

1. Classificação <i>INPE.COM 4(RPE)</i> <i>CDU: 523.74:551.577.38(812/814)</i>		2. Período <i>Julho de 1980</i>	4. Critério de Distribuição: interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/>
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>SECAS,</i> <i>NORDESTE,</i> <i>MANCHAS SOLARES.</i>			
5. Relatório nº <i>INPE-1839-RPE/200</i>	6. Data <i>Agosto, 1980</i>	7. Revisado por <i>[assinatura]</i> <i>I. Galvan Meira Filho</i>	
8. Título e Sub-Título <i>RELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE AS SECAS DO NORDESTE</i> <i>E O CICLO SOLAR</i>		9. Autorizado por <i>[assinatura]</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
10. Setor <i>DCE/DGA/GIO</i>	Código <i>30.371</i>	11. Nº de cópias <i>10</i>	
12. Autoria <i>I.J. Kantor</i>		14. Nº de páginas <i>17</i>	
13. Assinatura Responsável <i>[assinatura]</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Utilizando-se dados, desde 1700 até 1974, do número de manchas solares, e, dos anos em que ocorreram secas parciais, totais ou grandes no Nordeste, foi feito um estudo estatístico e análise harmônica de cada série temporal e da relação entre ambas as séries temporais. Mostra-se que as secas totais e grandes tendem a ocorrer próximas aos anos de mínimos do número de manchas solares.</i>			
17. Observações <i>Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT, Brasil, através do Contrato FINEP-537/CT. Este trabalho foi apresentado na XXXII Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), em julho de 1980.</i>			

INDICE

LISTA DE FIGURAS	<i>iv</i>
LISTA DE TABELAS	<i>v</i>
1 - INTRODUÇÃO	01
2 - ANÁLISE DOS DADOS	01
CONCLUSÃO	11
AGRADECIMENTOS	11
BIBLIOGRAFIA	13

LISTA DE FIGURAS

1 - Variação da média anual do número de manchas solares de 1700 a 1974	02
2 - Histograma de diferença de anos (Δ anos) entre secas sucessivas	05
3 - Ocorrência de seca (parcial, grande e total) em relação à fase do número de manchas solares R_z	09
4 - Linhas de contorno dos níveis de 0,1% e 1% para um teste χ^2 , aplicado à ocorrência de secas totais em um setor de abertura α e fase ϕ , no dial harmônico da Figura 3 para secas totais	10

LISTA DE TABELAS

1 - Tabela usada de número de manchas solares	03
2 - Tabela usada de anos de seca	04
3 - Distribuição de secas com R_z	06
4 - Existência (S) ou não-existência (N) de secas num ciclo solar, na região de máximo ou de mínimo (abaixo ou acima da média móvel de 11 anos, respectivamente); o valor do χ^2 da distribuição e a porcentagem de secas no máximo e no mínimo	08
5 - Abertura e fase do setor que melhor rejeitam a hipótese de distribuição homogênea de secas nas fases possíveis, e seu respectivo χ^2	11

1 - INTRODUÇÃO

As variações climáticas são de extrema importância para a vida humana. Portanto, é importante o estudo de todas as variáveis que possam influir no clima. Existe a possibilidade de haver efeitos da variação da atividade solar no clima regional ou mundial. Um grande número de aparentes relações sol-clima tem sido apresentado (Bandeem and Maran, 1975; Shapley et al., 1975). Em particular, a relação entre as secas no Nordeste e o ciclo solar tem despertado grande interesse em pesquisadores brasileiros há bastante tempo (Hull, 1953 e Cunha, 1914). Outros pesquisadores constataram também relações entre o ciclo solar e secas em outras regiões (Wood and Lovett, 1974 e Roberts, 1975).

2 - ANÁLISE DOS DADOS

Os dados utilizados neste estudo encontram-se nas Tabelas 1 e 2, e na Figura 1. Para as médias anuais do número de manchas solares (Tabela 1), de 1700 a 1957, foi utilizado o trabalho de Chernosky and Hagan (1958); a partir de 1958 foram utilizados, valores publicados pelo "Solar-Geophysical Data". Os dados de seca (Tabela 2) foram fornecidos pela FUNCEME (1974) e estão classificados em parcial (P), total (T) ou grande (G). Estes mesmos dados encontram-se, em forma gráfica, na Figura 1.

A correlação entre a série de tempo das manchas solares, e uma série binária de secas, apresenta máximos quando defasados de 6 anos. Analisando-se separadamente secas parciais, totais ou grandes, observa-se uma melhor correlação nas secas totais e grandes, do que nas secas parciais.

A análise de Fourier dos dados de seca não apresentou picos significativos. A amplitude dos picos foi comparada com a distribuição de probabilidades de uma distribuição aleatória no tempo, contendo o mesmo número de secas. Não são esperados resultados compensadores da análise de Fourier de séries temporais binárias.

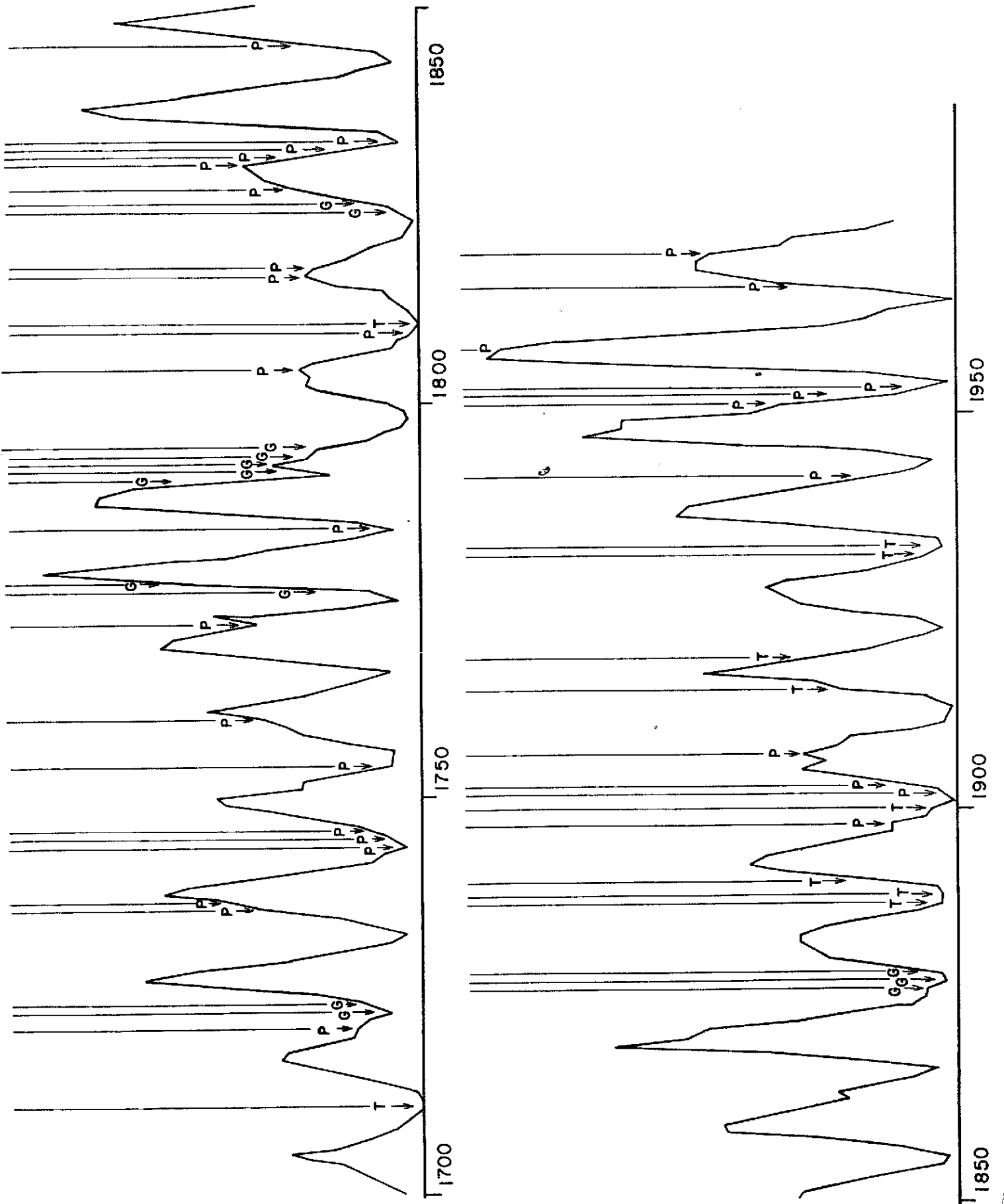


Fig. 7

TABELA 1

TABELA USADA DE NÚMERO DE MANCHAS SOLARES

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1700	6.0	11.0	17.0	23.0	35.0	54.0	29.0	21.0	11.0	8.0
1710	3.0	0.0	0.0	2.0	11.0	27.0	44.0	58.0	56.0	38.0
1720	28.0	26.0	22.0	11.0	22.0	38.0	74.0	113.0	98.0	67.0
1730	44.0	28.0	11.0	6.0	17.0	33.0	64.0	77.0	106.0	96.0
1740	67.0	39.0	20.0	16.0	6.0	11.0	22.0	39.0	56.0	80.9
1750	83.4	47.7	47.8	30.7	12.2	9.6	10.2	32.4	47.6	54.0
1760	62.9	85.9	61.2	45.1	36.4	20.9	11.4	37.8	69.8	106.1
1770	100.8	81.6	66.5	84.8	30.6	7.0	19.8	92.5	154.4	125.9
1780	84.8	68.1	38.5	22.8	10.2	24.1	82.9	132.0	130.9	118.1
1790	89.9	36.6	60.0	46.9	41.0	21.3	16.0	6.4	4.1	6.8
1800	14.5	34.0	45.0	43.1	47.5	42.2	28.1	10.1	8.1	2.5
1810	0.0	1.4	5.0	12.2	13.0	35.4	45.8	41.1	30.4	23.9
1820	15.7	6.6	4.0	1.8	8.5	16.6	36.3	49.7	62.5	67.0
1830	71.0	47.8	27.5	8.5	13.2	56.9	121.5	138.3	103.3	85.8
1840	63.2	36.8	24.2	10.7	15.0	40.1	61.5	98.5	124.3	95.9
1850	66.5	64.5	54.2	39.0	20.6	6.7	4.3	22.8	54.8	93.8
1860	95.7	77.2	59.1	44.0	47.0	30.5	16.3	7.3	37.3	73.9
1870	139.1	111.2	101.7	66.3	44.7	17.1	11.3	12.3	3.4	6.0
1880	32.3	54.3	59.7	63.7	63.5	52.2	25.4	13.1	6.8	6.3
1890	7.1	35.6	73.0	84.9	78.0	64.0	41.8	26.2	26.7	12.1
1900	9.5	2.7	5.0	24.4	42.0	63.5	53.8	62.0	48.5	43.9
1910	18.6	5.7	3.6	1.4	9.6	47.4	57.1	103.9	80.6	63.6
1920	37.6	26.1	14.2	5.8	16.7	44.3	63.9	69.0	77.8	65.0
1930	35.7	21.2	11.1	5.7	8.7	36.1	79.7	114.4	109.6	88.8
1940	67.8	47.5	30.6	16.3	9.6	33.2	92.6	151.6	136.2	135.1
1950	83.9	69.4	31.4	13.9	4.4	38.0	141.7	189.9	185.0	160.0
1960	100.0	50.0	35.0	27.0	2.6	16.3	49.7	89.7	106.6	106.5
1970	100.4	69.7	66.8	39.0	23.3					

TABELA 2

TABELA USADA DE ANOS DE SECA

Século XVIII	1711T	1721P	1723G	1724G	1736P
	1737P	1744P	1745P	1746P	1754P
	1760P	1772P	1776G	1777G	1784P
	1790G	1791G	1792G	1793G	1794G
Século XIX	1804P	1809P	1810T	1816P	1817P
	1824G	1825G	1827P	1830P	1831P
	1832P	1833P	1845P	1877G	1878G
	1879G	1888T	1889T	1891T	1898P
Século XX	1900T	1902P	1903P	1907P	1915T
	1919T	1932T	1933T	1942P	1951P
	1952P	1953P	1958P	1966P	1970P

A Figura 2 apresenta um histograma da diferença de anos entre secas sucessivas. O conjunto de todas as secas e as secas parciais apresentam um corte após 13 anos. As secas grandes, totais e o conjunto de ambas apresentam uma maior frequência entre 9 e 16 anos. O conjunto de secas total e grande apresenta uma tendência de periodicidade mais pronunciada.

A Tabela 3 apresenta o número de secas que ocorrem num dado intervalo de número de manchas solares, R_z . Uma porcentagem de 89% das secas ocorrem em anos com R_z inferior a 70; o número esperado seria de 78% ($\chi^2 = 3,84$ correspondente a 5%). Para as secas totais, 6 secas totais entre as 10 observadas ocorrem para valores de R_z inferiores a 10; o número esperado seria 1,6 ($\chi^2 = 15$ correspondente a menos de 0,1%). Portanto, a hipótese de que as secas se distribuem uniformemente com R_z deve ser rejeitada.

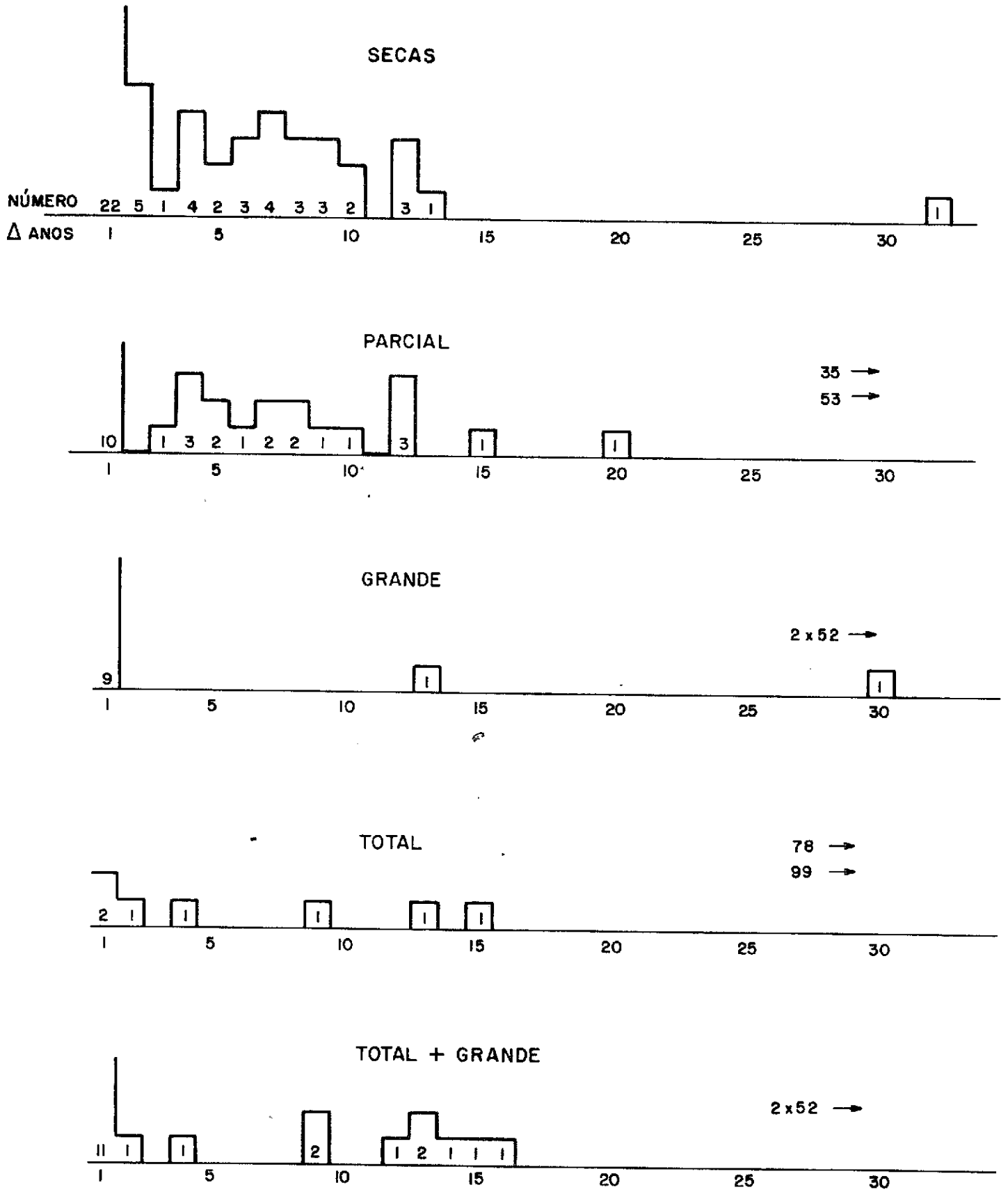


Fig. 2

TABELA 3

DISTRIBUIÇÃO DE SECAS COM R_z

INTERVALO DE R_z	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS				
	PARCIAL	GRANDE	TOTAL	SECAS	ANOS
[0,10]	4	3	6	13	43
[10,20]	4	4	1	9	38
[20,30]	5	1	0	6	29
[30,40]	2	0	1	3	32
[40,50]	7	2	1	10	28
[50,60]	0	0	0	0	15
[60,70]	5	2	1	8	30
[70,80]	2	0	0	2	9
[80,90]	0	1	0	1	13
[90,100]	0	1	0	1	8
[100,110]	1	0	0	1	11
[110,120]	0	0	0	0	4
[120,130]	0	0	0	0	3
[130,140]	0	0	0	0	6
[140,150]	0	0	0	0	1
[150,160]	0	0	0	0	2
[160,170]	0	0	0	0	1
[170,180]	0	0	0	0	0
[180,190]	1	0	0	1	2
[190,200]	0	0	0	0	0

Resultados interessantes foram obtidos, considerando-se a hipótese das secas ocorrerem no mínimo do número de manchas solares. Estes resultados são apresentados a seguir.

Considere-se a curva do número de manchas solares, R_z , e uma média móvel de 11 anos (os resultados são idênticos para a média móvel de 22 anos). As secas, ocorrendo em um ano que o valor de R_z es

tã abaixo da média móvel, correspondem a uma seca no m̄nimo solar (MIN na Tabela 4). Uma seca no m̄ximo solar (MAX na Tabela 4) corresponde à que ocorre em um ano no qual o valor de R_z estã acima da média móvel. A Tabela 4 apresenta, para cada ciclo solar, a existência (S) ou não-existência (N) de seca, seca parcial, seca grande e seca total no m̄ximo e no m̄nimo solar. Observa-se que, de 24 ciclos solares, não ocorreram secas em apenas 3 ciclos (houve secas em 88% dos ciclos). Em nem todos os m̄nimos solares ocorrem secas; apenas em uma proporção de 3:4. Por tanto, não se pode afirmar que em cada m̄nimo solar ocorre pelo menos uma seca. Independentemente do tipo de seca, hã uma frequência maior de m̄nimos com seca que de m̄ximos; porêm, a hipôtese de que as secas se distribuem aleatôriamente são pode ser rejeitada (6%) no caso do conjunto de secas e para as secas totais. As secas parciais se distribuem quase uniformemente no m̄ximo e no m̄nimo solar (36% e 46%).

Os dados da Tabela 4 indicam que as secas não se distribuem uniformemente e se concentram principalmente no m̄nimo solar. Associando-se uma fase, ϕ , ao ciclo solar, é possível um estudo mais quantitativo da ocorrência de secas prôximo ao m̄nimo. A um m̄ximo de R_z corresponde $\phi = 0^\circ$, ao m̄nimo em seguida, $\phi = 180^\circ$, e ao prôximo m̄ximo, $\phi = 360^\circ$. Aos valores intermediários é feita uma interpolação no tempo, como se fosse uma variação harmônica. Observe-se que, neste caso, foi utilizado apenas a informação de m̄ximo ou m̄nimo e seu ano de ocorrência. A Figura 3 apresenta, em forma de dial harmônico, a ocorrência de secas parcial, grande e total. Observe-se que para as secas totais, 7 ocorreram bem prôximas a um m̄nimo de R_z ($\phi = 180^\circ$), em um m̄nimo total de 10 secas totais. Para as secas grandes, todas, com exceção da 13, ocorreram em uma metade do dial. As secas parciais distribuem-se com maior uniformidade. Estes resultados podem ser quantificados da seguinte maneira: procura-se o setor de abertura α e a fase ϕ que melhor rejeitam a hipôtese de distribuição homogênea de secas nas fases possíveis. A Figura 4 apresenta um contorno dos níveis de 0,1% e 1% para as secas totais no plano (α, ϕ) , para um teste χ^2 . Os valores de abertura, $\alpha = 60^\circ$ e fase $\phi = 170^\circ$, correspondem ao m̄ximo de $\chi^2 = 17,51$. A Tabela 5 apresenta os resultados para as secas, grande e total.

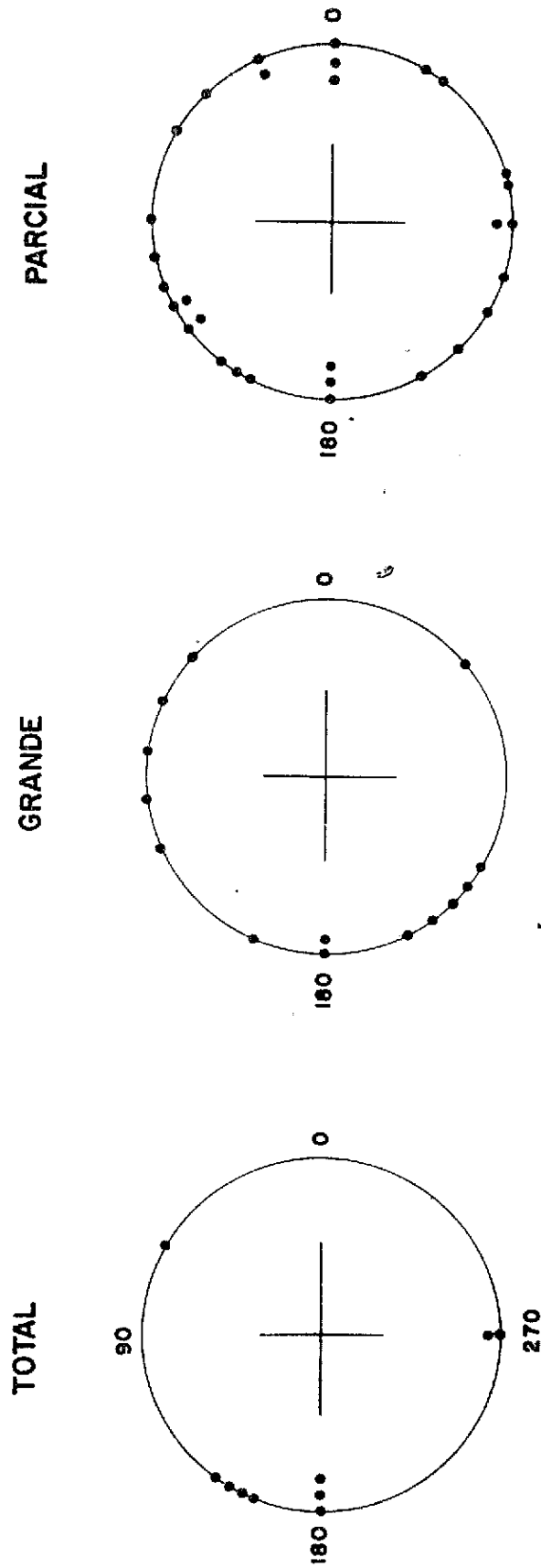


Fig. 3

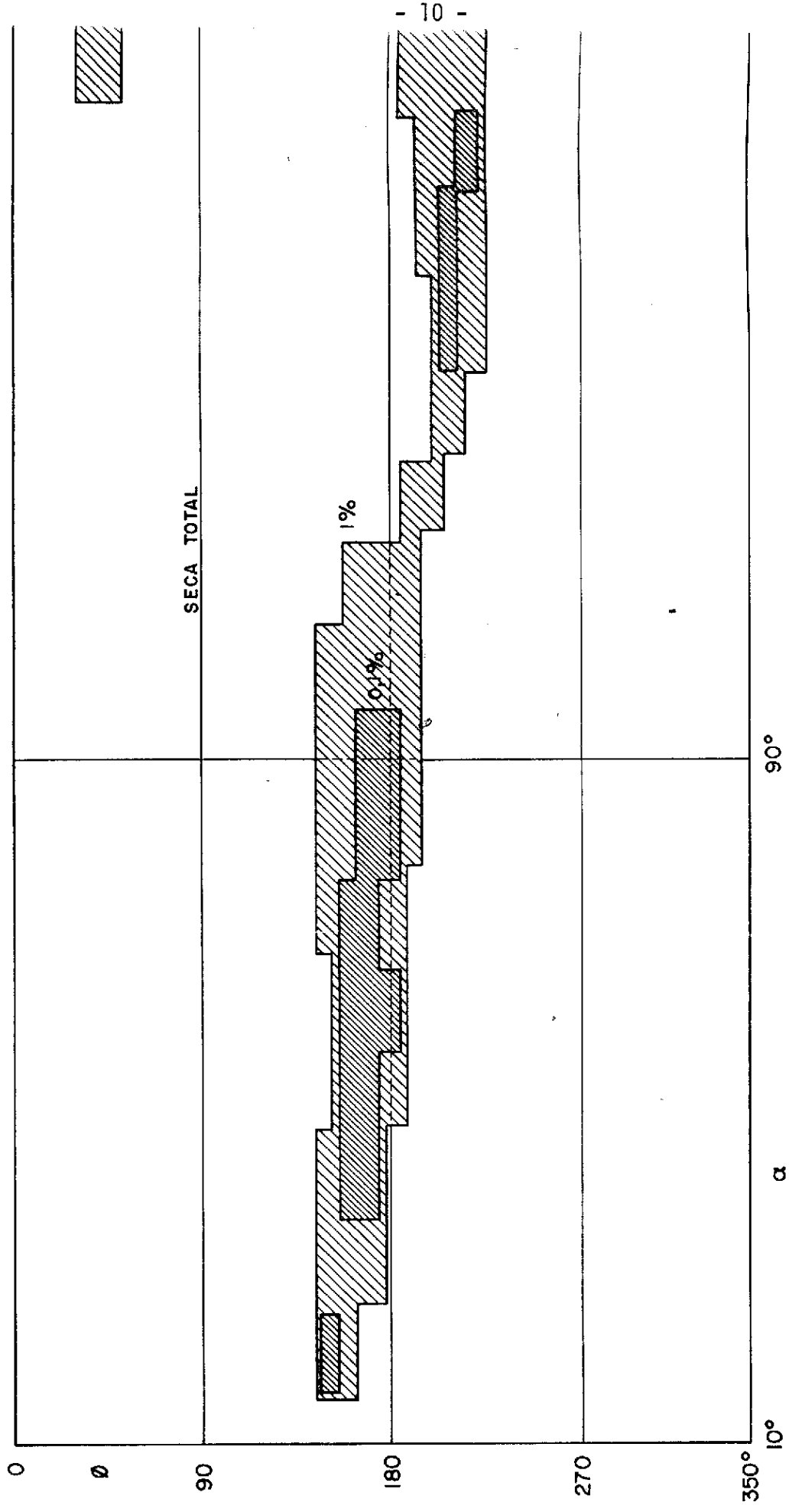


Fig. 4

Para as secas grandes, foram apresentados dois resultados correspondentes a máximos distintos de χ^2 ; intuitivamente, o valor de abertura 220° seria mais significativo. Observe-se que para o conjunto de secas, secas grandes e secas totais a hipótese de distribuição homogênea deve ser rejeitada.

TABELA 5

ABERTURA E FASE DO SETOR QUE MELHOR REJEITAM A HIPÓTESE DE DISTRIBUIÇÃO HOMOGÊNEA DE SECAS NAS FASES POSSÍVEIS, E SEU RESPECTIVO χ^2 .

	FASE	ABERTURA	χ^2
PARCIAL	200	180°	2,65 (10%)
GRANDE	140°	210°	5,39 (2%)
GRANDE	220	40°	9,58 (0,1%)
TOTAL	170°	60°	17,51 (< 0,1%)
SECAS	200°	180°	8,68 (< 1%)

CONCLUSÃO

Não é possível aceitar-se a hipótese de distribuição homogênea das secas totais e grandes em relação ao número de manchas solares. As secas parciais se distribuem mais homogênea em relação às manchas solares.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Nelson de Jesus Parada, Diretor do INPE, pela possibilidade de execução deste trabalho. À Fundação Cearense de Meteorologia e Chuvas Artificiais, FUNCEME, pelo fornecimento de dados sobre

as secas. Ao Dr. Fernando de Mendonça pela idéia inicial deste trabalho e ao Dr. Gylvan Meira Filho pelo incentivo para o término do relatório. Este trabalho é parcialmente financiado pelo FNDCT, sob contrato FINEP-537/CT.

BIBLIOGRAFIA

- BANDEEN, W.R.; MARAN, S.P. ed. *Possible relationships between solar activity and meteorological phenomena*. Washington, D.C., GSFC, 1975, (NASA SP - 366).
- CHERNOSKY, E.J., HAGAN, M.P. The zurich sunspot number and its variations. *Journal Geophysical Research*, 63 (4): 775-788, Dec. 1958.
- CUNHA, E. da *Os Sertões* (Campanha de Canudos). 5 ed. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1914.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E CHUVAS ARTIFICIAIS (FUNCEME). *Relação cronológica relativa as secas ocorridas no Nordeste Brasileiro*. Fortaleza 9 de ago. 1974. Comunicação pessoal.
- HULL, F.R. A frequência das secas no Estado do Ceará e sua relação com a frequência do anos de manchas solares mínimas. *Boletim da Secretaria da Agricultura e Obras Públicas do Ceará - Fortaleza*, Nº 4, jun. 1953.
- ROBERTS, W.O. Relationships between solar activity and climate change. In: BANDEEN, W.R; MARAN, S.P. ed. *Possible relationships between solar activity and meteorological phenomena*. Washington, D.C., 1975. p. 13-24. (NASA SP - 366)
- SHAPLEY, A.H.; KROEHL, H.W.; ALLEN, J.H. *Solar-terrestrial physics and and meteorology: a working document*. Washington, D.C. SCOSTEP, 1975.
- WOOD, C.A.; LOVETT, R.R. Rainfall, drought and the solar cycle. *Nature*, 251 (5476): 594-596, out. 1974.