelo primeiro sensor seja próxima da temperatura fornecida pela potência dissipada no resistor. Entre os sensores trabalhados, um modelo será selecionado de acordo com a sua eficiência em determinada faixa de temperatura para garantir uma maior precisão.

Os gráficos, obtidos sem os ajustes das técnicas de PID, deverão estar fora de fase, pois haverá um atraso entre as medidas do primeiro sensor, a emissão do sinal analógico e a medida da segunda coleta. Após a aplicação da técnica, ambas as curvas deverão estar em fase e será possível comparar os resultados obtidos.

Durante o projeto os conceitos de montagem de um mecanismo de coleta e emissão de dados, o entendimento de sensores termoeletrônicos e a compreensão de circuitos eletrônicos estão sendo adquiridos, além da capacitação para efetuar projetos de instrumentos micro-controlados. Esse trabalho é relevante tanto na área científica quanto para a engenharia, englobando tópicos tão abrangentes quanto a influência da variabilidade da atividade solar nas mudanças climáticas e o desenvolvimento de um instrumento que pode ser capaz de operar tanto em solo quanto no espaço. A expectativa é que a bolsa seja renovada para que possamos dar continuidade a esse trabalho, contribuindo com a solução de problemas de engenharia e no contexto científico das mudanças climáticas.

6. Referências bibliográficas

- OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fatima Oliveira. *Astronomia e Astrofísica*. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004. 557 p.
- COSTA JUNIOR, E. et al. O vento solar e a atividade geomagnética. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [s.l.], v. 33, n. 4, p.4301-4301, 2011. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s180611172011000400001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S180611172011000400001&scripts_arttext>. Acesso em: 30 jun. 2015.
- VILELA, Waldeir Amaral. ESTUDO, DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE RADIOMETROS PARA MEDIDAS DA RADIAÇÃO SOLAR. 2010. 171 f. Tese (Doutorado) –Curso de Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- HAAG, Rafael. Desenvolvimento de um radiômetro espectral e metodologia para caracterização do espectro solar. 2007. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- LAWRENCE, George M.; ROTTMAN, Gary; KOPP, G. *The Total Irradiance Monitor (TIM) for the EOS SORCE Mission*. Boulder, 2000.
- CECATTO, José Roberto. O Sol. In: CECATTO, José Roberto. *O sol*. São José dos Campos, 2009. p. 9-41. Disponível em:

<<http://www.das.inpe.br/ciaa/pdfs/capitulo4.pdf>>. Acesso em: 2 jul. 2015.

- SILVA, Adriana V. R.. Nossa Estrela: O Sol. São Paulo: Livraria da Física, 2006. 34 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=sNJy9WZl9NsC&oi=fnd&pg=PR7&dq=zona+convectiva+e+radiativa+do+sol&ots=tlzzgPiHPO&sig=-mAVwDXybXrGc2zehyUsdluqlDQ#v=onepage&q=zona+convectiva+e+radiativa+do+sol&f=false>>. Acesso em: 2 jul. 2015.
- FERREIRA, Cesar. **Estudo Comparativo entre as Tecnicas de Controle Fuzzy, PI e Adaptativo Aplicado ao Processo de Fabricação de Papel Reciclado Utilizando a Ferramenta Delta Tune**. 2009. Disponível em: <http://www.uel.br/pos/meel/disserta/2009_CesarFerreira2006-2.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2015
- BANZI, Massimo. Primeiros Passos com o Arduino. São Paulo: Novatec, 2011. Disponível em: <<http://www.novatec.net.br/livros/primeiros-passos-arduino/capitulo9788575222904.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2015
- OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **O Sol - a nossa estrela**. 2015. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>>. Acesso em: 03 jul. 2015.
- KOPP, Greg; LEAN, Judith L.. A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. **Geophysical Research Letters**, [s.l.], v. 38, n. 1, p.1-7, 14 jan. 2011. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1029/2010gl045777.