

## SISTEMA IMAGEADOR DE INFRAVERMELHO TERMAL

MONTES, A.S.; DEMORI, E.; ARAÚJO, J.C.  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq  
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

### RESUMO

Apresentam-se o desenvolvimento e a construção de um imageador de infravermelho termal ("Scanner"), concebido para operar em aviões. A faixa espectral de operação deste equipamento é de 8  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$  e, por isso, foi utilizado um detetor de PbSnTe, refrigerado a nitrogênio líquido. Os parâmetros básicos do sistema são analisados. A imagem térmica convertida é gravada em filme fotográfico. Alguns testes foram realizados com a aeronave do INPE e o resultado pode ser visto ao final deste trabalho.

### ABSTRACT

The development and the construction of a thermal infrared imager (Scanner), conceived to operate in airplanes, are shown. The spectral range of operation of this equipment is from 8  $\mu\text{m}$  to 14  $\mu\text{m}$  and, for this, it was used a detector made of PbSnTe, which was refrigerated with liquid nitrogen. The basic parameters of the system are analysed. The converted thermal image is recorded in a photographic film. Some tests were done with the airplane of INPE and the results can be seen at the end of this work.

### 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de detecção de radiação na faixa do infravermelho termal têm sido utilizados durante vários anos. O crescente interesse para aplicações do infravermelho ao Sensoriamento Remoto motivou a adoção de uma estratégia tecnológica de forma a se tornarem acessíveis diferentes tipos de equipamentos. O presente trabalho é uma amostra do esforço que se vem realizando no INPE para o desenvolvimento de sistemas sensores de Infravermelho.

Assim, decidiu-se desenvolver um imageador opto-mecânico para uso em aeronave. O sistema utiliza um único detetor (PbSnTe) refrigerado a nitrogênio líquido (77°k) e um dispositivo de varredura mecânica feita através de um espelho giratório. Como o objetivo foi o de se construir um imageador com tecnologia nacional, todos os seus subsistemas ópticos/eletrônicos/mecânicos foram integralmente fabricados em território brasileiro. O detetor ainda é o elemento dependente de tecnologia importada, embora no INPE haja uma equipe obtendo resultados satisfatórios na fabricação de seus primeiros detetores.

Terminada a construção do imageador, foi este testado em vôos sobre a cidade de São José dos Campos. A gravação da imagem é feita em tempo real sobre um filme fotográfico (RAR 2498). O sistema deverá ser aprimorado de forma a gravar o sinal digitalizado para processamento em computador e, ao mesmo tempo, ampliar o número de canais, de forma a obter imagens no infravermelho próximo.

## 2. INFRAVERMELHO TERMAL

A lei de Planck para a emissão térmica de radiação estabelece para um corpo negro a seguinte função: (Jamieson et alii 1963).

$$e_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left( e^{\frac{hc}{K_{\beta} \lambda T}} - 1 \right)} \left[ \frac{W}{\text{cm}^2 \cdot \mu\text{m}} \right]$$

$e_{\lambda}$  : Emitância espectral.

T : Temperatura.

$\lambda$  : Comprimento de onda.

h : Constante de Planck.

$K_{\beta}$  : Constante de Boltzmann.

C : Velocidade da luz.

A Figura 1 mostra a função acima, onde a temperatura aparece como parâmetro. Para uma dada temperatura, o comprimento de onda para o qual a emissão é máxima é dado pela Lei de Wien:  $\lambda_{\text{max}} = T = 2898^{\circ}\text{K} \cdot \mu\text{m}$ . Verifica-se, assim que para um corpo negro com temperatura em torno de 300°K (temperatura ambiente), a emissão máxima ocorre para comprimentos de onda em torno de 10  $\mu\text{m}$ .

Essa região espectral, denominada Infravermelho Termal, passou a ser de interesse especial, mesmo para o caso de corpos reais para os quais aparece o parâmetro emissividade como fator de fundamental importância na determinação remota de temperatura. A emissividade varia não somente de corpo para corpo, como também em função da temperatura, comprimento de onda e direção. Diversos estudos tem sido realizados para se determinar a emissividade e sua relação com as demais propriedades para diversos alvos. A Tabela 1 mostra alguns valores de emissividade para alvos típicos.

## 3. SISTEMA IMAGEADOR

Um sistema imageador pode ser dividido em três partes básicas: Óptica-Detetor, Eletrônica e Mecânica. O subsistema Óptico tem por finalidade coletar a radiação e focalizá-la sobre o detetor. Este, por sua vez, fornece um sinal elétrico proporcional à potência incidente.

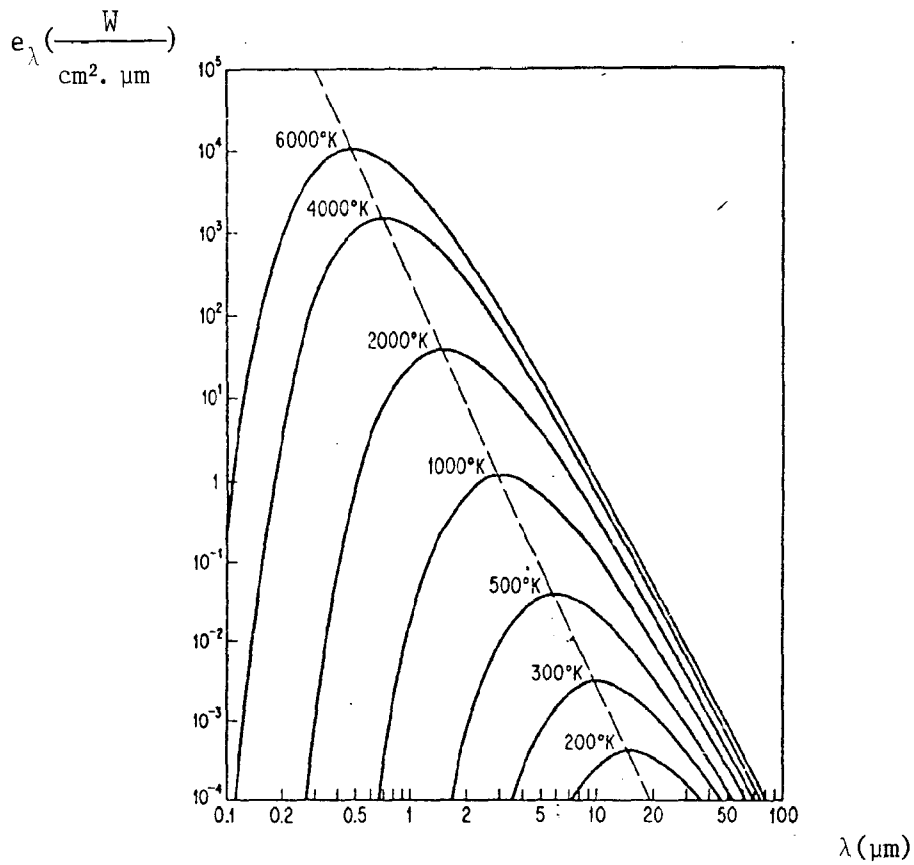


Fig. 1 - Emitância espectral de corpo negro para diversas temperaturas. (Jamieson et alii 1963).

TABELA 1

EMISSIVIDADE DE ALGUMAS SUBSTÂNCIAS (JAMIESON et alii 1963)

MATERIAL	e
Alumínio Polido	0.02
Cobre Polido	0.05
Cobre Oxidado	0.78
Ferro Polido	0.21
Tungstênio	0.032
Água	0.92
Vidro	0.94
Corpo Negro	1.00

Muitos trabalhos têm sido feitos na fabricação de detectores de radiação infravermelha. Podem ser divididos em dois grandes grupos, identificados quanto ao fenômeno físico envolvido na detecção: Detectores do tipo térmico e do tipo quântico. Os do primeiro grupo são de construção mais fácil do que os do segundo tipo e podem, normalmente, operar à temperatura ambiente. Entre eles, destacam-se os bolômetros, as termopilhas, os piroelétricos, etc. Os do tipo quântico exigem grande elaboração em sua confecção e, para a região espectral do infravermelho termal, são normalmente constituídos por ligas ternárias do tipo Mercúrio-Cádmio - Telúrio (HgCdTe) ou Chumbo-Estanho-Telúrio (PbSnTe). Só operam a baixas temperaturas (nitrogênio líquido (77<sup>o</sup>k) ou menores, dependendo da aplicação). A grande vantagem dos quânticos sobre os térmicos é o tempo de resposta e a sensibilidade. Detectores quânticos respondem a variações de intensidade de radiação menores do que 1(um) microsegundo, enquanto os térmicos conseguem acompanhar variações da ordem de milisegundos. Para o caso do imageador desenvolvido, utilizou-se um detector quântico do tipo PbSnTe. A Figura 2 mostra a resposta relativa típica em função do comprimento de onda para esse tipo de detector.

Observa-se da figura que há uma sintonia em uma faixa de comprimentos de onda.

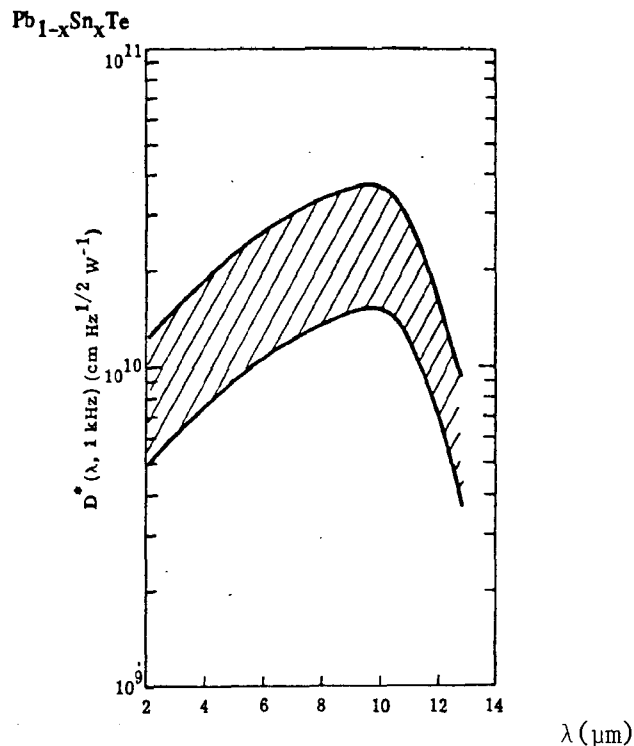


Fig. 2 - Resposta espectral de um detector de  $Pb_{1-x}Sn_xTe$ .  
(Wolfe & Zissis - Washington, D.C. 1978).

O subsistema eletrônico amplifica o sinal elétrico fornecido pelo detector e o processa adequadamente para a gravação e reprodução da imagem. A este subsistema também cabe a função de controlar a rotação do espelho giratório.

O subsistema mecânico diz respeito não somente à estrutura como também à varredura mecânica, alinhamento dos subconjuntos ópticos e sistema de gravação da imagem em filme fotográfico. Os três subsistemas estão tão intimamente interrelacionados que a deficiência de um compromete o funcionamento do outro.

A Figura 3 esquematiza a forma de imageamento opto-mecânico. A varredura transversal é feita pelo espelho giratório, enquanto a longitudinal é realizada pelo deslocamento da aeronave. Nesta mesma figura ainda se pode observar o elemento de resolução espacial, que é a projeção do detetor feita pelo sistema óptico sobre a cena. Da figura ainda pode-se observar o campo de visada instantâneo (IFOV - Instantaneous Field Of View) designado pelo ângulo  $\alpha$ , o qual é determinado pela distância focal do sistema óptico e dimensões do detetor. Num determinado instante, a potência detetada é proporcional à radiância de um elemento de resolução espacial, visto pelo sistema como um único ponto.

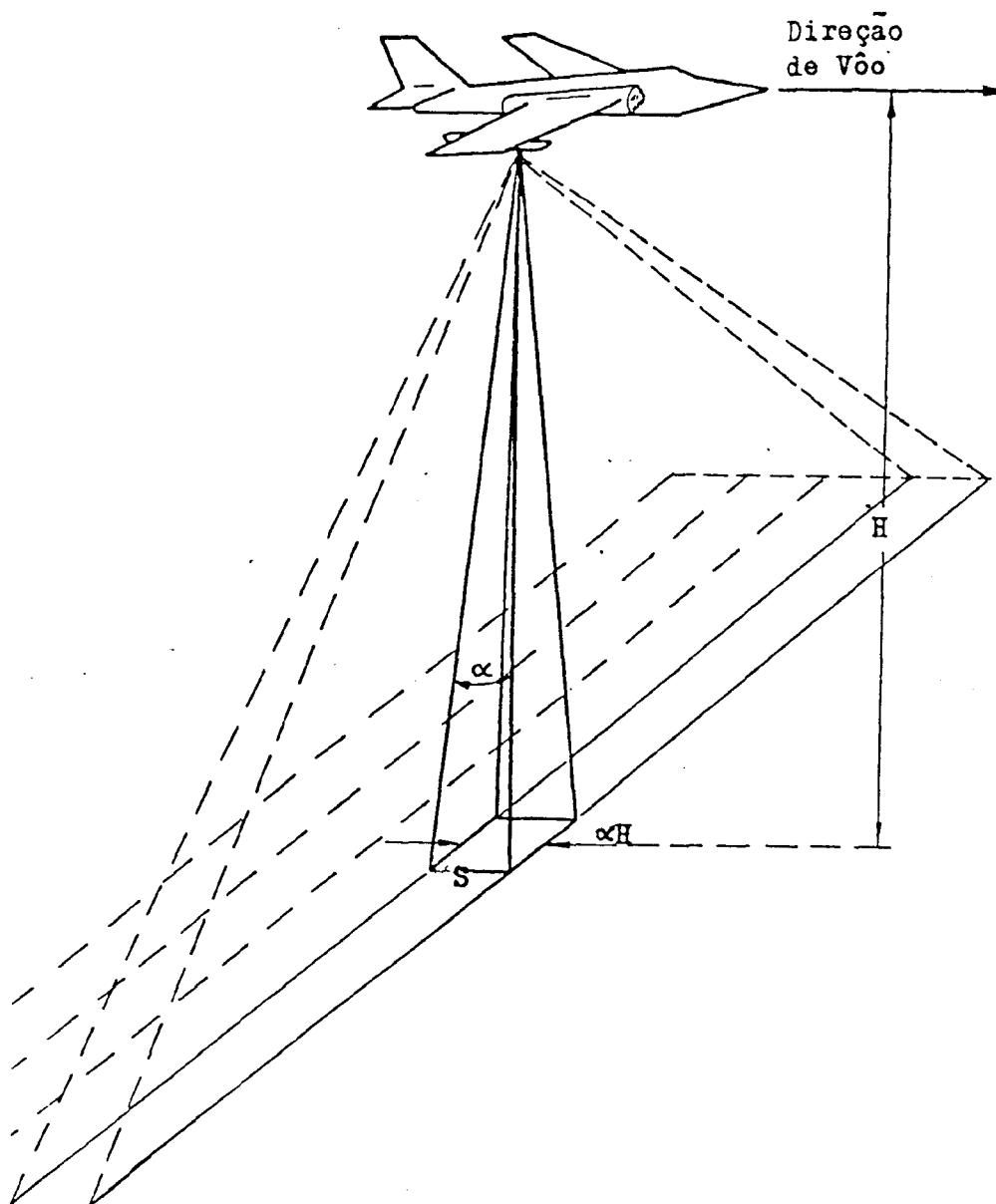


Fig. 3 - Composição de imagens por varredura de linhas.

É importante observar que a velocidade da aeronave e a frequência de rotação do espelho giratório devem estar interrelacionadas. Ainda da Figura 3, pode-se verificar que para que sejam varridas linhas adjacentes, a cada rotação do espelho, é necessário que a aeronave se desloque exatamente o valor visto na figura como S.

$$V = \frac{S}{t}$$

V: Velocidade da aeronave.

t: Período de rotação do espelho giratório.

S: Dimensão do elemento de resolução espacial.

$$\text{Como, } S = H\alpha,$$

$$V = H\alpha \cdot f,$$

$$\frac{V}{H} = \alpha \cdot f$$

Verifica-se, então, que o parâmetro fundamental é a relação entre velocidade/altura da aeronave. A expressão anterior é válida para o caso de um sistema com um único detetor e espelho giratório de uma face. Caso se utilize um espelho giratório com  $n_1$  faces e se coloquem  $n_2$  detetores no plano focal, de forma que suas projeções no terreno estejam em linhas adjacentes, a expressão anterior passa a ser:

$$\frac{V}{H} = n_1 \cdot n_2 \cdot \alpha \cdot f$$

Este recurso é utilizado, caso se necessite imagear a baixas alturas e grandes velocidades para o que o sistema deve ser capaz de operar a elevadas razões V/H.

A Figura 4 mostra esquematicamente o imageador desenvolvido. A radiação proveniente da cena é refletida pelo espelho giratório e focalizada sobre o detetor pelo sistema óptico constituído por um telescópio do tipo Cassegrain.

O sinal gerado pelo detetor é amplificado e usado para modular a intensidade do feixe de luz de uma lâmpada especial ("Glow Modulator Tube"). Esse feixe de luz é focalizado sobre o filme, sendo, antes, refletido por outro espelho giratório acoplado ao mesmo eixo. Dessa forma, ao mesmo tempo em que o espelho giratório "varre" uma linha sobre o solo, o feixe de luz "varre" uma linha sobre o filme. Este, por sua vez, também se movimenta com uma velocidade tal que o feixe de luz possa "varrer" linhas adjacentes. Além desse sistema de reprodução de imagem em tempo real, há, ainda, um conector para saída do sinal para gravação magnética e posterior reprodução.

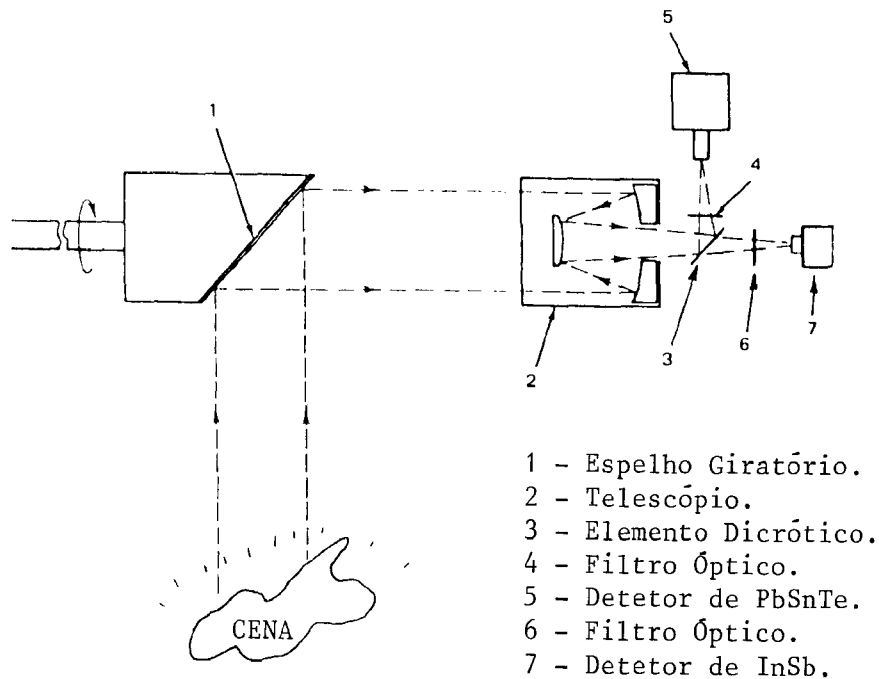


Fig. 4 - Diagrama de sistemas óptico.

O acionamento do eixo principal é feito por um motor cuja rotação máxima é de 100 rps (rotações por segundo). Como o sistema possui um campo de visada instantâneo de 2,5 mrd,

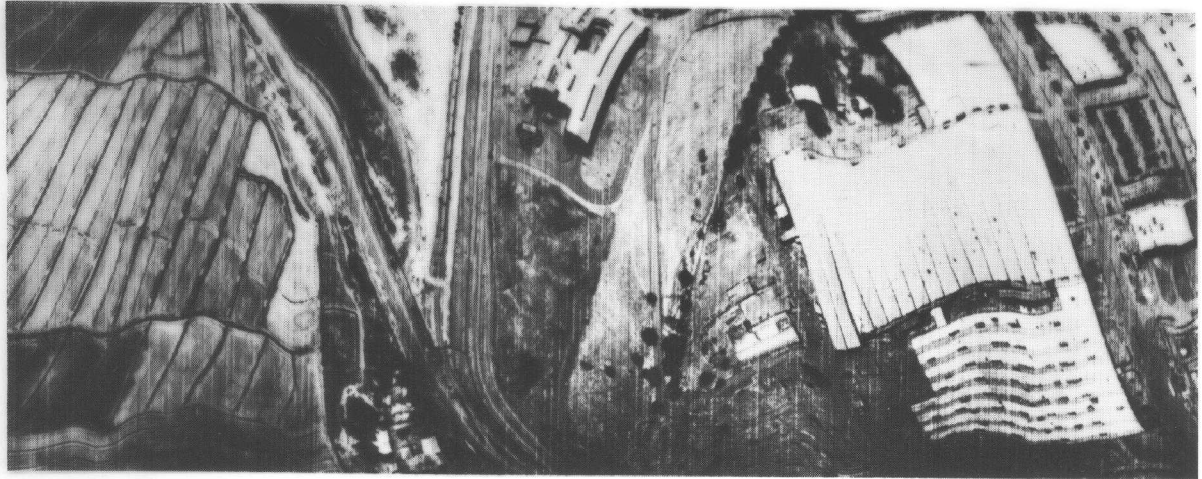
$$\frac{V}{H} = 100 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\left(\frac{V}{H}\right)_{\max} = 0,25 \text{ rd/s}$$

A razão  $V/H$  pode ser mudada através de um circuito que controla a velocidade do motor, de forma que se pode operar o sistema para os seguintes valores de  $V/H$ : 0,1, 0,15, 0,20, 0,25 rd/s.

Para uma aeronave Bandeirante, com uma velocidade de 360Km/h e utilizando-se o máximo valor de  $V/H$ , pode-se operar o sistema a 400 metros de altura e obter-se, então, uma resolução espacial de 1 metro sobre o solo. O Campo de visada total do equipamento é de 120 graus e sua sensibilidade da ordem de  $0,5^{\circ}\text{C}$ , para alvos em temperatura ambiente. A refrigeração do detetor é feita com nitrogênio líquido, a uma temperatura de  $77^{\circ}\text{K}$ .

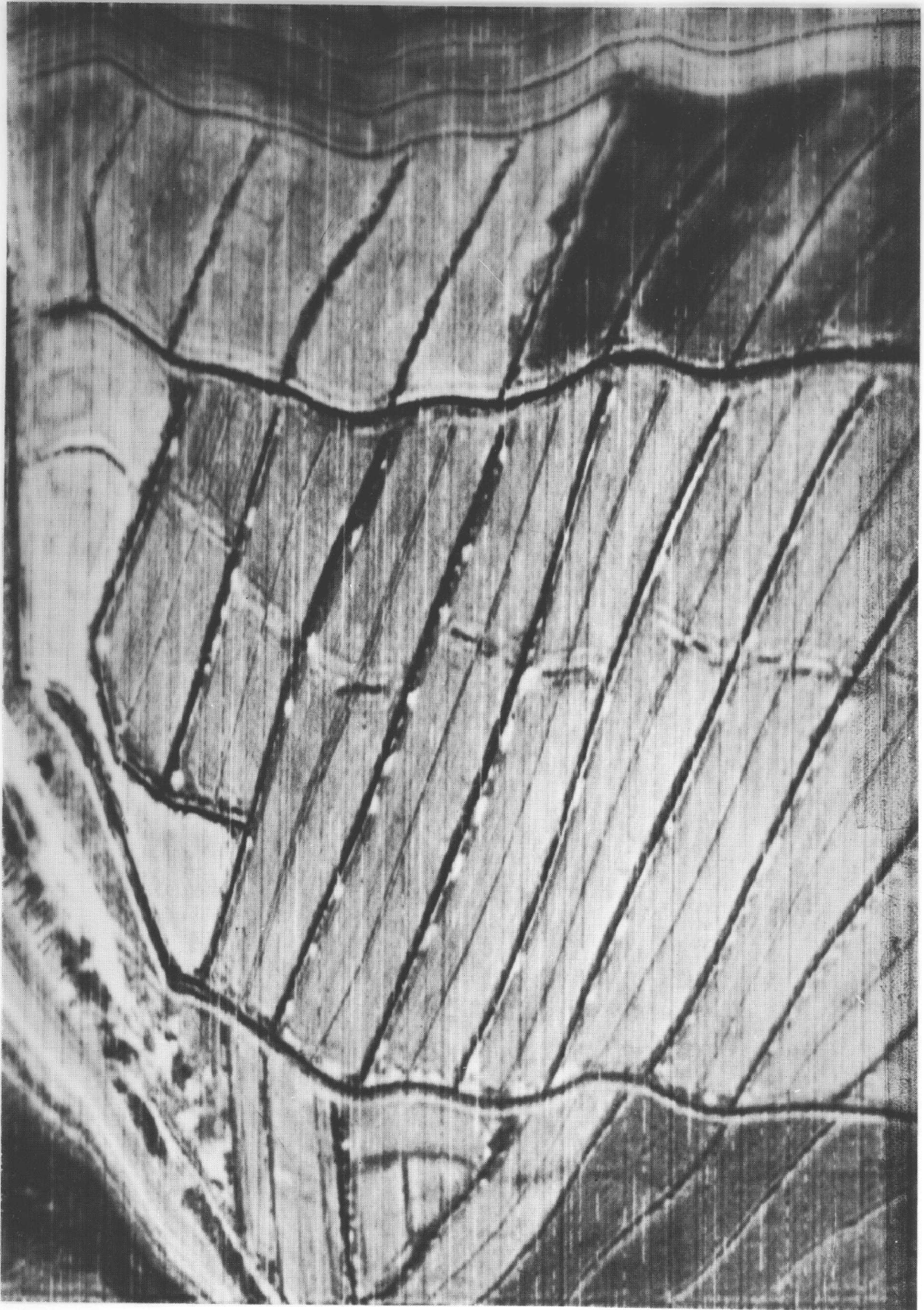
Terminada a construção do imageador, foi este testado em diversos vôos sobre a cidade de São José dos Campos. A Figura 5 mostra uma das imagens obtidas. Verifica-se que o equipamento conseguiu um bom desempenho.



(a)

Fig. 5 - Imagens térmicas sobre a região de São José dos Campos.





(b)

Fig. 5 - Conclusão.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JAMIESON, J.A.; McFEE, R.H.; PLASS, G.N.; GRUBE, R.H.; RICHARDS, R.G.  
Infrared Physics and Engineering: 12-42, 1963.

WOLF, W.L. e ZISSIS, G.J. The Infrared Handbook, 15-1-15-78, 1978.