

# «Influências das manchas solares sôbre as condições terrestres, com especial referência à Climatologia e à Hidrologia»(\*)

(Introdução ao Estudo do Assunto)

**ENG. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO**

Diretor da Divisão de Planejamento e Obras do D. A. E.

## 1. O nosso Universo

A Terra que habitamos, conjuntamente com outros 8 planetas, mais de 1 500 planetóides<sup>(1)</sup>, satélites, cometas e meteoritos, gravitam em torno de uma das inúmeras estrêlas da Via Láctea, o Sol, constituindo o sistema solar.

Em seu movimento em torno do Sol os planetas descrevem órbitas elípticas, de pequeno achatamento, quasi que circulares, e que podem ser consideradas coplanares, dadas as pequenas inclinações dos seus planos.

A luz do Sol, percorrendo 300 000 Km/seg leva cêrca de 8 minutos e meio para atingir a nossa Terra, e mais de 5 horas para chegar a Plutão, o planeta mais afastado.

O nosso conjunto planetário é um modesto sistema entre inúmeros outros, inclusive sistemas com múltiplos sóis...

Muito além dos nosso sistema planetário encontra-se uma infinidade de estrêlas, a mais próxima a 40 000 000 000 000 de quilômetros da Terra ( "Proxima de Centauro") e as mais afastadas a uma distância incalculável.

A luz proveniente das primeiras estrelas leva mais de 4 anos para nos atingir, enquanto que sômente vemos o brilho das mais afastadas dezenas de milhares de anos após a sua emissão.

Distâncias tão grandes passam a ser expressas em unidades astronômicas, anos-luz e parsec<sup>(2)</sup>, já tendo sido feitas observações astronômicas até 2 000 000 000 de anos-luz!

As estrêlas entre as quais inclui-se o nosso Sol, com todo o seu sistema formam um grande conjunto, com a aparência de um gigantesco manto luminoso, a que denominamos Galáxia.

De acôrdo com estudos recentes, a nossa Galáxia ou "Via Láctea", como é chamada, é

de forma lenticular, mede cêrca de 130 000 anos luz no seu eixo maior, 30 000 anos luz segundo o eixo menor, e compreende mais de 50 bilhões de sóis.

Dentro da própria Via Láctea distinguem-se sistemas estelares locais: Assim, o nosso sistema solar inclui-se em um subgrupo cujo "diâmetro" máximo é de cêrca de 9 000 anos-luz.

O nosso Sol, que não se classifica entre as estrêlas mais importantes, não está imóvel: Gira em torno de seu eixo, tem um movimento de translação, e, com todo o seu cortejo planetário se desloca com a extraordinária velocidade de 20 Km/seg em direção a um ponto situado entre Vega e uma das estrêlas da constelação de Hercules<sup>(3)</sup>.

A Via Láctea, por sua vez, também não está paralizada: encontra-se animada de um movimento de rotação sôbre si mesma, girando com a extraordinária velocidade de 325 Km/seg e levando 300 milhões de anos para completar uma volta.

A nossa Galáxia, porém, não é tudo: Ela pode, quanto muito, ser considerada o nosso pequeno universo, pois existem muitos outros universos semelhantes, as inúmeras nebulosas. Tôdas essas numerosas e imensas massas luminosas constituem grandes agrupamentos de estrêlas que aparecem no firmamento como manchas esbranquiçadas. A Via Láctea é um agrupamento dessa natureza, já tendo sido catalogadas mais de 100 000 nebulosas.

Arthur S. Eddington estimou que devem existir mais de 100 000 000 000 de nebulosas.

## 2. As Estrêlas

Até a época de Edmund Halley imaginava-se que as estrêlas se encontravam fixas no firmamento, porque os equipamentos disponíveis e a duração da vida humana não permitiam a apuração de pequenos deslocamentos.

Sabe-se atualmente que as estrelas movimentam-se com velocidades fabulosas, não per-

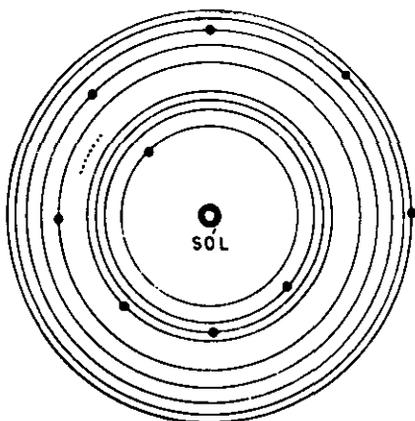
(\*) Trabalho apresentado e elogiado no IV Seminário de Professores de Engenharia Sanitária, realizado em julho de 1959, em Pôrto Alegre.

(1) O planetóide 293, descoberto por Charlois, em 1890, denomina-se Brasil.

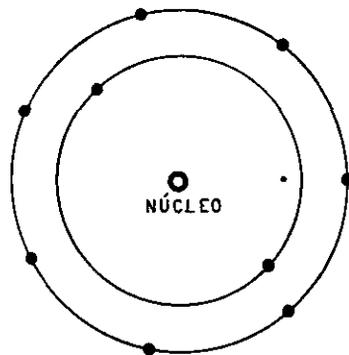
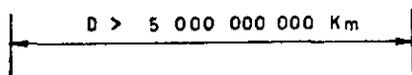
(2) Unidade astronômica equivale à distância média entre a Terra e o Sol, ou seja, 149 504 200 Km.

Parsec é a distância de uma estrêla cuja paralaxe iguala a um segundo: corresponde a 3,26 anos-luz.

(3) A primeira constatação dêste movimento foi feita por um músico alemão pobre, auxiliado por sua irmã: Friedrich Herschel, o descobridor de Urano.



SISTEMA PLANETARIO  
(DISTÂNCIAS MÉDIAS DOS PLANETAS EM ESCALA LOGARÍTMICA)



ÁTOMO DO FLÚOR  
(9 ELETRONS)

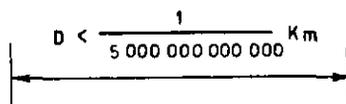


FIG. 1

cebidas devido à grande distância a que se encontram.

O número de estrelas vizível à vista nua, em condições favoráveis, no equador, é pouco superior a 5 000.

Com recursos óticos êsse número se eleva em função da capacidade do equipamento empregado, a saber:

|   |             |
|---|-------------|
| Estrêlas de 16. <sup>a</sup> grandeza . . . . . | 100 000 000 |
| Estrêlas de 17. <sup>a</sup> grandeza . . . . . | 150 000 000 |

Com o telescópio de Monte Wilson, de 2,54 m de diâmetro, podem ser fotografadas 1 500 000 000 de estrêlas.

Só na Via Láctea as estimativas feitas com base em cálculos astronômicos atingem a 30 000 000 000 de estrêlas.

3. O Sol

O Sol, que ocupa a posição central do sistema planetário é uma das inúmeras estrêlas da Via Láctea.

Distando 149 000 000 de quilômetros do nosso planeta, o Sol tem um volume 1 300 000 vezes o da Terra. Comparado, todavia, com outros sóis do nosso firmamento êle é relativamente pequeno: Sirius é muitas vezes mais volumoso e Arcturus cêrca de um milhão de vezes maior.

O Sol é uma grande massa de gases e vapores, em temperaturas elevadíssimas. Em tais condições a sua densidade relacionada à da Terra é baixa: 0,255. Como a densidade média da Terra em relação à água corresponde a 5,52, conclue-se que a densidade média do Sol é 1,41 vezes a da água. Êste valor, extraordinariamente baixo, leva a concluir que a temperatura do Sol é tão elevada que os ele-

mentos químicos conhecidos encontram-se no estado gasoso.

A temperatura no Sol tem sido avaliada por Eddington entre 20 000 000 e 40 000 000°C na parte central, e cêrca de 6 000°C na superfície. A pressão no centro é calculada em 160 bilhões de atmosferas, valor fora da nossa concepção.

Em temperaturas tão elevadas a grande agitação atômica causa colisões e desintegrações, liberando extraordinárias quantidades de energia. Segundo Hans Bethe a origem dessa tremenda fonte de calor é explicada por reações nucleares nas quais o helio é produzido a partir do hidrogênio<sup>(1)</sup>.

O exame espectroscópico demonstra a existência no Sol, de pelo menos 60 elementos químicos que se encontram na Terra, inclusive O, N, Si, Mg, Na, K, Ca, P, S, Fe, Al e Cu. A parte mais luminosa do Sol compõe-se principalmente de hidrogênio, que é elemento abundante no Sol.

Envolvendo a massa gasosa solar encontra-se a "fotosfera", a camada constituída por pequenas particulas incandescentes formadas pela condensação de vapores metálicos.

Essas "gotas" incandescentes precipitam-se continuamente sôbre a massa central, evaporando-se novamente, em seguida, de maneira a ocasionar correntes superficiais permanentes.

Sôbre a fotosfera os astrônomos, há tempos, reconheceram a existência de uma camada de gases em temperatura mais baixa, a que denominaram "camada de reversão", ou "inversora". Esta denominação decorre do fato constatado durante eclipses do Sol, nos quais as raias escuras de absorção, do espectro, re-

(1) Compara-se, pois, o Sol a verdadeira bomba de hidrogênio.

pentinamente reverterem o seu caráter, passando a raias de emissão brilhante. Esse fenômeno foi descoberto durante o eclipse de 1870, pelo astrônomo Charles A. Young.

A espessura provável dessa camada de reversão é da ordem de 700 quilômetros.

A camada de reversão está envolta por uma camada gasosa, menos densa e mais fria, denominada *cromosfera* devido à sua coloração rósea. Admite-se que a cromosfera seja constituída por vapores em pressão mais baixa, de hidrogênio, hélio e cálcio. A sua espessura é estimada em mais de 10 000 Km.

A cromosfera não é vista através de um telescópio comum, exigindo o emprêgo de um polarizador ou de um espectroscópio.

Durante os curtos períodos de um eclipse total a cromosfera pode ser observada sôbre o fundo escuro do céu. Foi durante o eclipse de 1871 que ela foi descoberta.

cia que alcançou cêrca de 1 500 000 quilômetros.

Imensa "nuvem" de hidrogênio incandescente, em forma de arco, constituindo protuberância de grandes proporções foi fotografada em 4 de junho de 1946.

Para investigação das protuberâncias em ação foi idealizado um novo dispositivo de filmagem, no Observatório de Mc-Math-Hulburt, da Universidade de Michigan.

Por ocasião dos eclipses totais pode-se observar ainda um outro envólucro gasoso, com partículas eletrificadas, denominado *corôa*, invisível em outras ocasiões devido ao intenso brilho solar. Essa capa exterior do Sol, de côr branca-leitosa, é atingida pelas protuberâncias.

A corôa não faz parte da "crosta" solar e não participa do seu movimento de rotação. De natureza elétrica, ela pode ser constituída

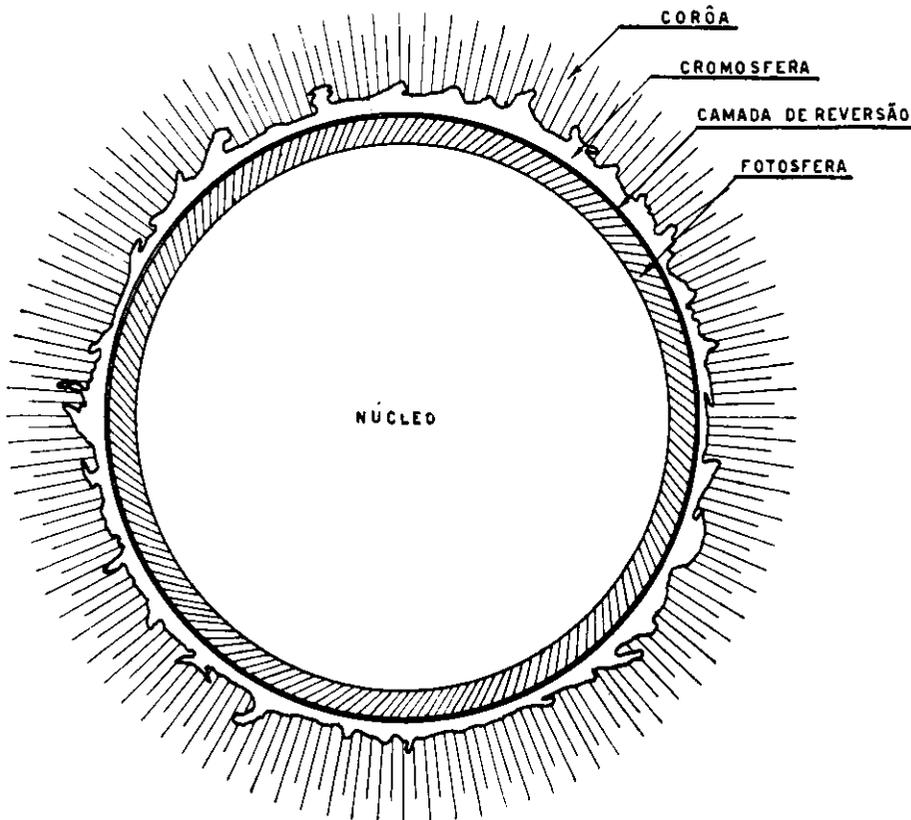


FIG. 2 — Constituição física do Sol

Da cromosfera elevam-se enormes massas ígneas que chegam a ultrapassar 500 000 quilômetros de altura: São as *protuberâncias* solares.

Há ocasiões em que as protuberâncias apresentam-se com o caráter de explosões violentas, com massas luminosas de gás que se elevam mais de 200 000 quilômetros no rápido curso de uma hora.

No início do século foi observada uma protuberância que, em apenas 15 minutos elevou-se de 260 000 a 420 000 Km! Em 20 de março de 1938 foi observada outra proberân-

de partículas carregadas que são atiradas com grande velocidade.

A corôa é vista como uma auréola luminosa, ou halo difuso, de aparência ligeiramente cinza esverdeada e com uma extensão superior a 3 000 000 de quilômetros acima da fotosfera. A sua temperatura excede . . . . . 1 000 000° C.

Para fotografar a parte interna da corôa, em qualquer ocasião, foi inventado um aparelho com o nome de "coronógrafo" utilizado pela primeira vez em 1930, por Bernard F. Lyot, em Pic-du-Midi, no Sul da França.

A Universidade de Harvard instalou um desses aparelhos em 1946, no seu Observatório de Climax, Colorado.

A observação da fotosfera revela a existência de *manchas solares* em número, forma e tamanhos variáveis e em movimento contínuo.

A temperatura nas manchas é inferior à do resto da superfície.

Quando se observa o Sol a sua superfície se apresenta com uma aparência granulada, onde os grãos são de grande luminosidade. Os grãos mais brilhantes, ou *nódulos*, como são denominados, são de tamanho irregular, e devido à sua forma característica têm sido assimilados a grãos de arroz.

Os nódulos chegam a medir 2 000 Km, deslocando-se na superfície solar com extraordinária rapidez, alguns atingindo cerca de 40 Km/seg no seu movimento.

#### 4. As manchas Solares

O Sol sempre foi considerado pelos antigos um astro de grande "pureza". Pode-se, pois, imaginar a surpresa de Galileu, ao verificar, em 1610, pouco depois da construção de seu telescópio, a existência das manchas solares.

A idéia prevalente no momento, a respeito das manchas solares é de que elas sejam devidas a grandes distúrbios ciclônicos, de gases, que evoluem da massa solar sob a forma de vórtices<sup>(1)</sup>.



FIG. 3 — Fotografia parcial do disco solar mostrando um grupo de manchas

As manchas deslocam-se no disco solar, de este para oeste, tanto mais rapidamente quanto mais próximas se encontrarem do equador. Elas são mais numerosas na coroa entre 5 e 30°, acima e abaixo do equador.

Nas proximidades das manchas são vistas "nódoas" brilhantes que se denominam *fáculas* ("pequenas tochas"). O aparecimento de fáculas sempre precede a formação de manchas.

As fáculas são o coroamento de grandes massas de vapores que se elevam da massa solar e que chegam a medir 60 000 quilômetros de comprimento, por 8 000 quilômetros de largura.

#### 5. Periodicidade das Manchas

Embora sempre existam manchas no Sol, elas surgem com maior frequência em determinados anos. Samuel H. Schwabe, modesto químico alemão, foi o primeiro observador a constatar que o seu aparecimento obedece a uma regra cíclica, com período completo de cerca de 11 anos.

Tendo feito as suas pacientes observações através de um pequeno telescópio manual, ele mereceu a medalha de ouro da Royal Astronomical Society.

Os cientistas Wolf e Wolfer, baseando-se nos efeitos das manchas solares conseguiram traçar a sua ocorrência desde o ano de 1610.

Newcomb, partindo desses dados, concluiu que o aparecimento de manchas obedece a uma lei cíclica, com período de 11, 13 anos, em média, correspondendo 4,62 anos à fase de crescimento e 6,51 à fase de decréscimo da atividade.

Esses valores são médios, pois os períodos variam desde 5,6 até 19,9 anos, *si bem* que dois terços dos casos ficam compreendidos entre 9,9 e 11,9 anos.

Outros cientistas, inclusive Douglass, tomam para o período médio valores ligeiramente superiores ao de Newcomb.

As observações mostram que, quanto maior for a erupção das manchas solares em determinado período, tanto mais curto será esse período.

Observa-se também, que enquanto os valores mínimos caem quasi sempre a níveis pouco diversos, os máximos apresentam grande variação: Embora a média dos índices máximos se aproxime de 100, há ocasiões em que o valor chega a ultrapassar 150, como em 1778, em 1947 e recentemente.

A periodicidade das manchas solares mantém uma correlação com as fáculas, que são mais numerosas durante as ocasiões em que é maior a frequência das manchas.

#### MÁXIMOS E MÍNIMOS DAS MANCHAS

| Máximos |       | Mínimos |      |
|---------|-------|---------|------|
| 1750    | 83.4  | 1755    | 9.6  |
| 1761    | 85.9  | 1766    | 11.4 |
| 1769    | 106.1 | 1775    | 7.0  |
| 1778    | 154.4 | 1784    | 10.2 |
| 1787    | 132.0 | 1798    | 4.1  |
| 1804    | 47.5  | 1810    | 0.0  |
| 1816    | 45.8  | 1823    | 1.8  |
| 1830    | 71.0  | 1833    | 8.5  |
| 1837    | 138.3 | 1843    | 10.7 |
| 1848    | 124.3 | 1856    | 4.3  |
| 1860    | 95.7  | 1867    | 7.3  |
| 1870    | 139.1 | 1878    | 3.4  |
| 1883    | 63.7  | 1889    | 6.3  |
| 1894    | 84.9  | 1901    | 2.7  |
| 1905    | 63.5  | 1913    | 1.4  |
| 1917    | 103.9 | 1923    | 5.8  |
| 1928    | 77.8  | 1933    | 5.6  |
| 1937    | 114.4 | 1944    | 9.6  |

#### 6. O Conhecimento das Manchas na Antiguidade

As manchas solares foram os primeiros fenômenos a serem vistos na superfície do astro.

Os antigos haviam observado essas manchas e procuravam explicar o fenômeno à luz dos conhecimentos da época.

(1) O seu comportamento lembra as válvulas de segurança: grandes massas de gases aquecidos, e sob pressão parecem "escapar" do interior da massa solar, atravessando a fotosfera em verdadeiros turbilhões.

Na China encontram-se referências às manchas solares desde o ano 165 A. C. No ano 28 A. C. os chineses referiram-se a elas como sendo os "pássaros voadores" do Sol.

Em outras ocasiões elas foram consideradas como signos do mal.

Ovídio (43 AC — 18 AD) referindo-se à morte de Cesar (44 AC), assim se expressou:

"Phoebi tristis imago  
Lurida sollicitis proebat lumina Terris".

Ao tempo de Aristóteles (384-322 AC) o Sol foi considerado puro e imaculado, classificando-se como errática a afirmação da existência de manchas.

No ano 807 admitiu-se que Mercúrio passou em frente ao disco solar. Em 840 foi a vez de Venus. Até o próprio Kepler incidiu nesse erro, imaginando ter visto a passagem de Mercúrio.

A notável obra enciclopédica de Ma-Twa-Lin, incluiu uma relação de 45 observações feitas entre os anos 301 e 1205.

#### 7. A invenção do telescópio: Recurso indispensável às observações

Em 1608, o preparador de lentes Hans Lippershey, de Middleburg, Holanda, ficou surpreendido com os efeitos produzidos pela combinação de certas lentes, tendo obtido uma patente para o seu achado.

Lipperhey iniciou, a seguir, a fabricação de lunetas como instrumento para distração.

Esse acontecimento chegou aos ouvidos de Galileu, o qual, logo após a confirmação da notícia, dedicou-se ao assunto com o firme objetivo de construir por conta própria, um aparelho com as propriedades descritas.

Pouco tempo foi dependendo pelo grande cientista nesse afã de executar um aparelho de observação ou "tubo mágico".

A primeira luneta que construiu permitia ver os objetos distantes com um aumento de 3x. Essa primeira experiência serviu de base à construção de um segundo aparelho capaz de aproximar 8x. Não satisfeito ainda, Galileu conseguiu construir uma luneta capaz de aumentar 32x.

Munido desse grande recurso Galileu passou a dedicar-se às observações astronômicas, tendo publicado, logo a seguir, no início de 1610, os resultados das suas investigações no livro "O Mensageiro Sideral".

Nesse livro foram abordadas questões relativas à superfície da lua, nebulosas, os quatro satélites maiores de Jupiter<sup>(1)</sup>, etc.

A divulgação do novo invento verificou-se rapidamente e pouco depois eram muitos os pesquisadores a empregar lunetas em observações astronômicas.

O termo "telescópio" surgiu pela primeira vez, em 1611.

#### 8. As Primeiras Observações Telescópicas das Manchas Solares

Aplicado o telescópio às observações astronômicas, o Sol, pela sua importância e pro-

ximidade constituiu um dos primeiros alvos de investigação.

Em 1613 saía à luz as cartas de Galileu sobre as manchas solares, publicadas por Mark Welser, sob o título "História e Demonstrações relativas às Manchas Solares e seus fenômenos".

Antes, porém, havia sido publicado o trabalho do jesuíta alemão Christopher Scheiner sob o pseudônimo de "Apelles latens post tabulam", sobre o mesmo assunto.

Pode-se imaginar a contenda que se estabeleceu entre os dois pesquisadores sobre o assunto, e particularmente sobre a prioridade das observações.

Não há dúvida, porém, quanto à boa fé de ambos, acreditando-se, atualmente, que eles devem ter chegado independentemente às importantes constatações que divulgaram.

Outro trabalho isolado, sobre o mesmo assunto, foi feito pelo inglês Thomas Harriot.

#### 9. Aspecto das Manchas Solares

As manchas solares são vistas ora isoladas, ora em pares, ora em grupos.

As manchas bem desenvolvidas apresentam uma região central bem escura, que se denomina *núcleo*, *umbra* ou *sombra*, rodeada por uma área mais clara, de cor sepia-cinza, e de estrutura complexa, que se chama *penumbra*. Nas manchas muito pequenas às vezes não chega a ser notada a penumbra.

Estima-se que na parte central das manchas a temperatura é de cerca de 2.000°, inferior, portanto, à temperatura admitida para a superfície solar.

Ao redor da penumbra observam-se regiões de grande brilho, com luz muito clara.

Embora as manchas não tenham forma definida, podendo apresentar as mais fantásticas e irregulares configurações, elas muitas vezes são arredondadas, sobretudo quando surgem inicialmente.

Lembrando o aspecto de um funil as manchas chegam a ter milhares de quilômetros de "profundidade".

Seu deslocamento no disco aparente do Sol é relativamente rápido e denota o movimento de rotação da nossa estrela.

#### 10. Duração das Manchas e Zona de Ocorrência no Disco Solar

Não existe uma duração definida para as manchas solares; algumas desaparecem completamente ao fim de várias horas, enquanto que outras permanecem por meses.

As manchas apresentam-se nas zonas equatoriais do Sol, entre os paralelos 5 e 40°, acima e abaixo do "equador", região que foi designada pelos astrônomos antigos como a "Zona Real".

Gustav F. W. Spörer fez uma investigação completa da ocorrência das manchas em relação à latitude, desde 1855 até 1880, tendo estabelecido o que hoje se conhece como a "lei das latitudes das manchas".

Se a determinação do ciclo das manchas solares fosse feita a partir do início do primeiro aparecimento das manchas, em latitudes elevadas, até a observação final dessas manchas, ao desaparecerem nas proximidades do equador, o período médio ficaria compreendido entre 12 e 14 anos, e não 11,2 anos que

(1) Esses satélites foram denominados por Galileu "Estrélas de Medicis", em homenagem ao seu protetor, o Duque Cosimo II de Medici. O termo satélite foi introduzido posteriormente por Kepler.

é o promédio encontrado entre as frequências máximas de manchas estabelecidas pelo sistema de contagem adotado.

### 11. *Natureza das Manchas Solares*

A atmosfera solar periodicamente é agitada por grandes turbilhões (verdadeiros ciclones), que são as manchas solares já descritas.

Não há dúvida de que as manchas solares são de natureza eletro-magnética, o que se comprova pelo efeito de Zeeman nos espectroscópios.

As manchas solares produzem descargas violentas de eletrons no espaço. Parte dessas descargas atinge a atmosfera terrestre causando efeitos eletro-magnéticos que provocam as auroras polares, os distúrbios nas transmissões pelo rádio etc.



FIG. 4 — Ampliação fotográfica da mancha

A verdadeira natureza das manchas solares foi anunciada por George Ellery Hale, em 1908, quando, por meio de um espectro-heliógrafo, recentemente inventado, ele foi capaz de fotografar detalhes das manchas com a luz emitida por um único elemento químico do Sol, tal como o hidrogênio ou o cálcio.

As fotografias assim obtidas mostraram vórtices de hidrogênio no núcleo das manchas.

Em 1922 Hale descobriu que as manchas, em pares, apresentavam polaridade magnética oposta. Hale provou, também, que são muito

poderosos os campos magnéticos das manchas, podendo-se considerá-los milhares de vezes mais fortes do que o campo terrestre.

É importante notar que algumas manchas parecem ser pouco ativas, não causando perturbações magnéticas na Terra.

Moreux afirmava, por isso, que a atividade solar não é necessariamente proporcional ao número de manchas: para ele há outros fenômenos tais como as protuberâncias, alterações na "atmosfera" superior do Sol etc. que ainda deveriam ser melhor investigados, para que se possa encontrar alguma relação da atividade solar com certos fenômenos terrestres.

Ainda não existe, porém, uma teoria completa sobre a origem das manchas solares.

### 12. *Centralização das Observações. As maiores Manchas já Observadas*

Atualmente todos os dados relativos às observações oficiais das manchas solares são encaminhados a um órgão central que é o Observatório Federal de Zurich ("Eidgenössische Sternwarte").

Esse trabalho centralizado foi iniciado pelo grande astrônomo Rudolf Wolf (1816-1893).

Wolf conseguiu reunir dados que permitiram o traçado de uma curva do número de manchas registradas anualmente desde 1750 (Fig. 12).

Esse estudo sistemático vem sendo orientado pelos sucessores de Wolf, entre os quais Heinrich A. Wolfen e William Brünner.

Diariamente em vários pontos do globo terrestre astrônomos especializados registram os fenômenos observados no Sol, com as características essenciais, para tornar possível um estudo geral dos possíveis efeitos da atividade solar sobre a Terra.

As grandes manchas, com mais de 40 000 Km podem ser observadas a simples vista protegida.

As maiores manchas já observadas surgiram: a primeira em 1858, que media ... 230 000 Km e ocupava 1/36 da "superfície" solar; a segunda, com cerca de 56 000 por 100 000 Km, foi fotografada na primeira semana de fevereiro de 1946. Em abril de 1947 outra enorme mancha foi fotografada, com 16 000 000 000 de quilômetros quadrados.

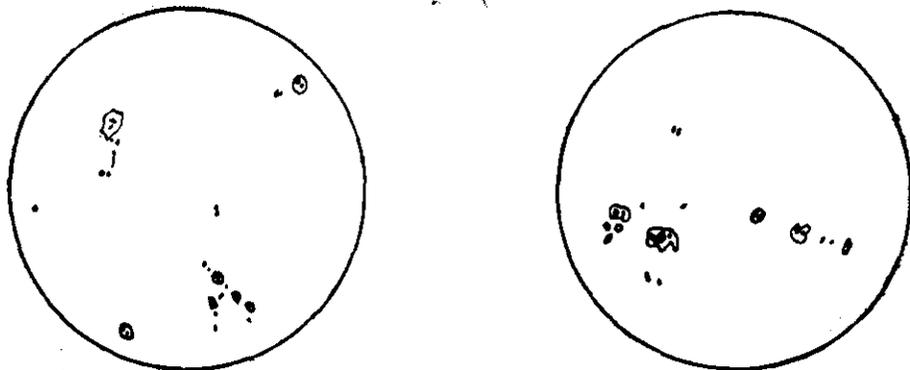


FIG. 5 — Desenhos esquemáticos de observações feitas em São Paulo nos dias 10-6-1959 (8 horas) e 19-6-1959 (12 horas).

### 13. Número Indicativo das Manchas

A investigação cuidadosa da atividade solar exigiu um critério racional e padronizado, para exprimir os resultados numéricos das observações.

Desde o fim do século passado os astrónomos reconhecem o método adotado pelo Observatório de Zurich, por iniciativa de Rudolf Wolf.

De acôrdo com êsse critério o índice de manchas é representado por um número  $N$  calculado pela expressão seguinte:

$$N = k (10g + n)$$

$N$  = Número de Wolf

$g$  = n.º de grupos de manchas observadas no Sol, contando-se também as manchas isoladas como grupos.

$n$  = é o número total de manchas contadas (dentro e fora dos grupos).

$k$  = coeficiente de valor próximo da unidade que depende das condições de observação e do telescópio empregado.

Wolf adotou  $k$  igual a 1 para um telescópio de 75 mm com 64 x. Para aparelhos mais perfeitos e operadores mais hábeis  $k$  é menor do que 1, e para aparelhos menores e operadores menos experimentados  $k$  supera a unidade.

O sistema de Wolf continua a ser o adotado pelo Observatório Central de Zurich.

O Observatório Real de Greenwich, na Inglaterra, assim como o Observatório da Marinha de Guerra dos Estados Unidos, em Washington, têm publicado dados relacionados às áreas das manchas solares em termos da unidade convencional de 1:1 000 000 da área do hemisfério visível do Sol.

### 14. Influências das Manchas sobre Condições Terrestres.

Em 1651, logo após a constatação das manchas solares, o investigador Riccioli aventou a hipótese de existir uma relação entre o aparecimento das manchas e o tempo na superfície da Terra.

Os dados disponíveis não permitiam, na ocasião, qualquer estudo de maior profundidade sobre a hipótese formulada.

Mais tarde o assunto foi retomado pelo cientista William Herschel, que contou com maiores recursos.

Entretanto, somente em 1851 Samuel Heinrich Schwabe veio divulgar os resultados de uma investigação prolongada sobre as manchas solares, identificando a sua periodicidade.

Posteriormente P. Scheiner iniciou o estudo sistemático das manchas, cujo principal

interesse está nas repercussões do fenômeno sobre a Terra, com as influências mais diversas.

Desde então inúmeros pesquisadores vêm se dedicando ao assunto e são da mais variada natureza as observações concluídas e em andamento.

Estreita correlação tem sido encontrada entre a frequência de manchas solares e a atividade magnética na Terra, sendo conhecidas as interferências das precipitações magnéticas nos sistemas telegráficos.

Têm sido tais os distúrbios ocorridos nas transmissões pelo rádio, em consequência de variação na altitude da camada de Kennelly — Heaviside, que a Rádio Corporation of America (R.C.A.) organizou um serviço especial, próprio, para observação dos fenômenos solares.

As precipitações magnéticas, com as consequentes variações sobre as agulhas imantadas incluem-se entre os primeiros efeitos constatados e relacionados à frequência de manchas solares.

Êsses efeitos são atribuídos à emissão de partículas elétricas ou eletrons, pelos centros ativos das manchas. Essas partículas presumivelmente atingem velocidades da ordem de 1000 Km/seg. Quando elas atingem a atmosfera terrestre as camadas superiores tornam-se ionizadas, induzindo descargas eletro-magnéticas.

Magníficas auroras boreais e austrais têm sido provocadas pelo mesmo fenômeno, de origem solar. O número máximo de auroras geralmente ocorre 2 anos após a máxima atividade solar.

Segundo muitos investigadores alterações climáticas no nosso planeta, tais como chuvas excepcionais e secas extraordinárias podem ser relacionadas à atividade das manchas. O número elevado de manchas solares corresponde muitas vezes a verões mais úmidos e precipitações atmosféricas mais elevadas. As erupções vulcânicas são maiores nas ocasiões em que a atividade solar é mínima.

Moreux sintetizou o seu pensamento como segue: "C'est exclusivement du Soleil que nous recevons maintenant à peu près toute la chaleur dont nous avons besoin. Supprimon-la, et la Terre deviendra aussitôt un tombeau glacé pour ses habitants. Dans ces conditions, il est évident a priori que tout changement dans l'activité de l'astre central influera sur l'état thermique de notre globe, sur les pluies, les orages, et indirectement sur la végétation".

Abbot e associados verificaram que as flutuações na radiação do Sol podem variar 2% entre o máximo e o mínimo de manchas solares. O máximo de manchas solares corresponde ao aumento de radiações ultra-violetas.

A influência das manchas solares sobre a temperatura é mais pronunciada em altitudes elevadas, nas zonas tropicais. Em tais situações tem sido observado que a temperatura média anual nas ocasiões de mínimo das manchas solares é cerca de 1°C mais elevada do

que o promédio correspondente aos anos de grande freqüência de manchas.

Acredita-se também, que o teor de ozona na atmosfera superior é aumentado, sendo por isso absorvida maior quantidade de calor do que usualmente, o que concorre indiretamente para alterações no tempo.

Como já foi mencionado, os curiosos fenômenos das auroras polares, provocados por correntes de eletrons provenientes do Sol, podem ser correlacionados com o aparecimento de manchas solares.

Após cada ciclo de manchas solares, e com certo atraso, observa-se também um ciclo de raios cósmicos. A máxima atividade de manchas corresponde a um mínimo de raios cósmicos.

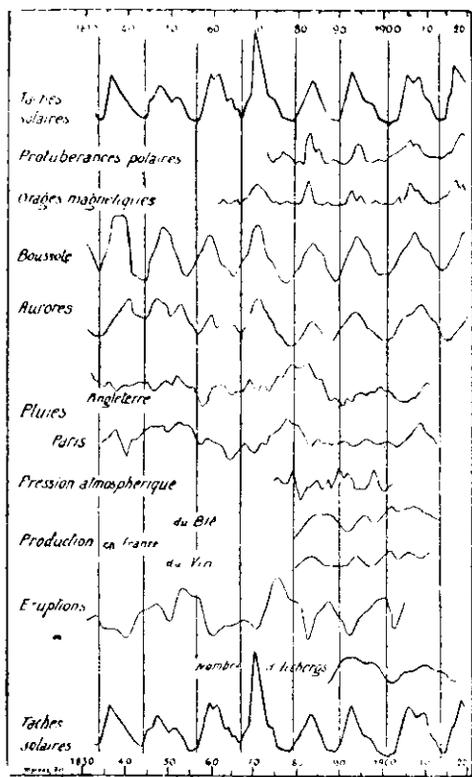


FIG. 6 — Desenho de Moreux mostrando diversas influências das manchas.

Muitos outros efeitos têm sido considerados, alguns com maior evidência estatística do que outros, podendo ser mencionados os seguintes:

- Número de ciclones;
- Número de icebergs;
- Variações de vazões de cursos d'água (Rio Nilo, p.e.);
- Flutuação do nível d'água em grandes lagos (Grandes Lagos Americanos, Lago Victoria etc.);

- Abundância de cardumes de bacalháu;
- Número de peles negociadas na Baía de Hudson;
- Recorrência de secas;
- Fenômeno da fome periódica na Índia;
- Qualidade dos vinhos franceses, em diferentes anos;
- Desastres automobilísticos nas rodovias americanas;
- Variação na produção industrial;
- Efeitos diversos sobre o homem, inclusive sobre estados emotivos, patológicos, crimes e suicídios.

O Prof. H. T. Stetson escreveu um interessante livro sobre as manchas solares e seus efeitos sobre a vida em geral.

Preocupam-nos, no momento, os aspectos relativos à radiação solar, à temperatura, ao clima e à hidrologia.

#### 15. Radiação do Sol: Constante Solar

As reações que se processam continuamente no Sol constituem a fonte de enorme produção de calor que mantém a temperatura da Terra dentro de uma gama bastante restrita.

A radiação do Sol é de grande interesse para a meteorologia. A sua intensidade correspondente a um ponto de referência fora da atmosfera terrestre, e relativa à distância média da Terra ao Sol, denomina-se "constante solar". O seu valor médio é 1,93 cal/cm<sup>2</sup> por minuto. Somente cerca de duas terças partes dessa energia atingem a superfície terrestre, o restante sendo refletido, dispersado ou absorvido na atmosfera.

A camada de ozona compreendida entre 20 e 50 Km de altitude em nossa atmosfera desempenha papel importantíssimo: A vida animal no nosso planeta seria impossível sem a sua existência, pois a ozona é responsável pela absorção dos raios prejudiciais, emitidos pelo Sol (fora do espectro visível).

A "Smithsonian Institution", da Capital dos Estados Unidos vem realizando determinações diárias da constante solar, há mais de 50 anos.

Essas medições mostram que a constante solar está sujeita a pequenas flutuações periódicas.

Acredita-se que o conhecimento mais completo dessas variações poderá ser de utilidade nas previsões do tempo.

As variações já observadas são da ordem de 1%, apresentando um aumento gradual e uma queda posterior, dentro do período de 11 anos, que também coincide com o período médio da atividade solar.

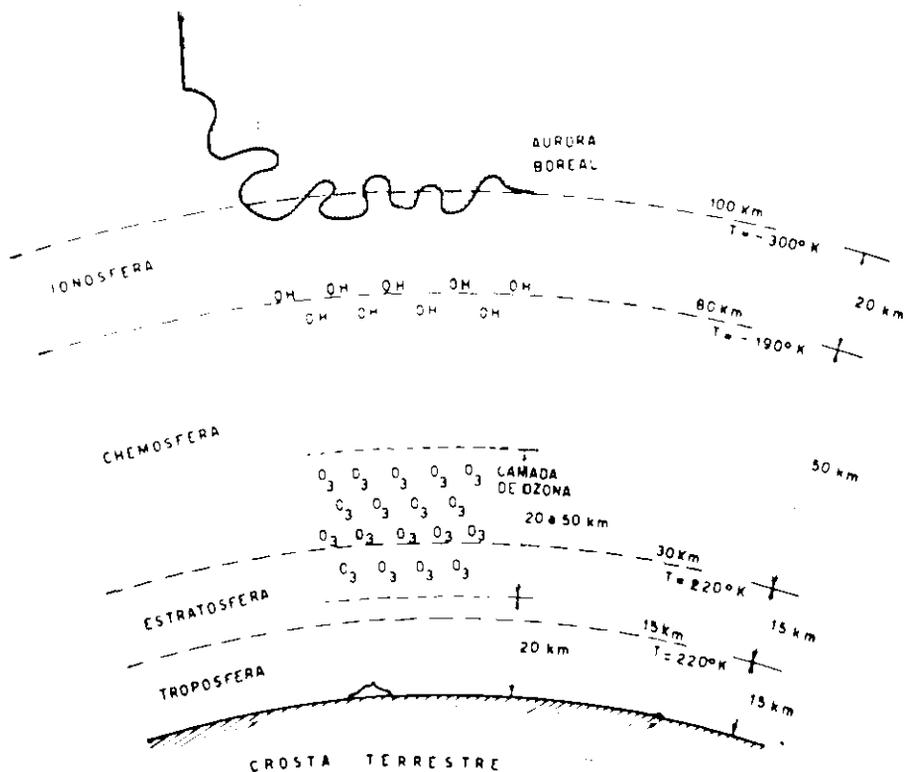


FIG. 7

16. Efeitos sôbre a Temperatura na Superfície da Terra

Um dos trabalhos mais completos sôbre as relações entre o ciclo das manchas solares e a temperatura, foi realizado por Simon Newcomb, em princípios dêste século.

A pesquisa de Newcomb abrangueu as variações anuais da temperatura em regiões tropicais e temperadas, no período de 1871 a 1904.

A sua conclusão é de que se apresenta um ciclo de 11 anos com uma amplitude total de 0,26°.

A comparação dêsse ciclo com a curva das manchas solares mostra que o máximo de temperatura precede de 4 meses o mínimo das manchas solares, ao passo que as temperaturas mínimas apresentam-se 8 meses após a grande atividade solar.

Observações semelhantes foram conduzidas por Käppen e Nordman.

Outro estudo de valor foi iniciado pelo Prof. Frank H. Bigelow, sôbre as relações entre os elementos meteorológicos e a radiação solar nos Estados Unidos. Ele veio mostrar que em períodos de aproximadamente 11 anos o aumento das protuberâncias e da intensidade do campo magnético é acompanhado por quedas de temperatura e da pressão de vapor, em contraposição com a elevação da pressão atmosférica.

17. Efeitos sôbre o Clima

Numerosas investigações vêm sendo feitas por vários pesquisadores, no sentido de verificar qualquer relação possível entre a atividade solar representada pela frequência de manchas e o tempo.

Os resultados até agora podem ser considerados em boa parte contraditórios, porém os conhecimentos acumulados parecem mostrar que aqueles fenômenos solares provocam alterações nas condições relativas à distribuição de pressões máximas e mínimas (gradiente) na nossa atmosfera, o que por sua vez tem influência sôbre o clima.

O problema, como se pode esperar, é de grande complexidade, devido ao elevado número de variáveis intervenientes, sobretudo os fatores locais. Estes exercem grande influência sôbre os dados obtidos em regiões restritas, o que dificulta sobremaneira os estudos atuais (as informações de que dispomos, em sua quasi totalidade, são limitadas às situações particulares de origem).

Em última análise os fatores que afetam o clima têm sua origem no calor solar, com a influência do movimento da Terra.

O ciclo hidrológico, por exemplo, que governa o balanço das águas no nosso planeta, justifica a concepção de um ciclôpico alambique na natureza, no qual o Sol é o foco ou fonte de calor, a atmosfera o condensador e a crosta terrestre o recipiente.

Imaginando-se que o calor recebido do Sol possa sofrer variações cíclicas, vem sendo realizadas, em alguns centros científicos, investigações sistemáticas relativas à constante solar. Há alguns anos Huntington e Visher conceberam uma teoria baseada em parte na variação da intensidade da radiação solar, em correspondência com os ciclos das manchas solares.

Quando as manchas passam por uma fase de máximo as temperaturas são pouco mais

baixas; na mesma ocasião eleva-se o gradiente das pressões.

Verificam-se também tempestades mais frequentes assim como uma ligeira alteração na distribuição pluvial.

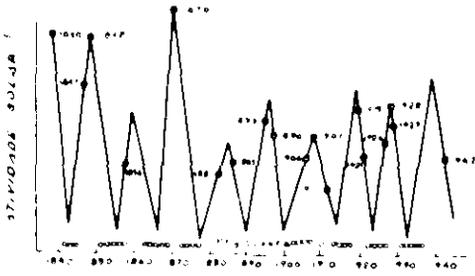


FIG. 8 — Efeito da periodicidade das manchas solares sobre a produção de vinhos na França.

18. Ciclos Climáticos

Já foram propostos, por vários investigadores nada menos do que 150 ciclos diferentes para as variações do tempo, com períodos desde 24 horas até 744 anos.

Naturalmente são aceites sem discussões os períodos de 24 horas e de 12 meses.

O período médio de 11,1 anos, correspondente ao ciclo das manchas solares, embora não seja universalmente aceite, é admitido por um grande número de cientistas, e por isso vem sendo objeto de investigações.

Outros períodos, inclusive o de Bruckner, não são aceites com generalidade.

Ao contrário do que já se pode afirmar com fundamentos estatísticos para a radiação solar e para a temperatura, os fatos e as investigações não permitem ainda afirmar a existência de uma correlação entre o número de manchas solares e as variações climáticas.

19. A Dendrocronologia

O registro natural mais fiel das variações climáticas é encontrado na estrutura dos troncos das árvores. É sabido que por via de regra as árvores produzem um anel adicional no seu tronco, cada ano.

Embora existam variações nas espessuras desses anéis em correspondência com a idade das árvores, podem ser constatadas as alterações determinadas pela desigualdade dos fenômenos climáticos de um ano para outro.

Nas épocas de seca os anéis são bem mais estreitos.

O valor dessas observações foi reconhecido depois das notáveis investigações do americano A. Douglas e seus colaboradores.

A dendrocronologia, baseada na análise desses anéis, foi estabelecida como método científico, por aquele cientista, em 1901.

Entre as árvores que melhor se prestam para tais estudos incluem-se as famosas "sequoias" da Califórnia ("Sequoia Washingtoniana"), que são árvores de grande porte, o que podem ser consideradas os maiores organismos vivos da atualidade.

No Museu Americano de História Natural, da cidade de Nova Iorque, há uma notável mostra de uma sequoia cortada, que revela a história desde o ano 550 até 1891, ocasião em que foi abatida.

A análise dos anéis da estrutura dos troncos das árvores mostra a influência das estações e das manchas solares, sendo aplicável aos últimos 3 000 anos.

O exame feito em inúmeros casos confirma a existência de uma correlação entre a espessura dos anéis e a frequência de manchas solares (Fig. 9).

20. Análise dos Estratos dos Depósitos Argilosos

A influência das variações climáticas também encontra outra forma de registro natural: os depósitos sucessivos e seculares das impurezas carregadas pelas águas, nos lagos.

O exame dos estratos argilosos ("varves") deixados em lagos pelas águas de precipitação e de degelo, ano após ano, foi imaginado pelo geólogo Gerard de Geer, há vários anos.

A constituição e a espessura dos "varves" é uma consequência das características de cada época, correspondendo maiores espessuras aos anos de maior precipitação.

O fenômeno relaciona-se aos ciclos anuais, às manchas solares e à precessão dos equinócios, sendo aplicável aos últimos 10 000 anos.

Verificou-se que existe uma relação entre as características dos estratos e as manchas solares, porém não tão pronunciada como no caso dos anéis das estruturas das árvores.

21. Estulos Brasileiros

No Brasil tem se destacado pelos seus interessantes trabalhos o Dr. J. de Sampaio Ferraz, Consultor Meteorologista da São Paulo Light, e Consultor Técnico do Conselho Nacional da Geografia (Seção de Climatologia).

Além de vários estudos feitos para a concessão dos Serviços de Eletricidade na re-

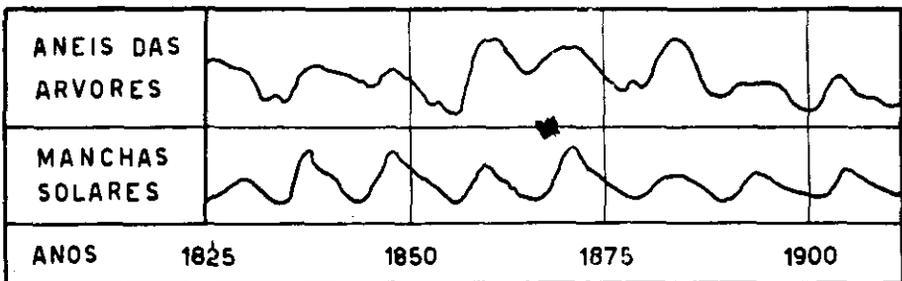


FIG. 9 — Curva de observações relativas aos anéis do pinho europeu no século passado, mostrando notável correspondência com a curva de frequência das manchas (Obs. de W. S. Glock, 1937; des. de F. E. Zeuner).

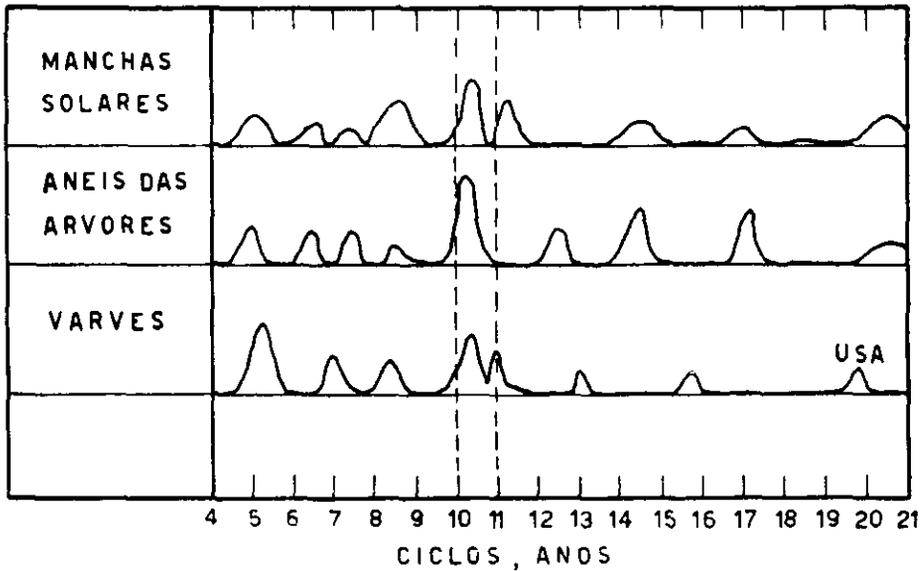


FIG. 10 — Diagrama representativo da frequência média dos ciclos observados. Nota-se que para o período de 10 a 11 anos há uma grande coincidência dos três fenômenos. (Douglass e Glock; des. de F. E. Zeuner).

gião de São Paulo, não divulgados, foram publicados uma contribuição ao Oitavo Congresso Científico Americano, realizado em 1940, em Washington, a respeito das relações prováveis entre a atividade solar e as variações de precipitação pluvial no sudeste do Brasil, e um estudo original sobre previsão de uma grande seca nordestina.

São desse autor as seguintes citações que julgamos oportunas e esclarecedoras:

“Uma das maiores preocupações em nossos estudos meteorológicos tem sido a de pillar e precisar a influência da atividade solar sobre a circulação atmosférica no Brasil, e, consequentemente, de preferência, sobre a variação anual das chuvas”.

“Havíamos verificado na primeira fase de nossos trabalhos que as grandes manchas ou grupos de manchas, quando nas imediações do meridiano central do sol, pareciam interferir, frequentemente, em ação direta ou imediata, na circulação atmosférica do País, dilatando para o sul, a área continental de baixas pressões, senão mesmo promovendo vigorosa incursão meridional da frente intertropical. Tais súbitas sortidas de massas internas de ar na direção de latitudes mais altas, aumentam sobretudo a frequência intensidade das frentes frias, produtoras de grandes chuvas sobre o sueste e o centro do Brasil, visitadas como são essas zonas, pelos anticiclones migratórios, provenientes do sudoeste sul-americano. Do embate no largo tablado destas regiões, das duas enormes massas de ar — a tropical e a subantártica — promanam, como é sabido, as maiores precipitações. A explicação oferecida do “modus operandi” da influência solar, com o astro em plena atividade — a de maior aquecimento das zonas equatoriais e tropicais — dantes postas em dúvida, parece hoje questão pacífica. Não só se tem como certo o aumento da temperatura do Sol em épocas de maior distúrbio deste, como também, a consequente elevação térmica e expansão das massas de ar tropical de nosso planeta”.

“A circulação atmosférica em tôdas as camadas e sobre todo o planeta tem sua economia própria, finita, mas tremendamente complexa. O Sol, em suas crises quasi periódicas, açoita-a com impulsos variáveis, não somente com suas radiações caloríferas, mas de igual, mediante o bombardeio ainda misterioso da ionosfera, cujas alterações podem refletir sobre a circulação das baixas camadas aéreas, desequilibrando o regime, ou antes, o “bilan” térmico de todo o nosso envelope gasoso. Difícilmente, porém, essa ação múltipla se exercerá para além dos trópicos, onde os sistemas vorticosos, mais definidos e vigorosos, resistem galhardamente a qualquer interferência cósmica direta”.

“Outrora, os estudos em torno da influência da atividade solar sobre o mecanismo atmosférico não estavam em cheiro de santidade. Pouco a pouco, porém, se vem firmando a análise dos fatores cósmicos, mesmo entre os mestres mais conservadores”.

22. O Ano Geofísico Internacional (A.G.I.)

A análise e interpretação de dados isolados tem constituído uma das maiores dificuldades para o estudo geral e sistemático dos efeitos decorrentes da atividade solar.

O Ano Geofísico Internacional, compreendo um sem número de observações sistemáticas e simultâneas, levadas a efeito durante 18 meses, com a participação de equipes técnico-científicas de 67 países, marcará o início de nova era no progresso da ciência, sobretudo no campo da geofísica.

Entre os objetivos estabelecidos destaca-se o estudo do Sol e os efeitos da atividade solar.

Como lembra Marshack o Sol movimentando os ventos, agita os mares, influência o tempo e é a fonte última de nossos climas.

O A.G.I. pode ser chamado o Ano do Sol, pois coincide com um período de frequência máxima de manchas solares, tendo



FIG. 11 — Corte de uma sequóia com anéis desde o ano 550 até 1891, época em que foi abatida (Cortesia do American Museum of Natural History).

sido escolhido os anos de 1957-1958 (Julho de 1957 a dezembro de 1958), justamente por essa razão, por sugestão do Dr. Lloyd V. Berkner, um dos organizadores do plano.

Nada menos do que 126 postos de observação do Sol, espalhados em todo o mundo, prestaram a sua colaboração.

Durante o período de um ano e meio do A.G.I. foram dados 40 alertas internacionais em decorrência da constatação de grandes fenômenos solares, para tornar possível a observação sincronizada em todo o mundo.

As observações feitas revelaram que os campos magnéticos relativos às manchas solares são muito mais intensos do que se imaginava.

A ionosfera ou camada de Heavyside — Kennelly, cujo conhecimento é ainda muito

restrito, foi um dos principais campos de pesquisas do A.G.I.

## CONCLUSÕES

O estudo do assunto em tela foi motivado inicialmente pelo interesse de investigar possíveis relações entre efeitos das manchas solares e a Hidrologia, matéria de importância fundamental para a Engenharia Sanitária.

Desejamos confessar que muitas divergências foram encontradas no tratamento da matéria por autores altamente credenciados.

Se de um lado encontram-se os excelentes trabalhos de Haurwitz, Clayton, Kullmer, Schell e outros, de outra parte encontra-se, por exemplo, a opinião insuspeita de Daniel Mead:

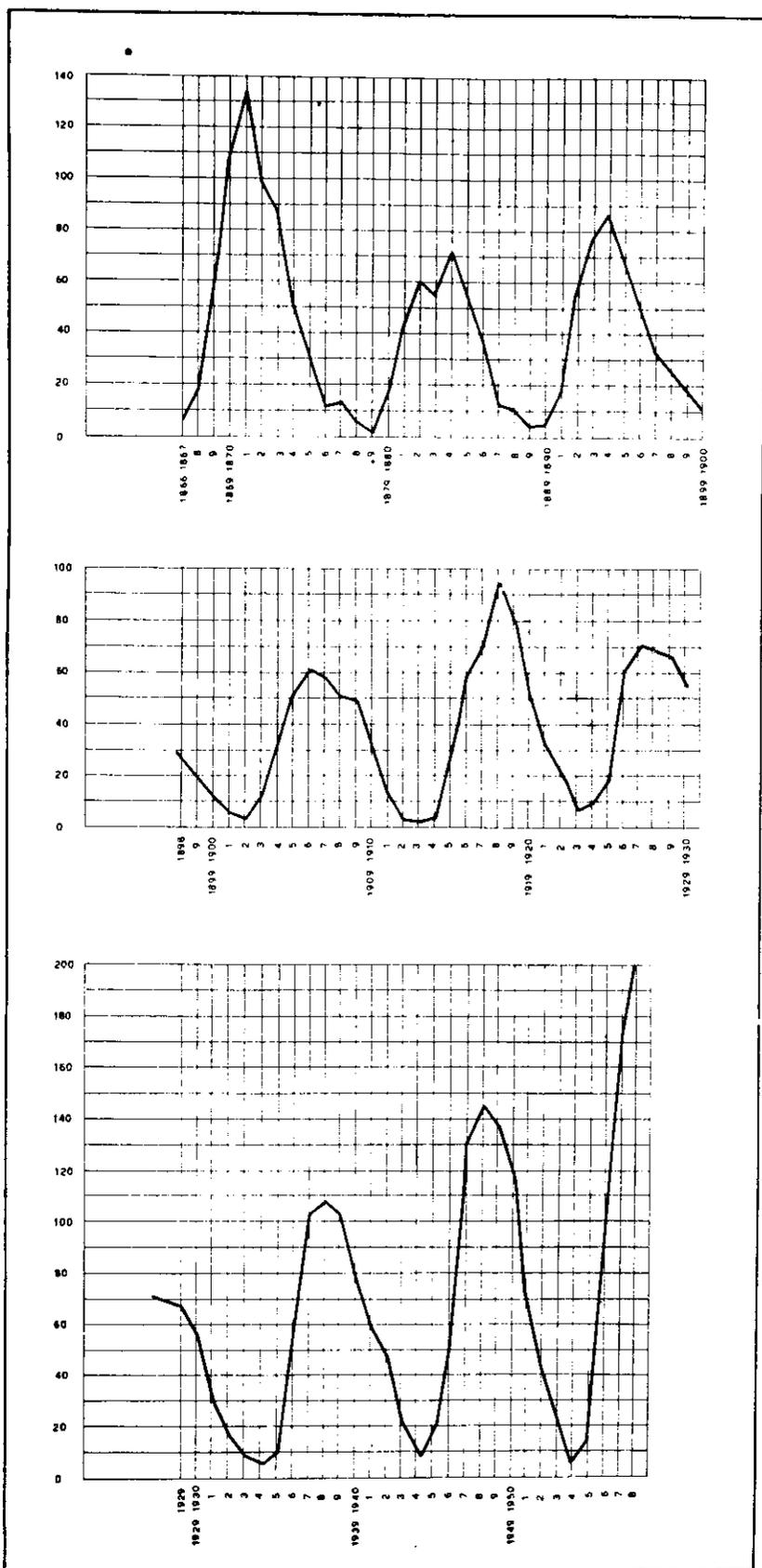


FIG. 12 — Número indicativo das manchas desde 1886 (Obs. de Zurich).

"The heat from the sun is the prime element in causing evaporation and in creating winds and air currents which are instrumental in increasing evaporation and transporting the moist air to localities for deposition. The topographic features of a country, mountain ranges, valleys and plains, the trend of the air currents, warm and cold ocean currents, the rotation of the Earth, the location of water areas for evaporation, the vegetation and numerous other items influence the time of deposition and the amount of precipitation on an area far more than any sunspot effect".

Não há dúvida, porém, de que a atividade cíclica do Sol correspondem importantes efeitos sobre a superfície da Terra. Essas perturbações, todavia, nem sempre predominam sobre as influências devidas aos inúmeros fatores locais.

Os estudos das manchas solares, tendo em vista a sua maior ou menor atividade, bem como um critério racional para a apresentação paramétrica da sua frequência ainda não devem ser considerados satisfatórios.

Sampaio Ferraz demonstra a sua cautela ao ponderar:

"Em princípio, é uma imprudência formular previsões a longo prazo, baseadas exclusivamente em extrapolações de ciclos. O reconhecimento de certas periodicidades é muito importante, mas seu emprêgo único para firmar antecipações não passa de faina precária, nada havendo que o abone ou confirme. O perigo reside na defasagem, aliás muito frequente, abstração feita de outros percalços. Basta evidentemente o erro de fase para desmoralizar o previsor. Em rigor, o ciclo meteorológico é apenas quase-periódico. Por vezes se desenvolve ao contento, mas sempre em capítulos, em temporadas, sobrevivendo-lhes, por assim dizer, a mudança de passo. Quanto maior o ciclo, mais seguras as indicações; as combinações de determinados ciclos, como que formando uma oscilação à parte, sobreposta, também inspiram maior confiança. Ambas as espécies, porém, se mascaram por vezes, mas retornam ao ritmo antigo, não em ritmo absoluto, mas aquele que a realidade nos revela. As flutuações solares, por exemplo, as de sua hiperatividade, podem ser elásticas, mas jamais erráticas. Aproveitam pois, ao previsor".

## BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, "Atlas Universal Aguilar". Madrid, 1954.
- Armenster de Monastero, F., "Panorama del Universo", Aymá, Barcelona, 1955.
- Americana, "The Encyclopedia Americana", vol. XXVI, Chicago, 1951.
- Compton's, "Comptons Encyclopedia", E. E. Compton & Co., Chicago, 1951.
- Drake, Stillman, "Discoveries and Opinions of Galileo". Doubleday & Co., New York, 1957.
- Eddington, A. S., "Étoiles et Atomes", Trad. J. Rossignol. Herman & Cie., Paris, 1930.
- Hawks, Ellison "The Marvels and Mysteries of Science", Odhams Press, Londres, 1939.
- Humphreys, W. J., "Ways of Weather". The Jacques Cattell Press, Lancaster, Penna., 1942.
- Koller, Lewis R., "Ultraviolet Radiation", John Wiley & Sons, New York, 1952.
- Marshack, A., "The World in Space", Dell Publ. Co., New York, 1958.
- Miller, A. Austin, "Climatologia", Trad. Ismael Antich. Edic. Omega, Barcelona, 1951.
- Mead, D. W., "Hydrology", Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1950.
- Moreaux, L'Abbé, "Les énigmes de la Science", Gaston Doin, Paris, 1925.
- Pagano, Conde Authos, "Temas Científicos e Culturais", São Paulo, 1956.
- Ridgway, Athelstan, "Everyman's Encyclopedia", J. M. Dent & Sons, Londres, 1950.
- Sampaio Ferraz, J. de, "Suggestions for the Explanation of Probable Connections Between Solar Activity and Rainfall Variation in Southeastern Brazil". Proceed. VII Scientific Congress, May 1940, Washington.
- Sampaio Ferraz, J. de, "Iminência d'uma Grande Sêca Nordestina", Rev. Bras. de Geografia, N.º 1, Ano XII, Rio de Janeiro, 1950.
- Tocquet, R., "Cycles & Rithmes", Dunod, Paris, 1951.
- Wilson, Grove, "Great Men of Science".
- Zeuner, F. E., "Geocronologia", Trad. José Manuel Gomez — Tabanera. Edic. Omega, Barcelona, 1956.
- Zim, H. S., & R. H. Baker, "Stars". Simon and Schuster, New York, 1956.