

UM ESPECTRORRADIÔMETRO UTILIZANDO UMA REDE DE DETECTORES DO TIPO CCD

LOPES FILHO, A; SIQUEIRA, M.A.A.

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

RESUMO

Apresenta-se um instrumento para medição de reflectância espectral em faixas variáveis a critério do usuário. A radiação do alvo é dispersada espectralmente sobre uma linha de 128 sensores de silício, com sensibilidade na faixa espectral de 400 a 900 nm, lidos serialmente por dispositivos tipo CCD. Os sinais obtidos são processados digitalmente, juntamente com os da irradiância local. O resultado é a reflectância do alvo em 128 pequenas faixas espectrais adjacentes com cerca de 8 nm de resolução espectral na região de detecção dos sensores. Este resultado pode ser observado em um display e a partir dele obtêm-se as reflectâncias médias em quatro faixas quaisquer, lidas no próprio instrumento. Um protótipo desenvolvido e testado no INPE mostrou resultados satisfatórios, que encorajam o desenvolvimento de um protótipo operacional.

ABSTRACT

This work describes a microprocessor controlled spectral reflectance measuring instrument. The radiation reflected by the target and the local solar irradiation are alternately collected by the instrument and spectrally dispersed over a silicon CCD linear array detector with 128 photosensors, sensitive in the spectral range of 400-900 nm. The CCD outputs for both light signals are digitally processed by the microcomputer and the result is the reflectance of the target in 128 small adjacent spectral bands (width of 8 nm). The reflectance curve of the target can be observed on a display or additional data processing can be realized in order to get average reflectances in selected bands. A prototype of this instrument, designed and tested at INPE, produced satisfactory results that encouraged the development of an operational prototype.

1. INTRODUÇÃO

Imagens multispectrais da superfície terrestre são obtidas por diversos instrumentos de Sensoriamento Remoto instalados a bordo de satélites ou aeronaves. Uma significativa fração destes dados é obtida na estreita faixa do espectro visível (400 a 700 nm), devido à grande quantidade

de informações nele contido e pela possibilidade de comprovação visual das imagens no campo.

Existe, por outro lado, a necessidade de classificação temática destas imagens, com a utilização do computador, por exemplo, e para isto deve ser feito o levantamento local dos dados de reflectância espectral ou da Assinatura Espectral dos diversos alvos de interesse. Vários instrumentos, tipo radiômetros ou espectrorradiômetros, são utilizados para este fim, permitindo a medição da radiância do alvo e da irradiância solar incidente.

Os radiômetros acima citados têm em geral suas faixas espectrais de medição definidas por filtros, o que restringe a aplicação com relação às diversas bandas utilizadas atualmente. Os espectrorradiômetros, por sua vez, através da varredura, geralmente mecânica, do espectro, fornecem os dados em função do comprimento de onda. Estes dados são posteriormente integrados dentro das bandas desejadas.

Este trabalho apresenta um instrumento para medição da reflectância espectral em bandas variáveis, a critério do usuário, dentro da faixa de 400 a 900 nm. Um aparelho deste tipo poderá ser importante para o Departamento de Sensoriamento Remoto do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) na determinação das bandas espectrais do satélite brasileiro.

2. APRESENTAÇÃO DO INSTRUMENTO

O instrumento baseia-se em uma óptica dispersiva que faz incidir o espectro da radiação de um alvo em uma linha com cerca de 1,6 mm de extensão, com 128 detectores de silício. Cada detector define uma banda de aproximadamente 8 nm de largura espectral. O mesmo sistema óptico coleta a irradiância incidente na cena. Os detectores, contidos em um único circuito integrado, são lidos serialmente pela técnica de dispositivos acoplados por carga, os dados são digitalizados e processados em um microprocessador. O resultado é obtido logo após a medida.

Além do apoio ao Sensoriamento Remoto destacam-se diversas aplicações, entre as quais: o monitoramento de particulado atmosférico; a pesquisa em energia solar; a medição em laboratório de reflectâncias ou de transmitâncias espectrais; etc. O desenvolvimento de um substituto versátil, compacto e rápido, relativamente aos instrumentos de mesma aplicação, somente foi possível graças a utilização da tecnologia dos CCDs (do inglês "Charge Coupled Devices"), aliada ao suporte do microprocessador sem o qual o processamento em tempo real seria dificultado.

Na Figura 1 mostra-se uma fotografia do protótipo construído pela Divisão de Sistemas Sensores do INPE. A Tabela 1 contém as principais características deste protótipo.

3. DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO

O sistema divide-se em dois módulos separados: um de detecção, contendo toda a óptica e os detectores, e outro de controle contendo a eletrônica, responsável pela aquisição e processamento dos dados.

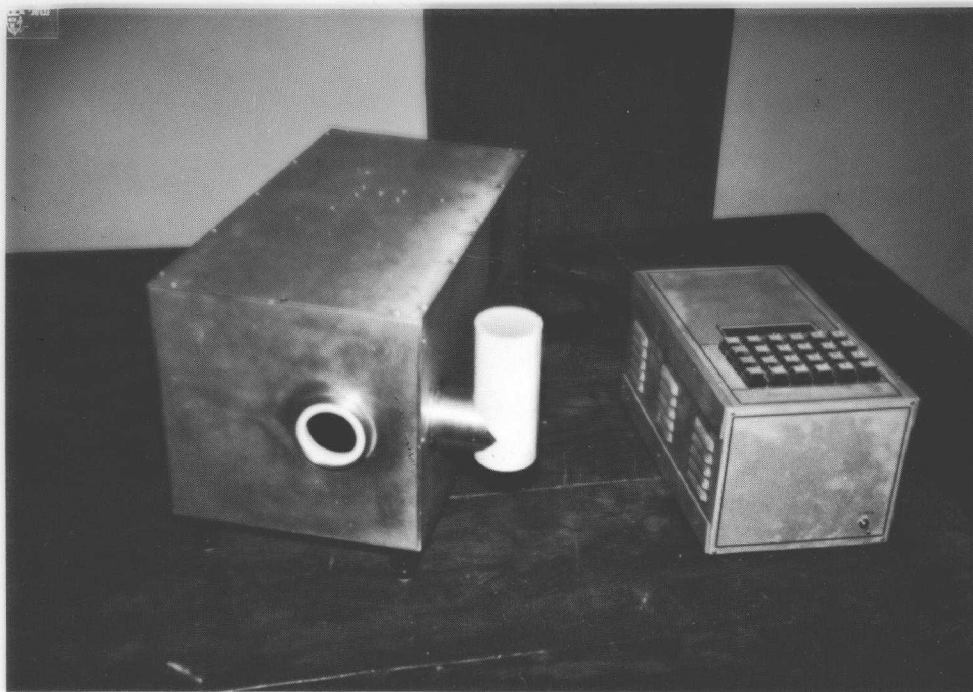


Fig. 1 - Fotografia do protótipo.

3.1 - DETECTORES

A radiação incidente em cada detector é integrada durante um período de alguns milissegundos, resultando em uma quantidade de carga elétrica proporcional à energia coletada na área do detector ($\sim 13 \times 13 \mu\text{m}$). No final deste período, os "pacotes" de carga são transferidos paralelamente, para um registrador de deslocamento analógico, onde serão transportados serialmente até um sensor de carga. Neste ponto são convertidos em níveis analógicos de tensão (até 900 mV) acessíveis em um dos pinos do circuito integrado.

As desvantagens associadas aos detectores de silício são a corrente de escuro, resultante do ruído térmico e cujo valor médio cresce com a temperatura, e a resposta espectral, que por sua vez limita a resposta do instrumento. Estes efeitos são considerados mais adiante.

3.2 - ÓPTICA

Um monocromador em montagem tipo Ebert é responsável pela dispersão da radiação sobre a linha de detectores (referir-se a Figura 2). Na fenda de entrada pode-se ter tanto a radiação do alvo, como a irradiação incidente no local, selecionadas por um disco giratório. Este disco permite também a obstrução das entradas de forma a possibilitar a medição da corrente de escuro nos detectores.

TABELA 1

CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO

Ângulo de visada: $< 1^\circ$
Resolução espectral: 8 nm
Sensibilidade: $20 \text{ nW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$
Dimensões (cm):
. Módulo de detecção:
- Largura : 21,5
- Comprimento: 42,0
- Altura : 21,5
. Módulo de controle:
- Largura : 17,0
- Comprimento: 42,0
- Altura : 15,0
Alimentação: 110V, 39W
Detectores:
. Tipo: TC 102 - Sensor linear de imagem com 128 x 1 elementos tipo CCD.
. Fabricante: Texas Instruments
. Resposta espectral: 400 a 900 nm
Microprocessador: 8085A
Conversor A/D: ADC 1103-003; 12 bits; 3,5 μs

A radiância é coletada por uma única lente, com o inconveniente de que o ângulo de visada fica sendo função da fenda de entrada do monocrômador (no caso o ângulo de visada é menor do que um grau). A irradiância é coletada através de um difusor apontado para o zênite e projetada sobre a fenda através de uma secção espelhada no disco seletor de entrada.

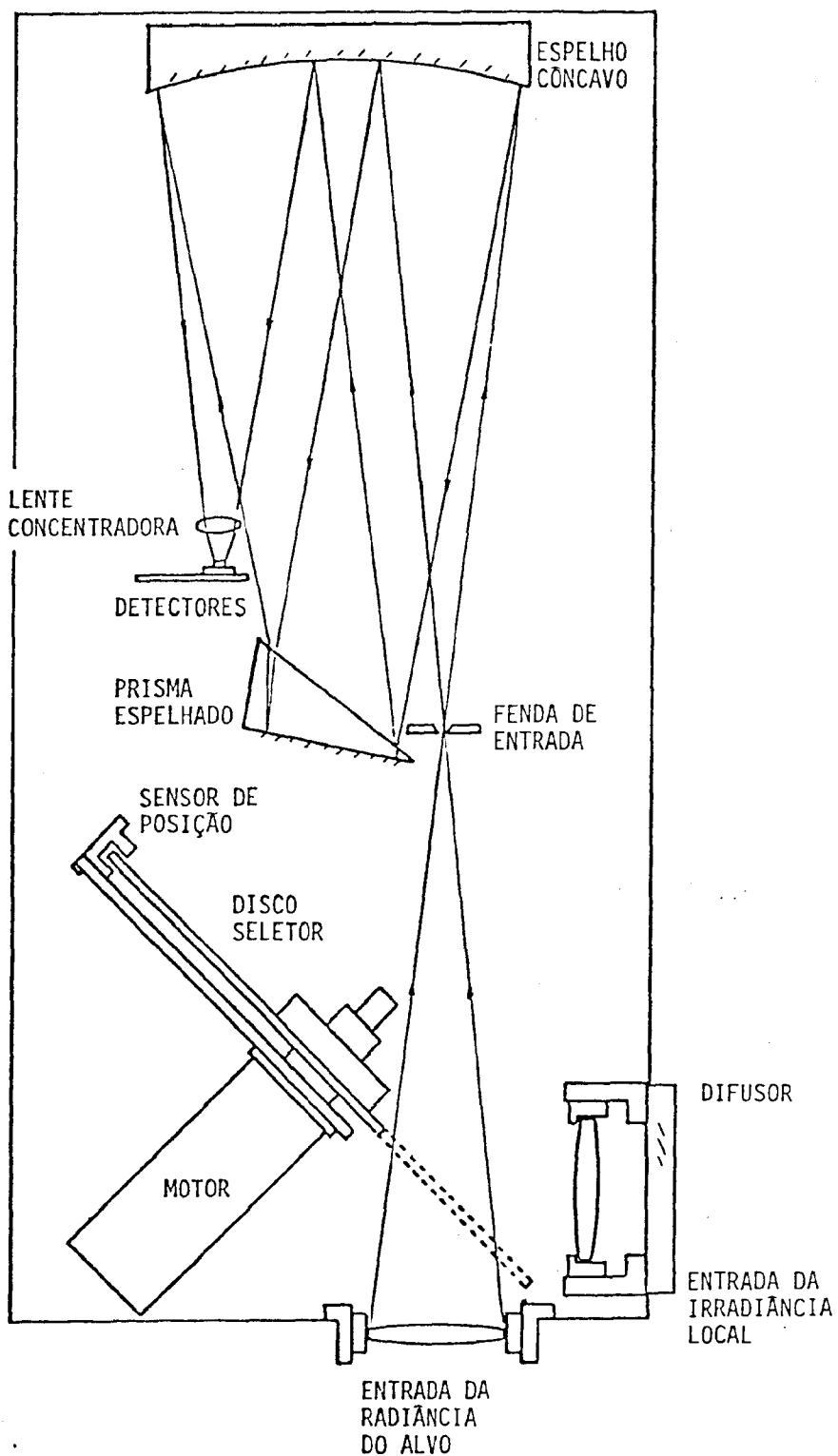


Fig. 2 - Disposição dos diversos componentes no interior do módulo de detecção (corte horizontal).

3.3 - MÓDULO DE CONTROLE

Toda coleta e processamento dos dados é controlada por um microprocessador. Inicialmente o monocromador está recebendo a radiação do alvo, o microprocessador acionado pelo operador do instrumento inicia a leitura dos detectores. Os dados são digitalizados e armazenados em memória. O disco seletor é acionado automaticamente e, em sua nova posição, provoca a reflexão da irradiação local sobre a fenda de entrada. Uma nova coleta é executada utilizando mais memória. Novamente o disco é acionado e, desta vez, passa a obstruir a incidência de luz sobre a óptica. Nesta fase armazenam-se os dados da corrente de escuro nos detectores. Com outro acionamento do disco, este volta à posição inicial para nova medição. Em cada uma destas tres fases de coleta, os detectores são lidos quatro vezes seguidas e os dados adicionados na respectiva posição de memória a fim de se obter uma média, o que reduz a influência de sinais espúrios.

Uma vez adquiridos todos os dados, passa-se à fase de processamento. Primeiramente, cada dado é dividido por quatro, resultando em um valor médio de quatro medidas. Em seguida, para cada um dos 128 pontos, ou detectores, a corrente de escuro é subtraída dos outros dois tipos de dados. Os dados do alvo são então divididos pelos respectivos dados da referência (radiação local), resultando em valores de reflectância espectral. Finalmente, sob controle do operador, os dados obtidos podem ser transformados em valores de reflectância média dentro das bandas pré-estabelecidas ou serem apresentados ponto a ponto, através de uma varredura automática da memória. Os resultados podem ser lidos em forma hexadecimal no display do instrumento ou analogicamente em saída apropriada.

Supondo-se que as respostas espectrais das ópticas coletoras da radiação do alvo e da referência sejam as mesmas, este processo fornece os dados já corrigidos com relação a resposta espectral do sistema de detecção ou mesmo com relação a variações na iluminação local. Como estes efeitos estão presentes tanto nos dados do alvo como nos da referência, eles serão cancelados no quociente.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Foram realizadas algumas medidas com o módulo de detecção posicionado segundo a Figura 3, com θ em torno de 45° . Os resultados para tres tipos de alvos estão mostrados na Figura 4. Estes gráficos foram obtidos em osciloscópio utilizando a saída analógica e a varredura automática da memória. As curvas deveriam representar valores da reflectância do alvo (%) em função do comprimento de onda (nm), porém permitem apenas uma avaliação qualitativa, o que poderá ser solucionado com a devida calibração do instrumento.

Esta calibração é necessária pelo fato de que mesmo pequenas diferenças nas respostas espectrais das duas ópticas coletoras (alvo e referência) provocam variações consideráveis no resultado. A Figura 5 mostra a resposta de um alvo branco (padrão de reflectância unitária). Como o instrumento devidamente calibrado esta resposta deveria variar menos do que 1% em torno de um valor médio de 98%, enquanto que no resultado obtido esta variação é maior do que 20%.

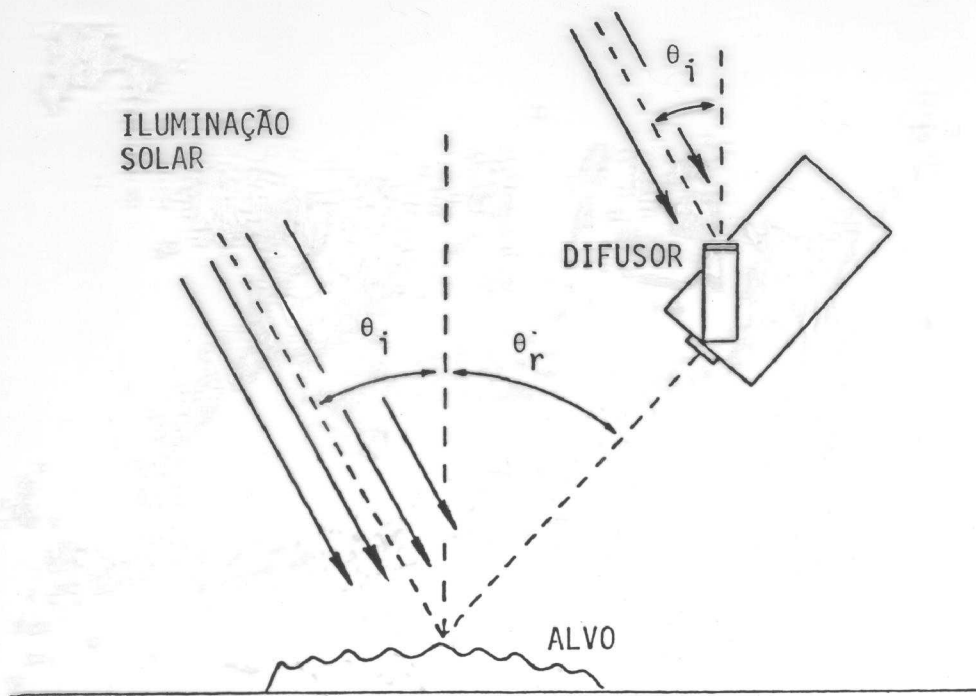


Fig. 3 - Posicionamento do módulo de detecção durante a medida.

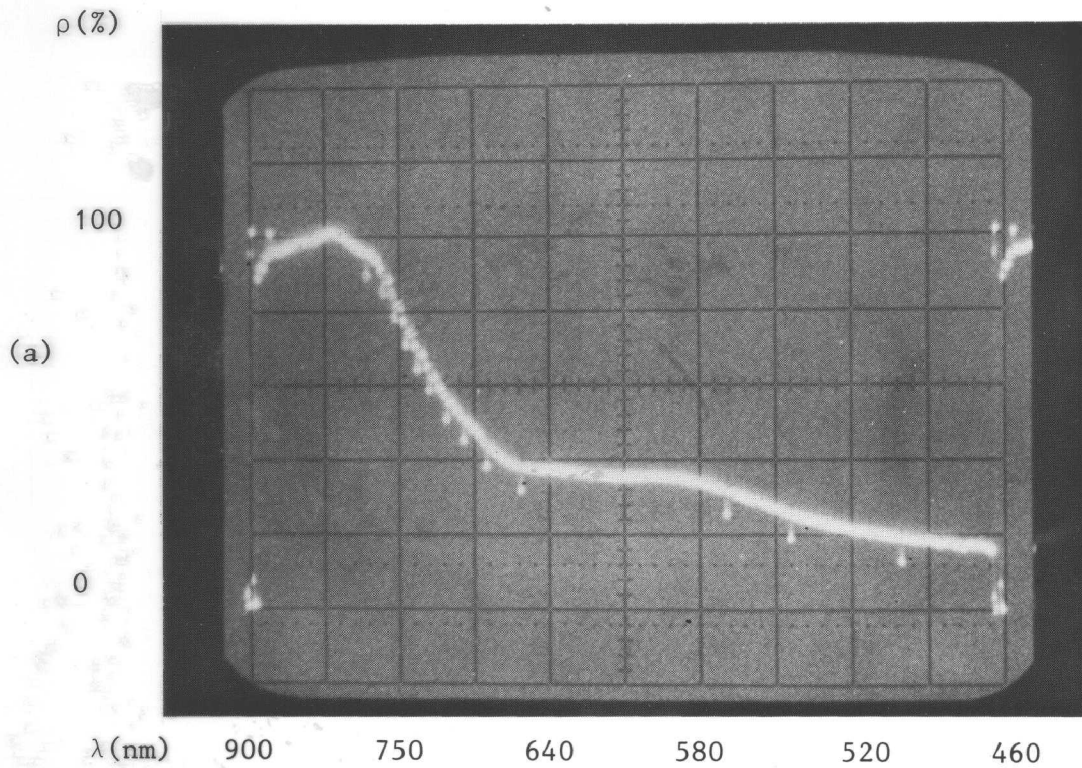


Fig. 4 - Curvas de reflectância de alvos naturais.

a) Gramado; b) Piso de pedra; c) Folha de plástico azul.

(Continua)

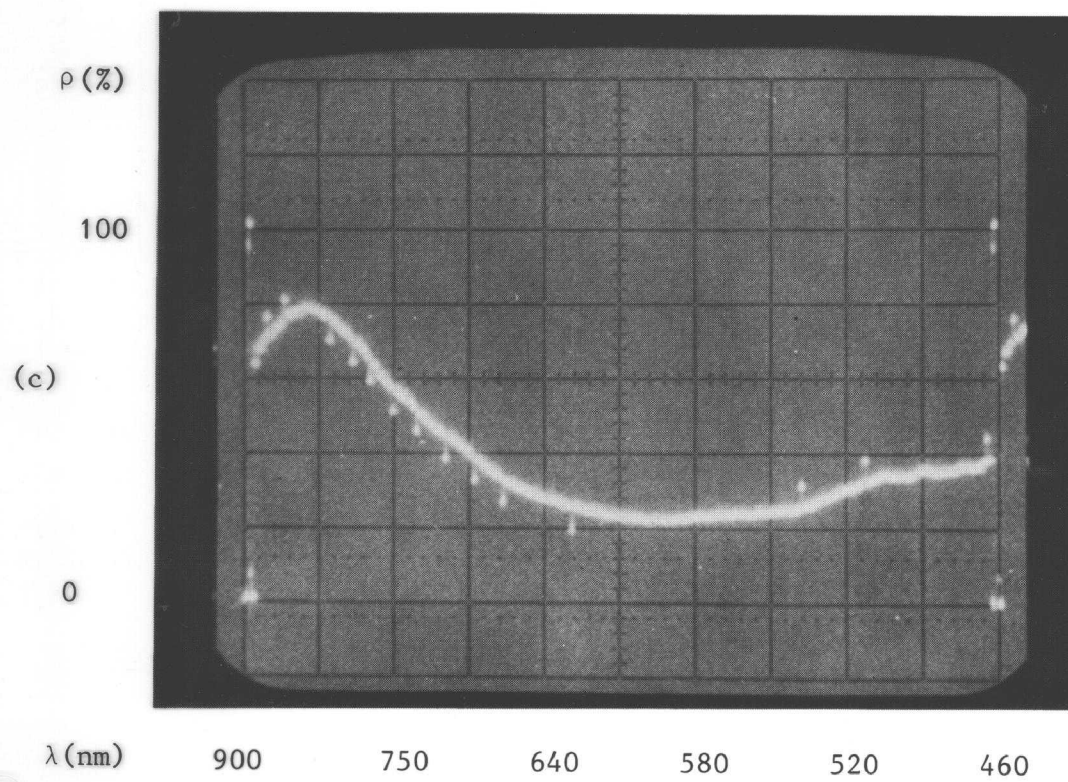
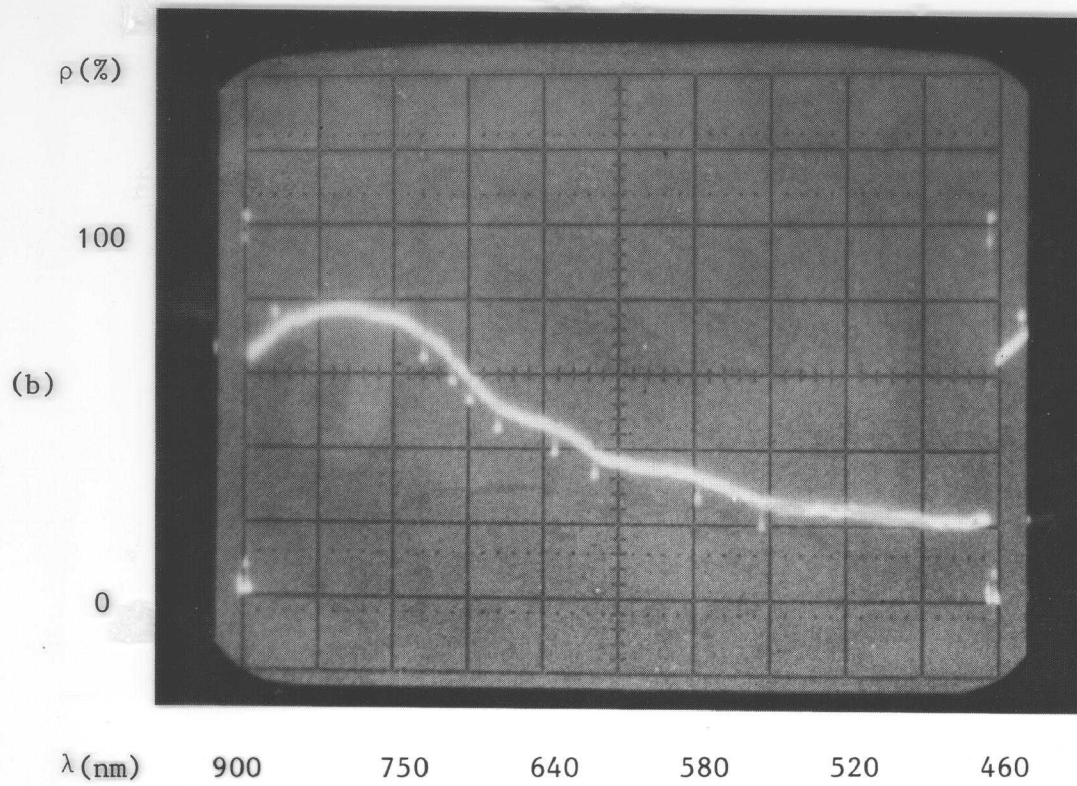


Fig. 4 - Conclusão.

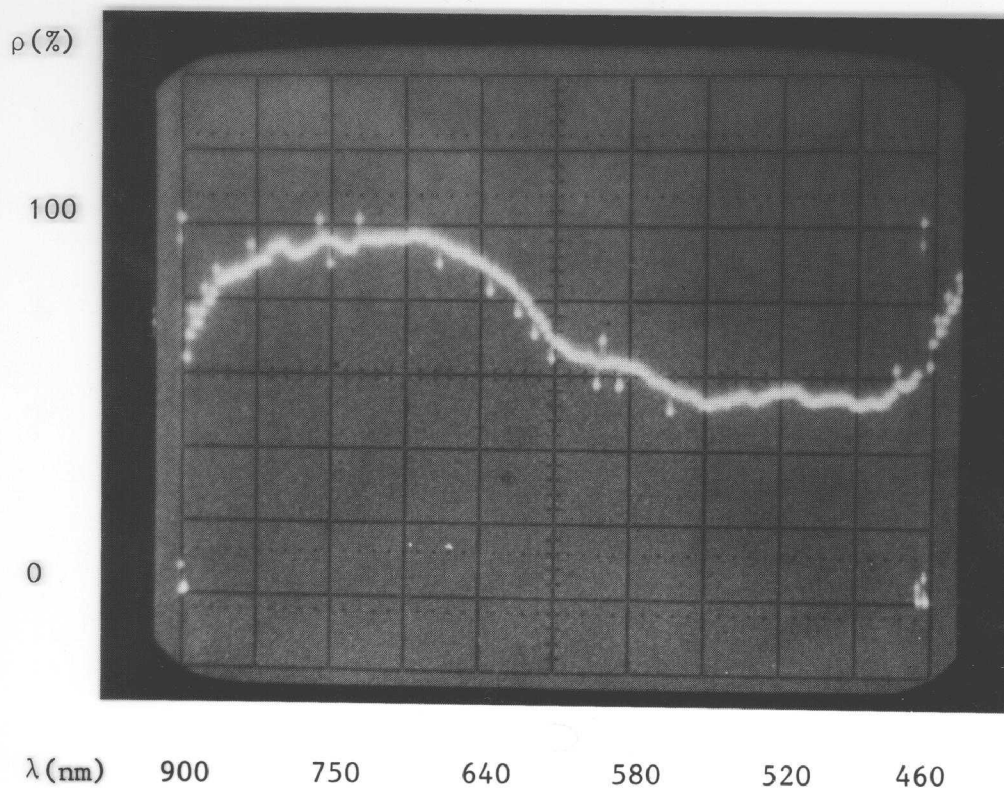


Fig. 5 - Resposta do instrumento para um alvo padrão de reflectância unitária.

Da forma que o sistema está idealizado, a calibração pretendida pode ser implementada em "software" e fazer parte do processamento. Esta calibração consistiria em processar os dados levando em conta constantes de correção para cada um dos 128 pontos.

Com relação a óptica, deve ser reprojeta a parte de coleta da radiação do alvo. Pretende-se substituí-la por um telescópio com ângulo de visada selecionável (até quinze graus, por exemplo) de forma a se poder variar o detalhamento do alvo sob estudo.

Apesar dos modestos resultados apresentados, este protótipo serviu para demonstrar que se está no caminho certo e que com pequenas alterações (já em andamento) será possível colocar em operação um instrumento de especial importância ao pessoal de Sensoriamento Remoto a um custo competitivo com os similares importados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LOPES FILHO, A. Desenvolvimento de um espectrorradiômetro com uma rede de detectores do tipo CCD. Dissertação de mestrado pelo INPE. Maio, 1984.