

RELATÓRIO PARCIAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Bolsista: CAIO TERUO HIDESHIMA
Orientador: Dr. Daniel Jean Roger Nordeman

INTRODUÇÃO:

O objetivo deste trabalho de iniciação científica consiste basicamente em analisar a relação entre níveis de rios, manchas solares, vulcanismo e outros fenômenos geofísicos espaciais ou terrestres. O estudo dos registros medidos sobre os fenômenos geofísicos, que ocorreram no passado e continuam ocorrendo no presente, tem a vantagem de permitir a observação de relações entre os fenômenos e através destas poder prever, para nos precaver-mos e até tirar-mos proveitos econômicos de um possível acontecimento envolvendo estes fenômenos geofísicos. Além disso, este estudo possibilita um maior conhecimento e intromentamento com o assunto (hidrologia de rios e análise matemática de séries temporais), e também aperfeiçoamento no método de análise de sinais periódicos ou não periódicos.

O estudo se baseia em análise das séries temporais, que foram medidas por várias décadas, através de análise espectral dinâmica com a utilização do software *Mathematica* e da transmissão e obtenção dos dados através da rede Internet.

Análise do Material Bibliográfico

Regressão Iterativa:

Este método consiste em procurar em séries temporais periodicidades representadas por uma simples função senoidal com três parâmetros como incógnita. Essa determinação dos parâmetros de uma função analítica dar-se-á através do método dos mínimos quadrados. Para isso, o método aplicado estima os parâmetros a_k incógnitos de funções senoidais que melhor permitam representar uma aproximação ou reconstituição da série de dados observados.

O primeiro passo da análise dos mínimos quadrados é a hipótese de existência de uma relação funcional entre as variáveis dependentes e independentes que inclua parâmetros incógnitos:

$$q_i = f(g_{1i}, g_{2i}, \dots, g_{ji}, b_1, b_2, \dots, b_p) \\ i=1, 2, \dots, n$$

onde :

q_i = valores observados da variável dependente

g_{ki} = valores observados da variável independente

b_k = valores “verdadeiros” dos parâmetros incógnitos.

Os resultados dos valores “calculados” ou “ajustados” das variáveis são definidos como y_i e x_{ji} , cuja forma funcional é:

$$y_i = f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ji}, a_1, a_2, \dots, a_p) \\ i=1, 2, \dots, n$$

onde:

y_i = valores calculados das variáveis dependentes

x_{ki} = valores calculados das variáveis independentes

a_k = valores calculados dos parâmetros incógnitos

O resíduo R é a diferença entre as variáveis observadas e calculadas.

Deste modo:

$$R_{y_i} = Y_i - y_i$$

$$R_{x_{ji}} = X_{ji} - x_{ji}$$

onde:

Y_i = valores observados das variáveis dependentes

X_{ji} = valores observados das variáveis independentes

O peso w é o inverso do quadrado da incerteza σ . Logo:

$$w_{y_i} = \sigma_{y_i}^{-2}$$

$$w_{x_{ji}} = \sigma_{x_{ji}}^{-2}$$

A soma S dos pesos dos quadrados dos resíduos é:

$$S = \sum [w_{y_i} R_{y_i}^2 + \sum w_{x_{ji}} R_{x_{ji}}^2]$$

O método dos mínimos quadrados é usado para determinar os valores de a_k que minimizam S .

Definidas as grandezas do método dos mínimos quadrados, mostraremos que este determina os parâmetros incógnitos a_k que minimizam S .

A função condicional F^i é definida como:

$$F^i = y_i - f(x_{1i}, \dots, x_{ji}; a_1, \dots, a_p)$$

o que resulta em:

$$F^i = 0, \quad i=1, 2, 3, \dots, n$$

Para determinar o valor de a_k , faz-se uma estimativa inicial desses valores de a_k , dando valores iniciais arbitrários aos parâmetros, na qual o valor inicial será dado a notação de :

a_{k0} = valor inicial dos a_k .

Sendo:

F_0^i = valor estimado de F^i , $i=1, 2, \dots, n$.

$$F_0^i = Y_i - f(X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{mi}; a_{10}, a_{20}, \dots, a_{p0})$$
$$i=1, 2, \dots, n.$$

Onde:

Y_i = valores observados das variáveis dependentes

X_i = valores observados das variáveis independentes

a_k = valores calculados dos parâmetros incógnitos.

Desenvolvendo a expansão da equação:

$$F^i = y_i - f(x_{1i}, \dots, x_{ji}; a_1, \dots, a_p)$$

em Série de Taylor, obtém-se:

$$F_0^i = F_y^i R_{y_i} + \sum F_{x_j}^i R_{x_{ji}} + \sum F_{a_k}^i A_k$$

onde :

$$A_k = a_{k0} - a_k$$

Se S deve ter o valor mínimo, pequenas variações nos resíduos não deve afetá-lo muito

Se os resíduos estão variando de maneira a satisfazerem a função condicional F^i , conclui-se que F_0^i é nula, isso implica que:

$$\delta S/2 = \sum [w_{y_i} R_{y_i} \delta R_{y_i} + \sum w_{x_{ji}} R_{x_{ji}} \delta R_{x_{ji}}] = 0$$

No método de multiplicadores de Lagrange, cada uma das n equações anteriores é multiplicada pelo fator λ_i .

Disso implica que:

$$R_{y_i} = \frac{\lambda_i}{w_{y_i}} F_y^i, \quad i=1,2,\dots,n$$

$$R_{x_{ji}} = \frac{\lambda_i}{w_{x_{ji}}} F_{x_j}^i, \quad j=1,2,\dots,m$$

$$\sum \lambda_i F_{a_k}^i = 0, \quad k=1,2,\dots,p$$

O que obtém-se:

$$F_0^i = L_i \lambda_i + \sum F_{a_k}^i A_k$$

onde:

$$L_i = ((F_y^i)^2 / w_{y_i}) + \sum ((F_{x_j}^i)^2 / w_{x_{ji}})$$

Explicitando λ_i , obtém-se:

$$\lambda_i = L_i^{-1} (F_0^i - \sum F_{a_k}^i A_k)$$

substituindo a equação anterior na equação:

$$\sum \lambda_i F_{a_k}^i = 0, \quad k=1,2,\dots,p$$

e desenvolvendo o somatório em k e ainda simbolizando o somatório em i por $\{ \}$, tem-se:

$$A_1 \{(F_{a_1} F_{a_1})/L\} + \dots + A_p \{(F_{a_1} F_{a_p})/L\} = \{(F_{a_1} F_0)/L\}$$

$$A_1 \{(F_{a_p} F_{a_1})/L\} + \dots + A_p \{(F_{a_p} F_{a_p})/L\} = \{(F_{a_p} F_0)/L\}$$

Podemos simplificar adotando a seguinte notação:

$$C_{kl} = \{(F_{a_k} F_{a_l})/L\}, \quad \begin{matrix} k=1,2,\dots,p \\ l=1,2,\dots,p \end{matrix}$$

$$V_k = \{(F_{a_k} F_0)/L\}, \quad k=1,2,\dots,p$$

logo:

$$A_1 C_{11} + A_2 C_{12} + \dots + A_p C_{1p} = V_1$$

$$A_1 C_{p1} + A_2 C_{p2} + \dots + A_p C_{pp} = V_p$$

Nota-se que:

$$C_{kl} = C_{lk}$$

Logo temos que:

$$C A = V$$

Multiplicando a equação anterior em ambos os membros pela matriz C^{-1} , determinamos os elementos indeterminados do vetor A:

$$C^{-1} C A = C^{-1} V$$

$$A = C^{-1} V$$

ou

$$A_k = \sum C_{kj}^{-1} V_j$$

onde:

$$A_k = a_{k0} - a_k$$

resultando em:

$$a_k = a_{k0} - a_k$$

Procura de Periodicidade em Séries Temporais

O método que chamaremos de método de “Wolberg”, tem a propriedade de procurar periodicidade em séries temporais. Isto é feito, ajustando os dados a funções senoidais, com três parâmetros incógnitos:

a_0 =amplitude
 a_1 =pulsação
 a_2 =fase

Supondo que a função senoidal tem a seguinte característica:

$$F = Y - a_0 \sin (a_1 t + a_2)$$

onde:

Y = sinal medido

t = tempo

Sabendo-se a forma da função senoidal suposta, calcula-se as derivadas parciais que é dada pelas seguintes equações:

$$F_{x_k}^i = \frac{\partial F^i}{\partial x_{ki}}$$

$$F_y^i = \frac{\partial F^i}{\partial y_i} = 1$$

$$F_{a_k}^i = \frac{\partial F^i}{\partial a_k}$$

O coeficiente L é dado por:

$$L = D_y^2 + (dF/dt)^2 D_t^2$$

onde:

D_y e D_t = desvio padrão ou erro associado ao Y e t, respectivamente.

Com a obtenção de L , os termos correlativos A_0 , A_1 e A_2 , aplicados aos parâmetros a_0 , a_1 e a_2 respectivamente temos:

$$\mathbf{A} = \mathbf{C}^{-1} \mathbf{V}$$

onde:

$$C_{ij} = (dF/da_i) (dF/da_j)/L$$

$$V_i = (dF/da_i) F/L$$

Se o somatório de A_i contido no vetor A for maior que um dado valor, as iterações continuam e os valores de A_i são subtraídos a partir dos valores de a_i , para dar novos valores iniciais e ter uma nova iteração.

Quando obtido o critério de convergência, os valores dos parâmetros incógnitos a_i são considerados como sendo as melhores estimativas.

Procedimentos Metodológicos

A pesquisa pode ser dividida em três partes:

1-) Acessar a *Rede Internet* para se obter as séries temporais utilizadas na pesquisa.

Isso foi possível através da FAPESP que serve como um tipo de provedor, e utilizando o programa *twinsock32*, que faz a ligação do computador à rede FAPESP que possibilita o acesso a rede Internet. No início, isto foi feito no próprio INPE, porém mais tarde o acesso foi possível não só no INPE como também na residência, o que permite uma dedicação maior do bolsista para a pesquisa.

2-) Introsamento com rede Internet e o programa Mathematica, utilizado na pesquisa.

Uma vez possível o acesso a rede, tornou-se necessário o introsamento com a Internet, e também o estudo do programa Mathematica, que auxiliou nos cálculos e gráficos da pesquisa.

3-) Utilização dos dados obtidos.

Em posse das séries temporais, programa-se os métodos de análise, das séries ,descritas anteriormente (regressão iterativa e procura de períodos em séries temporais), no software Mathematica. Este programa tem grande vantagem sobre os recursos matemáticos e gráficos, sendo este o motivo de utilizar este programa.

Resultados

I-)RIO PARAGUAI

O nível de um rio é um indicador de duas de suas características mais importantes: vazão e tamanho do seu leito incluindo das áreas alagadas. Existem registros antigos de níveis de rios e estes fornecem também preciosos dados sobre as variações climáticas e fenômenos geofísicos associados ao passado. Uma análise matemática adequada pode também, dentro de certas hipóteses e de certos limites, ser usada para uma previsão do futuro próximo. As variações do nível do Rio Paraguai em Ladário perto de Corumbá (MS), de janeiro até abril de 1995 foram estudadas visando obter resultados sobre o clima, meio ambiente e relações com fenômenos geofísicos.

Estas variações mostram claramente um comportamento complexo com longos períodos de estiagem e de alta vazão. As periodicidades possivelmente embutidas neste sinal não parece a primeira vista e, no intervalo analisado, o regime é nitidamente não estacionário

I-)Gráfico obtido pela série do Rio Paraguai que foi medido em Corumbá (MS).

***Altura média anual
(cm)***

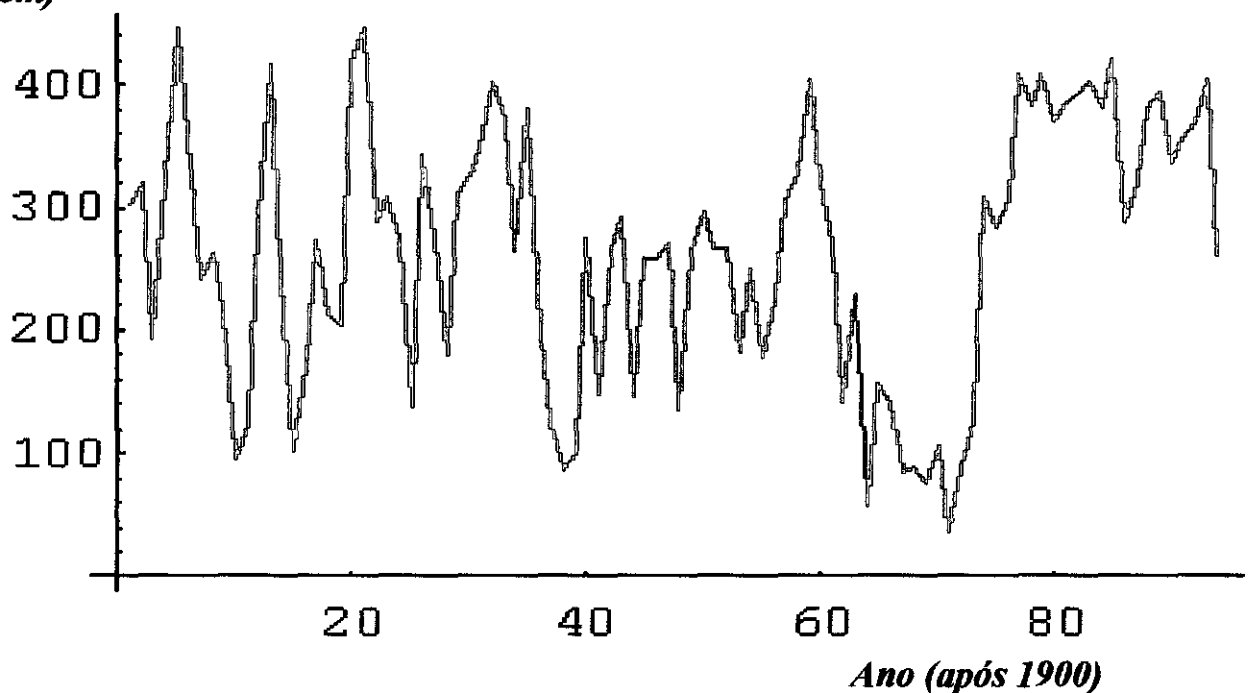


Fig.1.1. - Média anual da altura do Rio Paraguai desde 1900 a 1994

Chamando a coordenada de y , temos que $y = h_i - (\sum h_i / n)$; $i=1,2,\dots,n$.

onde:

h_i = valor da altura do nível do rio na tabela de séries temporais

n = número de valores de h_i

Altura média anual

(cm)

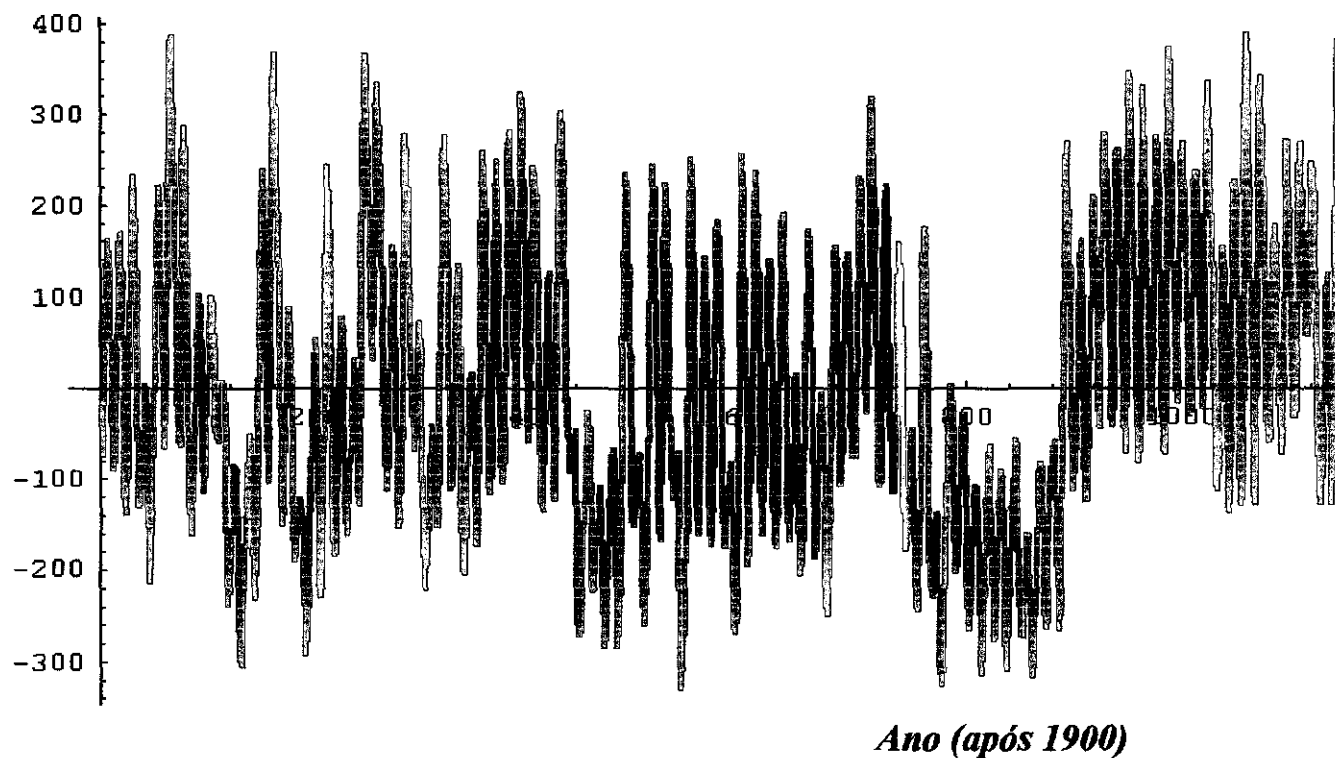


Fig.1.2 - Gráfico da série temporal

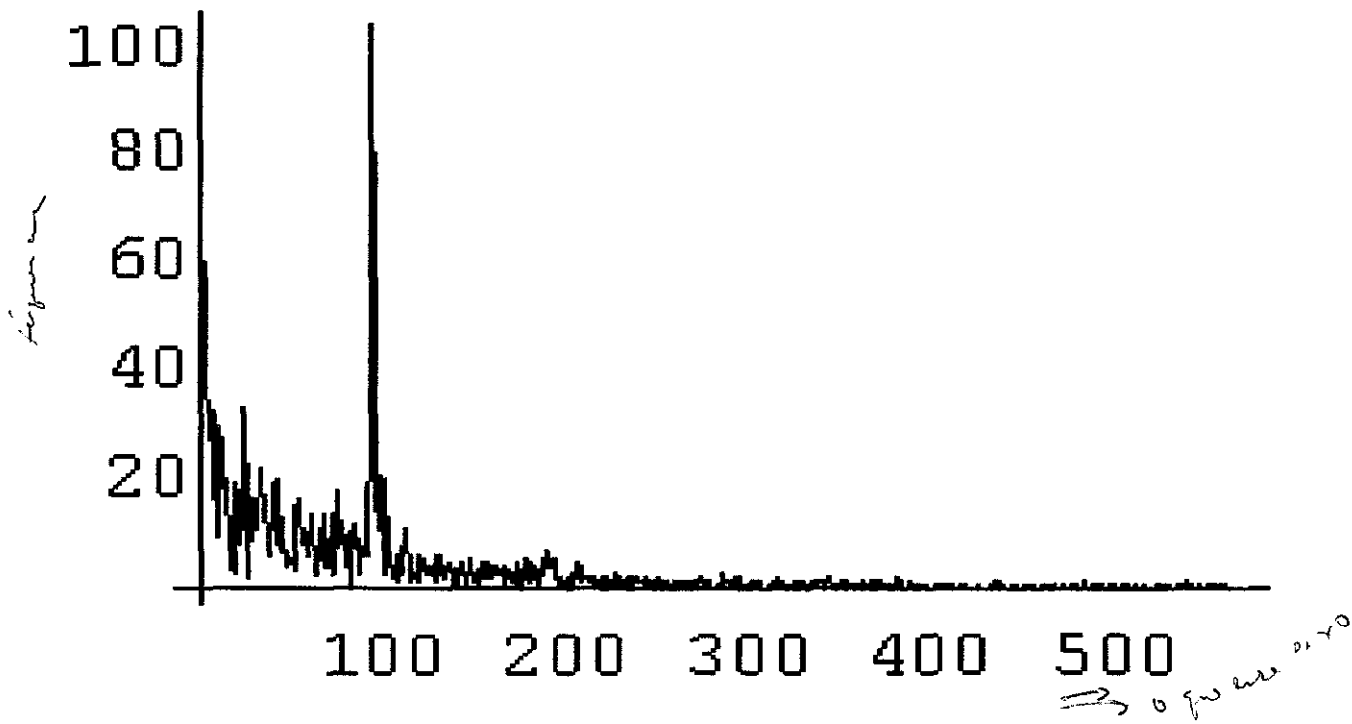


Fig.1.3 - Gráfico de frequência obtida da série

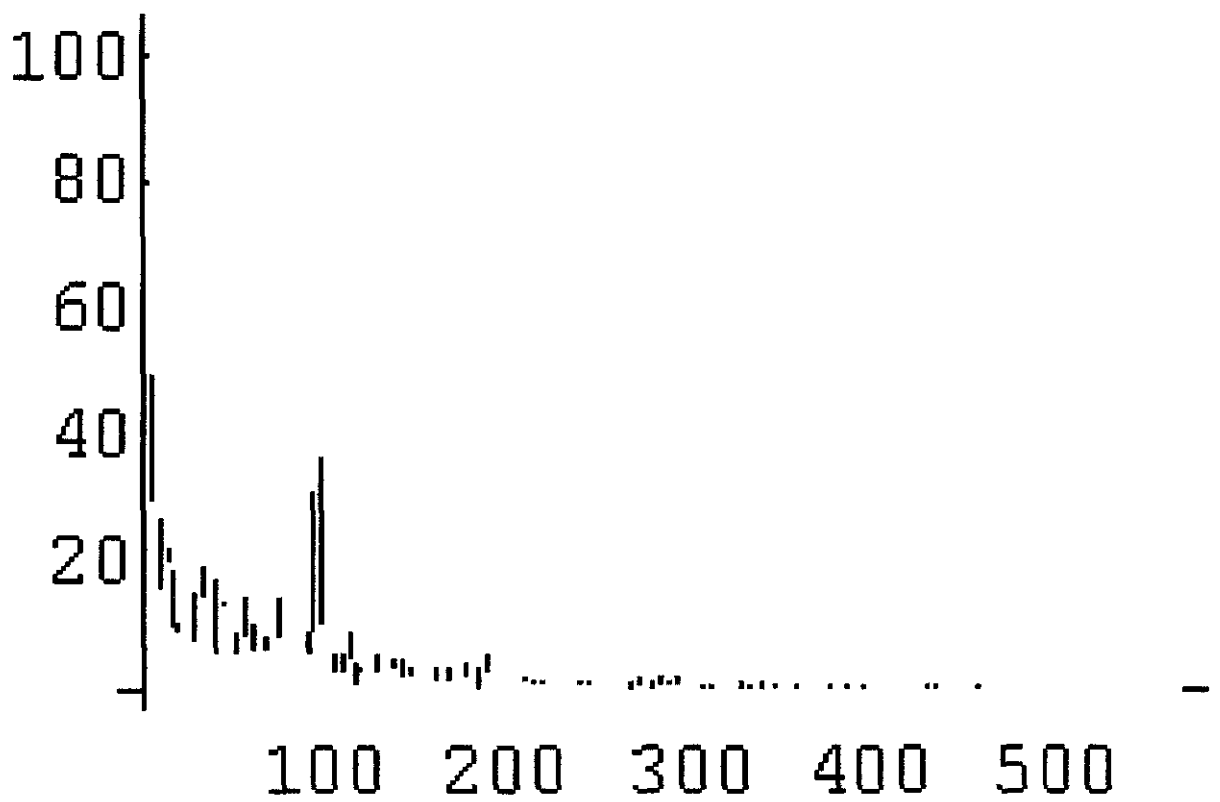


Fig.1.4 - Detector de Máximo

*Altura média anual
(cm)*

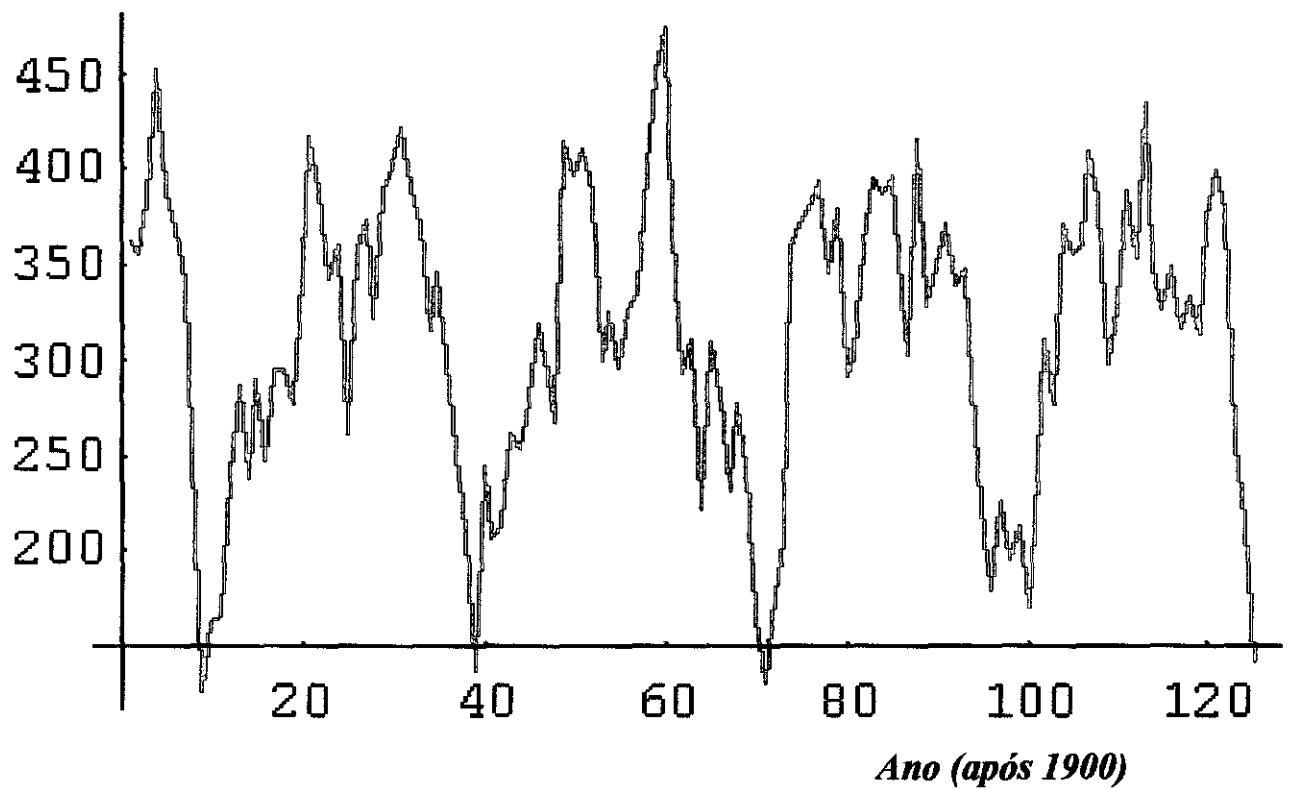


Fig.1.5 - Altura média anual do Rio Paraguai reconstruído e previsto

*Altura média anual
(cm)*

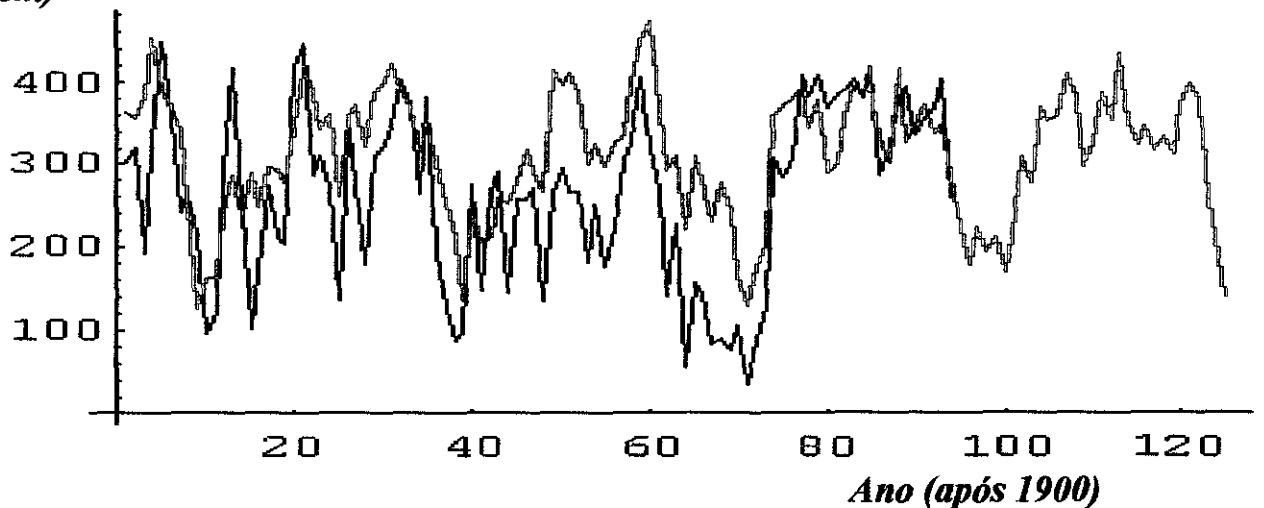




Fig.1.6 - Comparação das médias do Rio Paraguai medidos e previstos

-  Reconstrução com previsão pelas periodicidades principais até 2030
-  Altura média anual do Rio Paraguai em Corumbá (MS) de 1900 a 1994

II-) MANCHAS SOLARES

Devido à rotação do Sol em torno de seu próprio eixo, a velocidade de um ponto no equador solar é maior do que a velocidade de um ponto nos pólos solares. Devida a essa grande velocidade do plasma no equador solar, têm - se o deslocamento das linhas magnéticas (que passam perto da superfície) do Sol. Esse deslocamento acontece, porque o plasma arrasta consigo as linhas de campo magnético, fazendo com que elas executem várias voltas em torno do Sol, criando assim uma enorme intensidade de fluxo magnético.

Devido à concentração de linhas magnéticas, pode-se dizer que uma certa quantidade dessas linhas magnéticas formam um tubo (que também contém plasma), onde jogado para fora do Sol formando a chamada protuberância. As bases desse tubo são as *manchas solares*, formadas por intensas linhas de campo magnético.

Mediante os estudos das manchas solares consegue-se compreender mais sobre a variabilidade solar. Com esses estudos consegue-se chegar a conclusão que quanto maior for o número de manchas solares, mais ativo estará o Sol e quando o número de manchas solares for menor, menos ativo estará o Sol.

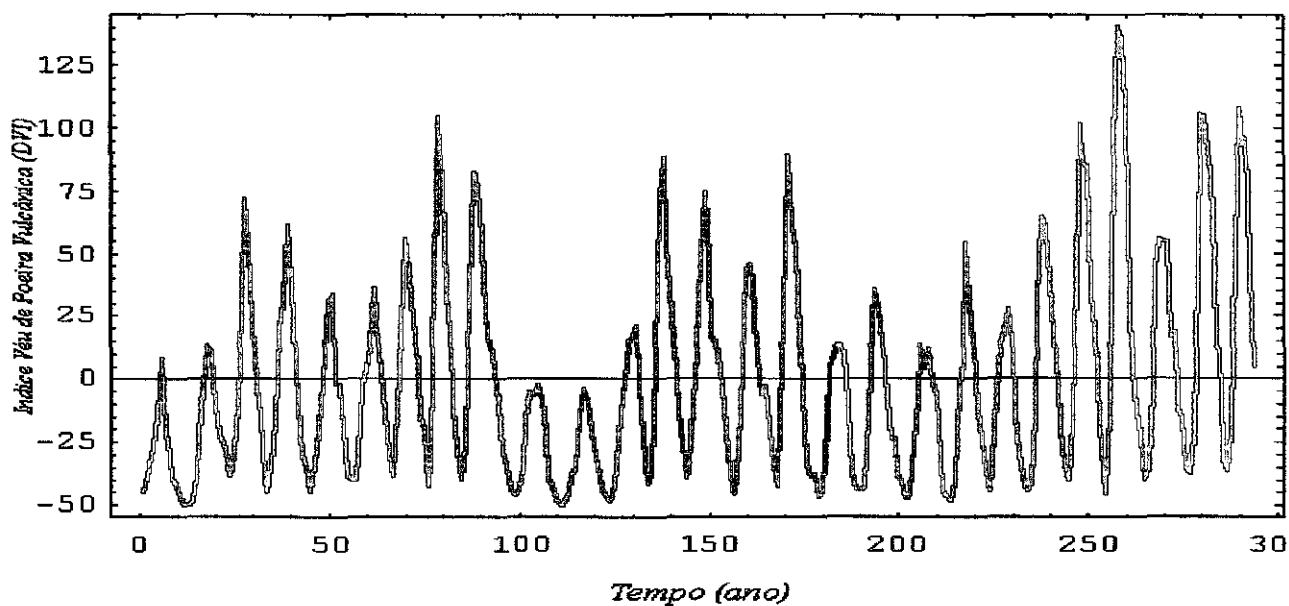


Fig.2.1 - Número de manchas solares anuais de 1700 a 1990 d.C.

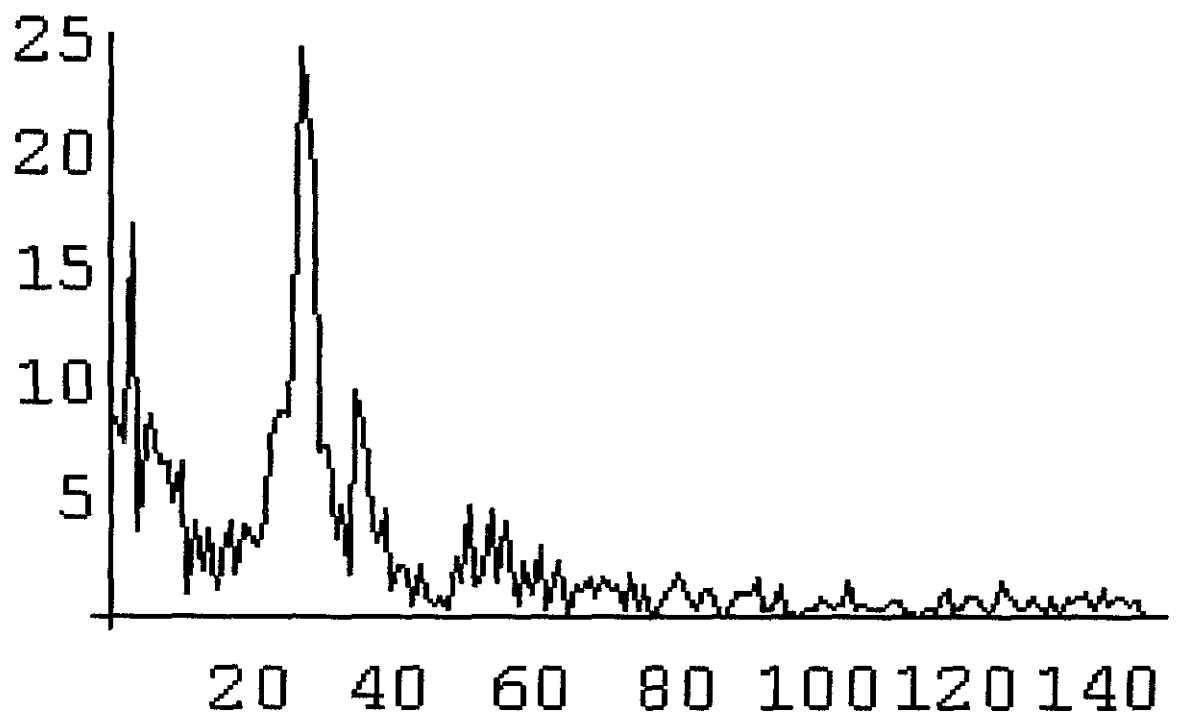


Fig.2.2 - Gráfico da frequência obtida da série

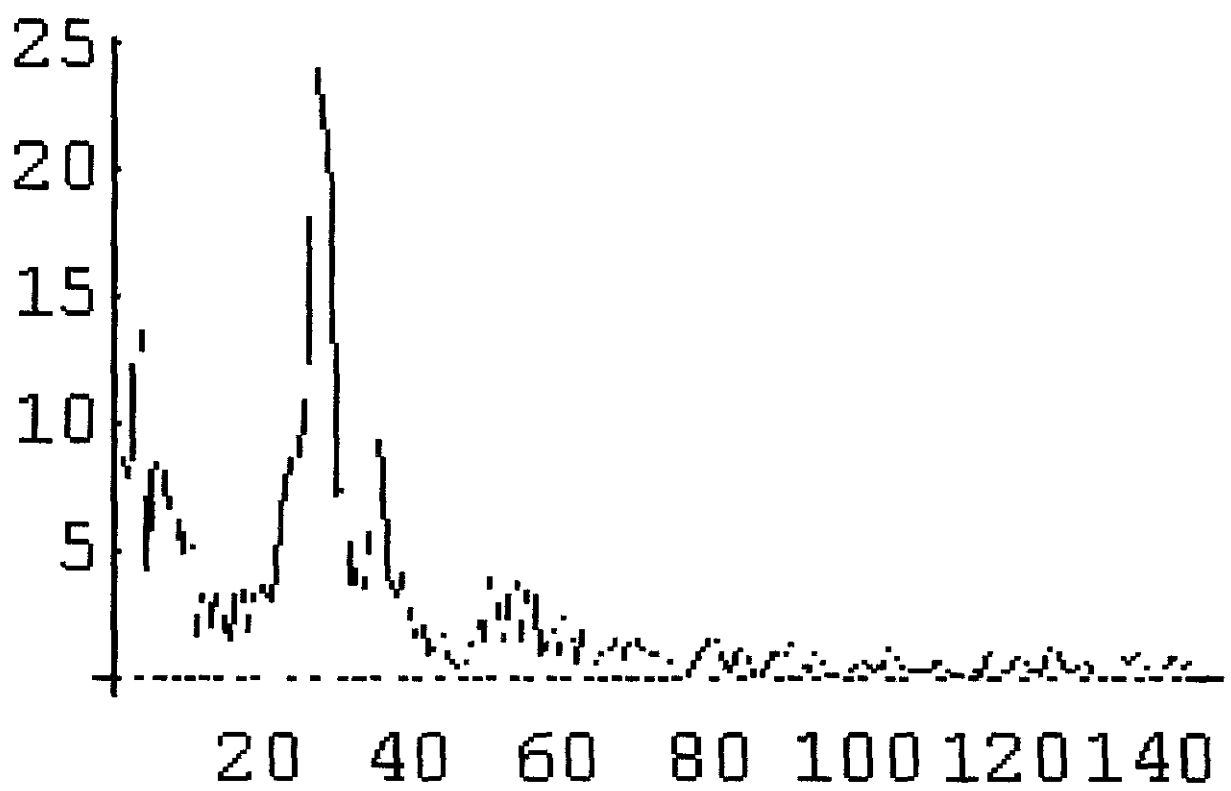


Fig.2.3 - Detector de Máximo

III-) BERÍLIO - 10 (Be-10)

Hoje já se sabe que a produção do ^{10}Be (emissor β^-), com $E_{\text{máx}} = 550 \text{ keV}$, cuja meia-vida é 1.5×10^6 nuclear do oxigênio e nitrogênio, introduzido por nêutrons secundários formados pela interação dos raios cósmicos galáticos na estratosfera com um produção de aproximadamente 70% do total e os 30% restantes são produzidos na troposfera.

O ^{10}Be tem algumas vantagens sobre o ^{14}C . O ^{10}Be tem um tempo de meia-vida maior que o ^{14}C , o que permite que os registros de suas variações na razão de produção se estenda mais no passado do que o ^{14}C . Além disso, seu curto tempo de residência no reservatório que troca com a atmosfera, permitindo seu uso com monitor de processos de curto período.

Usa-se a razão entre o ^{10}Be e o ^7Be para determinarem os tempos de residências atmosféricos desses isótopos. Medidas da razão $^{10}\text{Be}/^7\text{Be}$ na estratosfera mostraram que o tempo de residência para esses isótopos está entre 320 a 350 dias em média. O tempo de residência do ^{10}Be e ^7Be produzidos pode variar de 15 a 35 dias.

O ^{10}Be chega à superfície da Terra primeiramente por precipitação, sendo transportado à Terra pela água de chuva na qual ele se incorporou no processo de condensação nas nuvens. O ^{10}Be não é depositado na Terra somente pelas águas mas também pela neve das montanhas e regiões polares.

Um proveitoso arquivo das variações na razão de produção de ^{10}Be é registrado em amostras de gelos que conseguem preservar estes registros por milhares de anos. Assim, o gelo é um bom reservatório para estudo do ^{10}Be por causa da continuidade de registros.

Os gráficos abaixo mostram dados do ^{10}Be em testemunho de gelo em Milcent na Groenlândia e também do gelo no Pólo Sul da Antártica. No caso da amostra de gelo retirada da Groenlândia, temos do período de 1200 a 1800 d.C., com igual espaçamento de 3 anos. No caso do Pólo Sul da Antártica, as amostras cobrem o período de 1000 até 1900 d.C.

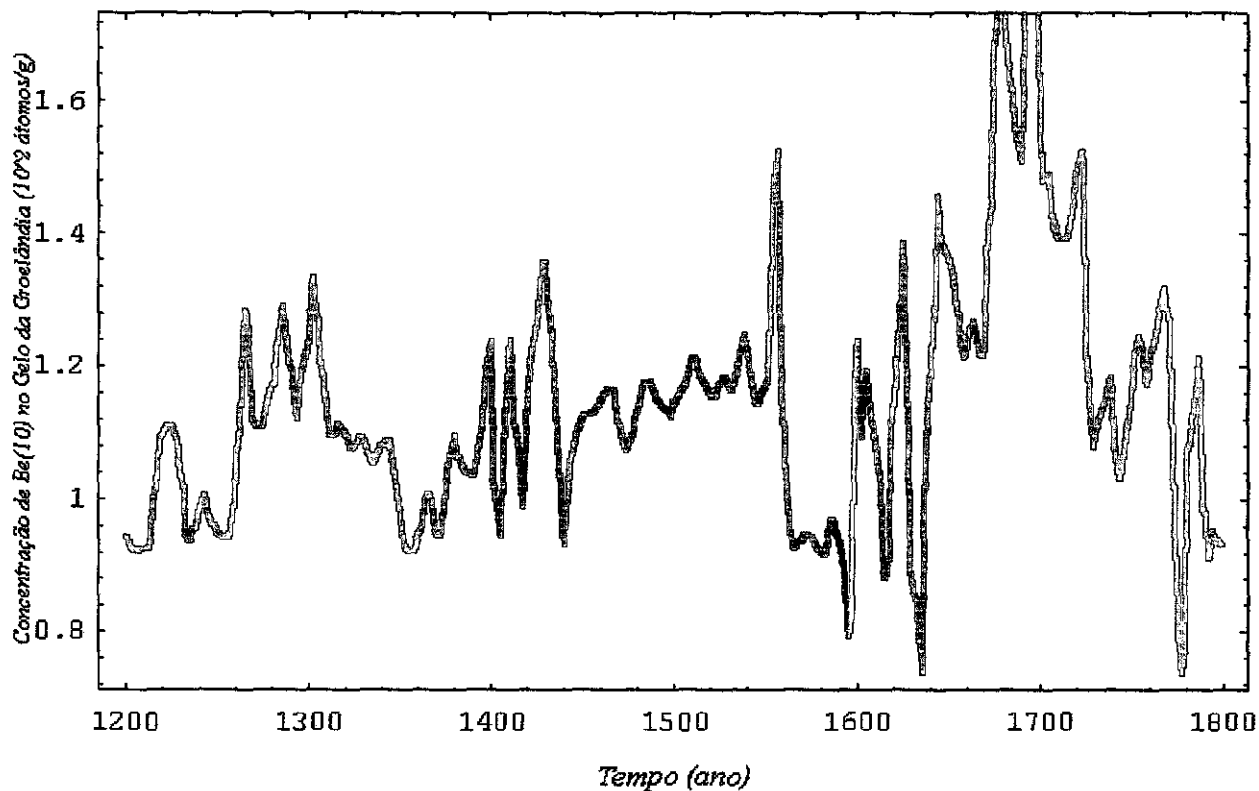


Fig.3.1 - Concentração de ^{10}Be no Gelo da Groenlândia

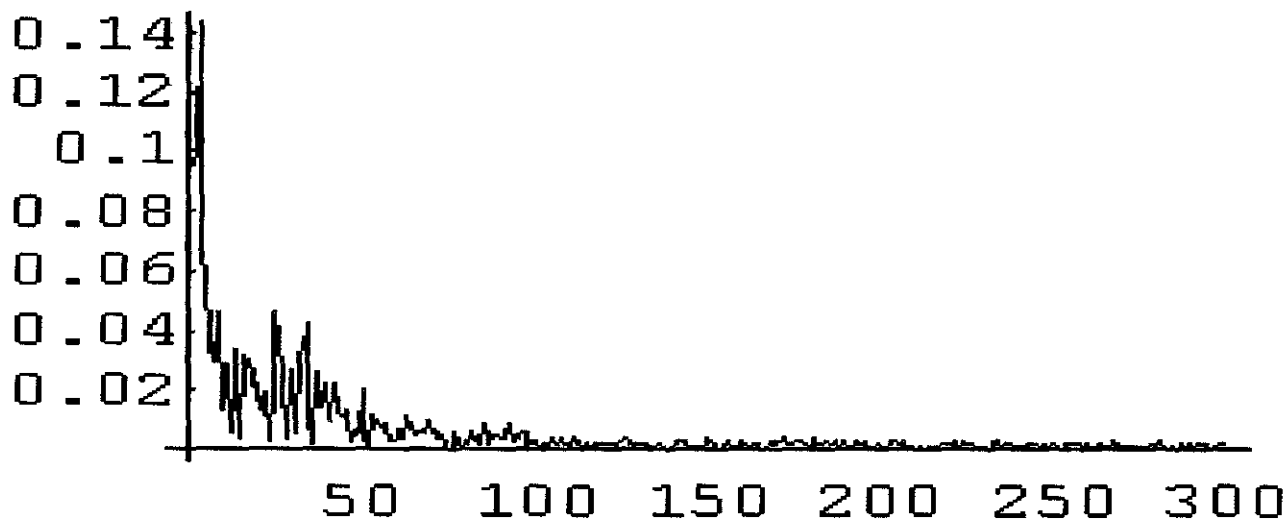


Fig.3.2 - Gráfico da frequência obtida da série referente aos dados obtidos na Groenlândia

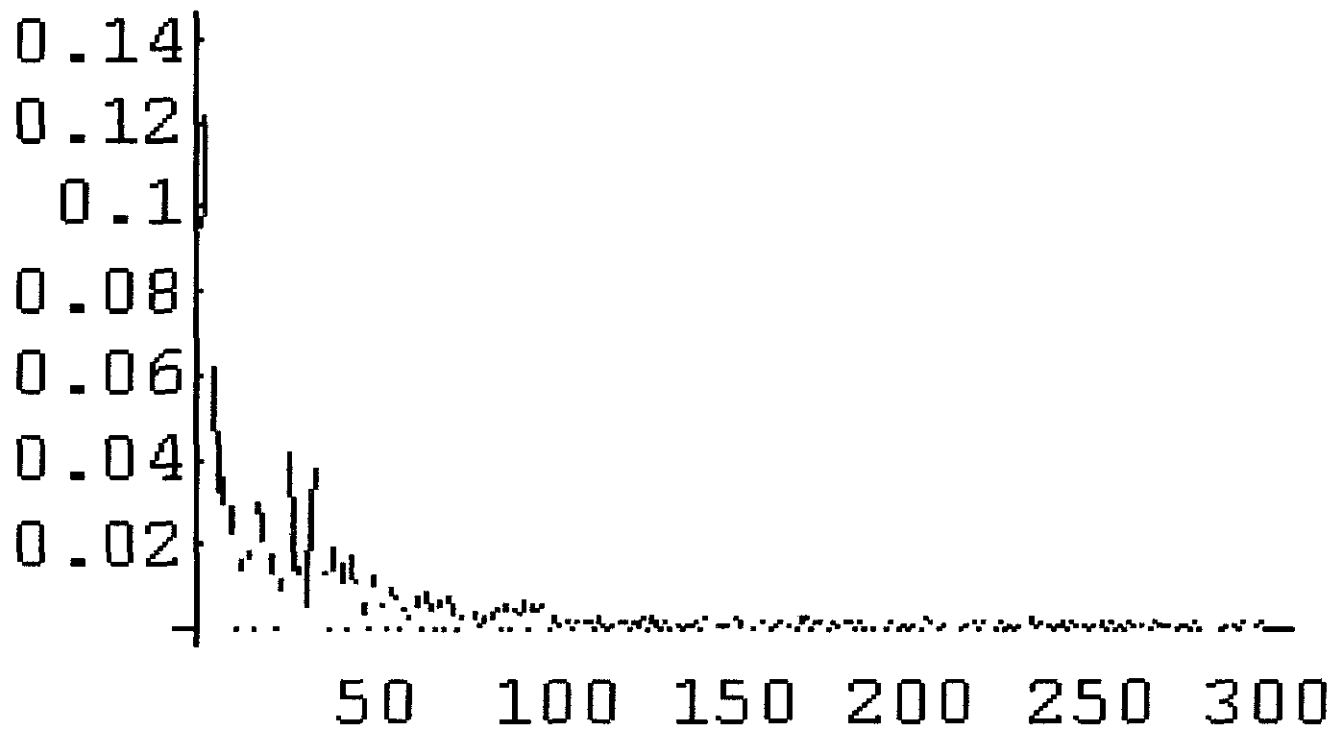


Fig.3.3 - Detector de Máximo referente aos dados obtidos na Groenlândia

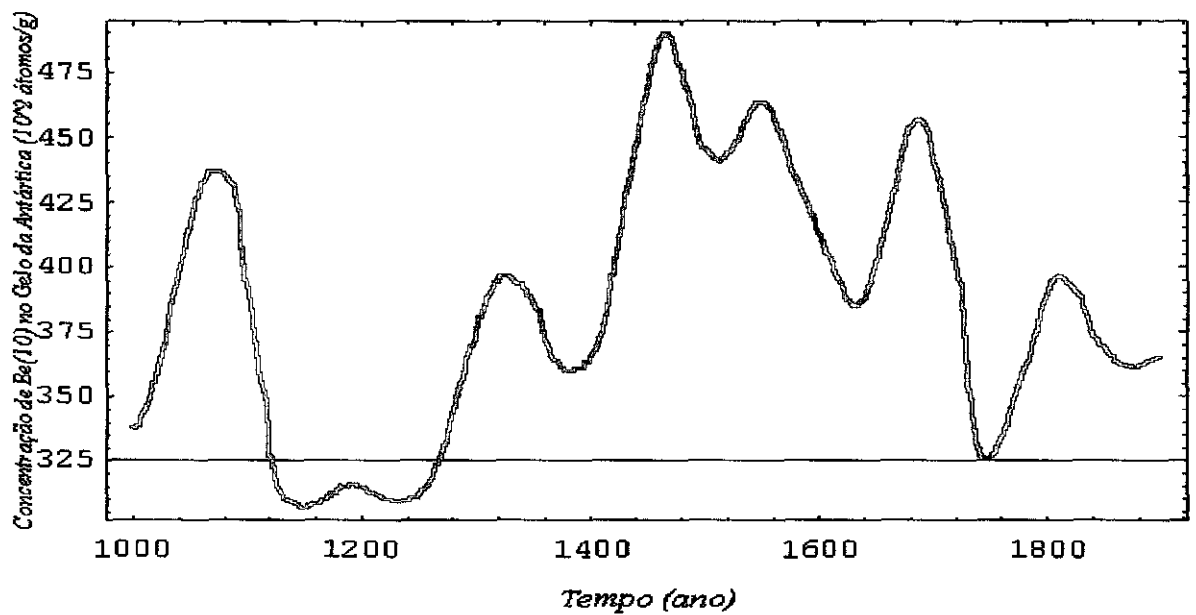


Fig.3.4 - Concentração de gelo da Antártica (10^4 átomos/g) no período de 1000 até 1900 d.C.

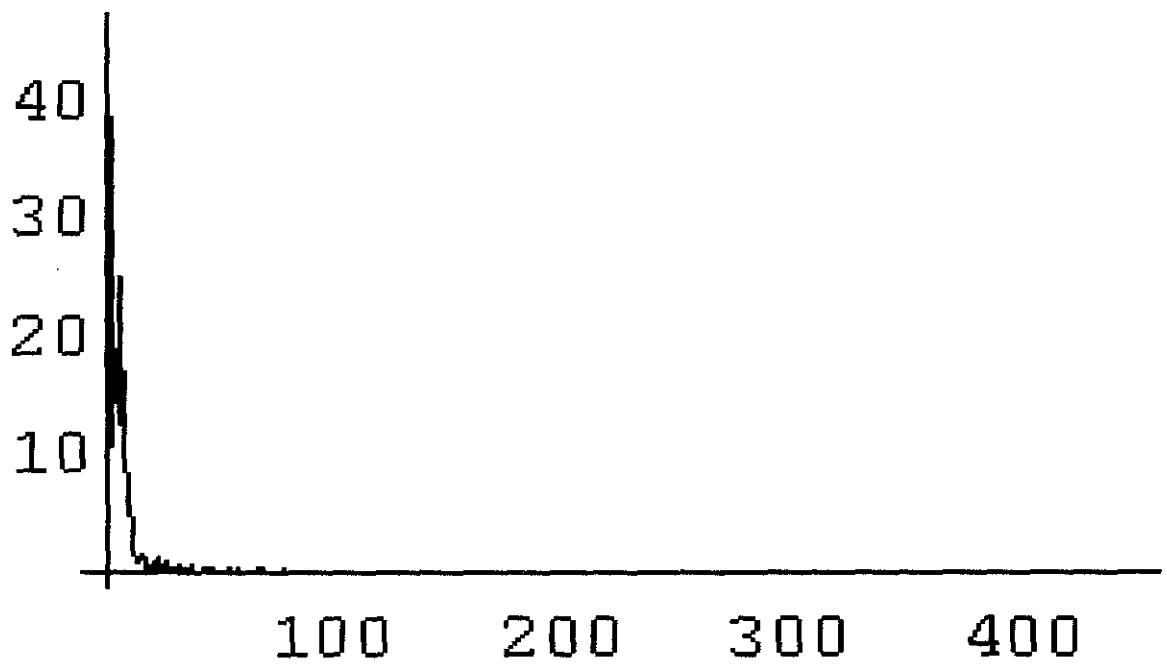


Fig.3.5 - Gráfico da frequência da série referente aos dados obtidos na Antártica

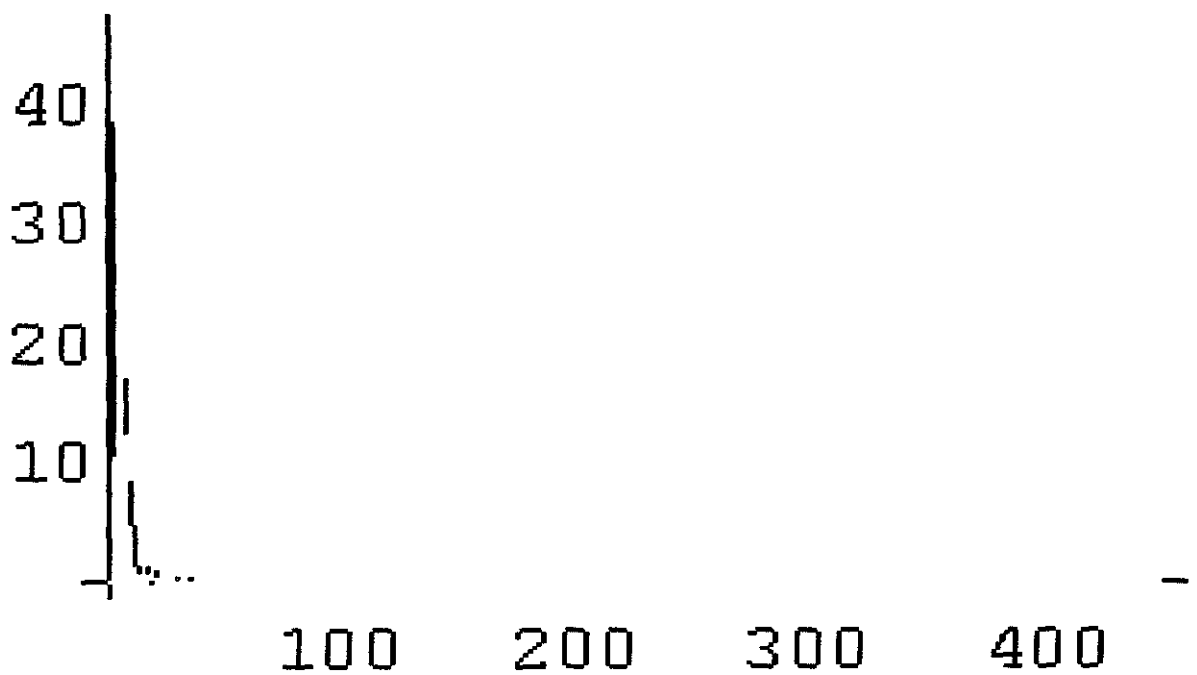


Fig.3.6 - Detector de Máximo referente aos dados da Antártica

IV-) EMISSÕES VULCÂNICAS

Desde 1784, quando Benjamin Franklin sugeriu que a erupção do vulcão Hecla na Islândia em 1783 pudesse ter sido responsável pelo frio anormal do inverno de 1783-1784, emissões vulcânicas têm sido incluídas como uma possível causa das variações temporais e climáticas

Mudanças na energia solar incidente pode provocar variações climáticas na Terra. Estas mudanças no balanço de energia solar, podem ter suas origens no próprio Sol ou serem causadas na própria Terra por fenômenos naturais, como as erupções vulcânicas.

Nas últimas décadas, têm-se tornado mais evidente que o efeito de um vulcão sobre o clima está mais relacionado com as emissões de compostos do enxofre, que se estendem na estratosfera. Esses gases de compostos de enxofre convertem-se para pequenas partículas de anidrido de enxofre (SO₂) e sulfatos. Elas persistem por vários anos na estratosfera espalhando eficientemente a luz solar, reduzindo, assim, a radiação solar direta e total que alcança à Terra, provocando quedas nas temperaturas.

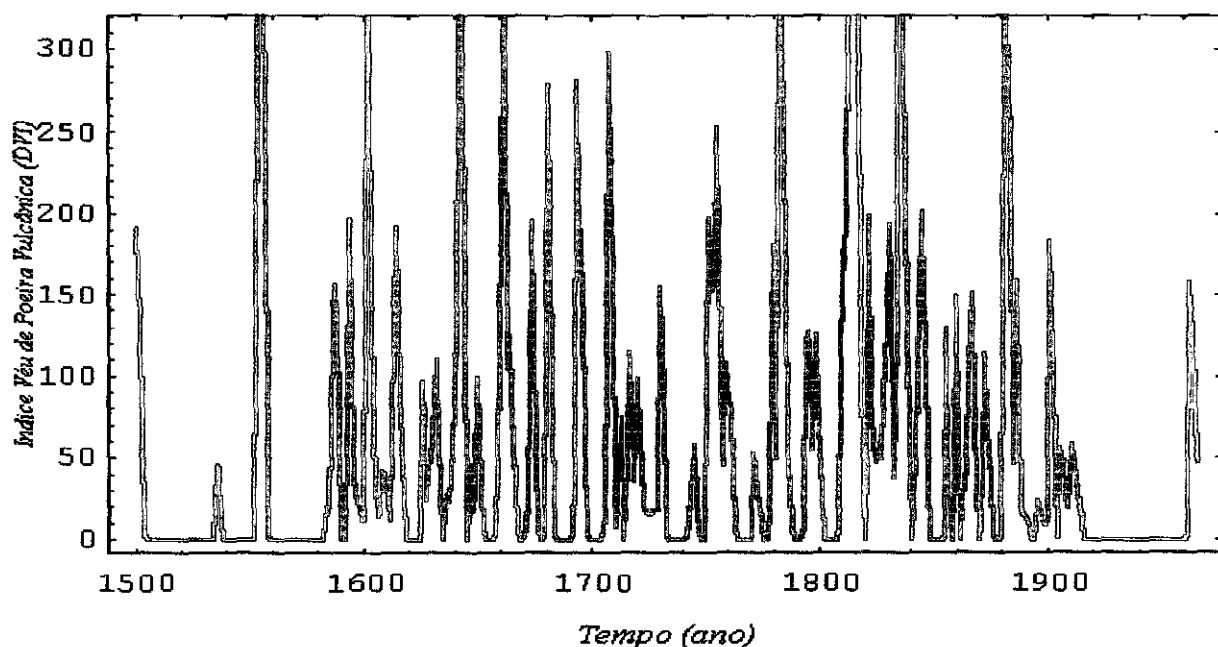


Fig.4.1 - Índice de Veu de Poeira Vulcânica no período de 1500 a 1966 d.C.

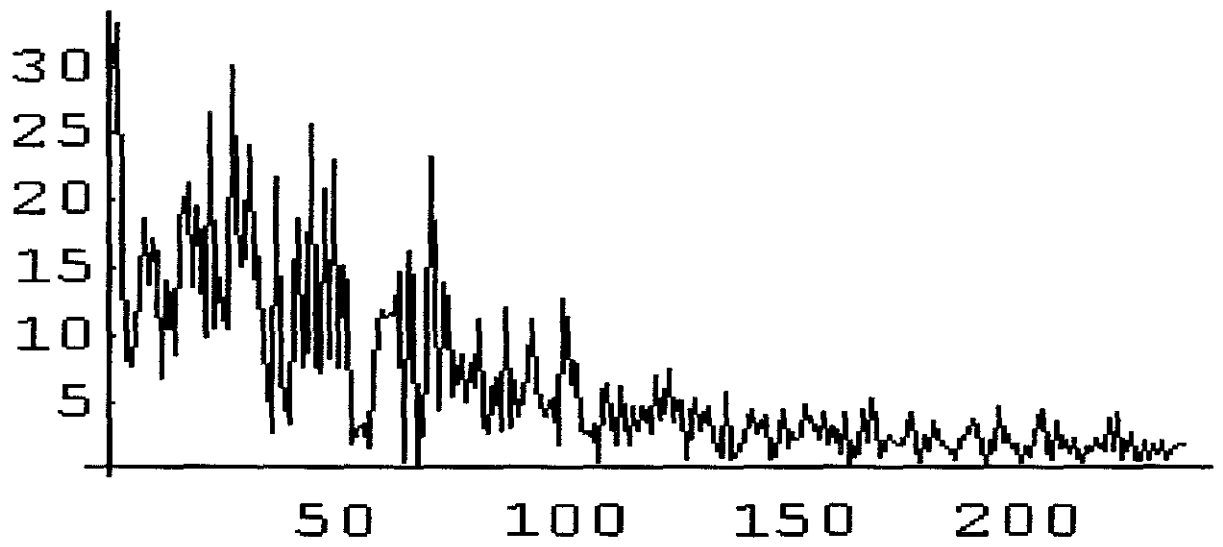


Fig.4.2 - Gráfico da frequência obtida da série

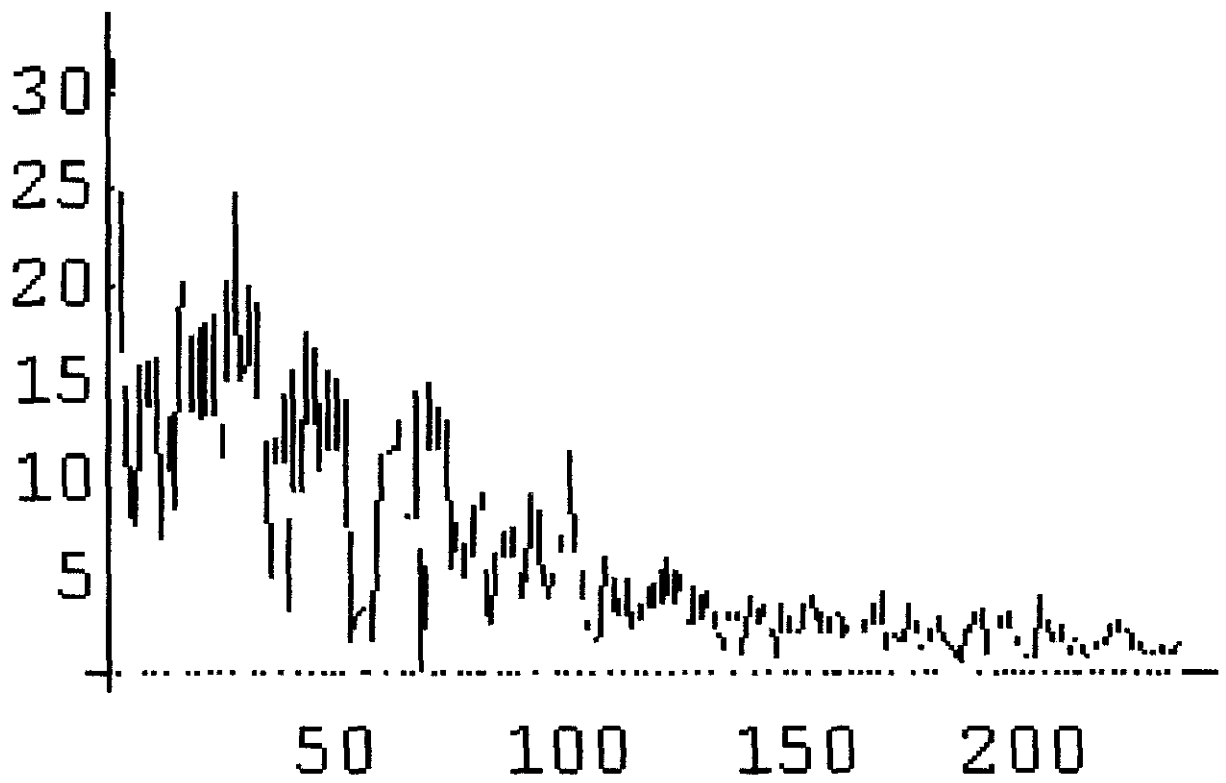
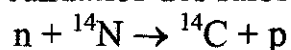


Fig.4.3 - Detector de Máximo

V-)CARBONO -14 (^{14}C)

O cosmonuclídeo atmosférico ^{14}C (meia-vida de 5730 anos) é produzido pelos nêutrons secundários dos raios cósmicos, pela reação:



Ele rapidamente oxida-se para o $^{14}\text{CO}_2$, misturando-se com o CO_2 atmosférico, com o qual é assimilado nas plantas pela função clorofiliana

A razão de produção do ^{14}C atmosférico do fluxo de raios cósmicos galácticos, acarretando mudança nos níveis de ^{14}C no passado, bem como dados sobre a atividade solar. Isso é feito a partir de um modelo de reservatório de carbono que descreve a troca do carbono terrestre entre a atmosfera, os oceanos e a biosfera.

O cálculo dos registros da razão de produção do ^{14}C pode conter também mudanças que não são relacionadas à modulação solar, mas sim as alterações climáticas.

As variações das razões de produção do ^{14}C , geralmente estão em concordância com as evidências das mudanças solares, obtidas a partir de observações históricas, do número de manchas solares e de auroras.

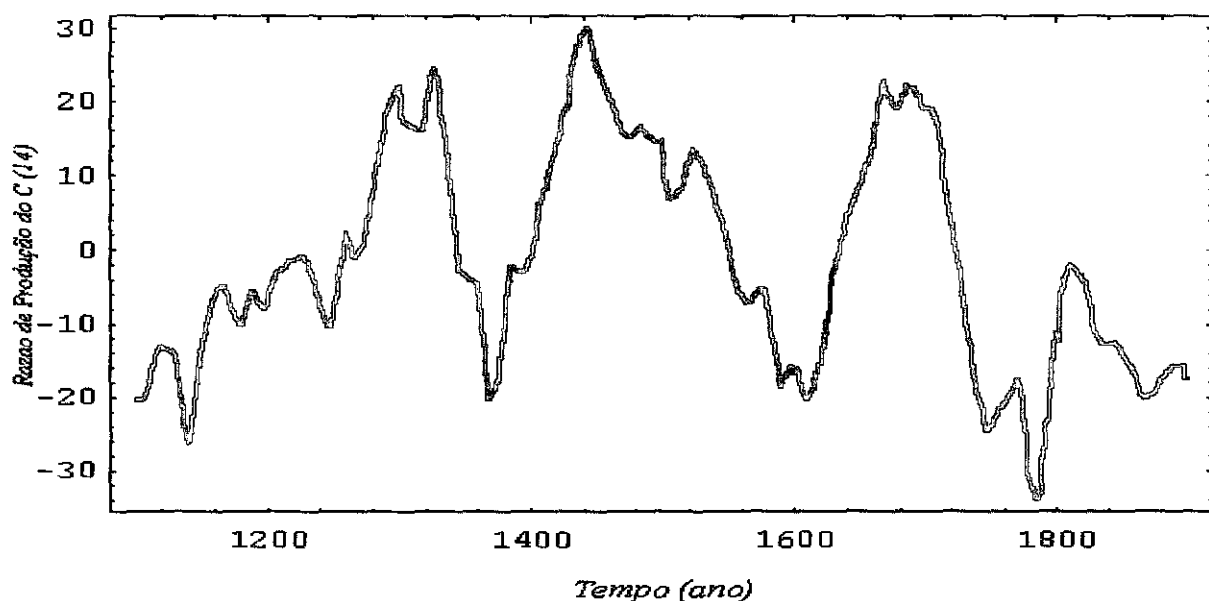


Fig.5.1-) Razão de produção de ^{14}C (%) no período de 1100 até 1900 d.C.

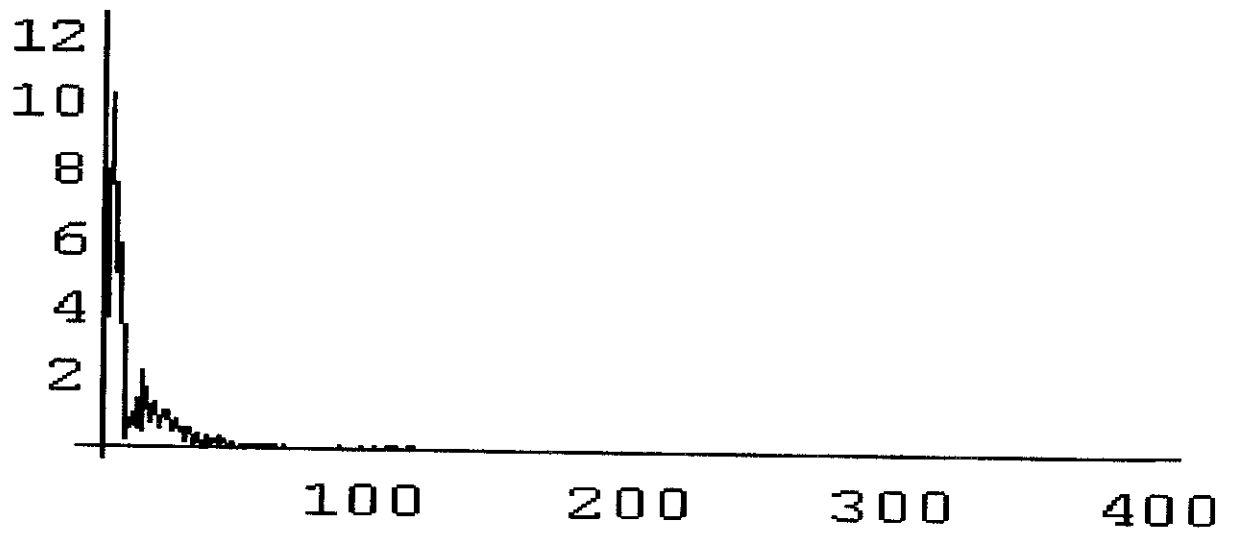


Fig.5.2 - Gráfico da frequência obtida da série

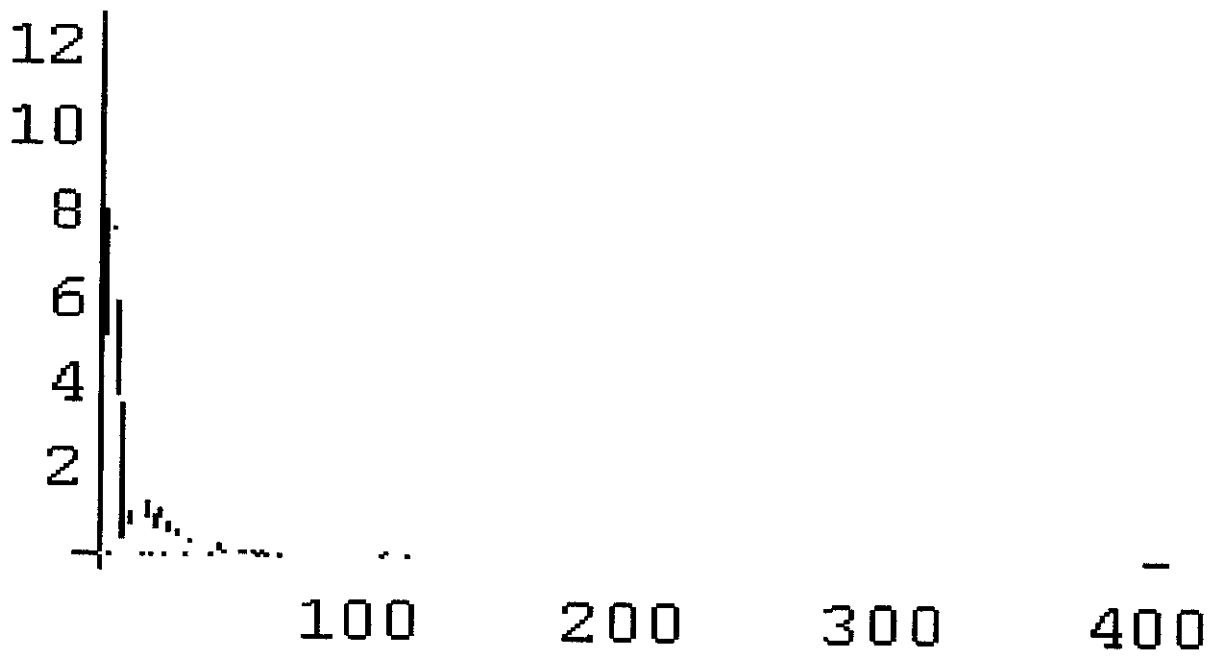


Fig.5.3 - Detector de Máximo

VI-)TEMPERATURA

Os dados de clima utilizado, foram os de temperaturas médias mensais de Kuujjuarapik. Os dados meteorológicos para esta estação existem desde 1926 até 1982.

Faz-se a reconstrução das temperaturas de junho a agosto, para Kuujjuarapik, com a ajuda dos parâmetros de comprimento e densidade de anel, usando o período entre os anos de 1926 a 1982 (dos dados meteorológicos) como calibrador. Em todos os modelos a primeira variável de entrada na equação de regressão foi a densidade do anel, e a segunda foi o comprimento do anel.

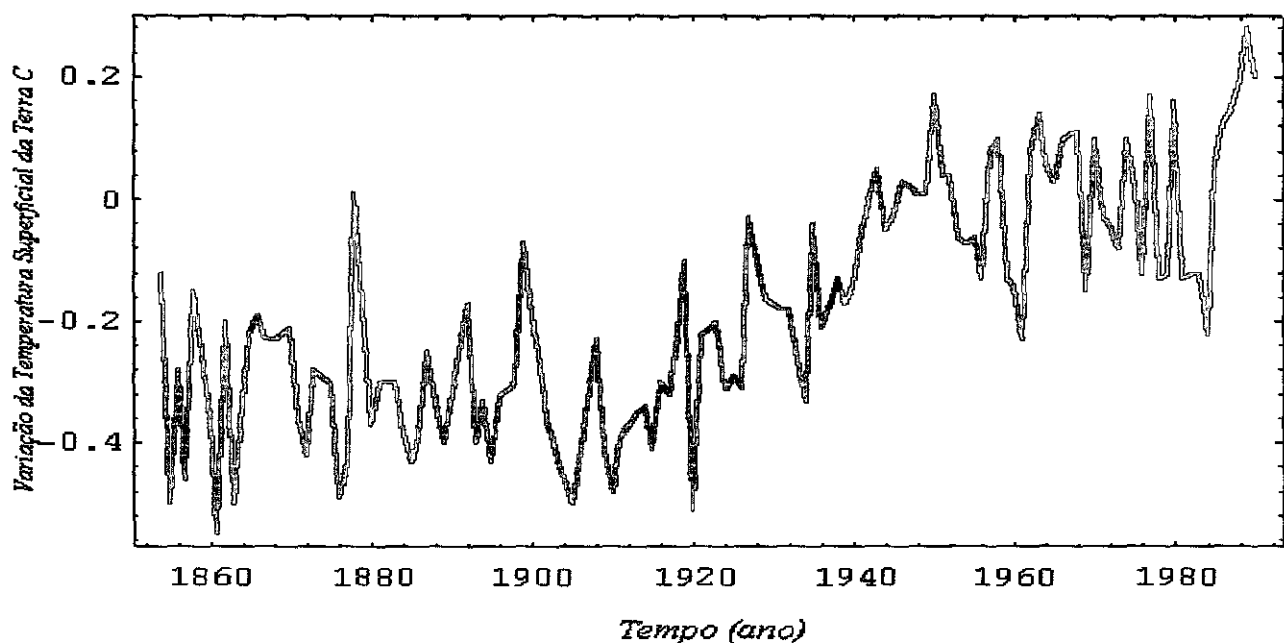


Fig.6.1 - Variações da Temperatura do ar Próximo a Superfície da Terra (°C), no período de 1854 até 1990.

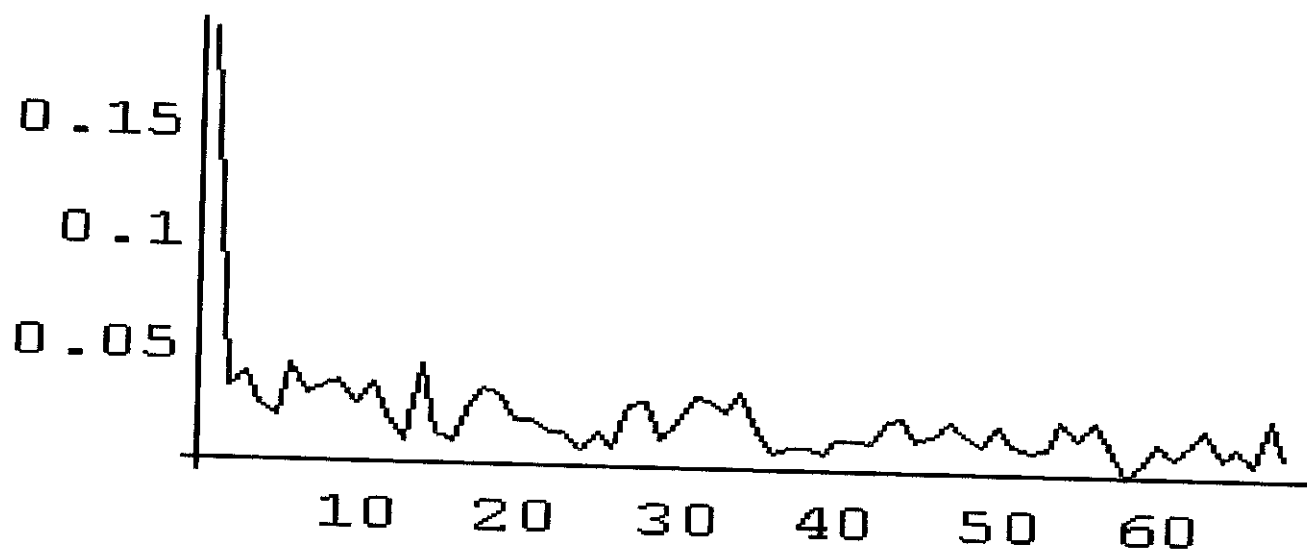


Fig.6.2 - Gráfico da frequência obtida da série

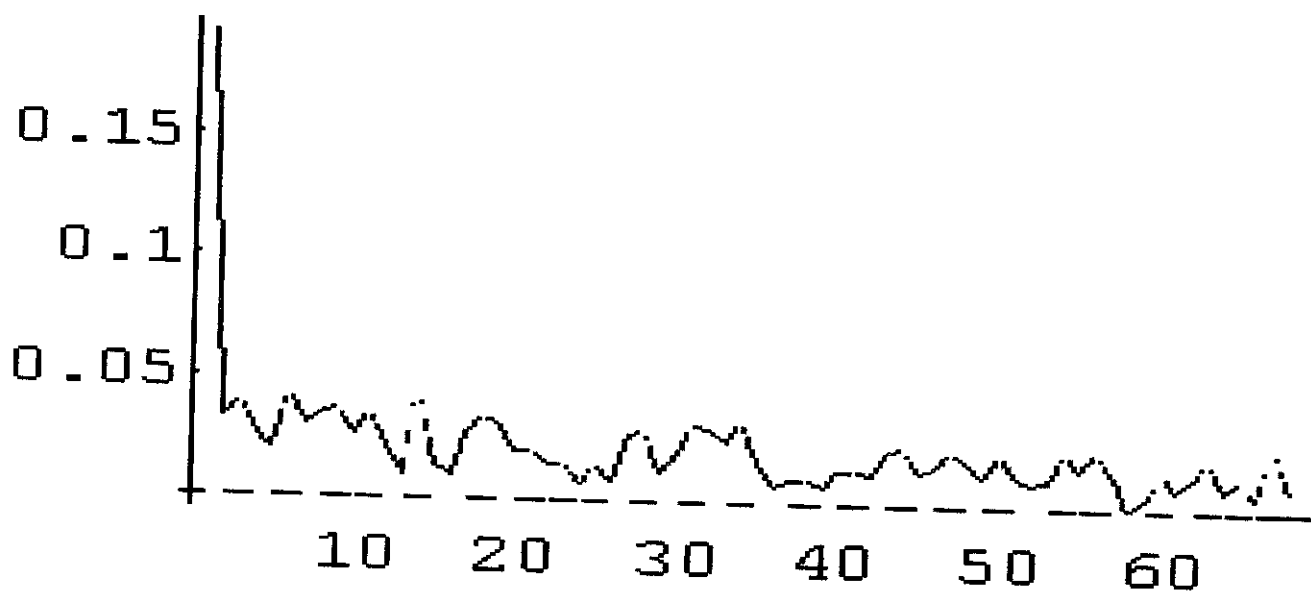


Fig.6.3 - Detector de Máximo

DISCUSSÃO e CONCLUSÃO

Para a série do Rio Paraguai, o modelo prevê uma estiagem de grande amplitude até o ano 2000 seguida por uma alternância de períodos de enchentes e de nível próximo do nível médio. Embora haja as incertezas inerentes as séries temporais, o resultado pode fornecer informações úteis sobre as tendências do comportamento do Rio Paraguai no futuro à escala de alguns anos.

As variações climáticas na Terra pode ter suas origens no Sol, mediante variação da atividade solar, ou serem causadas na Terra por fenômenos naturais como erupções vulcânicas, ou artificiais, como queima de combustível fóssil pelo homem.

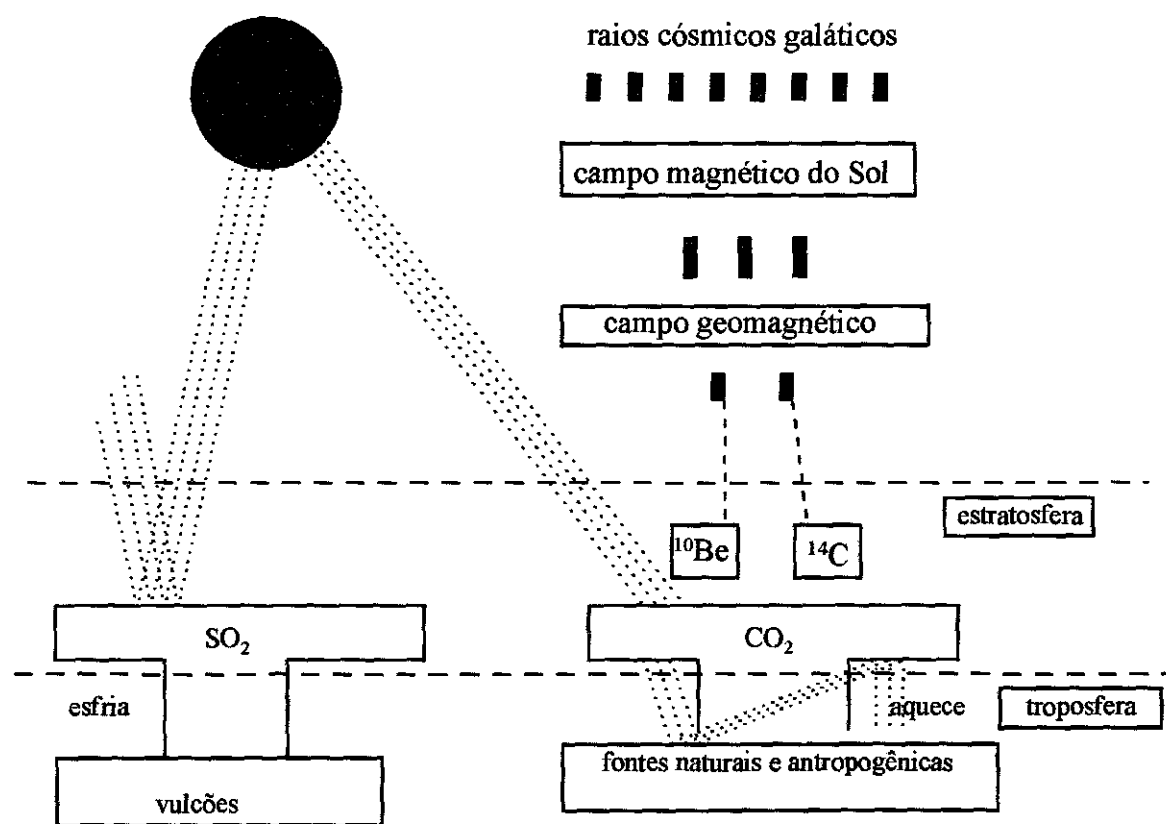
Quando há erupções vulcânicas, ocorre a emissão de dióxido de enxofre (SO_2) na estratosfera, que se transforma em gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Esse ácido espalha-se rapidamente a luz solar, reduzindo assim a radiação que chega a superfície da Terra, o que provoca um esfriamento no planeta.

Quando o CO_2 aumenta na atmosfera, seja por causas antropogênicas ou naturais, ocorre um aquecimento no planeta (efeito estufa). A luz solar que chega do Sol na Terra e atravessa a atmosfera, atingindo a superfície do planeta, tem uma parte absorvida pela superfície e outra parte é reemitida. A energia reemitida pela superfície encontra a atmosfera com maior densidade ótica, ocasionada pela maior concentração de CO_2 , não conseguindo assim atravessá-la. Dessa forma a luz que foi reemitida pela superfície, fica presa entre a superfície e a atmosfera, o que provoca o aquecimento da terra.

Os raios cósmicos após serem modulados pelos campos heliomagnéticos e geomagnéticos, encontram o topo da superfície atmosférica terrestre. Eles se interagem formando os radionuclídeos cosmogênicos na estratosfera, e na troposfera entre as quais o ^{14}C e o ^{10}Be . No caso do ^{14}C , logo depois de ser formado, ele oxida-se rapidamente e transforma-se em $^{14}\text{CO}_2$, e apresenta assim um tempo de residência na atmosfera relativamente longo (da ordem de anos). O aumento de CO_2 na estratosfera e na troposfera, provoca a diluição, ou diminuição relativa, do

$^{14}\text{CO}_2$ atmosférico. No caso do ^{10}Be , ele se aglutina facilmente aos aerossóis suspensos na estratosfera, permanecendo ali, por um ou dois anos e duas ou três semanas na troposfera. Logo após, se precipita para a superfície da Terra e dos oceanos.

A figura a seguir ilustra as possíveis relações entre o Sol, clima, CO_2 , ^{14}C , ^{10}Be , vulcões.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Nordemann, D. J. R.; **Periodicidades, tendências e previsão a partir da análise espectral dinâmica da série dos níveis do Rio Paraguai em Ladário (1900-1995)**. São José dos campos, INPE, 1996

Nordemann, D. J. R.; Gang, L. W.; **Analysis of Prediction Quality**. São José dos Campos, INPE.

Nordemann, D. J. R.; Gang, L. W.; **Study and Prediction of The Paraguay River Level By Harmonic Analysis and Neural Networks**. São José dos Campos, INPE, 1996

Nordemann, D. J. R.; **Introdução ao Mathematica for Windows**. São José dos Campos, Transtec, 1994.

RIGOZO, N. R. ; **Registros Naturais de Fenômenos Geofísicos**. São José dos Campos, INPE, 1995.

RIGOZO, N. R.; **Análise por Regressão Iterativa de Periodicidades nas Variações dos Cosmonúclídeos Atmosféricos ^{10}Be e ^{14}C** . São José dos Campos, INPE, 1994.