

# UM ESTUDO SOBRE HELIOGRAMAS UTILIZADOS NO BRASIL

PAULO ROBERTO PELUFO FOSTER

JESUS MARDEN DOS SANTOS

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

RESUMO - Desde a implementação da rede brasileira de observações meteorológicas de superfície tem sido registrado o número de horas de brilho solar pela utilização do heliógrafo Campbell-Stockes. Várias limitações tem sido feitas à utilização deste instrumento pela maneira como as observações são executadas em nosso país. O tipo e a qualidade das tiras heliográficas usadas pelas diferentes instituições que operam as redes de observações, tem sido uma das causas de erros constantes embutidos nas séries existentes. Neste trabalho analisa-se as características de doze tipos diferentes de tiras heliográficas, a saber: cores, dimensões, tempo de queima e sobre queima, assim como o valor mínimo do fluxo de radiação necessário para início da queima.

ABSTRACT - Since the implementation of the Brazilian network of meteorological observing stations the sunshine duration has been recorded, by the Campbell-Stockes recorder. There exist in our days various limitations on the utilization of this equipment in the manner it is being performed in the Brazilian network. One of the facts affecting the observations of sunshine recorder is the type and quality of cards that are being used by the different Institutions that operate a network.

## 1 - INTRODUÇÃO

Os dados básicos dos fluxos de radiação sobre a superfície terrestre são obtidos através de observações realizadas nas estações radiométricas cujo número tem crescido gradualmente no mundo.

Existe um problema, que não é só do Brasil mas de todos os países em desenvolvimento e que se refere à baixa densidade de pontos de observações radiométricas assim como à inexistência de longas séries. As séries mais longas conhecidas são aquelas relativas ao uso de heliógrafos para a determinação do número de horas de brilho solar.

A rede nacional tem como característica, o uso de heliógrafos que ao longo dos anos foram sendo adquiridos através de concorrências públicas, o que resultou em certa diversidade de marcas e de heliogramas.

Não se adota a padronização recomendada pela OMM. Numa rápida pesquisa foram detectados mais de quinze modelos diferentes de heliogramas, nas

redes de observações meteorológicas no território brasileiro e com características as mais diversas quanto: a cor, textura e dimensões.

Um grande número de pesquisadores tem utilizado o modelo empírico proposto por Angstrom(1924)<sup>1</sup>, que desde a sua aceitação vem sofrendo inúmeras modificações, como mostra a revisão bibliográfica publicada por Martinez-Lozano (1984)<sup>2</sup>.

O modelo genérico, pode ser assim explicitado:

$$Eg\downarrow = Eo\downarrow \left( a + b \frac{n}{N} \right)$$

onde  $Eo\downarrow$  é a radiação solar no topo da atmosfera, e  $n$  é o número de horas de brilho solar observado com a utilização de heliógrafos, e  $N$  o número máximo possível de horas de brilho solar de um dia, sendo  $a$  e  $b$  constantes.

Tecendo comentários a respeito da influência do tipo de nuvem nos valores dos coeficientes  $a$  e  $b$ , Ometto (1968)<sup>3</sup> observou que o coeficiente  $a$  é pouco influenciado pelo gênero da nuvem, o que não ocorre com o coeficiente  $b$ .

Embora alguns autores considerem esta equação imprópria, por estabelecer o mesmo peso para a radiação que ocorre em qualquer hora do dia, o modelo de Angstrom tem sido muito utilizado.

Outros pesquisadores, com base neste modelo desenvolveram fórmulas empíricas para estimar a radiação solar global incluindo horas de brilho solar, umidade relativa, temperatura (máxima e mínima) e a cobertura de nuvens.

A qualidade das tiras heliográficas é um dos elementos que introduz grande imprecisão nas observações das horas de brilho solar.

No Brasil existem registros de horas de brilho solar para um grande número de estações que compõem as redes meteorológicas: Instituto Nacional de Meteorologia (INEMET), Instituto de Pesquisas Agronômicas do Estado do Rio Grande do Sul (IPAGRO), Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Na maioria destas redes, o heliógrafo Campbell-Stockes tem sido o aparelho utilizado. Em levantamento preliminar verificou-se que são utilizados mais de quinze tipos diferentes de tiras heliográficas.

Um problema que vem sendo estudado desde 1958, é a variabilidade do "threshold" de radiação que produz a queima e a sobre-queima em condições de brilho e sombra intermitentes (Bider, 1958<sup>4</sup>; Baumgartner, 1979<sup>5</sup>; Painter, 1981<sup>6</sup>; Helmes e Jaenicke, 1984<sup>7</sup>). A WMO (1971)<sup>8</sup> recomenda que o valor limitante deva variar entre 70 W/m<sup>2</sup> (em condições muito secas) e 280 W/m<sup>2</sup> (em condições de muita umidade). Bider (1958)<sup>4</sup> mostrou que, na média anual, o valor limitante era

cerca de 8% menor no pôr do Sol que no nascer do Sol, atribuindo este desvio ao fato de que a tira heliográfica está sujeita à maior umidade no começo da manhã.

O problema da sobre-queima (overburning) é o mais importante e o mais difícil de avaliar. Por exemplo, a passagem de uma nuvem entre o aparelho e o Sol, pode ocasionar uma resposta mais lenta do cartão, ou seja, ele continua a queimar por algum tempo, sem que a radiação solar esteja incidindo. Painter (1981)<sup>6</sup>, testando os cartões utilizados no Reino Unido, encontrou sobre-estimativas na duração das horas de brilho solar de aproximadamente 100%. Determinou também um valor de  $I_{cs} = 193 \text{ W/m}^2$  para o amanhecer e  $I_{cs} = 154 \text{ W/m}^2$  para o anoitecer, com um valor médio de  $170 \text{ W/m}^2$ . ( $I_{cs}$  - valor limitante de radiação, para que se inicie a queima do heliograma)

Helmes e Jaenicke (1984)<sup>7</sup>, analisando quatro diferentes tipos de heliogramas em dias sem nuvens, encontraram  $I_{cs}$  médios que variam de  $146 \text{ W/m}^2$  à  $233 \text{ W/m}^2$ , enquanto que a WMO-CIMO (1976)<sup>9</sup> recomenda um valor de  $I_{cs} \text{ (WMO)} = 20 \text{ mW/cm}^2$  ( $200 \text{ W/m}^2$ ), para o heliógrafo Campbell-Stockes.

Diniz (1983)<sup>10</sup>, avaliando o efeito da espessura em oito diferentes tipos de tiras heliográficas utilizadas no Brasil, notou que as diferenças em respostas ocorrem, principalmente, nas primeiras horas do dia, ou em períodos intermediários, durante a alternância de céu claro com céu coberto.

De acordo com a WMO (1971)<sup>8</sup>, as tiras deverão ser feitas em papelão de boa qualidade, que não se dilatam apreciavelmente em seu comprimento sob o efeito de umidade. Elas deverão ser impressas na cor: Azul escuro. A largura da fita deve ser precisa variando no máximo 0,3 milímetros para se evitar dificuldades na colocação ou retenção nas ranhuras especialmente em dias úmidos.

A espessura da tira deve ser de  $0,4 \pm 0,05 \text{ mm}$  de modo que as variações nas dimensões, sob a ação da umidade, não excedam 2%, e a cor deve ser tal, que nenhuma diferença entre a cor da tira e a do tipo azul padrão possa ser detectada a olho nú, quando vista sob luz natural difusa. As linhas horárias devem ser impressas em preto.

A natureza do papel e os métodos de fabricação, coloração e impregnação, devem obedecer às especificações detalhadamente elaboradas pela WMO (1971)<sup>8</sup> e apresentadas nas Especificações Técnicas A00 - 1500 do Serviço Meteorológico Francês<sup>11</sup>.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

Os heliogramas foram testados, quanto à sua espessura, início e término de queima e sobre-queima. Estes heliogramas são utilizados nas várias redes de observações meteorológicas existentes no Brasil, conforme mostrado na Tabela 1.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS HELIOGRAMAS AVALIADOS

HELIOGRAMA	COR	ESP. mm	LARG. mm	DIV. 1 mm	DIV. 2 mm	DIV. 3 mm
França	Azul Cl.	0,25	31	0,5 (d)	0,5 (d)	-
INEMET	Verde	0,51	33	1,0 (a)	1,0 (a)	0,5 (a)
UFPel	Preto	0,35	30	0,5 (a)	0,5 (a)	-
EMBR. UFPel.	Verde	0,18	31	+ 1 (a)	+ 1 (a)	+ 1 (a)
EMBR. CNPFT (1)	Verde	0,24	38	0,5 (a)	0,5 (a)	0,5 (a)
EMBR. CNPFT (2)	Azul Esc.	0,27	30	0,4 (a)	0,4 (a)	-
IPAGRO (1)	Preto	0,30	30	1,0 (a)	1,0 (a)	-
IPAGRO (2)	Preto	0,35	30	0,5 (a)	0,5 (a)	-
ESALQ	Preto	0,23	29	1,0 (c)	1,0 (c)	0,5 (c)
IAC (1)	Preto	0,24	32	0,6 (b)	0,6 (b)	0,4 (b)
IAC (2)	Preto	0,24	32	1,0 (a)	1,0 (a)	0,5 (a)
Casella	Verde	0,32	31	0,3 (a)	0,3 (a)	-

LEGENDA: - DIVISÃO 1 = Divisão horária - (a) = cor branca  
 - DIVISÃO 2 = Divisão semi-horária - (b) = cor branca amarelada  
 - DIVISÃO 3 = Divisão de déc.-de hora - (c) = cor azul  
 - (d) = cor preta

### 2.1 - ESTIMATIVA DO FLUXO MÍNIMO DE QUEIMA ( $I_{cs}$ )

A estimativa do fluxo mínimo de queima foi feita por diferentes modos. O primeiro deles foi realizado ao amanhecer, observando-se as seguintes precauções:

- Cada uma das tiras foi colocada no heliógrafo, sempre alguns instantes antes do amanhecer, para que não absorvesse nenhuma umidade.
- A esfera de vidro do heliógrafo era sempre limpa e seca, antes de ser colocado o heliograma no início das observações.

Para que as condições ideais fossem obtidas tanto quanto possível, o fluxo de radiação e o tempo de resposta necessários para início da queima, começavam a ser medidos a partir do momento em que o anteparo (cobertura) fosse retirado da posição que não permitia que a radiação solar direta chegasse ao heliógrafo.

No momento em que o heliograma começava a queimar, eram anotados o valor do fluxo, medido por um milivoltímetro acoplado a um piranômetro e o tempo necessário para iniciar a queima a partir da retirada do anteparo. Durante o dia, a estimativa do fluxo mínimo, era observada sempre que uma nuvem obs- truísse o disco solar (parcial ou totalmente) anotando-se, sempre que possível, o tempo de resposta para reinício da queima, após a passagem da nuvem assim co- mo o tipo da nuvem.

Um outro modo de observação e estimativa do fluxo mínimo, foi feita antes do pôr do Sol. Neste processo, foi praticamente impossível obter o tempo de resposta, sendo anotado somente o valor do fluxo de radiação solar no instante em que o heliograma parava de queimar. Esta metodologia foi bastante prejudicada porque ao entardecer a presença de nuvens entre o Sol e o heliôgrafo foi frequente.

A verificação do tempo de sobre-queima foi observado para situações em que nenhum obstáculo afetasse a incidência direta de radiação solar, de preferência nos horários próximos à passagem meridiana do Sol, para que as observações pudessem ser repetidas o maior número de vezes. Inicialmente anotava-se o fluxo de radiação, a seguir o heliôgrafo era encoberto, fazendo com que nenhuma radiação solar direta chegasse ao aparelho, no mesmo instante que o cronômetro era acionado. No momento de cessar a queima, travava-se o cronômetro, anotando-se o tempo de sobre-queima. Estas observações foram feitas para condições de céu claro.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que apesar de existir uma cor padrão recomendada, os heliogramas utilizados no Brasil pelas diferentes instituições operacionais ou de pesquisa não a obedecem. Embora a cor indicada seja o azul nas duas faces, somente uma instituição a utiliza, isto porque a tira heliográfica foi importada junto com o heliôgrafo.

Considerando que a compra dos heliogramas de firmas especializadas acarreta grandes despesas financeiras, na maioria das vezes elas são confeccionadas de maneira artesanal em gráficas das próprias instituições. Assim, a composição fibrosa e as características, tais como espessura e cor, não são obedecidas.

Analisando a espessura das tiras (Figura 1), nota-se que somente duas (as utilizadas no Curso de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas e no Instituto Agronômico do Estado do Rio Grande do Sul) apresentaram-se dentro dos padrões recomendados pelo Guia de Instrumentos Meteorológicos e Práticas de Observação da WMO.

Ao serem colocadas no heliôgrafo observou-se que as tiras utilizadas pela rede do Instituto Nacional de Meteorologia apresentaram dificuldades para sua colocação por serem muito justas. Quanto ao heliograma fabricado e utilizado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Fruteiras Temperadas da EMBRAPA, era o de pior qualidade, com largura irregular, apresentando uma largura média de 38 milímetros.

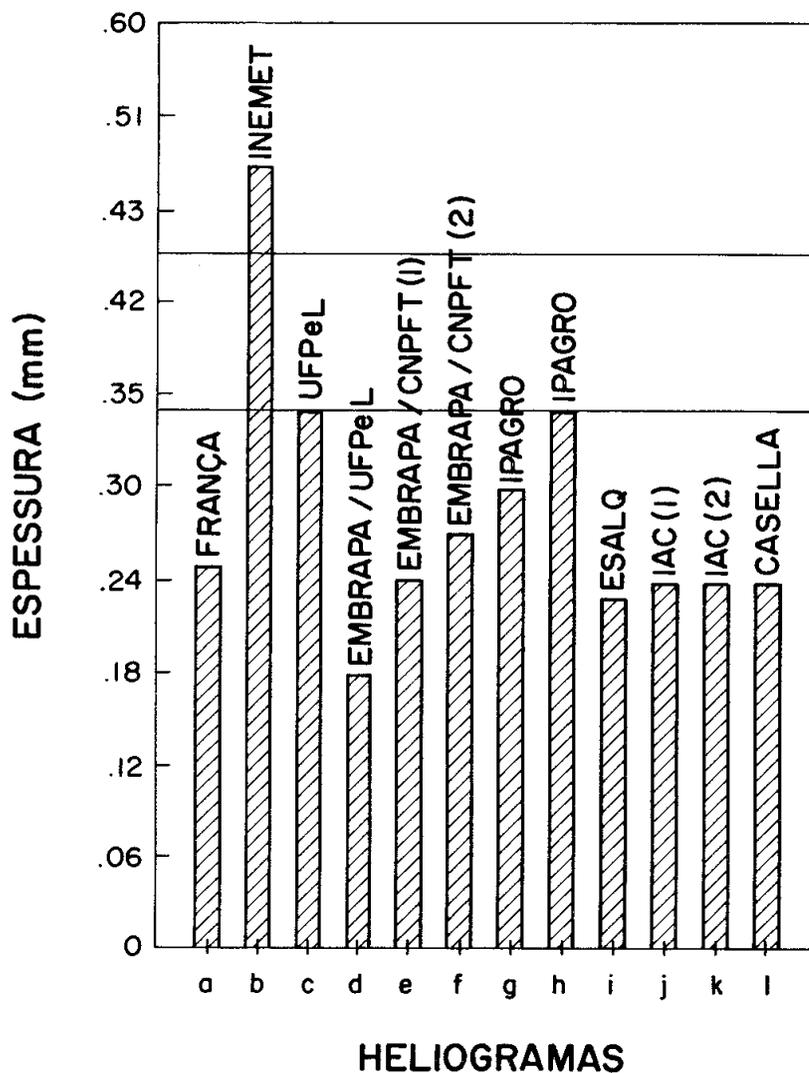


Figura 1 - Espessura dos Heliogramas

Embora seja recomendado que se utilize somente divisões horárias e semi-horárias, cada uma com uma largura máxima de 0,5 mm, observou-se que esta recomendação não é obedecida, pois em muitos casos as divisões têm até 1 mm de largura, introduzindo-se ainda a divisão de décimos de hora.

Observou-se que somente um dos heliogramas, o utilizado pela estação meteorológica da EMBRAPA/UFPeL, não apresenta o valor mínimo de queima (Ics) dentro dos padrões recomendados pela WMO. Isto se deve, possivelmente às suas características técnicas não serem aquelas recomendadas. Além das divisões horárias e semi-horárias, apresentam divisões de décimos de hora. Todas estas divisões foram impressas na cor branca, cujas larguras são maiores do que 1mm.

Analisando a Tabela 2, verifica-se que os valores mínimos para início de queima ao amanhecer variam de modo bastante distinto.

TABELA 2

Ics MÍNIMO PARA INÍCIO DA QUEIMA DOS HELIOGRAMAS  
AO NASCER DO SOL (TEMPO MÁXIMO = 15 SEGUNDOS).

HELIOGRAMA	Ics (w/m <sup>2</sup> )							
	48	96	144	192	240	288	336	384
FRANÇA	nq	nq	nq	10''	*	*	*	*
INEMET	nq	nq	nq	nq	8''	2''	*	*
UFPEl (Meteorologia)	nq	1''	*	*	*	*	*	*
EMBRAPA UFPEl (verde)	nq	nq	nq	nq	15''	6''	2''	*
EMBRAPA UFPEl (branco)	nq	nq	nq	nq	nq	nq	10''	7''
IPAGRO	nq	1''	*	*	*	*	*	*
EMBRAPA/CNPFT (1)	nq	nq	8''	3''	*	*	*	*
EMBRAPA/CNPFT (2)	nq	nq	nq	10''	6''	*	*	*
ESALQ	nq	2''	*	*	*	*	*	*
IAC (1)	nq	8''	*	*	*	*	*	*
IAC (2)	nq	8''	*	*	*	*	*	*
CASELLA	nq	10''	*	*	*	*	*	*

nq = Não queima.

\* = Queima instantânea.

TABELA 3

I<sub>cs</sub> MÍNIMO PARA INÍCIO DA QUEIMA DOS HELIOGRAMAS  
NO PÔR DO SOL (TEMPO MÁXIMO = 15 SEGUNDOS).

HELIOGRAMA	I <sub>cs</sub> (W/m <sup>2</sup> )					
	144	192	240	288	336	384
FRANÇA	nq	*	*	*	*	*
INEMET	nq	nq	nq	*	*	*
UFPEl (Meteorologia)	nq	*	*	*	*	*
EMBRAPA/UFPEl	nq	nq	nq	nq	nq	*
IPAGRO	nq	*	*	*	*	*
EMBRAPA/CNPFT (1)	nq	*	*	*	*	*
EMBRAPA/CNPFT (2)	nq	nq	nq	nq	*	*
ESALQ	nq	nq	*	*	*	*
IAC (1)	nq	nq	*	*	*	*
IAC (2)	nq	nq	*	*	*	*
CASELLA	nq	nq	nq	*	*	*

nq = Não queima.

\* = Queima instantânea.

Para a avaliação do Ics mínimo para o início da queima no pôr do Sol, foi levado em consideração um tempo máximo de 15 segundos. Com esta condição, observou-se que as tiras utilizadas pelo INEMET, EMBRAPA/UFPe1, EMBRAPA/CNPFT (2) e CASELLA, não satisfizeram as condições recomendadas pela WMO, sendo a tira de pior desempenho a da estação localizada na EMBRAPA/UFPe1 (TABELA 3).

Notou-se que, dos heliogramas fabricados no BRASIL, apenas dois (estação meteorológica do Curso de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas e rede meteorológica do Instituto de Pesquisas Agronômicas do Rio Grande do Sul), tiveram um desempenho igual ao do heliograma padrão internacional.

Ao analisar-se a Tabela 4, constata-se que os valores mínimos de Ics para início da queima ao anoitecer e ao amanhecer, não apresentam nenhuma diferença relativa com a tira padrão internacional, ou seja, os Ics são os mesmos.

Por outro lado, diferenças relativas grandes mostram que existe uma enorme amplitude entre os valores mínimos e Ics, entre o anoitecer e o amanhecer.

TABELA 4

VALORES MÍNIMOS DE Ics (W/m<sup>2</sup>) PARA INÍCIO DE QUEIMA AO NASCER E PÔR DO SOL E DIFERENÇA RELATIVA (DR) ENTRE AMBOS.

HELIOGRAMA	NASCER DO SOL	PÔR DO SOL	DR (%)
FRANÇA	192 W/m <sup>2</sup>	192 W/m <sup>2</sup>	0
INEMET	240 W/m <sup>2</sup>	288 W/m <sup>2</sup>	20
UFPe1 (Meteorologia)	96 W/m <sup>2</sup>	192 W/m <sup>2</sup>	100
EMBRAPA/UFPe1	240 W/m <sup>2</sup>	384 W/m <sup>2</sup>	60
IPAGRO	96 W/m <sup>2</sup>	192 W/m <sup>2</sup>	100
EMBRAPA/CNPFT (1)	144 W/m <sup>2</sup>	192 W/m <sup>2</sup>	33
EMBRAPA/CNPFT (2)	192 W/m <sup>2</sup>	336 W/m <sup>2</sup>	75
ESALQ	96 W/m <sup>2</sup>	240 W/m <sup>2</sup>	150
IAC (1)	96 W/m <sup>2</sup>	240 W/m <sup>2</sup>	150
IAC (2)	96 W/m <sup>2</sup>	240 W/m <sup>2</sup>	150
CASELLA	96 W/m <sup>2</sup>	288 W/m <sup>2</sup>	200

#### 4 - CONCLUSÕES

- 1) A performance do heliôgrafo é muito variável devido aos efeitos da condição do tempo, mas principalmente por causa da sobrequeima do heliograma em condições de brilho solar intermitente.

- 2) A medida de duração de brilho solar em um período qualquer po de ser sobreestimado em 100%, e, se estas condições persisti rem durante todo o dia, haverá um erro muito grande sobre o valor total diário.
- 3) Em condições de heliogramas secos os valores de Ics no pôr do Sol são de um modo geral maiores do que no nascer do Sol, che gando em alguns casos a uma diferença relativa de 100%.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGSTROM, A. Solar and atmospheric radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 50:121-, 1924.
- MARTINEZ-LOZANO, J.A.; TENA, F. ONRUBIA, J.E.; DE LA RUBIA, J. The historical evolution of the Angstrom formula and its modifications: review and bibliography. Agricultural and Forest Meteorology, 33:109-128, 1984.
- OMETTO, J.C. Estudo das relações entre: radiação solar global, radiação líquida e insolação. Tese de Doutorado, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, 1968. 64 p.
- BIDER, M. Über die genauigkeit der registiernugen des sonneuschriautographen Campbell-Stockes. Archiv Meteorology Geophysics Bioclimatic, (B9):199-230, 1958.
- BAUNGAKTNER, M. Die schwellenintensitet des sonnenscheinatongraphen Campbell-Stockes an wolkenlosen tagen. Zurich, Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanmnnstalt, 1979.
- PAINTER, H. E. The performance of Campbell-Stockes sunshine recorder compared with a simultaneous record of the normal incidence irradiance. Meteorological Magazine, 110(1306):102-109, 1981.
- HELMES, L.; JAENICKE, R. Experimental verification of the determination of the atmospheric turbidity from sunshine recordes. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23(9):1350-1353, 1984.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Guide to meteorological instruments and observing practices. Genebra, 1971. (WMO nº 8, TP3, IX.31-38).
- WMO-CIMO Radiation measurement systems. MWO Bulletin, 25(1):251, 1976.
- DINIZ, T.D. de A.S. Diferenças em registros de duração de brilho solar por he liógrafos Campbell-Stockes, devidas a tipos de tiras. In: CONGRESSO BRASI LEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., Campinas 1983. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1984, p. 101-109.
- Direction de la meteorologie. Centre Technique et du Materiel. Division Technique. Carton d'heliographe Campbell-Stockes. Paris, 1981. (Cahier des Specifications Techniques nº A00-1500).