



RELATORIO TÉCNICO RT-GSTAR-002-2023

DISSM/CGCT/INPE

## RADIÇÃO SOLAR NA REGIÃO GRANDE NORTE ARGENTINO:

Análise em Componentes Principais da série de médias mensais do GL 1.2 período 2006-2020

Juan Carlos Ceballos<sup>1</sup>, Simone Marilene Sievert da Costa<sup>1</sup> e Jorge Domingo Forciniti<sup>2</sup>

(1) Divisão de Satélites e Sensores Meteorológicos – DISSM  
Coordenação Geral de Ciências da Terra – CGCT  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

(2) Sección Agrometeorología  
Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres”  
San Miguel de Tucumán, Argentina

Junho 2023

Como citar: Ceballos J.C., M.S.S. da Costa, J.D. Franciniti (2023). Solar Radiation Regimes within Extended North Argentine Region. Technical Report [GSTAR](#) RT-002-2023

## **Resumo.** RADIAÇÃO SOLAR NA REGIÃO GRANDE NORTE ARGENTINO: Análise em Componentes Principais da série de médias mensais do modelo GL 1.2 período 2006-2020

Uma região geográfica que inclui o Norte Argentino foi escolhida para realizar pesquisa e atividades de aplicação relativa às características da radiação solar. Esta Região Estendida do Norte Argentino (NAR, definida como a 46°W em longitude e 32°S a 19°S latitude) abrange desde o Oceano Pacífico até o Atlântico. Esta região estendida permite uma melhor descrição e compreensão do clima da radiação solar, assim como aproveitar medições solarimétricas de redes do norte chileno, sul brasileiro e província de Tucumán (Argentina). Ainda, são aproveitados dados do modelo satelital GL versão 1.2, fornecendo irradiância média diária com resolução 0,04°. O conjunto das informações será criticamente analisado e organizado num Banco de Dados de Radiação.

Este primeiro Relatório de Pesquisa apresenta uma análise de regimes de radiação solar no NAR, baseada na série de médias mensais do modelo GL 1.2 para o período 2006-2020. Foi aplicada análise em componentes principais (ACP) dos dados mensais normalizados pela média e desvio padrão da série. O estudo centrou-se no regime do *índice de brilho* Kt (de fato, a transmitância do sistema nuvens-atmosfera), para melhor caracterizar comportamentos regionais e filtrar o sinal anual oscilante associado à declinação do Sol. As primeiras quatro CPs acumulam mais de 82% da variância do sistema. Observam-se dois regimes principais: a primeira CP1 tem forte correlação com a radiação no norte do Chile, Argentina central, Paraguai e sul do Brasil, enquanto a PC2 correlaciona-se com o sopé (lado oriental) das Serras Andinas e a região brasileira ao norte do Paraguai. As CP3 e CP4 sugerem resposta à dinâmica atmosférica regional envolvendo a interação costeira com o Atlântico e a circulação (topográfica) a leste dos Andes. A análise harmônica de Fourier (AH) das CPs permite separar um sinal anual forte de uma oscilação mais lenta talvez associada a fenômenos de larga escala como El Niño/La Niña e outros. As cargas fatoriais devem ter influência definida na fase e perfil do sinal anual assim como na intensidade das flutuações de longo prazo; o tema será objeto de análise posterior. Não mais que 10 arquivos de cargas fatoriais (em alta resolução) e dois arquivos adicionais (irradiância média e desvio padrão da série) permitem descrição espaço-temporal da irradiância média mensal acumulando 92% da variância (ou desvio quadrático médio de cerca de 11 Wm<sup>-2</sup>). Estes arquivos representam em torno de 7% dos 180 originais mensais no período 2006-2020.

## **Abstract.** SOLAR RADIATION ON ARGENTINE EXTENDED NORTH REGION: Principal Components Analysis of monthly means series of model GL 1.2, period 2006-2020.

A geographical region including Northern Argentina was chosen in order to perform research and applied activities about solar radiation characteristics. This Argentine Extended North Region (NAR) is defined as 72°W to 46°W in longitude and 32°S to 19°S in latitude, from Pacific to Atlantic oceans. On one hand, this extended area allows better understanding and description of regional behavior of solar radiation climate; on the other hand, it takes profit of measurements by a number of solarimetric data from networks over at least Northern Chile, Southern Brazil and Province of Tucumán (Argentina). In addition, the satellite-based model GL version 1.2 provides 0.04° resolution values of daily mean irradiance. The whole set of available data will be critically analyzed and organized in a Radiation Data Base system.

This first Research Report presents an analysis of solar radiation regimes over NAR, based on GL 1.2 monthly series 2006-2020. Principal Component Analysis (PCA) was applied to monthly data standardized by mean and standard deviation of time series. The analysis is focused on PCA of brightness index Kt (actually cloud-atmosphere transmittance), in order to better describe regional behaviors filtering the direct effect of top-of-atmosphere oscillation associated to Sun declination. First four PCs cumulate more than 82% of regional variance. Two main regimes are observed: first (stronger) PC1 dominates Northern Chile, Central Argentina, Paraguay and southern Brazil, while PC2 covers *pedemonte* most eastern side of Andean mountains and Brazilian region north from Paraguay. PC3 and PC4 seem a response to regional atmospheric dynamics involving (coastal) interactions with Atlantic Ocean and (topographic) circulation over East Andean region. Fourier harmonic analysis (HA) of PCs allows separation between a stronger annual signal and a long-term oscillation probably associated to large-scale phenomena as El Niño/La Niña and others. Local factor loadings must have definite influence on description and interpretation of local phase of annual signal as well as strength of long-term fluctuations; this will be subject of further analysis. A number of 10 factor loading files and two additional files (mean irradiance and standard deviation) allow time-space description of regional monthly irradiance with 92% of variance (mean square deviation of about 11 W m<sup>-2</sup>). These files represent about 7% of 180 original monthly files in 2006-2020 period.

## **Sumário**

### DIAGNÓSTICO DO REGIME DE RADIAÇÃO SOLAR NO NAR, BASEADO NO MODELO GL 1.2.

Autores: J.C. Ceballos, S.M.S. da Costa, J.D. Forciniti

#### Introdução

- 1 Dados e métodos
  - 1.1. Área de análise e período de dados
  - 1.2. Acerca da comparação entre modelo e medições
  - 1.3. Análise em Componentes Principais (ACP)
  - 1.4. Análise Harmônica (Fourier)
- 2 Distribuição regional de valores médios de radiação
  - 2.1. Exemplos de ajuste entre estimativas por satélite e medidas à superfície
- 3 ACP da série temporal
- 4 ACP aplicada ao índice  $K_t$  (transmitância atmosférica)
  - 4.1. Periodicidades nas componentes principais
- 5 A construção de uma série temporal de GL
- 6 Clima da radiação solar global no NAR
  - 6.1. Relação entre regimes de nebulosidade e sistemas meteorológicos
  - 6.2. Análise em componentes principais da série de  $K_t$
- 7 Considerações finais

#### Referências Bibliográficas

## **Anexos**

- A1. Irradiância média diária no topo da atmosfera.
- A2. Arquivos de componentes principais e valores médios em 2006-2020
- A3. Rede de locais na região R3.



## INTRODUÇÃO

Em 2022 deu-se início a ações de cooperação em estudos de radiação solar entre o [Grupo de Radiação Solar, Atmosférica e Terrestre](#) G-STAR (Coordenação Geral de Ciências da Terra, CGCT/INPE), a [Sección Agrometeorología](#) da Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC, Tucumán, Argentina) e o [Laboratorio de Física de la Atmósfera](#) (LAFIAT) da Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán (FACET/UNT, Argentina). A EEAOC dispõe de uma rede operacional de 30 estações automáticas medindo radiação solar global na província de Tucumán (Argentina) e locais próximos dela, enquanto o LAFIAT vem colaborando em atividades de calibração de instrumentos. A interação com o G-STAR permite incorporar a comparação/validação de séries temporais de radiação solar estimadas pelo modelo GL operacional no INPE. Por sua vez, as características do modelo GL (abrangência da América do Sul, em alta resolução espacial) permitirão gerar monitoramento e caracterização climática da radiação solar numa região mais extensa que a província de Tucumán.

Como primeiro resultado, foram elaboradas comparações 2017-2021 da rede EEAOC com o modelo GL. Resultados foram apresentados no Congresso Argentino de Meteorología em Buenos Aires (Forciniti et al. 2022a) e na Reunião da Associação de Energia Solar em Catamarca (Forciniti et al. 2022b). Ainda, neste último Encontro foi apresentada uma aplicação do modelo GL para diagnóstico da série temporal de irradiância mensal no Noroeste Argentino (Ceballos et al. 2022).

Como projeto, está em discussão a ideia de uma atividade de colaboração triangular no Norte Argentino Estendido (região R3, NAR no que segue), centrada na geração de um Banco de Dados de radiação solar e variáveis afins. A região R3 inclui o Norte Argentino estendendo-se até o Oceano Pacífico a oeste, e o Atlântico a leste. O Banco seria gerenciado basicamente pela EEAOC e compartilhado pelo G-STAR e LAFIAT. O G-STAR poderá fornecer dados GL (estimação satelital), a EEAOC e outras instituições regionais contribuirão com dados de superfície, e o LAFIAT dará apoio às campanhas de calibração da rede EEAOC. As três instituições colaborariam na análise da distribuição e coerência de resultados, e no diagnóstico do clima da radiação solar.

O presente Relatório reflete análises e relações institucionais em dezembro de 2022. Para 2023 está prevista a colaboração com outras instituições, e a publicação de pelo menos dois Relatórios Técnico/Científicos G-STAR, referentes a:

- [Diagnóstico do regime climático da Região Norte Grande Argentino](#) (NAR), baseado nas séries de dados mensais 2006-2020 do modelo GL 1.2. A análise em componentes principais (ACP) e análise harmônica ou de Fourier são utilizadas como ferramentas para descrição de regimes de radiação solar, fornecendo informação para um diagnóstico do clima da radiação solar na região. Resultados são apresentados neste Relatório RT GSTAR-002-2023, maio de 2023.
- [Banco de Dados de radiação solar do NAR](#), incluindo arquivos de dados regionais e programas/aplicativos para processamento de dados. Está em processo de atualização o Sistema de Processamento de Dados de Radiação Solar (SPDRAD) para a área total do GL, susceptível de ser adaptado para a região R3. Relatório Técnico RT GSTAR-003-2023 previsto para julho de 2023.

Nesta etapa são utilizados dados mensais medidos e do modelo GL. No curto prazo, o Banco de Dados será estendido para médias diárias de irradiância.

# 1. DADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

## 1.1. Definição da região de análise

A área de definição do modelo GL versão 1.2 cobre uma grade regular de 1800×1800 pixels com resolução 0.04°×0.04° e limites [-100° -28.04°] em longitude, [-50° +21.96°] em latitude. No que segue, os limites de uma região serão representados pelo vetor [lonmin lonmax latmin latmax]. Por exemplo, o GL está definido em [-100 -28.04 -50 +21.96].

Consideram-se 8 regiões para futuras análises de séries temporais e regimes de irradiação solar:

R1. América do Sul	[-84 -31 -46 +13]
R2. Meso-América do Sul	[-75 -38 -41 -18]
R3. Grande Norte Argentino	[-72 -46 -32 -19]
R4. Amazônia	[-72 -46 -16 +04]
R5. Nordeste do Brasil	[-52 -30 -20 +00]
R6. Sul-Sudeste do Brasil	[-60 -38 -36 -15]
R7. América do Sul Ocidental	[-82 -70 -20 +13]
R8. América Central-Caribe	[-100 -75 +03 +21]

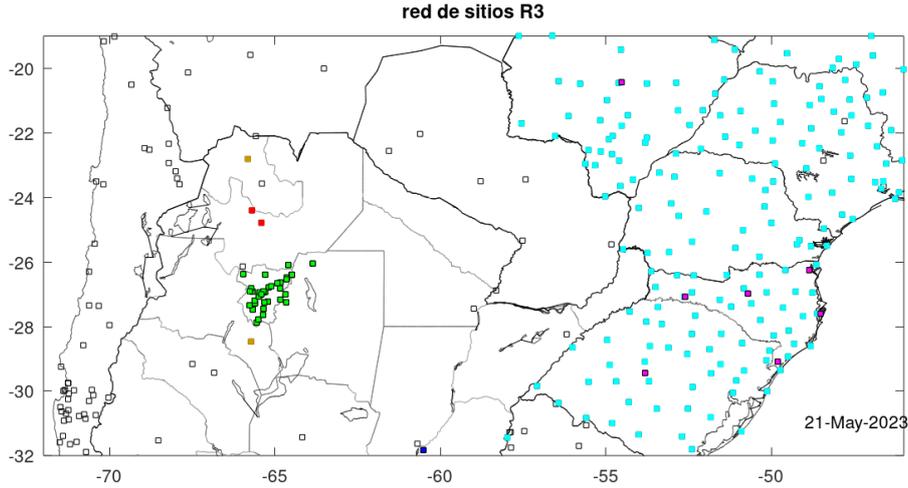
Nesta etapa, as regiões R1-R8 estão definidas de forma relativamente arbitrária e poderão ser redesenhadas. A Figura 1 ilustra a extensão geográfica do modelo GL 1.2, e a localização de R1, R2, R3.

- Entre 2000 e 2017, os recortes de imagens do sensor Imager (satélites GOES-8, -10, -12 e -13) sofreram diferentes formatações e/ou limitações. Assim, a região R1 [-84 -31 -46 +13] contém a série temporal mais completa do GL versão 1.2.
- A região R3 [-72 -46 -32 -19] cobre uma faixa de longitudes com razoável densidade de medições de irradiância (nas províncias de Tucumán e Salta na Argentina, no norte de Chile e no sul do Brasil), entre o Pacífico e o Atlântico. As características climáticas são descritas na seção 6.

Neste trabalho a análise está focada na região R3. Para essa região, os dados são

- Lista de locais ListaUnicaCompleta\_202305.txt enumera os locais de interesse em R3. Eles podem ter dados GL (modelo), GG (medidos), ou ser de interesse estratégico. A Lista inclui N= 307 locais em 202305, indicando 6 dados: 1. ID definido para locais do modelo GL 1.2; 2. Latitude (decimal); 3. Longitude (decimal); 4. Altitude (msn); 5. Dono (país so local, ou código para uma rede); 6. IDlocal (específico dentro da rede; se não definido, adota-se o ID do modelo). É iniciado também nome do local ou estação, e do país.
- Sequência de médias mensais do modelo GL 1.2; período: 2006-2020. Dados organizados segundo recortes da Região R3, em três quinquênios (períodos de 60 meses). Estrutura: arquivos digitais de matrizes 326 linhas x 651 colunas x 60 meses, resolução espacial 0,04°. Cada dado é um inteiro formato Integer\*2 (parte inteira de X= 10 × irradiância média em W m<sup>-2</sup>).
- Conjunto GL de locais escolhidos (planilhas GLano1ano2-R3.txt). Arquivos de texto (\*.txt) descrevendo séries temporais de valores mensais de GL para N locais. Os arquivos estão estruturados em quinquênios (2006-2010, 2011-2015, 2012-2020), como matrizes de N linhas × 66 colunas. As 6 primeiras colunas informam dados cadastrais do local: ID, latitude,





**Figura 2.** Distribuição geográfica de locais selecionados para tabelas com dados de estação (G) e de modelo (GL). Em verde: rede EAAOC; vermelho: estações INENCO, Universidad Nacional de Salta; cian: rede automática INMET, Brasil; magenta: rede SONDA, INPE, Brasil; azul: GERSOL, Universidad Nacional de Luján.

A Figura 2 descreve a distribuição geográfica de locais para análise e base de dados escolhidos em R3. Algumas observações sobre a relação entre estimativas GL e medições G são apresentadas na seção 2.1. Descrição mais detalhada da distribuição de locais e dados de estação disponíveis será objeto da Segunda Parte deste Relatório (previsão: julho 2023).

## 1.2. Acerca da comparação entre modelo e medições

É digna de atenção a questão da comparação entre estimadores GL e medidas de radiação solar G, cada um com desvios próprios associados a defeitos de modelagem (caso da estimação) e erros de calibração e/ou degradação de sensor (caso das medidas). Considere-se um local com uma série temporal de valores *verdadeiros* de irradiância média  $G_{o_t}$ , sendo  $t= 1, 2, \dots, T$ , estimativas de modelo  $GL_t$  e medidas de radiômetro  $G_t$ . As medidas reais deveriam ter sido  $G_{o_t}$ , com média  $G_{oo}$  e desvio padrão  $S_o$ . A relação entre  $G_t$  e  $G_{o_t}$  é

$$G_t = \alpha (G_{o_t} + EG), \quad (1)$$

onde EG é um erro sistemático e  $\alpha$  um fator de calibração. A média  $G_m$ , variância  $Var(G)$  e o desvio padrão  $SG$  calculados a partir da série  $G_t$  serão

$$G_m = \alpha (G_{oo} + EG); \quad (2)$$

$$Var(G_t) = \alpha^2 Var(G_{o_t}) \rightarrow SG = \alpha S_o. \quad (3)$$

Com o mesmo raciocínio, se os valores estimados  $GL_t$  têm erro sistemático EGL e um fator de calibração  $\beta$ , então

$$GL_m = \beta (G_{oo} + EGL), \quad SGL = \beta SGL. \quad (4)$$

Das expressões (2), (3) e (4) percebe-se que as variáveis padronizadas  $z_G$  e  $z_{GL}$  serão

$$z_{G_t} = (G_t - G_m)/SG = (G_{o_t} - G_{oo})/S_o = z_{GL_t}. \quad (5)$$

Conclusão: idealmente, pode-se esperar que as variáveis padronizadas  $z_{G_t}$  e  $z_{GL_t}$  sejam idênticas, com um diagrama de dispersão  $z_{GL}$  versus  $z_G$  alocado na diagonal principal. Afastamentos dessa diagonal devem ser atribuído a outras causas que a calibração, como variações atmosféricas ou de calibração do próprio detector do satélite, fazendo variar os parâmetros EGL,  $\beta$  (mas não EG,  $\alpha$ ) no modelo de estimativa; por outro lado, problemas na manipulação do radiômetro (sombreamento/reflexão de radiação solar por prédios ou árvores próximos; cortes de energia na instrumentação; interferência do observador) mudam temporariamente EG,  $\alpha$  enquanto que o modelo satelital não inclui estes acidentes. Claramente, a série real ou “absoluta”  $G_{0t}$  é desconhecida e não pode ser deduzida das séries de  $GL_t$  ou  $G_t$ , a menos que esta última seja produzida por instrumentos calibrados e sujeitos a cuidadoso controle do processo de medição; neste caso, assume-se que  $G_{0t} = G_t$ .

Neste contexto, ao trabalhar com variáveis padronizadas, a análise em componentes principais de dados regionais tende a representar objetivamente os regimes de radiação solar eliminando problemas de calibração (de redes de superfície, ou de modelos satelitais) desde que os valores  $G_t$  ou  $GL_t$  sejam produzidos em condições “estacionárias” de calibração.

### 1.3. Análise em componentes principais (ACP)

A correlação entre séries temporais de dados de uma rede de estações de medida permite analisar características comuns de variáveis meteorológicas e sua distribuição espacial. A análise em componentes principais (ACP, no que segue) permite generalizar este conceito, detectando comportamentos característicos e a distribuição geográfica de sua influência. Partindo de um conjunto de  $N$  estações, cada uma com  $T$  informações (sequência temporal), estas podem organizar-se numa matriz de dados  $X(N \times T)$  e matriz de coeficientes de correlação  $Q(N \times N)$ . Se houver estações com elevada correlação entre elas (positiva ou negativa), a ACP permite reduzir o total de informações à série temporal de um número  $M$  muito menor de variáveis ou “comportamentos principais” com matriz  $Z(M \times T)$ , capaz de reproduzir o comportamento das  $N$  estações de forma simples (linear) e com elevado grau de acurácia. Ao mesmo tempo, o grau de correlação elevado entre a série de dados  $X_k(t)$  de algumas estações e os valores  $Z_m(t)$  de comportamentos principais permite agrupar (regionalizar) as estações de forma objetiva, em  $M$  conjuntos característicos.

Os pixels da região R3 podem ser consideradas como  $N = 326 \times 651 = 212226$  “estações virtuais” com  $T = 180$  dados mensais ao longo de 15 anos. Todavia, a ACP seria impraticável dada a dimensão de matriz  $Q$  resultante. Optou-se por escolher  $N = 80$  pixels distribuídos homogeneamente em R3 para encontrar as componentes principais  $Z_m(t)$  mais relevantes na região. Os elementos teóricos da ACP foram extraídos de Johnson e Wichern (2007). Resumidamente, seja uma rede solarimétrica com  $N$  estações, fornecendo dados  $G_k(t)$ ,  $t=1,2,\dots,T$ ;  $k=1,2,\dots,N$ . Consideremos os valores padronizados  $y_k(t)$  pela média  $G_{media_k}$  e desvio padrão  $STD_k$

$$y_k(t) = [G_k(t) - G_{media_k}] / STD_k, \quad (1)$$

$$G_{media_k} = \sum_t G_k(t) / T, \quad (2)$$

$$STD_k^2 = \sum_t [G_k(t) - G_{media_k}]^2 / T. \quad (3)$$

A matriz  $N \times T$  de dados  $y_{kt}$  ( $k$ = linha,  $t$ = coluna) pode ser imaginada como a evolução temporal de um vetor  $Y(t)$  num espaço de  $N$  dimensões. A ACP procura enxergar em que medida os vetores

$Y$  se alinham ao longo de um *eixo principal* orientado segundo um vetor unitário  $\mathbf{a}$ . A solução mediante o critério de mínima distância euclidiana apresenta um conjunto de  $N$  *eixos principais*  $\{\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_m, \dots, \mathbf{a}_N\}$  ortonormais e soluções da equação

$$\mathbf{Q} \mathbf{a} = \lambda \mathbf{a}. \quad (4)$$

$\mathbf{Q}$  é a matriz de correlação temporal entre os vetores  $\mathbf{Y}$ , com  $N$  autovalores  $\lambda$ . Os vetores  $\mathbf{Y}(t)$  referidos ao sistema ortonormal  $\{\mathbf{a}_m\}$  têm  $N$  *componentes principais*  $z_1(t), z_2(t) \dots z_N(t)$  ou vetores  $\mathbf{Z}(t)$ . A relação entre os vetores  $\mathbf{Y}$  e  $\mathbf{Z}$  é definida pela matriz  $\mathbf{A}(N \times N) = \{\mathbf{a}_m\}$  de transformação de coordenadas, sendo

$$\mathbf{A} \mathbf{Z}(t) = \mathbf{Y}(t), \quad \mathbf{A}^{-1} = \mathbf{A}', \quad \mathbf{Z}(t) = \mathbf{A}' \mathbf{Y}(t); \quad (5)$$

$$a_{m1} y_{1t} + a_{m2} y_{2t} + \dots + a_{mN} y_{Nt} = z_{mt}, \quad (6)$$

$$a_{1k} z_{1t} + a_{2k} z_{2t} + \dots + a_{Nk} z_{Nt} = y_{kt}. \quad (7)$$

Se por um lado as variáveis  $y_k(t)$  têm média nula e variância unitária, demonstra-se que as CPs  $z_m(t)$  têm média nula, variância  $\lambda_m$  e são mutuamente ortogonais. Assim, as  $z_{mt}$  podem ser normalizadas para variáveis  $w_{mt}$ , e os coeficientes  $a_{mk}$  serem transformados em cargas fatoriais (“weighting factors”)  $f_{mk}$ , de forma que a partir da Eq. 6 e da ortonormalidade das variáveis  $w_{mt}$ , tem-se

$$w_{mt} = z_{mt} / \sqrt{\lambda_m}, \quad a_{mk} \cdot \sqrt{\lambda_m} = f_{mk}, \quad (8)$$

$$f_{1k} w_{1t} + f_{2k} w_{2t} + \dots + f_{Nk} w_{Nt} = y_{kt} \quad (9)$$

$$f_{1k}^2 + f_{2k}^2 + \dots + f_{mk}^2 + \dots + f_{Nk}^2 = 1. \quad (10)$$

As equações (9) e (10) são fundamentais. Por um lado, a Eq. 9 representa uma descrição *exata* da  $k$ -ésima variável original; por outro lado, na Eq. 10 os termos  $f_{mk}^2$  representam a contribuição da  $m$ -ésima CP para a variância da  $k$ -ésima estação e dependem fortemente da grandeza dos autovalores  $\lambda_m$ . Como consequência, apenas algumas CPs (sejam  $M \ll N$ ) poderiam acumular uma elevada fração de sua variância, não se justificando um desenvolvimento maior (o resto seria, muito provavelmente, constituído por “erros” ou flutuações que não contribuem à informação sobre  $y_{kt}$ ). Finalmente, se o conjunto de estações abrange uma área geográfica extensa, observar a distribuição de valores do fator  $f_{mk}$  permite regionalizar a influência da  $m$ -ésima componente principal sobre a radiação solar.

Para evitar uma matriz de correlação  $\mathbf{Q}$  com dimensão intratável, foram escolhidos 80 pixels num padrão geográfico regular, como ilustrado na Fig 6. Programas em Octave (compatíveis MatLab) permitiram resolver a Eq. 4, determinando as matrizes  $\mathbf{A}$  e  $\mathbf{Z}$ , a as cargas fatoriais associadas (80 vetores  $\mathbf{f}_m$ ).

A matriz  $\mathbf{A}$  forneceria apenas uma visão genérica da distribuição geográfica de cargas fatoriais  $f_{mk}$  na região R3. Considerando que  $f_{mk}$  representa o coeficiente de correlação entre a variável  $y_k(t)$  original e a  $w_m(t)$  principal (a qual é válida não apenas para a amostra indicada na Figura 6, como também para *o inteiro conjunto* da região R3) foi calculado o coeficiente de correlação para todos os pixels em R3, gerando assim campos de cargas fatoriais em alta resolução espacial. O estimador do coeficiente de correlação do  $k$ -ésimo pixel com a  $m$ -ésima CP é avaliado segundo

$$f_{mk} = \sum_{t=1, T} y_k(t) w_m(t) / T. \quad (11)$$

Nesta expressão, a série  $y_k(t)$  é fornecida pelo modelo GL com resolução de  $0,04^\circ$  (eq. 1),  $w_m(t)$  foi obtida na eq. (8), e  $T$  é o comprimento da série temporal (neste trabalho, 180 meses).

#### 1.4. Análise Harmônica ou de Fourier (AH)

Neste trabalho, a AH é aplicada às séries temporais de componentes principais da radiação solar. Séries temporais de uma variável  $x(t)$  com média nula num intervalo *discreto*  $t= 1,2, \dots,T$  ( $T$  par) são representadas *exatamente* pela soma de  $Nh = T/2$  de componentes harmônicas (Bloomfield 1967)

$$x(t) = \sum_{h=1, Nh} A_h \cos[h \omega_0 (t-1)] + B_h \sin[h \omega_0 (t-1)] , \quad (12a)$$

$$\omega_0 = 2\pi/T \text{ (frequência fundamental), } \quad Nh = T/2 \text{ (número de harmônicos),} \quad (12b)$$

$$A_h = (2/T) \sum_{t=1, T} x(t) \cos[h \omega_0 (t-1)], \quad (12c)$$

$$B_h = (2/T) \sum_{t=1, T} x(t) \sin[h \omega_0 (t-1)]. \quad (12d)$$

*Definições e propriedades:*

$$C_h^2 = A_h^2 + B_h^2, \text{ (} C_h \text{ = amplitude do } h\text{-ésimo harmônico),} \quad (13)$$

$$V = \text{variância de } x(t) = (1/N) \sum_t x^2(t), \quad (14)$$

$$\sum_h C_h^2/2 = \sum_h V_h = V. \quad (15)$$

Nesta última equação,  $V_h$  é a contribuição de cada harmônico para a variância de  $x(t)$ . No caso de variáveis padronizadas,  $V= 1$ . Para um número  $Nh$  elevado,  $V_h$  é reduzido; resulta conveniente pensar em termos de uma densidade espectral  $U(\omega)$ , onde

$$V = \int U(\omega) d\omega, \quad (16a)$$

$$\omega = h \omega_0 \rightarrow d\omega = \omega_0 \delta h = 2\pi/T, \quad (16b)$$

$$V_h = U(\omega) d\omega \rightarrow U(\omega) = (T/4) C_h^2 \quad (16c)$$

Num gráfico  $U$  versus  $\omega$  a área embaixo de  $S(\omega)$  é a variância  $V$  da série temporal. Considerando que  $T=180$  dados permitem definir harmônicos ( $C_h, \omega_h$ ) num intervalo amplo de frequências ( $Nh = 90 \approx 10^2$ ), pode ser conveniente visualizar a densidade espectral em função do logaritmo de  $h$  (ou seja, com abscissa  $\log_{10}h$  num diagrama semilogx). Nesse caso, para interpretar a área como variância a ordenada deve ser

$$U(h) = \delta V / \delta \log_{10} h = \log_e 10 \cdot V_h / (\delta h/h) = \log_e 10 h C_h^2 / 2 . \quad (17a)$$

A análise harmônica pode ser aplicada à serie temporal de cada pixel,  $y_n(t)$ ; porém, é mais útil utilizá-la para a descrição de uma variável temporal característica da região R3, como a  $m$ -ésima componente principal  $w_m(t)$ . Portanto, a integral geométrica do gráfico  $U \times \log_{10}h$  é equivalente à variância (neste caso, unitária). É relevante notar que se um espectro é do tipo “ruído branco” (não há preferência espectral de componentes), então o espectro  $U^*$  correspondente é

$$U^*(h) = \log_e 10 h (V/Nh). \quad (17b)$$

## 2. DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DE VALORES MÉDIOS DE RADIAÇÃO

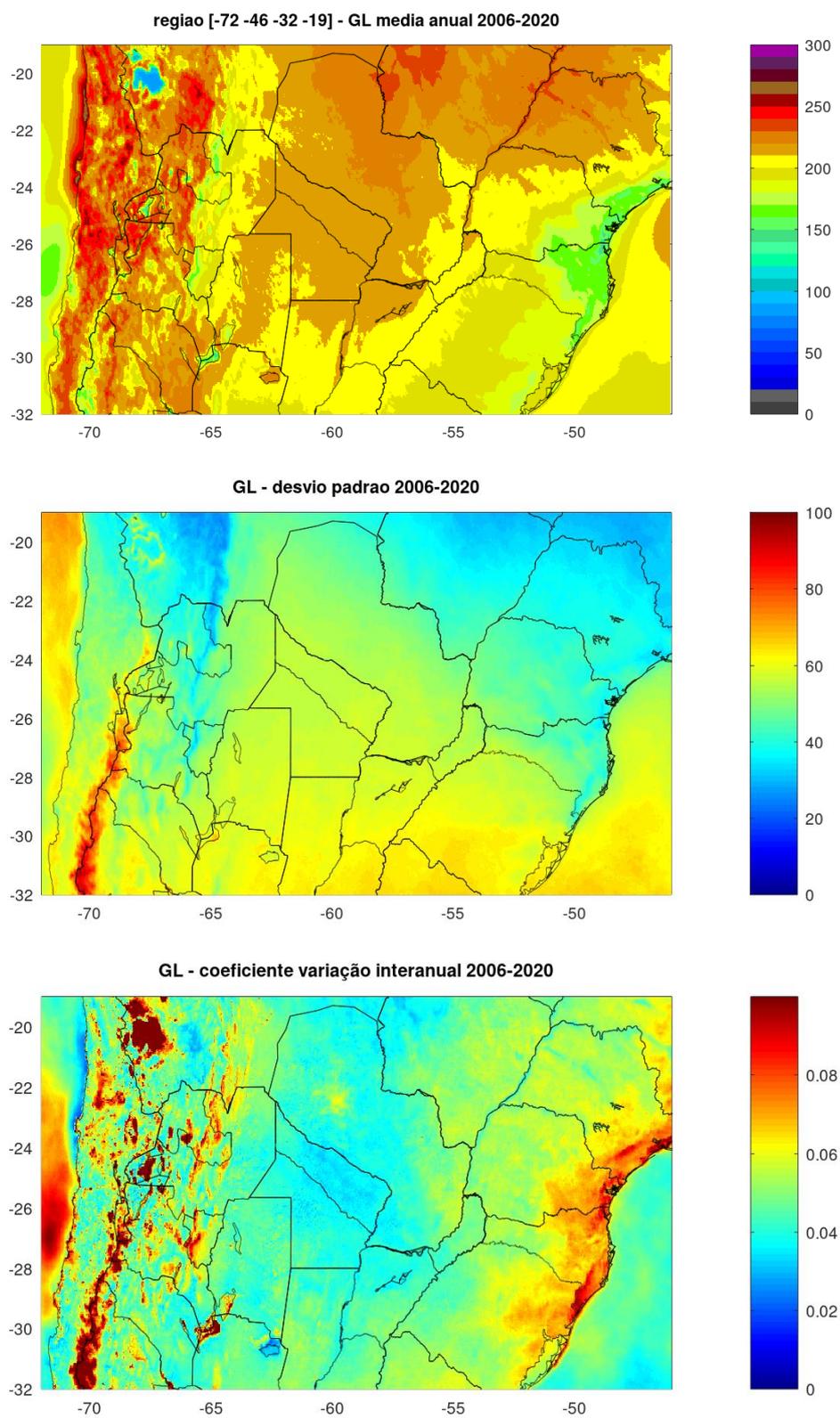


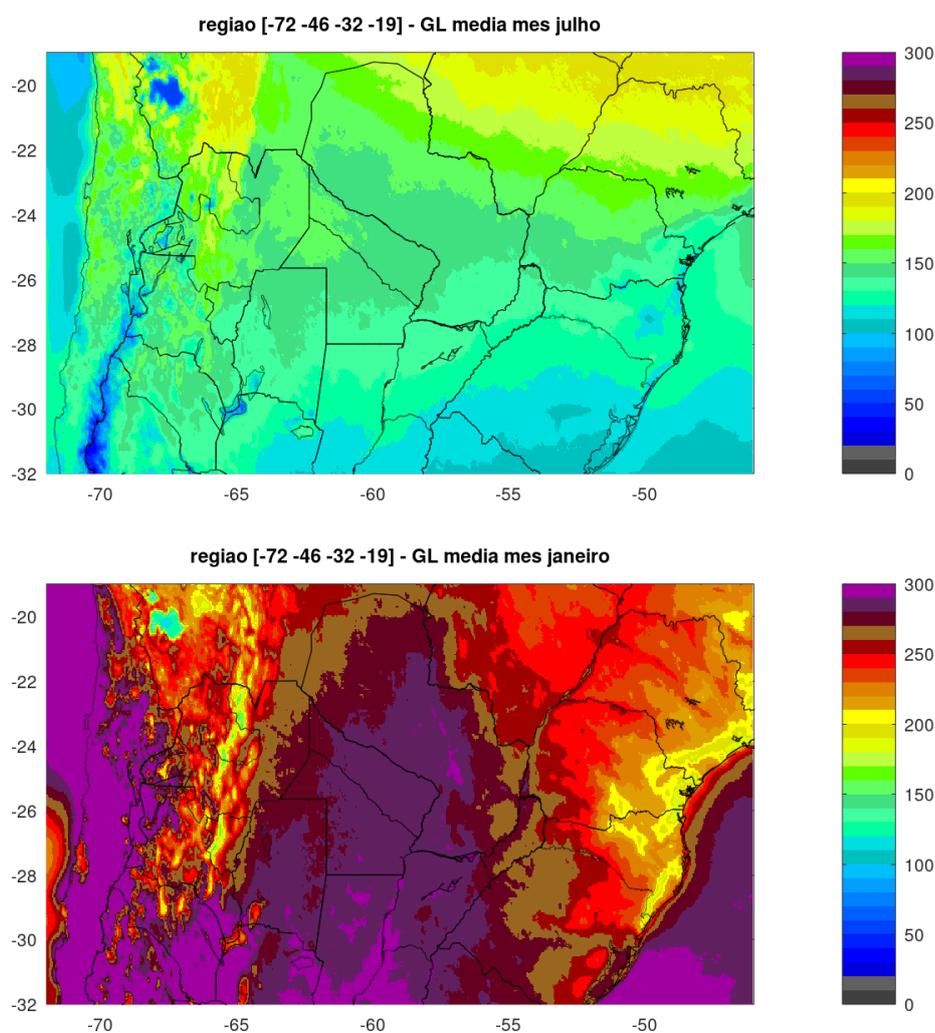
Figura 3. Média anual, desvio padrão da série e variabilidade interanual da média anual

Na Figura 3, o valor médio de GL corresponde à média  $GL_{media}$  dos 180 valores mensais (Eq. 2); o desvio padrão  $S$  da série (Eq. 3) é com relação a  $GL_{media}$  e inclui o efeito conjunto do ciclo anual de valores mensais e da flutuação deles ano-a-ano. O coeficiente de variação interanual  $Cvar$  se refere à sequência de 15 médias anuais  $GL_a$  com desvio padrão  $S_a$  dessas médias, avaliando-se como

$$Cvar = S_a / GL_{media}. \quad (18)$$

Note-se que a média dos valores  $GL_a$  coincide com  $GL_{media}$ . A Figura 4 ilustra a distribuição de valores médios de julho (inverno) e janeiro (verão) para o período 2006-2020. A Figura 2 mostra que o interior de Argentina, o Paraguai e o sul do Brasil exibem  $Cvar \approx 0,04$  semelhante ao encontrado para a Pampa Húmeda argentina (Ceballos et al. 2022) extensas áreas dos Estados Unidos (Gueymard e Wilcox 2011), África (Kariuki e Sato 2017) e Austrália (Copper e Bruce 2017)

Análise de aspectos climatológicos é realizada na seção 6.



**Figura 4.** Média mensal dos meses próximos do solstício de inverno (julho) e de verão (janeiro)

## 2.1. Exemplos de ajuste entre estimativas por satélite e medidas à superfície

Com relação ao modelo GL versão 1.2 (Ceballos et al. 2004), é importante observar que assume refletância do solo constante ( $Ref_{surface} \approx 0,06$ ), típica de superfícies vegetais no visível (com valor  $Ref_{min} = 0,09$  observado em imagens de satélite). A cobertura parcial  $C$  por nuvens de tipo cumuliforme é avaliada segundo

$$C = (Ref - Ref_{min}) / (Ref_{max} - Ref_{min}). \quad (18)$$

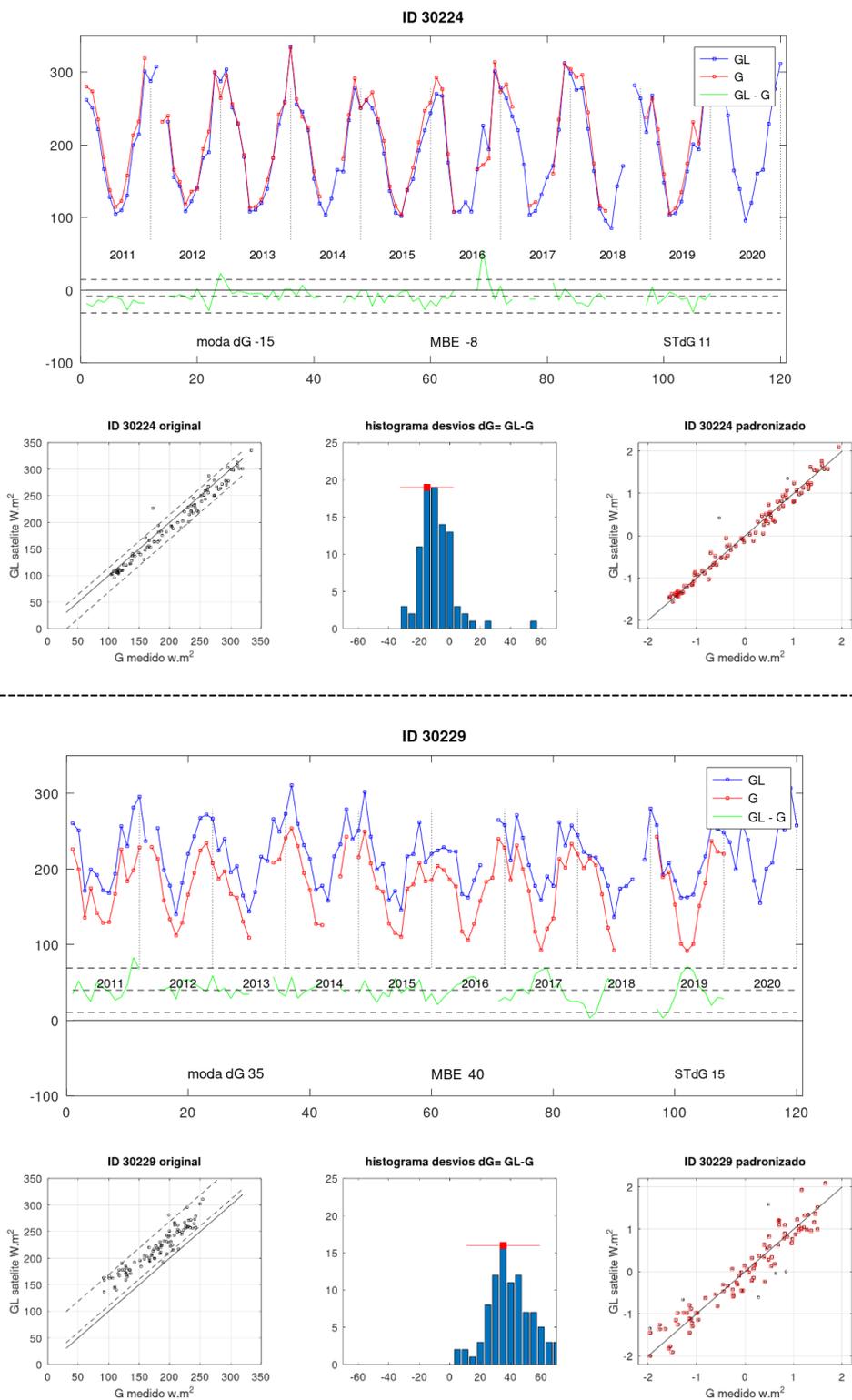
Nesta expressão,  $Ref$  é a refletância observada por satélite para um pixel (dimensão 1 a 4 km). O valor  $Ref_{max} = 0,465$  corresponde à transição Cu-St de nebulosidades, sendo  $C(Ref < Ref_{min}) = 0$  para céu claro e  $C(Ref > Ref_{max}) = 1$  para céu coberto. Locais com  $Ref_{surface} > Ref_{min}$  induzem valores superiores de  $C$  (falsa nebulosidade) e estimativas GL inferiores, como se observa em locais com superfícies salinas perto dos Andes, especialmente no Salar de Uyuni (coordenadas). O mesmo efeito é induzido por superfícies nevadas (vide Andes ao sul de 29°S em julho, na Figura 3). O impacto de erros induzidos no estimador de nebulosidade é menor quando  $Ref < Ref_{min}$  como é o caso de superfície oceânica (com  $Ref_{surface} \leq 0,03$ ). A influência de aerossol e de da variação espacial de  $Ref_{surface}$  é maior na estimativa de radiação direta a incidência normal (variável crítica para conversão de energia solar em elétrica) do que na irradiância global (Porfírio e Ceballos, 2017).

As Figuras 5 ilustram as séries temporais GL e G para duas estações do INMET<sup>(1)</sup>, incluindo a série de desvios  $dG = GL - G$  (verde). Em tracejado são indicados o valor do desvio médio de  $dG$  (*mean bias* ou viés MEB), e dos valores  $MBE \pm 2 STdG$ , sendo  $STdG$  = desvio padrão de  $dG$ . A estação 30224 apresenta regular concordância com o modelo GL, sugerindo que este pode ser utilizado para analisar séries temporais de irradiância média na ausência de dados de medição terrestre. É interessante observar que aparentemente não há tendências nas séries G e GL. A padronização da série leva naturalmente à identidade  $G_{nor} = GL_{nor}$ . No caso da estação 30229, claramente os valores terrestres apresentam desvio considerável e que evolui no tempo (zero e fator de calibração com problemas). O histograma representa as frequências (havendo eliminado os pares (G,G) que exteriores ao intervalo  $MBE \pm 2 STdG$ ). Novamente, as variáveis normalizadas  $G_{nor}$ ,  $GL_{nor}$  passam a ter estreita correspondência 1:1, justificando a aplicação da ACP às séries de GL e sugerindo que o uso de GL padronizado produzirá a mesma descrição espaço-temporal que uma rede densa de estações terrestres.

É importante notar que o uso de variáveis normalizadas não corrige os erros originais das irradiâncias G e GL, devidos por exemplo a calibração.

---

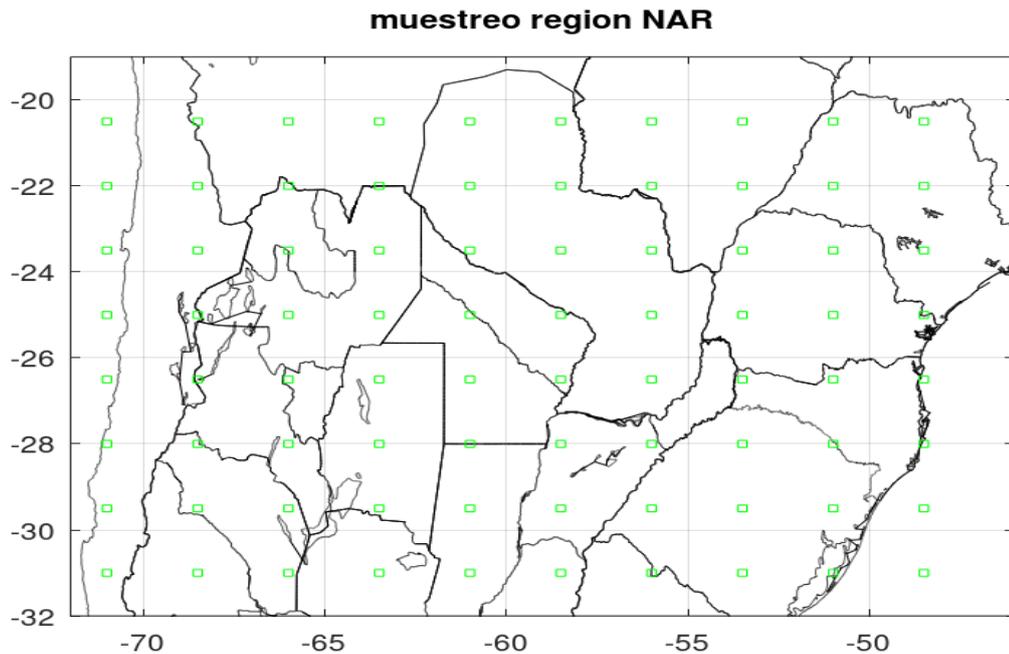
<sup>1</sup> Estação automática 30224 localizada em Bagé, Rio Grande do Sul (lat -31,3478 lon -54,0133); 30229 automática em Bauru, São Paulo (lat -22,3166 lon -49,0666).



**Figuras 5.** Comparação GL x G 2011-2020 para 2 estações do INMET. Azul: valores GL; vermelho: G; verde: desvio GL-G. Em tracejado, os níveis MBE e  $MBE \pm 2.STdG$ . Acompanham diagramas de dispersão antes e depois de normalizar G e GL. No histograma indica-se em vermelho  $MBE \pm 2.STdG$ .

### 3. ANÁLISE EM COMPONENTES PRINCIPAIS DA SÉRIE TEMPORAL

A Figura 6 ilustra a distribuição de 80 pontos de amostragem, separados em latitude por  $\Delta lat = 2.5^\circ$  e em longitude por  $\Delta lon = 1.5^\circ$ . Esta separação é compatível com a variabilidade associada a regiões homogêneas como a Pampa Húmeda (Grossi Gallegos 1998) embora talvez maior que a atribuível à topografia regional ou a regimes micrometeorológicos. Este aspecto será analisado mais adiante.

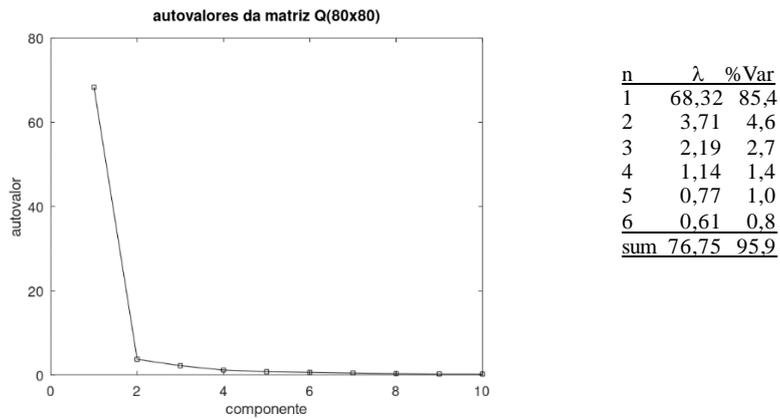


**Figura 6.** Distribuição de pontos de amostragem no NAR

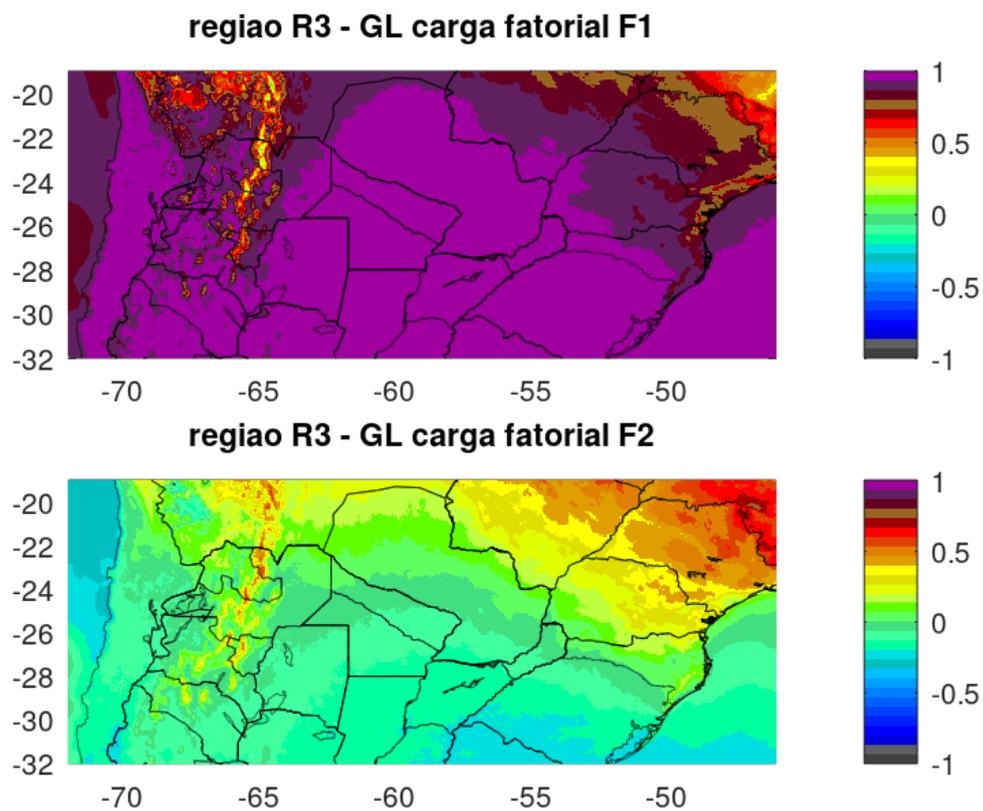
As Figuras 7 e 8 ilustram características fundamentais do regime de radiação solar na região. Na Figura 7 são apresentados os autovalores  $\lambda_n$  da matriz de correlação  $\mathbf{Q}(80 \times 80)$ . Espera-se que a soma deles seja igual ao número de pontos de amostragem  $N = 80$ . Observa-se que as primeiras componentes principais têm  $\lambda_1 = 68,2$ ;  $\lambda_2 = 3,71$ ;  $\lambda_3 = 2,19$ ;  $\lambda_4 = 1,14$  e  $\lambda_n < 1$  para as subsequentes ou seja apenas 5 CPs representariam o sistema, acumulando 95% da variância, com a CP1 absolutamente predominante (contendo 85% da informação total).

É importante notar que as CPs não têm influência espacial homogênea. A Figura 8 apresenta a distribuição geográfica das duas primeiras cargas fatoriais ( $f_1$  e  $f_2$ ), obtidas por correlação do campo espaço-temporal de GL normalizado  $y(\text{lin}, \text{col}, t)$  com as respectivas CPs  $[z_n(t)]$ . Percebe-se que os campos de correlação  $F1$  e  $F2$  fornecem uma representação espacial consistente da influência das CPs, resgatando detalhes geográficos com alta resolução ( $0,04^\circ$ ). Por exemplo, é replicada a menor correlação com CP1 na região de sopé oriental das Serras Andinas que Ceballos et al. (2022) encontraram para uma análise semelhante, limitada à área do Noroeste Argentino e num período mais curto (2017-2021). Por um lado, percebe-se que se a CP1 é determinante para uma extensa área da região R3, a CP2 tem maior peso na sub-região indicada; por outro lado, a predominância geral da CP1 na R3 (com elevados valores de  $f_1$ ) impede melhor visualizar variações sub-regionais como as sugeridas a oeste (presença do Oceano Pacífico), ou a leste na

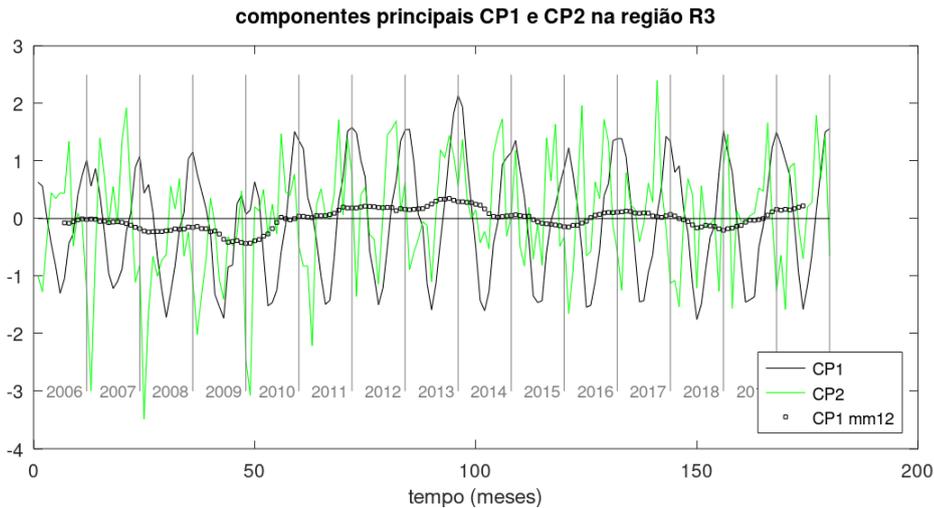
região brasileira de Santa Catarina e São Paulo (com a presença do oceano Atlântico). Nesta última região, o fator  $f_2$  mostra peso não desprezível da CP2.



**Figura 7.** Autovalores  $\lambda$  da matriz de correlação



**Figura 8.** Cargas fatoriais das componentes principais CP1 e CP2



**Figura 9.** Variação temporal de CP1 e CP2 de GL, incluindo média móvel anual de CP1

A figura 9 visualiza os valores de CP1 e CP2 ao longo do período 2006-2020. A CP1 evidencia uma periodicidade anual com máximo no início de cada ano. Algumas observações devem ser feitas, que podem estar ligadas à estimativa de refletância nas imagens da DSA/CPTEC, afetada na série GOES 8, 10, 12 pela degradação do detector VIS no sensor Imager e/ou estimativa inadequadas de correção de calibração:

- Valores mínimos constantes da ordem de  $w_{\min} \approx -1.2$  em 2006-2007 mudando para  $w_{\min} \approx -1.5$  em 2008-2020.<sup>(2)</sup>
- Valores máximos  $w_{\max} \approx +1$  no início de 2007 a 2009; diminuição aparentemente anormal em 2010, seguida de valores máximos constantes  $w_{\max} \approx +1.6$  em 2011, 2012, 2013.
- Após um evidente máximo em 2014, observa-se estabilização em  $w_{\max} \approx 1.2-1.3$  a partir de 2015 (este último período utilizou imagens Imager GOES 13 com calibração comunicada pela NOAA, e por ABI GOES 16 calibradas na origem).

Depreende-se que a série GL até pelo menos 2011 requer análise e ajustes associados à calibração do sinal VIS GOES, embora não afetem a descrição climática do GL.

Os resultados indicam que a série da média mensal na região R3 pode ter uma aproximação razoável (a nível de 95% de variância, ou erro quadrático médio de 5%), através da equação

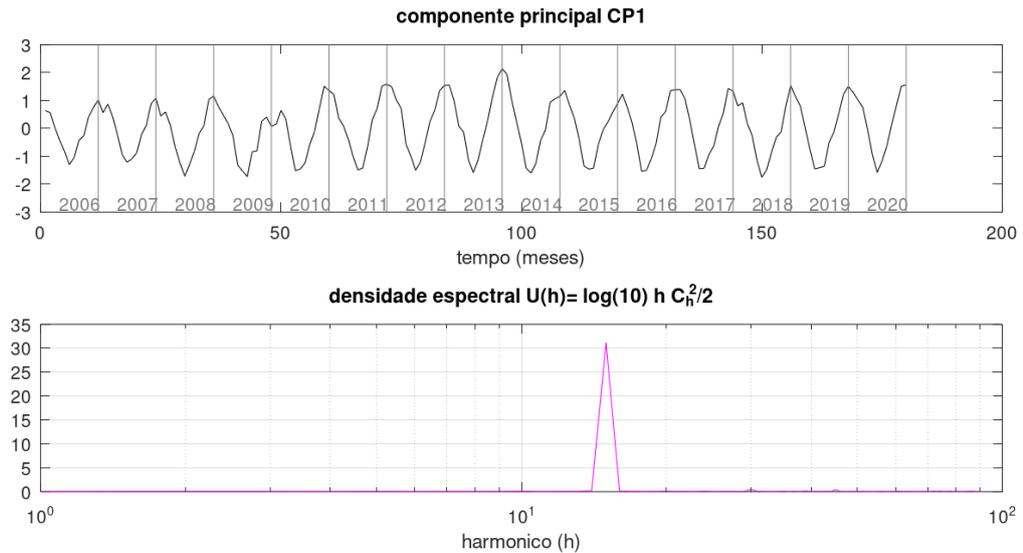
$$GL(t) \approx \langle GL \rangle + SD \sum_{k=1,5} f_k \cdot w_k(t). \quad (19)$$

Para valores típicos  $SD = 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 5% da variância representa  $\sim 11 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Os parâmetros  $\langle GL \rangle$ ,  $SD$  e  $f_k$  são descritos por matrizes bidimensionais com tamanho  $(N_{lin}, N_{col})$ . Assim, a série temporal de irradiância solar mensal descrita por um arquivo  $GL(N_{lin}, N_{col}, N_t)$  admite uma imagem matemática com qualidade semelhante (e talvez “filtrada de ruídos”) utilizando apenas 7 arquivos digitais com tamanho  $(N_{lin}, N_{col})$ : um de média, um de desvio padrão da série, e 5 de cargas fatoriais, ou seja redução  $180 \rightarrow 7$  na memória requerida, além de um arquivo de texto para as CPs, consistente de uma matriz com dimensão  $(180 \times 5)$ .

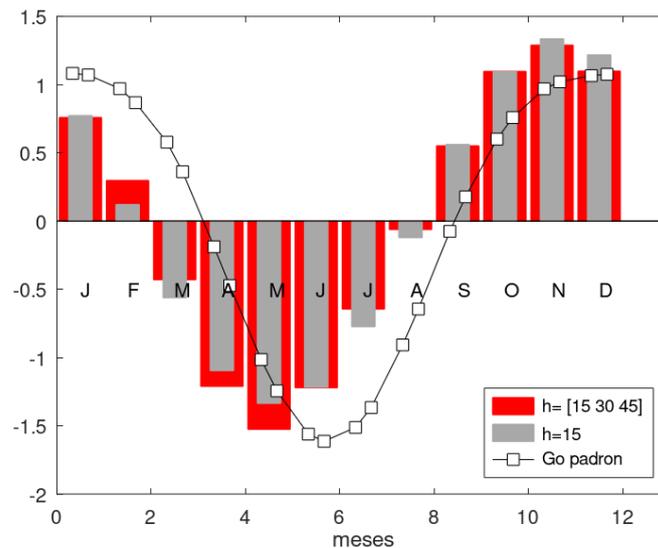
A análise harmônica de Fourier para CP1 indicou um sinal anual (harmônico 15) absolutamente predominante contribuindo para 17,9% da variância da CP1. A grande maioria dos outros harmônicos tem sinal com intensidade inferior à de um “ruído branco”. A Figura 10A ilustra o

<sup>2</sup> O valor predominante regional é  $SD \approx 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Uma variação  $\delta w = 0,1$  implica em  $5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  em média diária, ou  $0,12 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  diários.

comportamento espectral da CP1. A Figura 10B apresenta o harmônico anual  $h = 15$  da CP1, a composição dos três sinais  $h = [15 \cup 30 \cup 45]$ , e a irradiância média  $Go(t)$  no topo da atmosfera nos dias 10 e 20 de cada mês (padronizada para a média e desvio padrão do ciclo anual). Observa-se a correspondência estreita com  $Go(t)$ , com desvios no verão e no inverno. Um sinal anual puramente senoidal (com máximo perto do solstício de dezembro) foi encontrado para irradiância mensal na Pampa Húmeda da Argentina, período 2011-2017 (Ceballos et al., 2022), região localizada imediatamente ao sul da R3 e geograficamente centrada em  $62^\circ W$ . Uma filtragem desse ciclo anual associado a  $Go(t)$  fornece uma variável alternativa à irradiância: o *índice Kt*.



**Figura 10A.** CP1 de GL normalizada, e seu espectro de frequência



**Figura 10B.** Composição dos sinais harmônicos anuais  $h=15$  e  $h = [15 \cup 30 \cup 45]$  (barras) e da irradiância média no topo da atmosfera  $Go$  (quadrados) na latitude  $\phi = -27^\circ$ .

#### 4. ACP APLICADA AO ÍNDICE Kt (TRANSMITÂNCIA ATMOSFÉRICA)

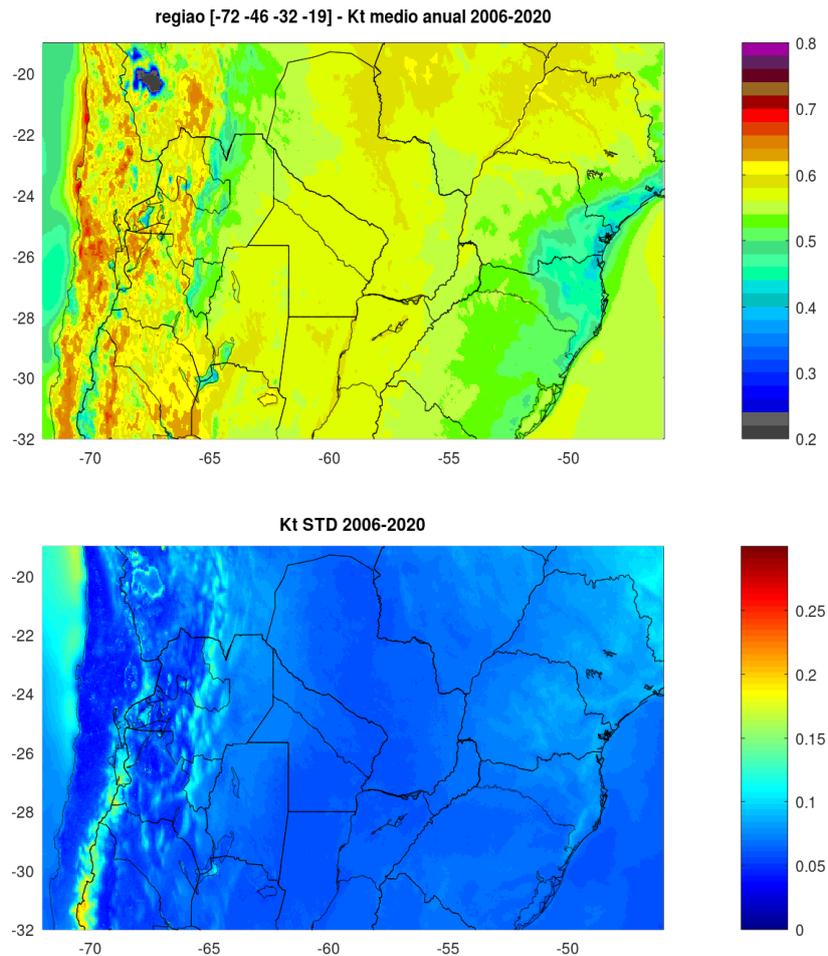
A predominância de um ciclo anual (como ilustrado na Figura 10A e ligado à declinação do Sol) tende a equalizar a descrição do regime de radiação solar sobre o conjunto da R3, e eventualmente impede a detecção de regiões com flutuações locais características associadas (p.ex. a topografia, circulação de massas de ar e contrastes ar/continente). Estas características estão principalmente associadas à nebulosidade local, à duração da cobertura e à espessura óptica dos campos de nuvens. Elas afetam a *transmitância média* do fluxo solar  $G_0$  incidente no topo da atmosfera. Esta variável é usualmente denominada de “índice Kt” (ou *brightness index*); na escala de um dia, ela é descrita pelo quociente de irradiâncias médias

$$K_t = G_L / G_0, \quad (20a)$$

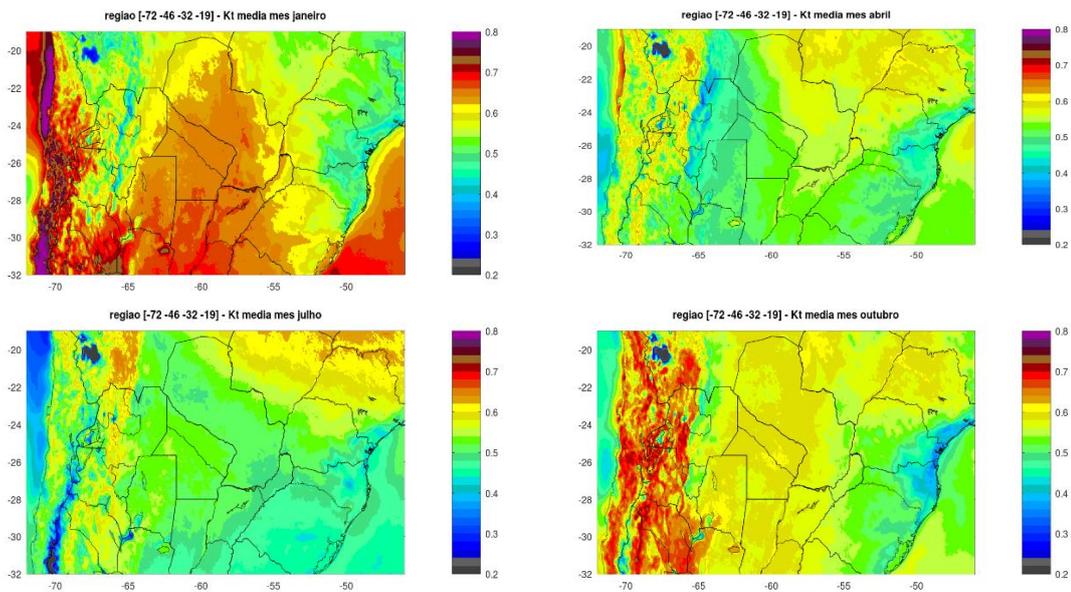
$$G_0 = (1/T) \int_{[0,T]} S \cos Z_0 dt = (S/\pi) (\cos \varphi \cos \delta \sin H + \sin \varphi \sin \delta H), \quad (20b)$$

$$\cos H = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta. \quad (20c)$$

Nestas expressões,  $G_0$  é a irradiância média no topo da atmosfera,  $S$  a constante solar (corrigida por distância Terra-Sol),  $Z_0$  o ângulo zenital do Sol,  $T = 86400$  segundos (Paltridge e Platt 1976);  $G_0$  é função da latitude local  $\varphi$  e da declinação  $\delta$ , independente da longitude local. A variável  $H$  é metade do período diurno ideal local, estimado em termos de ângulo girado pela Terra nesse intervalo. Ver Anexo A.1.



**Figura 11.** Valor médio 2006-2020 e desvio padrão da série de Kt

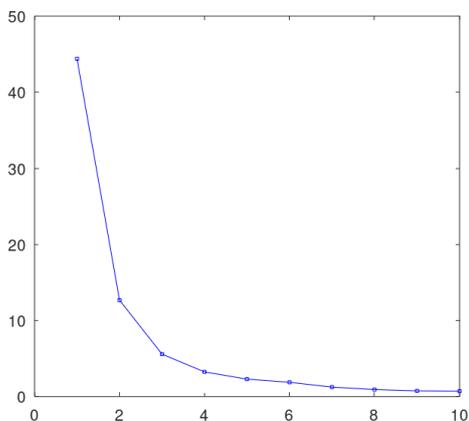


**Figura 12.** Distribuição de Kt (valor médio 2006-2020) em janeiro, abril, julho e outubro

Em princípio, a expressão para Kt filtra a oscilação anual de Go (dominante sobre a região R3). Restariam as características espaço-temporais de propriedades atmosféricas (especialmente transmitância, características locais das nuvens, aerossol) e de interação superfície-atmosfera, as quais também podem ter um ciclo anual. A eq. (20a) permite gerar a matriz de dados Kt(Nlin, Ncol, Nt).

As Figuras 11 e 12 ilustram a distribuição de valores médios (anual e mensais, respectivamente). Percebe-se que uma extensa área central de R3 (incluindo Paraguai) é homogênea com valor médio Kt=0,55. A sub-região brasileira vizinha ao oceano Atlântico tem nebulosidade maior (Kt ≈0,4) assim como o sopé da Serras Andinas. A região montanhosa ocidental e o Norte do Chile são regiões ensolaradas, com Kt ≥ 0,6. Essas características podem mudar ao longo do ano, como ilustrado nas Figuras 12.

ACP foi aplicada para o mesmo conjunto de pontos amostrados indicados na Figura 4. A Figura 13 exhibe autovalores resultantes e tabela com valores numéricos dos 10 primeiros.

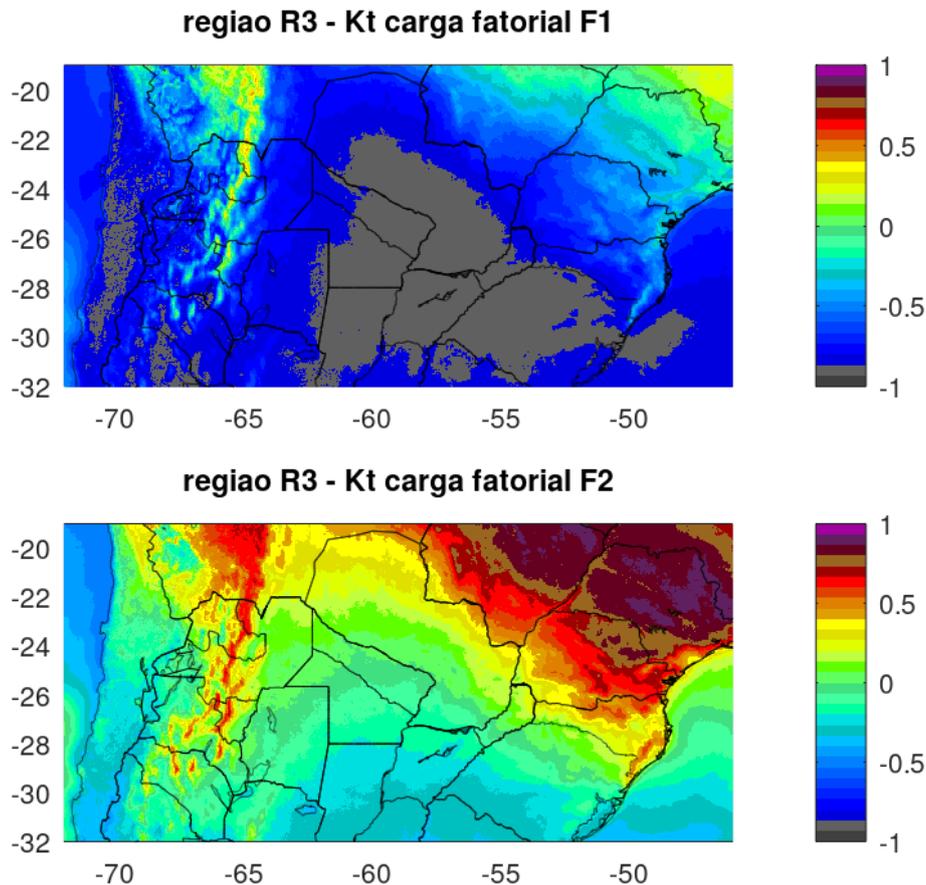


n	$\lambda$	%	acum%
1	44.39	55.5	55.5
2	12.67	15.8	71.3
3	5.57	7.0	78.3
4	3.24	4.1	82.3
5	2.29	2.9	85.2
6	1.87	2.3	87.6
7	1.24	1.6	89.1
8	0.92	1.2	90.2
9	0.75	0.9	91.2
10	0.70	0.9	92.1

**Figura 13.** Autovalores para o campo de índice Kt

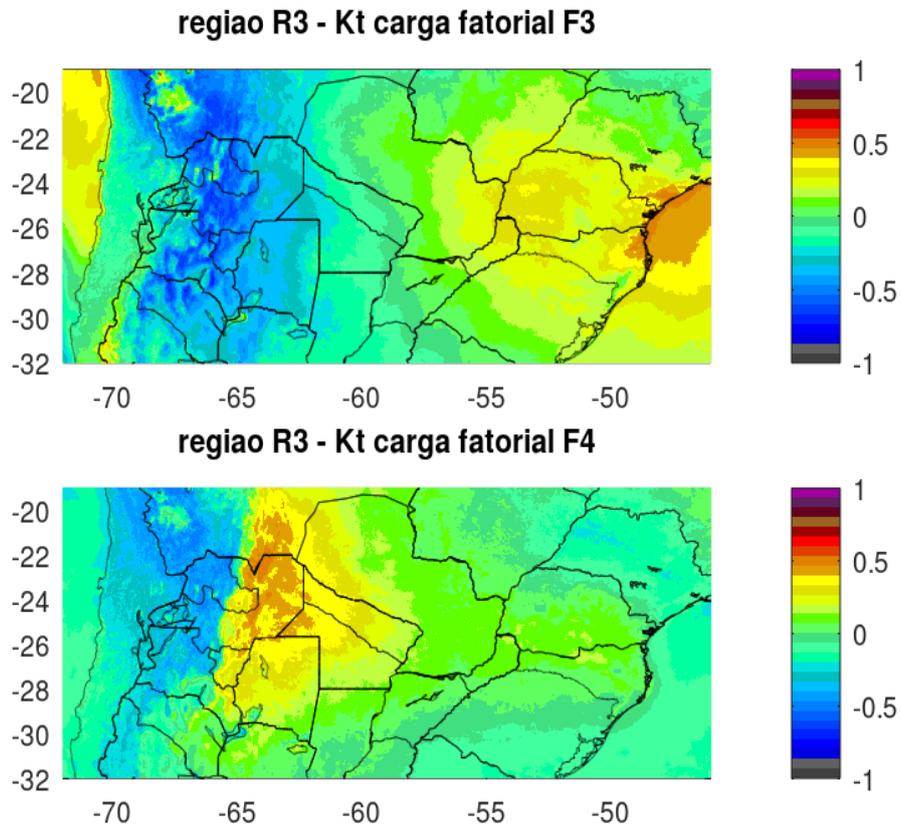
Os autovalores  $\lambda_n$  decrescem rapidamente até  $n=3$ ; a partir de  $n=8$  tem-se  $\lambda < 1$  e as CPs posteriores são consideradas “ruído”<sup>(3)</sup>. Até  $n=8$  foi acumulado 90,2% da variância total; assim, pode-se esperar um nível de ruído de pelo menos 10% da variância na definição de séries temporais de Kt através da soma de CPs.

A Figura 14 ilustra a distribuição das duas primeiras cargas fatoriais ( $f_1$  e  $f_2$ ), responsáveis por 71% da variância local. As distribuições geográficas são semelhantes às da Figura 8 (embora com sinal trocado), mas existem correlações bem definidas: CP1 tem carga fatorial muito fraca na região montanhosa ocidental e ao norte do Paraguai, substituída por valores elevados de F2 nessas regiões. As Figuras 15 ilustram os campos de F3 e F4. Na Figura 16 a importância relativa das cargas fatoriais é mais evidente, ao representar a contribuição local à variância eliminando valores inferiores a 16% ( $|f_n| < 0.4$ ) mas conservando (para ilustração) a indicação do sinal original. Percebe-se que as duas últimas CPs em conjunto não fornecem preenchimento elevado da variância em algumas sub-regiões. CP3 e CP4 acumuladas preencheriam apenas 10% da variância geral ou 10% da área de R3 (ver Tabela em Figura 13); em sub-regiões onde são significativas apresentam estruturas bipolares com peso na ordem de 25% que sugerem circulações convectiva e subsidente associadas dinamicamente.

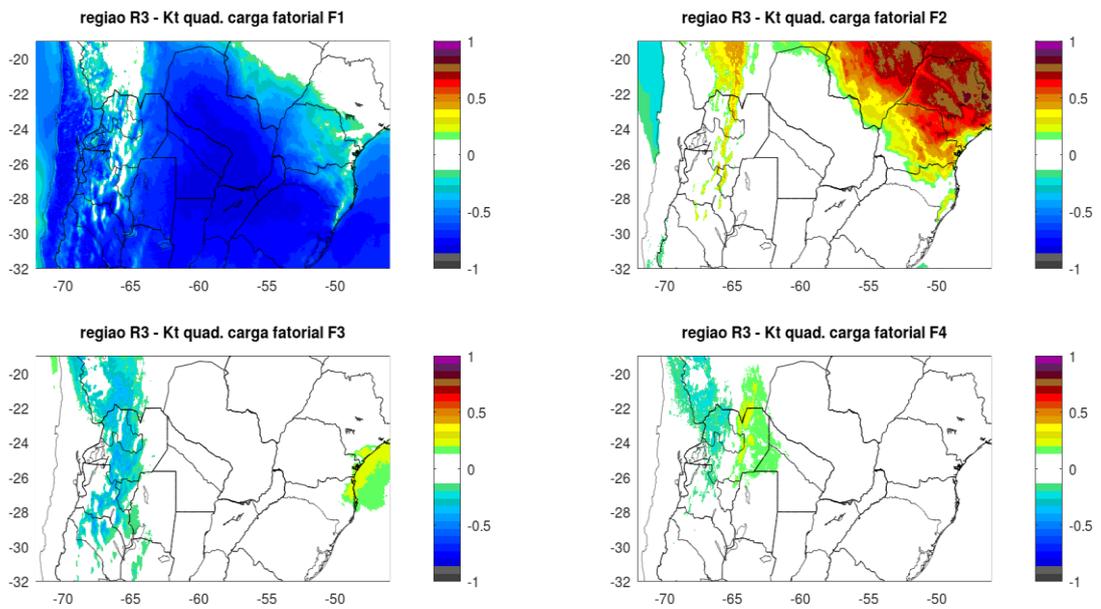


**Figura 14.** Cargas fatoriais: Correlação F com a CP1 e CP2

<sup>3</sup> A mudança de eixos  $y_k(t) \rightarrow z_m(t)$  representa uma rotação ortogonal. Numericamente, a variância total do conjunto de variáveis  $y_k(t)$  cumpre com a propriedade  $\sum_k \text{Var}\{y_k\} = \sum_m \text{Var}\{z_m\} = \sum_m \lambda_m = N$ . O “critério de Kaiser” postula que uma CP significativa deveria contribuir com  $\text{STD} > 1$  (ou:  $\lambda > 1$ ) para a variância total.



**Figura 15.** Cargas fatoriais: Correlação F com a CP3 e CP4

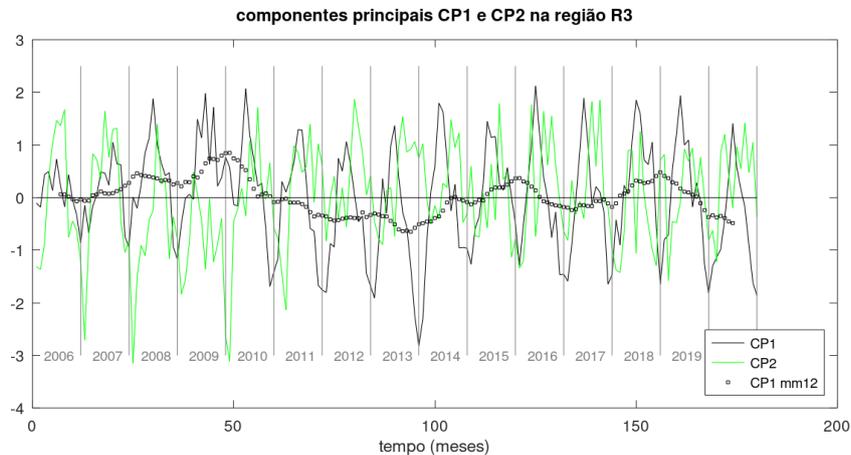


**Figura 16.** Contribuições  $F1^2$  a  $F4^2$  para a variância local. Representado apenas  $F^2 > 0.16$  ( $|F| > 0.4$ ), conservando o sinal de F

## 4.1 Periodicidades do regime de radiação solar

Enquanto a análise fatorial descreve a influência espacial de “comportamentos principais”, a análise harmônica das CPs fornece informação sobre o regime temporal. Embora modulada localmente pela carga fatorial, cada componente principal pode apresentar variações temporais que afetam a região inteira. Aspectos climatológicos são analisados na seção 6. As Figuras 17 a 19 permitem uma análise preliminar.

Na Figura 17 é evidente um sinal anual predominante na CP1; CP2 também tem sinal anual forte, mas acompanhado de flutuações mais complexas. Ainda, a média móvel MM12<sup>(4)</sup> evidencia máximo em torno do final de 2009 e mínimo em torno do fim de 2013, também observado na Figura 9. Este comportamento singular é mais intenso ainda na CP1, e alerta para falhas na calibração do canal VIS de GOES 10 e 12 (2009 a 2010) e na transição entre GOES 12 e 13 (2013-2014).

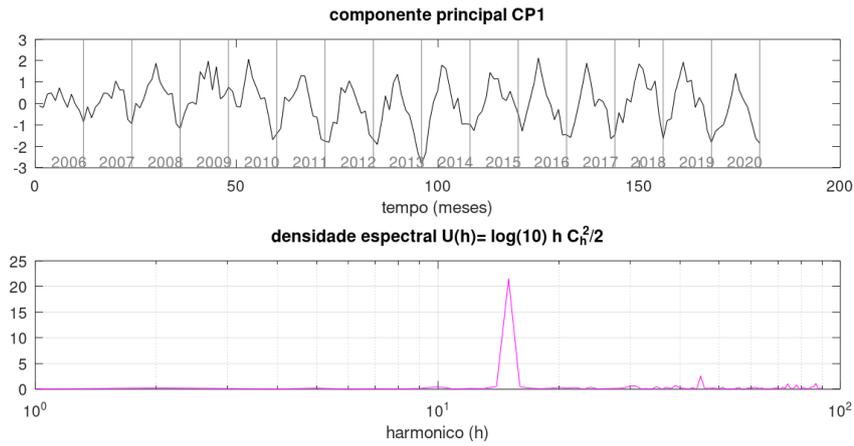


**Figura 17.** CP1 e CP2 do índice Kt. Incluída média móvel de CP1, ordem 12.

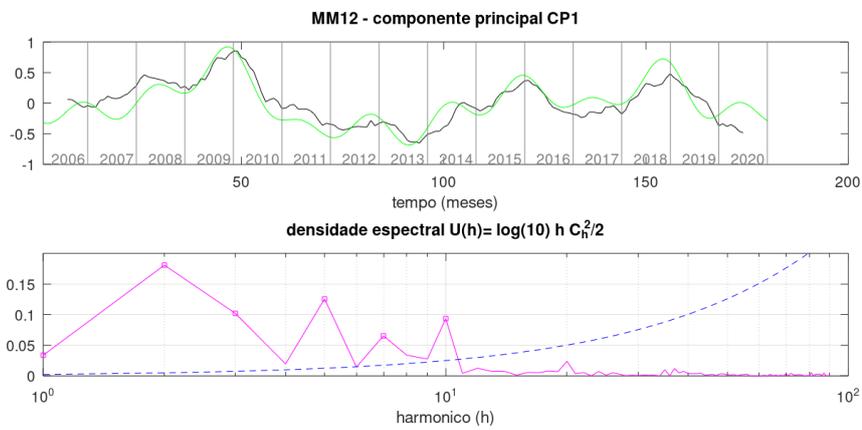
As Figuras 18 descrevem resultados da análise harmônica da CP1. Na Figura 18A observa-se um harmônico anual ( $h = 15$ ) predominante e mais um quadrimestral ( $h = 45$ ), responsáveis por 65% da variância de  $w_1(t)$ . Os outros componentes do ciclo anual estão abaixo do nível de ruído branco padrão ( $C_h^2/2 < 1/90$ ). Harmônicos  $h < 15$  acumulam 16,7% da variância da série CP1.

A Figura 18B descreve o espectro da MM12 (com variância  $V_{mm} = 0,211$ );  $h < 15$  acumula 97% de  $V_{mm}$ . A soma dos harmônicos  $h = 1, 2, 3, 5, 7, 10$  descreve as variações temporais de  $w_1(t)$  na escala de mais de um ano. Estes harmônicos são considerados significativos, por comparação com o espectro de ruído branco (Eq. 16b). Para testar o impacto de calibração inadequada do canal VIS em 2009 e 2013, os valores GL mensais desses anos foram substituídos pelo ciclo anual médio em 2006-2020. Não foram observadas mudanças significativas no espectro do ciclo anual ( $h \geq 15$ ). Entretanto, os sinais com período superior a um ano mostram diferenças, como ilustrado na Figura 18C.

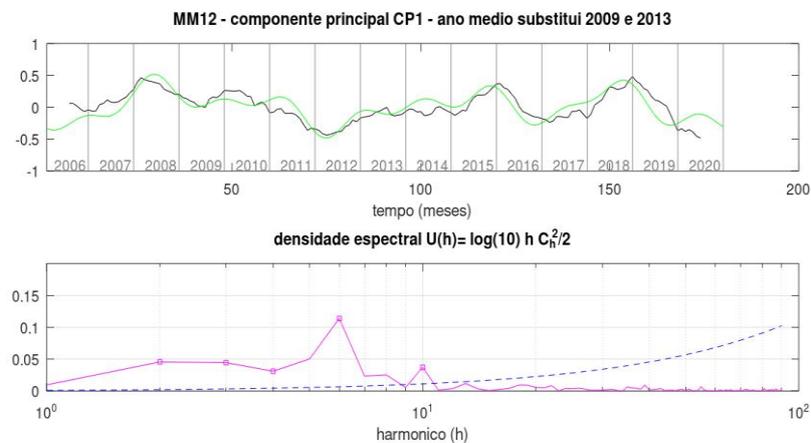
<sup>4</sup> A média móvel considerada é  $\text{soma}(t-6:t+5)/12$  para corresponder exatamente a 12 meses.



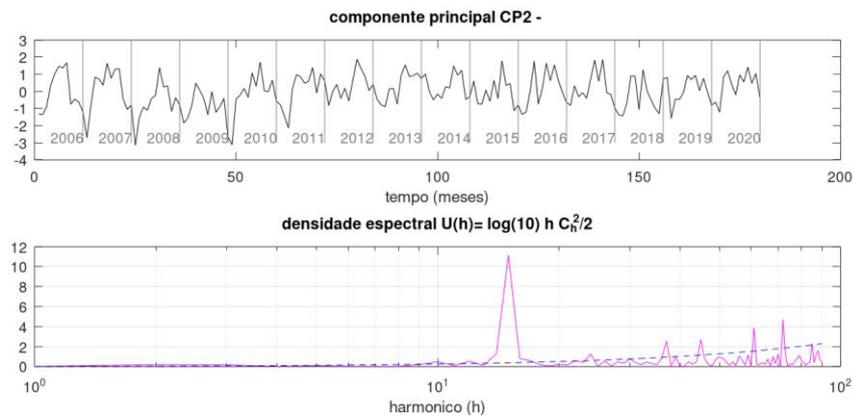
**Figura 18A.** **CP1** do índice Kt (painel superior), e densidade espectral da análise harmônica (painel inferior).



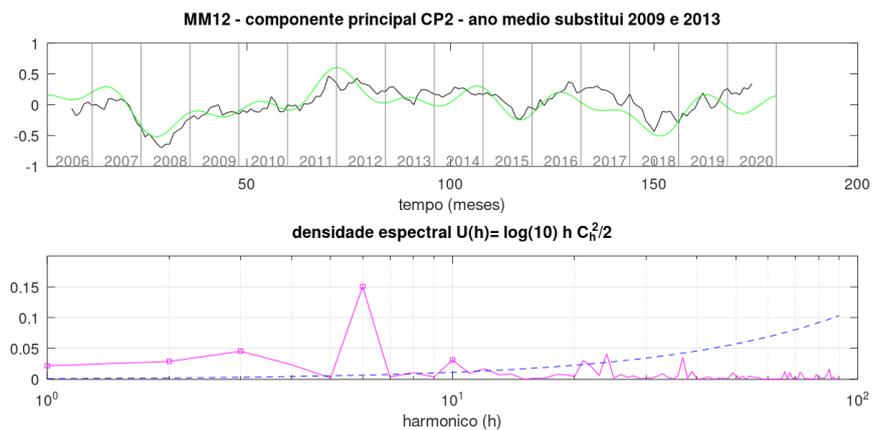
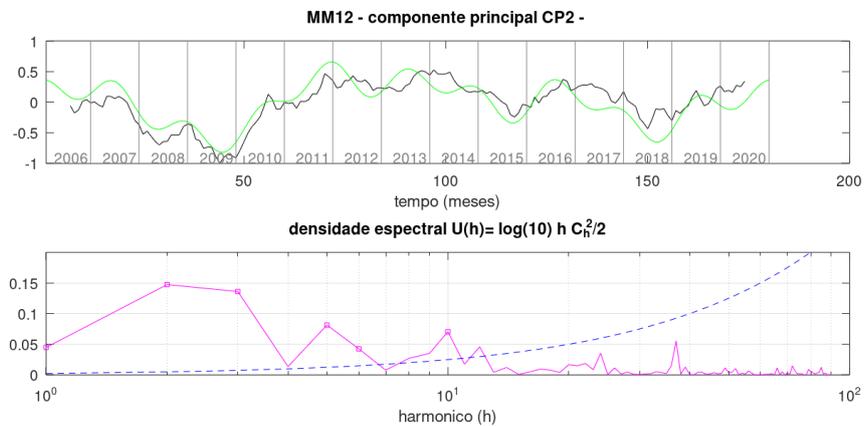
**Figura 18B.** Média móvel MM12 da índice CP1 e densidade espectral da análise harmônica. A linha verde é a soma dos harmônicos indicados no painel inferior; a linha tracejada azul avalia o espectro de ruído branco.



**Figura 18C.** Média móvel MM12 da CPI e densidade espectral. Similar à Figura 19B, exceto que os anos 2009 e 2013 foram substituídos pelo ciclo médio anual de 2006-2020.



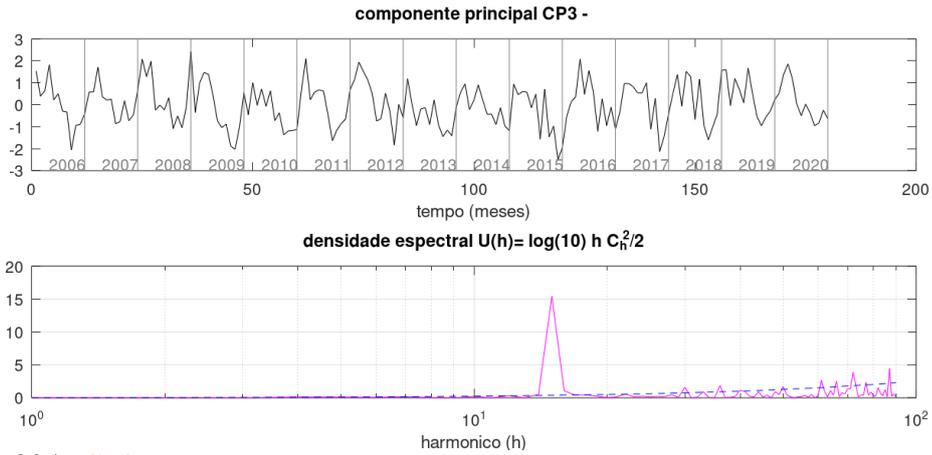
**Figura 19A.** CP2 do índice Kt (painel superior), e densidade espectral da análise harmônica (painel inferior).



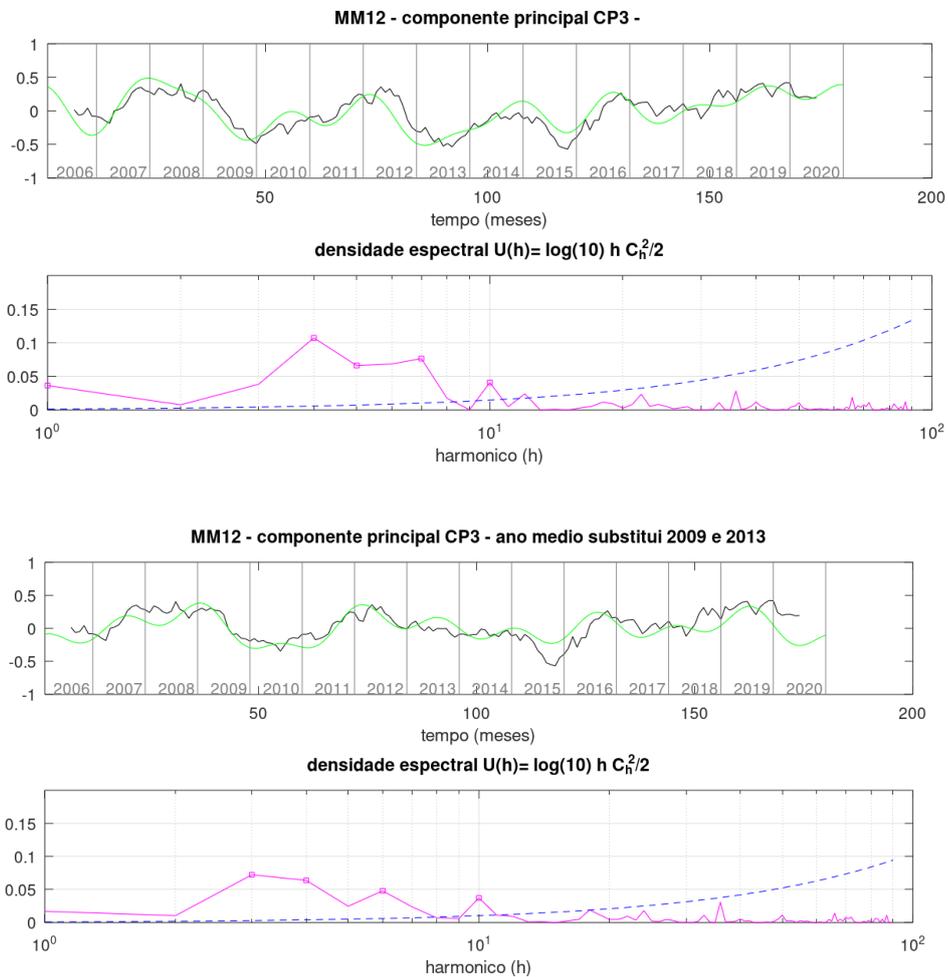
**Figuras 19B e 19C.** CP2: média móvel MM12 original e com substituição de 2009 e 2013, e espectros resultantes.

As Figuras 19 mostram impacto semelhante na MM12 de CP2 (<sup>5</sup>);  $h= 5-6$  e  $10$  (sinal com periodicidade básica de 2,5-3 anos) permanecem significativos.

<sup>5</sup> Anular um par máximo/mínimo distanciados de 4 anos, implica em reduzir pelo menos os harmônicos  $h= 2-3$  (períodos 5-8 anos).

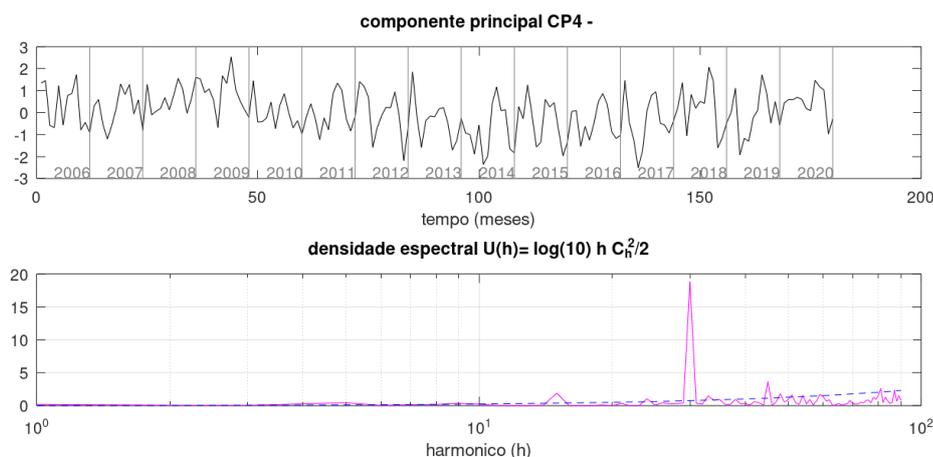


**Figura 20A.** CP3 do índice Kt (painel superior), e densidade espectral da análise harmônica (painel inferior).

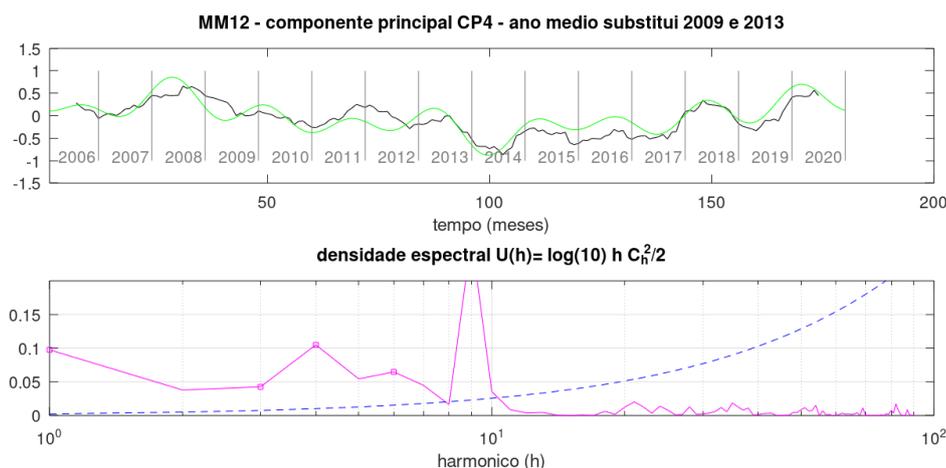
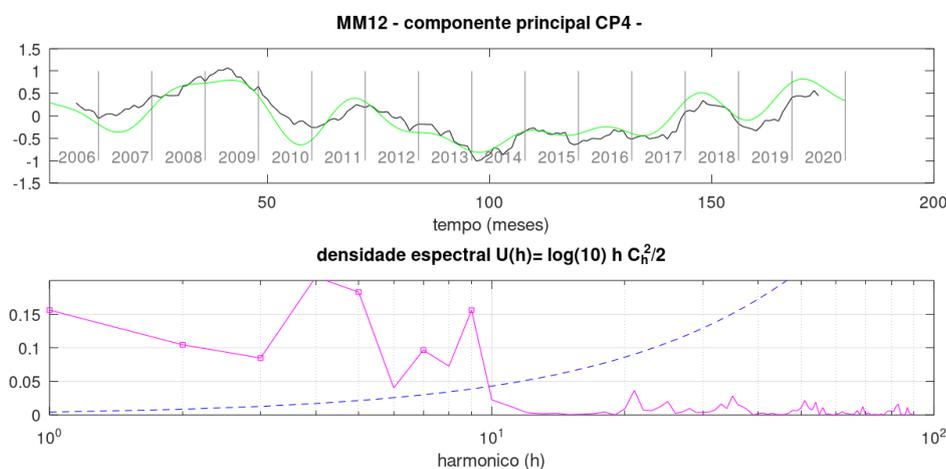


**Figuras 20B e 20C.** CP3: média móvel MM12 original e com substituição de 2009 e 2013, e espectros resultantes.

O espectro de CP3 contém harmônicos superiores que somam complexidade ao ciclo anual. Harmônicos  $h=4-7$  (2-4 anos) são sempre significativos.



**Figura 21A.** CP4 do índice Kt (painel superior), e densidade espectral da análise harmônica (painel inferior).



**Figuras 21B e 21C.** CP4: média móvel MM12 original e com substituição de 2009 e 2013, e espectros resultantes.

Para CP4, a substituição de anos na série original transfere representatividade para  $h=9$  (período 20 meses). É notável que o sinal predominante agora é  $h=30$  (6 meses), complementado com sinal fraco anual (agora secundário), e quadrimestral ( $h=15$  e  $45$ ).

**Tabela 1.** Análise harmônica das CP1 a CP4 do índice Kt na região R3. Série temporal com anos 2009 e 2013 substituídos pelo ciclo anual médio. Harmônicos  $h$  (período  $T$  em meses) com densidade espectral maior que ruído branco. Última coluna: variância acumulada. Parênteses: parâmetros calculados com relação ao total de sinal intra-anual ( $h \geq 15$ ).

CP1 subs	Serie $w_1$		Var=		943(.834)		MM12				Var= 0.211	
	h	T	A	B	$C^2/2$	sum%	h	T	A	B	$C^2/2$	sum%
	<b>15</b>	12	-.9646	.5601	.6221	70.0	2	90	-.114	-.0770	.0095	21.3
	45	4	.1354	-.1859	.0265	72.9	3	60	-.0608	-.0940	.0063	35.4
	30	6	-.1463	-.0412	.0156	74.2	4	45	-.0716	+.0339	.0031	42.5
						(83.9)	<b>6</b>	30	+.131	-.0049	.0086	61.8
							10	18	-.0204	-.0520	.0016	65.4

CP2 subs	Serie $w_2$		Var=		0.941 (.840)		MM12				Var=0.211	
	h	T	A	B	$C^2/2$	sum%	h	T	A	B	$C^2/2$	sum%
	<b>15</b>	12	-.8212	-.173	.3520	39.7	<b>1</b>	180	-.1344	-.0154	.0092	20.5
	24	7.5	-.0328	-.246	.0307	43.21	2	90	.1071	-.0410	.0066	35.2
	36	5	.0942	.0093	.0045	43.7	3	60	.0859	.0791	.0068	50.4
	45	4	-.0924	-.199	.0241	46.4	6	30	-.1403	.0386	.0106	74.1
	60	3	-.0068	-.0399	.0008	46.5	10	18	.0520	.0105	.0014	77.3
	72	2.5	.1116	.1629	.0195	48.7						
						(54.3)						

CP3 subs	Serie $w_3$		Var=		0.956(.873)		MM12				Var= 0.202	
	h	T	A	B	$C^2/2$	sum%	h	T	A	B	$C^2/2$	sum%
	15	12	.3355	.8735	.4378	47.9	3	60	-.1315	.0472	.0098	23.9
	30	6	.1940	.0778	.0218	50.3	4	45	-.0391	-.1096	.0068	40.4
	36	5	.2192	-.0292	.0244	52.9	6	30	-.0499	.0627	.0032	48.3
	60	3	.0542	-.0234	.0017	52.1	1	180	.0430	.0388	.0017	52.4
	72	2.5	.1737	.0379	.0178	55.1						
						(.603)						

CP4 subs	Serie $w_4$		Var=		0.937(.764)		MM12				Var= 0.317	
	h	T	A	B	$C^2/2$	sum%	h	T	A	B	$C^2/2$	sum%
	30	6	.4804	.5636	.2742	31.2	1	180	.2460	.1338	.0392	39.1
	15	12	-.2681	-.2360	.0638	38.5	3	60	-.1230	-.0086	.0076	46.6
	45	4	.2580	-.0537	.0347	42.5	4	45	-.0693	-.1387	.0120	58.6
						(.521)	6	30	.0373	-.0838	.0042	62.8
							9	20	-.1644	.0254	.0138	76.6

A Tabela 1 condensa informação da AH sobre as quatro primeiras CPs. As variáveis  $w_k(t)$  consideradas substituem os anos 2009 e 2013 da série original pelo ano médio da série. Foram selecionados harmônicos que excedem o nível de “ruído branco”. À esquerda, indicam-se harmônicos com período de um ano ou menos (descrevendo o ciclo anual). Os dados à direita correspondem à AH da média móvel MM12; foram escolhidos os harmônicos indicados nas figuras 18C, 19C, 20C e 21C. Neste caso os harmônicos  $h \geq 15$  inexistem ou são descartáveis. As últimas colunas de cada grupo mostram o percentual de variância acumulado. Os números entre parênteses correspondem à variância dos harmônicos  $h \geq 15$  (ou seja, variância do ciclo anual) e ao percentual acumulado pelos harmônicos indicados. Observa-se que

- Nas regiões com forte predominância da CP1, apenas 3 harmônicos (informando sobre o ciclo anual) poderão acumular até 74,2% da variância de  $w_1$  (83,9% das variações com período inferior a 1 ano); a variância restante existente em variações de médio e longo prazo vale 0,211 e 5 (dentre 14) harmônicos apenas acumularão 65% desse resto.

- A CP2 não tem um comportamento tão definido: 6 harmônicos significativos só acumulam 48,7% da variância e 21,1% dela corresponde a variações com período maior que um ano (com a variância correspondente acumulada em 77%). Este resultado sugere que nas regiões detectadas com elevada correlação com CP2, o sinal desta pode resultar fraco frente a variações de médio/longo prazo.
- As CP3 e CP4 podem apresentar as mesmas limitações. Apesar da regularidade do sinal anual de CP4 (com apenas 3 harmônicos), acumula apenas 42% da variância de  $w_4$ .

Em síntese, nas regiões com CP1 predominante o ciclo anual de Kt está bem definido mas pode não exceder 80% da variância da CP1. As variações de médio/longo prazo têm um peso de 20% com nível de ruído considerável (35%). A influência delas pode ter um peso relativo maior na definição da CP2. Portanto, será conveniente delimitar (e corrigir) a adequada estimativa de GL em 2009 e 2013.

A Análise Harmônica fornece importante informação sobre a série temporal das CPs, mas para reproduzir a série temporal  $GL_k(t)$  do  $k$ -ésimo pixel, pode ser mais efetivo (isto é, mais acurado) um esquema direto descrito pelas eqs. (9) e (19), utilizando as séries  $w_m(t)$  e as cargas fatoriais locais  $f_{km}$ .

## 5. A CONSTRUÇÃO DE UMA SÉRIE TEMPORAL

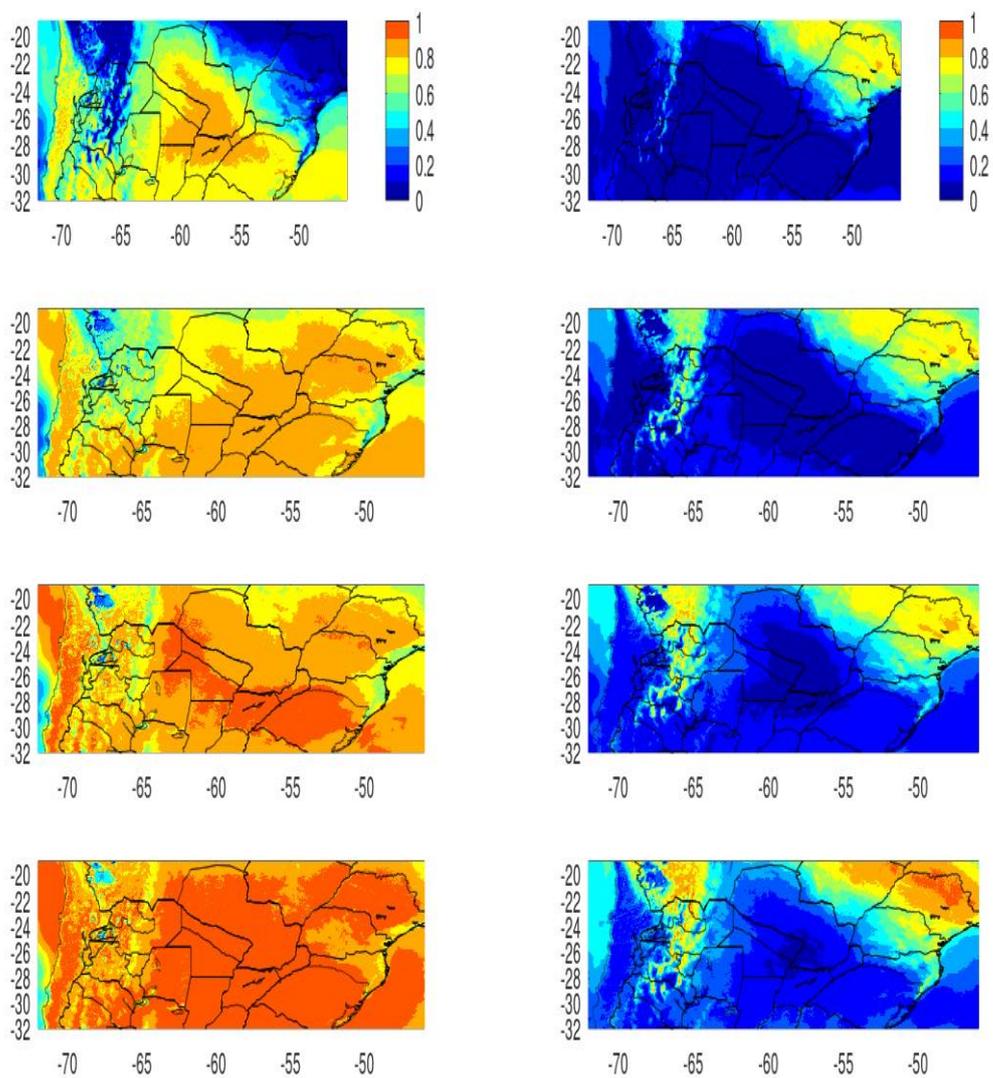
A eq. (10) permite descrever a contribuição à variância local, baseada nas cargas fatoriais. A Figura 22 evidencia que a região central de R3 é descrita pela CP1 a nível de pelo menos 70% da variância, enquanto no Brasil (ao norte de Paraguai) e na região das Serra Andinas apenas alcança 20%. Incluindo as CPs 1-5, o Nordeste argentino e o Norte de Chile são descritos em 90%. Entretanto na região montanhosa ocidental (incluindo Chile) e em parte do litoral brasileiro não excedem 60%. O uso de 10 CPs consegue descrever quase toda a região com acumulação de mais de 90% da variância.

Claramente, as CPs 2+3 contribuem a preencher as regiões com CP1 fraca (em 40-50% e até mais de 70% numa sub-região brasileira). O uso das CPs 2-10 aprimora a aproximação, mas não excede 80% da variância. Depreende-se que as 10 primeiras CPs de R3 podem aproximar a série temporal de GL, mas que a região de Serras Andinas (Noroeste argentino) e o litoral de Santa Catarina, Paraná e São Paulo (Brasil) merecem estudos específicos centrados nessas sub-regiões. Havida conta dessas observações, as séries de GL serão representadas segundo

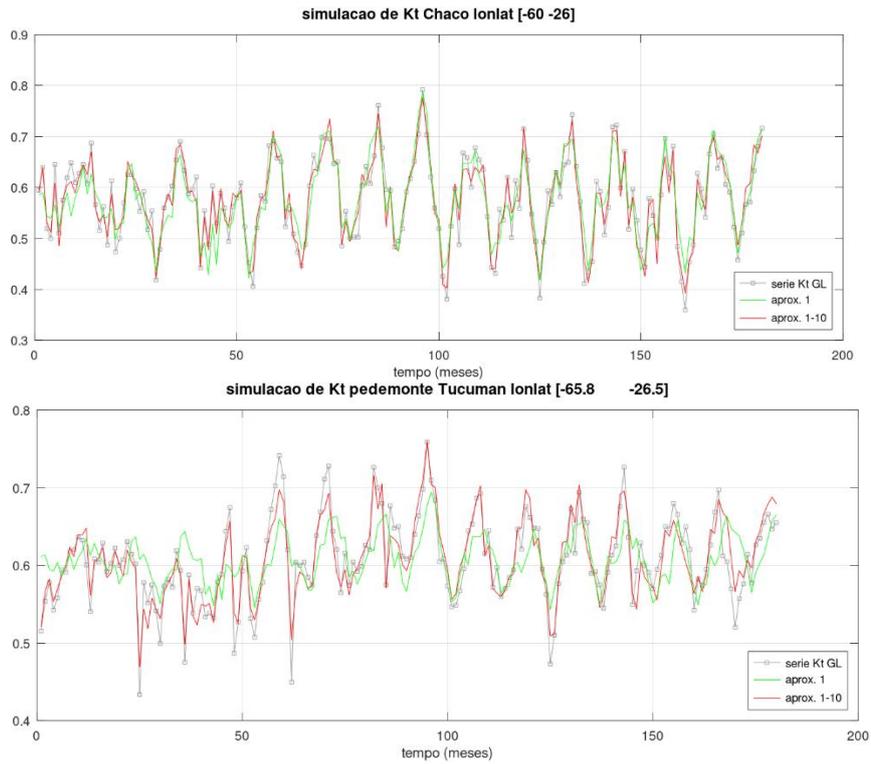
$$GL_k(t) = Go_k(t) [\langle Kt_k \rangle + STD_k \sum_{m=1,10} f_{km} w_m(t)] . \quad (21)$$

Em termos de tamanho da informação de R3 em 15 anos (2006-2020), isto configura 12 arquivos digitais com dimensão 326×651, para  $\langle Kt \rangle$ , STD e 10 distribuições de carga fatorial, e um arquivo de texto de componentes principais, dimensão 180 (meses) × 10 (CPs). Uma vez revisado o quinquênio 2001-2005, pode-se esperar que a informação para 20 anos tenha o mesmo número de arquivos digitais e um arquivo de texto 240 (meses) × 10 (CPs).

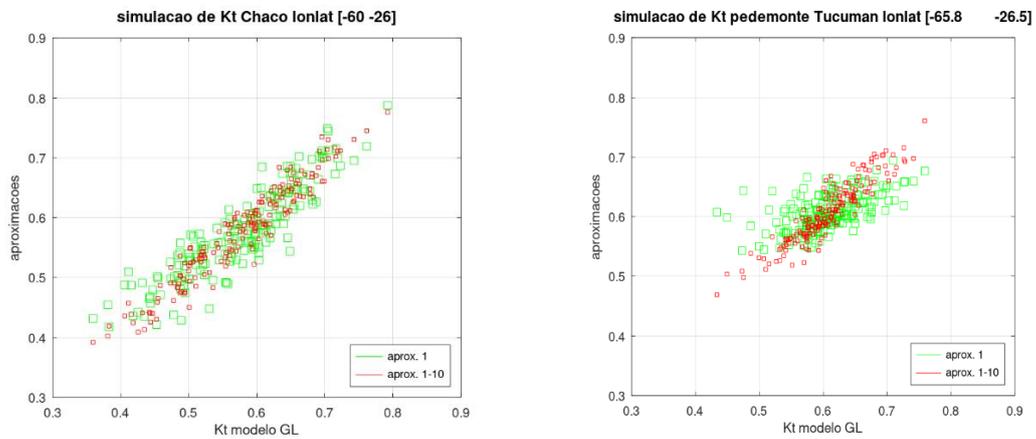
As figuras 23 e 24 ilustram a qualidade das aproximações de ordem 1 e 10, em dois locais diferenciados. No Chaco argentino (nordeste do país) predomina a influência da CP1 e representa satisfatoriamente a série temporal de Kt. Já na região de sopé das Sierras Andinas (no exemplo, em Tucumán), a aproximação de ordem 1 é pobre e apresenta considerável dispersão com relação a Kt. A aproximação de ordem 10 se ajusta à relação 1:1. As contribuições 1 e 1-10 para a variância local de Kt são 80,6% e 92,2% no caso do Chaco; 30,6% e 85,0% no caso de Tucumán.



**Figura 22.** Contribuição acumulativa à variância local. Esquerda: CP1, CPs 1-3, 1-5 e 1-10. Direita: CP2, CPs 2-3, 2-5 e 2-10.



**Figura 23.** Simulação de série temporal para dois locais, localizados no Chaco argentino e no sopé de serra em Tucumán, Argentina. Series temporais do modelo GL (cinza), aproximação ordem 1 (verde) e ordem 10 (vermelho).



**Figura 24.** Diagramas de dispersão para as series simuladas Chaco e Tucumán, aproximações 1 e 10.

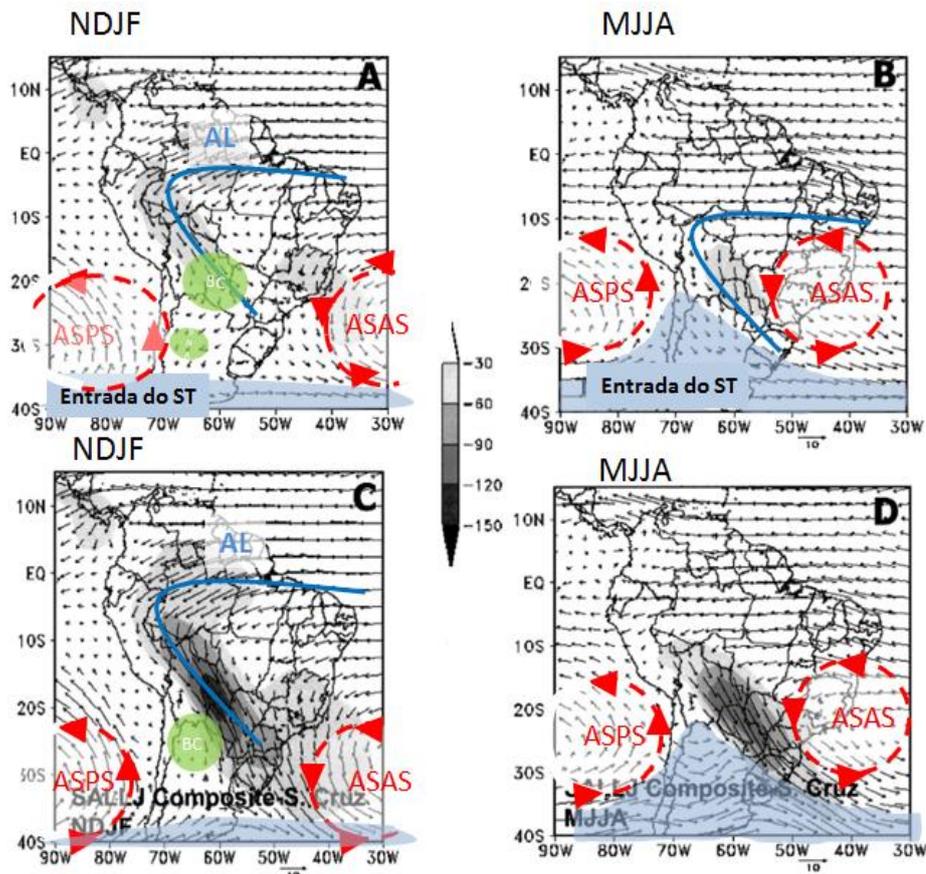
## 6. CLIMA DA RADIAÇÃO GLOBAL NA REGIÃO NAR

A distribuição geográfica da radiação solar global estimada pelo modelo GL nas escalas anual, mensal e interanual (seção 2), evidencia a alta variabilidade espaço-temporal dessa variável na R3.

Na escala anual, a radiação solar média (Fig. 3) mostra valores mínimos ( $150 \pm 40 \text{ Wm}^{-2}$ ) no litoral do Brasil, e os máximos ( $>220 \pm 30 \text{ Wm}^{-2}$ ) no noroeste do estado de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraguai, norte da Argentina, e ao longo da costa oeste da América do Sul.

O efeito combinado das variações de nebulosidade e da geometria de iluminação do sol define o ciclo sazonal da radiação solar na R3, com valores médios mensais de  $100\text{-}200 \text{ Wm}^{-2}$  em julho e de  $200\text{-}300 \text{ Wm}^{-2}$  em janeiro (Fig. 4). O ciclo sazonal anual da radiação é mais pronunciado sobre a área central do Paraguai e da Argentina, com radiação média mensal da ordem de  $150 \text{ Wm}^{-2}$  em junho e  $300 \text{ Wm}^{-2}$  em janeiro.

Na escala interanual (Fig. 3c), as regiões próximas às costas da América do Sul apresentam maiores valores de coeficiente de variação ( $CV \sim 0,08$ ) do que na região central da R3 ( $CV \sim 0,04$ ). Essa característica mostra que as regiões litorâneas têm maiores flutuações de radiação, devido ao papel dos oceanos nas condições de tempo.



**Figura 25** - Circulação de Baixos Níveis (850 hPa) em m/s e transporte vertical integrado de umidade ( $\text{mgs}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ) para média climatológica de verão (NDJF, A) e inverno (MJJA, B), e para compostos quando atuam os Jatos de Baixos Níveis nas estações de verão (NDJF, C) e inverno (MJJA, D) [Figura adaptada de Marengo et al., 2004].

## 6.1 Relação entre regimes de nebulosidade e sistemas meteorológicos

A Figura 25 permite melhor interpretar qualitativamente o comportamento do Kt na região R3.

Nos meses de verão (NDJF, Fig 12a), a climatologia de Kt mensal define dois setores distintos de nebulosidade. No primeiro setor, localizado na costa oeste da América do Sul e na região central da R3, os valores de Kt são elevados caracterizando um regime meteorológico de prevalência de céu claro. As áreas circunvizinhas apresentam valores reduzidos de Kt ( $Kt < 0.6$ ), definindo um segundo regime com alta frequência de nebulosidade.

As figuras 25 A e C permitem melhor apontar os sistemas meteorológicos que atuam nestes dois setores, sendo portanto responsáveis pela distribuição espacial do Kt neste período. Durante o verão, os movimentos subsidentes do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS na Figura 25A) inibem a formação de nebulosidade em grande parte da R3, resultando em valores de Kt médio mensal superior a 0.6 sobre Paraguai e norte da Argentina, e sobre a costa oeste da América do Sul. Adicionalmente, o posicionamento mais austral do ASPS durante o verão e a topografia dificultam que sistemas transientes avancem sobre o continente e formem nuvens, reforçando assim as condições persistentes de céu claro em grande parte da Argentina e Paraguai. Neste período, os sistemas transientes entram pela costa oeste da AMS em latitudes mais altas ( $40^{\circ}\text{S} - 60^{\circ}\text{S}$ , Figura 25A: “Entrada de Sistemas Transientes”, ST), avançando para oeste em direção ao oceano Atlântico. Muitos desses sistemas avançam em direção ao Uruguai e Sul do Brasil antes de chegar ao oceano, mas poucos atingem o norte da Argentina. Sendo assim, o posicionamento da ASPS e a pouca frequência dos sistemas transientes atuando sobre o setor centro-norte da R3, caracterizam um setor de baixa frequência de nebulosidade.

Em contraste, durante o período de novembro a fevereiro o sistema de monção é responsável pela formação de nuvens sobre a região tropical e subtropical da AMS. Os ventos alísios do Atlântico Tropical Norte (AL, Fig. 25A) adentram no continente em latitudes equatoriais, passam sobre a Amazônia e adquirem maior quantidade de umidade devido à evapotranspiração da floresta. Ao encontrarem a barreira topográfica ocidental, os ventos alísios seguem paralelamente aos Andes em direção ao Sul/Sudeste do Brasil. Sendo assim, o transporte de umidade dos trópicos pelos alísios explica grande parte dos valores de Kt inferior a 0,5 sobre os estados brasileiros.

Por outro lado, os valores baixos de Kt sobre o leste dos Andes durante o verão (Fig. 12 a) tem a contribuição adicional de outro sistema meteorológico que atua nesse setor: a baixa do Chaco (BC, Fig. 25A). Esta baixa relativamente fraca e muito alongada e estende-se meridionalmente do lado oriental dos Andes, mais especificamente entre a Bacia Amazônica e o norte da Argentina. A BC é responsável pela convergência de umidade em baixos níveis e pela formação de nuvens, principalmente sobre a Bolívia e o noroeste da Argentina, onde encontram-se valores de Kt em torno de 0,5.

Durante os meses de inverno os valores de Kt em torno de 0.5 (MJJ, Figura 12c) apresentam uma distribuição espacial mais homogênea do que nos meses quentes sobre o setor central da R3. A ASPS está mais a norte, permitindo a entrada de frentes e ciclones pela costa oeste da América do Sul (Figura 25B, ver ASPS e a “entrada dos ST”). Os sistemas transientes avançam sobre o continente até baixas latitudes gerando convecção. Durante o inverno os sistemas frontais atuam com alta frequência no sul do Brasil desviando-se para o oceano, podendo poucas vezes atingir o Sudeste e o sul da Bahia. Adicionalmente, o posicionamento da alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS, Fig 25B) próximo ao continente nos meses de inverno, gera movimentos subsidentes sobre o sudeste brasileiro impedindo a formação de nuvens. Apesar de ainda ocorrer o transporte de umidade da Amazônia para altas latitudes durante o inverno, o transporte de umidade de

origem oceânica, principalmente sobre a Bacia do Paraná-Prata, é responsável pelos valores baixos de Kt.

No período de transição entre a primavera e o verão (ASO. Fig. 12 d), grande parte da R3 (com exceção do Rio Grande do Sul, litorais de Santa Catarina e Paraná) apresenta valores de Kt acima de 0,6 o que indica baixa frequência de nebulosidade, devido ao efeito de bloqueios atmosféricos que são comuns durante esse período.

O litoral brasileiro destaca-se em relação às demais regiões (Figura 12 a - d) pois os valores de Kt são inferiores à 0,45 ao longo de todo o ano, indicando que essa é uma região que apresenta alta ocorrência de nebulosidade durante todo o ano. Essa característica deve-se à atuação de diversos sistemas, como o sistema de monção no verão, passagens de sistemas frontais e de baixa pressão durante inverno e verão. Adicionalmente, a circulação regional (como o caso da circulação de brisa marítima) ao longo de todo o ano proporciona o transporte de umidade oceânica para o continente, bem como a formação de nebulosidade sobre o litoral e parte do setor leste das planícies costeiras do Brasil.

## **6.2 Análise em componentes principais da série de Kt**

Na seção 4, a ACP aplicada à série de Kt indicou que 71 % da variância local é determinada pelas duas primeiras componentes, sendo que a CP1 apresenta alta e correlação (negativa) em grande parte da R3 mas tem peso menor no Sudeste e no litoral Sul do Brasil mas também na região ocidental dos Andes. Nestas regiões, a CP2 possui correlação positiva e significativa. A análise harmônica das CPs sugere um sinal anual predominante em ambas as componentes; porém, como já apontado anteriormente, a CP2 apresenta flutuações mais complexas. As componentes CP1 e CP2 mostram que, em primeira instância, o padrão de nebulosidade pode ser descrito em termos de dois regimes (Fig.14). O primeiro regime está associado à CP1 e a nebulosidade é formada no inverno principalmente pela passagem de sistemas ciclônicos e de frentes, enquanto que a CP2 tem maior correlação no setor noroeste da R3, onde a alta frequência de nebulosidade está associada à circulação de monção durante o verão.

As componentes CP3 e CP4 (Fig. 15) mostram correlações significativas onde os efeitos orográficos e do oceano impactam a nebulosidade regional. A CP3 mostra um sinal de dipolo, configurado entre a região dos Andes e do Oceano Atlântico próximo ao litoral de Santa Catarina e Oceano Atlântico. Esse sinal pode estar associado a eventos de jatos de baixos níveis, que amplificam o transporte de umidade em direção ao Sul e Sudeste do Brasil (Figura 25 C). Adicionalmente, a região oceânica próxima ao litoral de SC apresenta forte correlação positiva da CP3, coincidindo com a região ciclogênica (Hoskins e Hodges 2005). Na análise temporal da CP3, verifica-se uma troca de sinal (negativo para positivo) durante a primavera, quando há um aquecimento das águas oceânicas e maior ocorrência de processos de bloqueios, fatores importantes para as modulações das condições meteorológicas nesta região.

A componente principal CP4 apresenta sinal de dipolo representativo na região dos Andes, com sinal positivo do lado oeste e negativo a leste dos Andes. Esse dipolo confirma que parte da variabilidade da nebulosidade está associada aos efeitos orográficos.

A análise de Fourier (seção 4.1) mostrou que todas as quatro primeiras componentes principais apresentam oscilações na escala de meses, assim como variabilidade superior a um ano, indicando que fenômenos meteorológicos de baixa frequência, tais como o ENSO e Madden Julian, entre outros, também influenciam nos modos de variabilidade de Kt. Uma análise mais detalhada deve ser realizada no futuro.

Apesar da descrição meteorologia qualitativa, a análise dos campos mensais de radiação e Kt, bem como a inspeção das componentes principais e da série de Fourier permitem concluir que os dados do GL conseguem descrever a alta variabilidade espacial e temporal da cobertura de nuvens sobre a região R3, mostrando a boa representatividade climatológica do produto GL. Estudos futuros incluindo outros tipos ou fontes de dados independentes de nuvens e/ou outros parâmetros climáticos poderão melhor descrever quantitativamente a relação entre radiação do GL, nuvens e sistemas meteorológicos. A aplicação de análise de clusters e a construção de séries sazonais poderão ainda contribuir com o avanço na análise meteorológica da radiação. Além de estudos climáticos, sugere-se que o produto GL seja explorado na forma de estudos de caso, onde os padrões de radiação sejam quantificados diante dos fenômenos sinóticos e dinâmicos típicos que atuam na região.

## 7. Considerações finais

A partir de uma perspectiva de colaboração entre instituições de Brasil e Argentina no âmbito da radiação solar regional (como recurso energético e como variável climática), este documento explora a existência de informação *a priori* numa região definida como R3: Grande Norte Argentino, ou Norte Argentino Estendido. Os estudos desenvolvidos poderão usufruir de dados de redes solarimétricas no Norte do Chile, Norte da Argentina e Sul/Sudeste do Brasil, e de estimadores baseados em imagens satelitais (modelo GL versão 1.2 com resolução espacial de 0,04°, além de outros).

Este Relatório de Pesquisa realiza uma primeira análise, de caráter climatológico, do regime de irradiância solar na região R3. Do ponto de vista diagnóstico a Análise em Componentes Principais (ACP) da série de médias mensais no período 2006-2020 sugere a conveniência de analisar o “índice de brilho” Kt, antes que a própria irradiância (fortemente ligada ao ciclo anual da declinação solar). Permite detectar a presença de duas e até três variáveis temporais (CPs), em geral com ciclo anual predominante, a primeira delas com influência marcante na planície predominante no Sul/Sudeste brasileiro, Centro/Nordeste argentino e Paraguai, e região costeira chilena. Uma segunda variável (provavelmente em conjunto com a CP3) tem peso menor mas uma influência marcante no sopé (região oriental) das Serras Andinas além de uma região zonal estendida sobre o Brasil (ao norte de Paraguai) e até o Atlântico. A conexão dinâmica dessas regiões com a dinâmica da circulação atmosférica no continente e oceano merece estudos subsequentes, provavelmente com dados em escala temporal mais detalhada e concentrando análises em sub-regiões de R3. O modelo GL mostra-se uma ferramenta valiosa, pela sua resolução espacial e temporal e pela conexão da irradiância à superfície com a nebulosidade e circulação atmosférica.

A dramática redução da massa de dados necessária para produzir a mesma informação e a recuperação dos dados originais dentro de uma acurácia razoável, propiciada pela ACP, é de interesse especial se dados em escala temporal menor serão utilizados.

Estudos futuros incluem a validação e aperfeiçoamento do modelo GL por comparação com dados de superfície. A primeira consequência será a melhor descrição da radiação solar regional, com notória falta de dados de superfície. Neste contexto, uma ferramenta adicional de grande valia será um Banco de Dados de Radiação Solar, produto da colaboração interinstitucional na região.

## REFERÊNCIAS

- Bloomfield, P. (1967). *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction*. Wiley, 257 pp.
- Ceballos, J.C., A.C.S. Porfirio, P.A. Oricchio, G. Posse (2022). Characterization of the annual regime of surface solar irradiance over Argentine Pampean Region using GL 1.2 satellite-based data. *Renewable Energy* 194: 526-537.
- Ceballos, J.C., J.D. Forciniti, M.L. Molina (2022). Algunas características del régimen de radiación solar en el Noroeste Argentino, período 2017-2021. In XLIV Reunión ASADES 2022, Catamarca, Argentina. Publicado na *Revista AVERMA v. 26, 2022*, p. 345-356.
- Copper, J.K., A.G. Bruce (2017). Interannual variability of the solar resource across Australia. In: *Asia-Pacific Solar Research Conference, Proceedings*. Acesso em maio 2023.
- Forciniti, J.D., J.C. Ceballos, A.M. Leal, M.L. Soulé Gómez (2022a). Relación entre datos de radiación solar global estimados por satélite y generados por la red de estaciones meteorológicas de la provincia de Tucumán - República Argentina. In *XIV Congremet*, Buenos Aires, Argentina, Noviembre 2022. *Libro de Resúmenes Extendidos*, p. 658.
- Forciniti, J.D., J.C. Ceballos, M.L. Leal, A.M. Martín (2022b). Comparación de radiación solar estimada por satélite y medida por una red meteorológica automática en Tucumán – Argentina. In XLIV Reunión ASADES, Catamarca, Argentina. In: *Acta de la XLIV Reunión de Trabajo*, Volumen 9 año 2022, p. 177.
- Grossi Gallegos, H, R. Lopardo (1998). Spatial variability of the global solar radiation obtained by the solarimetric network in the Argentine Pampa Humeda. *Solar Energy* 40: 397-404.
- Gueymard, C.A., S.M. Wilcox (2011). Assessment of spatial and temporal variability in the US solar resource from radiometric measurements and predictions from models using ground-based or satellite data. *Solar Energy* 85:1068-1084.
- Hoskins, B.J.; K.I. Hodges (2005). A new perspective on the southern hemisphere storm track. **Journal of Climate**, v. 18, p. 41084129, 2005. <https://doi.org/10.1175/JCLI3570.1>
- Johnson, R.A., D.N. Wichern (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 6th edition, pp. 773 (Prentice Hall).
- Kariuki, B.W., T. Sato (2018). Interannual and spatial variability of solar radiation energy potential in Kenya using Meteosat satellite. *Renewable Energy* 116: 88-96.
- Marengo, JA; W.R. Soares; C. Saulo; M. Nicolini (2004). Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP–NCAR reanalyses: Characteristics and temporal variability. **Journal of climate** 17 (12), 2261-2280. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-442\(2004\)017<2261:COTLJE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-442(2004)017<2261:COTLJE>2.0.CO;2)
- Paltridge, G.W., C.M.R. Platt (1976). *Radiative Processes in Meteorology and Climatology*. Elsevier Sci. Pub. Co., 318 pp.
- Porfirio, A.C.S., J.C. Ceballos, J.M.S. Brito, S.M.S. Costa (2020). Evaluation of global solar irradiance estimates from GL1.2 satellite-based model over Brazil using an extended radiometric network. *Remote Sensing* 12, 1331.

## **ANEXOS**

A1. Irradiância média diária no topo da atmosfera.

A2. Arquivos de ACP e valores médios em 2006-2020, região R3.

A3. Rede de locais na região R3.

## A1. Irradiância média diária no topo da atmosfera.

Ângulo zenital  $Z_o$  do Sol é o ângulo formado pela linha de visada ao Sol com a vertical local. Demonstra-se que <sup>(6)</sup>

$$\cos Z_o = \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos h + \sin \delta \cdot \sin \phi \quad (\text{A1.1})$$

Aqui,  $\cos \delta$  = declinação do Sol;  $\phi$  = latitude local;  $h$  = ângulo horário = ângulo que a Terra deve girar para o Sol passar pelo meridiano local (positivo, se antes do meio-dia; negativo, se após meio-dia).

Conceitos básicos <sup>(6)</sup>:

1. O Sol tem ângulo zenital  $Z_o=90^\circ$  ao amanhecer e no por-do-sol. Para fins práticos, não consideramos efeitos da refração de raios solares e consideramos a passagem do *centro do sol* pelo horizonte.
2. Ao meio-dia local, o Sol passa pelo Norte geográfico, ou seja, pelo meridiano local. Não confundir com as 12 horas de relógio (meio-dia legal)!
3. A Terra gira  $15^\circ$ /hora, sendo geograficamente dividida em 24 fusos de  $15^\circ$ .
4. A hora universal ou UTC define-se de acordo com o meridiano de Greenwich (longitude  $\lambda=0^\circ$ ). Esta hora vale dentro de um fuso horário de  $15^\circ$  ( $0\pm 7,5^\circ$ ) para Greenwich, e sucessivamente (avançando para oeste)  $15W\pm 7,5^\circ$ ;  $30W\pm 7,5^\circ$ ;  $45W\pm 7,5^\circ$ ;  $60W\pm 7,5^\circ$ ; ... os quais, na hora  $t$  UTC, têm as horas legais  $t-1$ ,  $t-2$ ,  $t-3$ ,  $t-4$ , ... Usualmente, a hora legal de um país é definida pelo fuso onde se encontra sua capital. Por exemplo Brasília ( $47^\circ 49'W \rightarrow -47,817^\circ$ ) está no fuso de  $45^\circ W$  (fuso -3) e terá hora legal ( $t-3$ ) com relação à UTC <sup>(7)</sup>.
5. Dado um local que se rege pelo fuso  $f$  a oeste de Greenwich (longitude central  $\lambda_o = 15f$ , sendo  $f < 0$ ), com hora legal  $t_o$ , um local na longitude  $\lambda$  teria um horário real deslocado de  $\Delta t_s = (\lambda - \lambda_o)/15$  horas para representar sua hora solar  $t_s$ , sendo  $t_s = t_o - (\lambda - \lambda_o)/15$ . Por exemplo, Salvador ( $38^\circ 25'W \rightarrow -38,417^\circ$ ) teria uma hora solar  $t_s = t_o - (-38,417 + 45)/15 = t_o + 0,4389$  horas, ou seja, o Sol passa pelo meridiano local 26,33 minutos antes do meio-dia legal. Na própria cidade de Brasília, o meio-dia solar verificar-se-ia na hora legal  $t_o = 12$  horas + 11.27 minutos.
6. Para estimar a hora solar, uma correção adicional faz-se necessária: a equação do tempo  $\Delta t_{sol}$ , devida a que a Terra não tem velocidade constante ao longo de sua órbita (gira mais rápido em torno do Sol quando se encontra mais próxima do Sol; o efeito se anula ao completar uma órbita).  $\Delta t_{sol}$  é uma função do dia juliano.

Assim, a hora solar computa-se como

$$t_s = t_o - (\lambda - \lambda_o)/15 + \Delta t_{sol}; \quad (\text{A.1.2})$$

sendo  $\Omega = 2\pi/86400$  a velocidade angular da Terra, e  $t_s$  a hora solar local, o ângulo que o planeta deve girar para verificar-se o meio-dia local será

---

<sup>6</sup> Para maiores detalhes, ver textos de Meteorologia. Referências no fim deste Anexo.

<sup>7</sup> Todavia, países muito extensos em longitude, como Brasil, Estados Unidos ou Rússia, podem ter vários fusos adotados como hora legal. Manaus ( $59^\circ 55'$ ) tem hora legal segundo o fuso 4. Ver [figura](#) no Google. Existem exceções à norma: por exemplo Buenos Aires ( $58^\circ 22'$ ) está no fuso 4 mas adota o fuso 3 para Argentina. Ainda, de acordo com conveniência climática, um país pode adotar uma hora legal de inverno ou de verão deslocada de 1 hora com relação à legal "padrão".

$$h = (12 - t_s) / \Omega. \quad (\text{A.1.3})$$

Esta expressão permite avaliar o ângulo horário  $h$  na eq. (A.1.1) <sup>(8)</sup>. A expressão para  $\cos Z_o$  permite avaliar a duração teórica do período diurno: ao amanhecer é  $Z_o = \pi/2$ , de forma que o ângulo  $H$  girado pela Terra entre amanhecer e meio-dia solar e a duração formal  $T_{\text{dia}}$  do período diurno (denominada de *insolação teórica*) farão

$$\cos H = - \operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad T_{\text{dia}} = 2 H / \Omega. \quad (\text{A.1.4})$$

A irradiação no topo da atmosfera deverá ser

$$Q_o = \int_{[0, T_{\text{dia}}]} S \cos Z_o dt = 2 S \int_{[0, H]} \cos Z_o dh / \Omega. \quad (\text{A.1.5})$$

O valor médio da irradiância (considerado um dia completo, com duração  $T = 86400^s$ ) leva à expressão

$$G_o = Q_o/T = (S/\pi) (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \operatorname{sen} H + \operatorname{sen} \phi \cdot \operatorname{sen} \delta \cdot H), \quad (\text{A.1.6})$$

Note-se que  $H$  se mede em *radianos*. Nesta equação, a constante solar  $S_o$  foi corrigida por distância Terra-Sol:  $S = S_o \cdot r_{2\text{sun}}$ .

Os parâmetros declinação  $\delta$ , correção  $r_{2\text{sun}}$  por distância Terra-Sol, equação do tempo  $\Delta t_{\text{sol}}$ , podem ser calculados com a função *fastrododia* em linguagem Octave, no fim deste Anexo.

## Referências

- Liou, K.N. (2002). *An Introduction to Atmospheric Radiation.*, 2<sup>nd</sup> Edition. Academic Press, 577 p. (cap. 2).
- Paltridge, G.W., C.M.R. Platt (1976). *Radiative Processes in Meteorology and Climatology*. Elsevier Sci. Pub. Co., 318 pp. (cap. 3)
- Varejão-Silva, M.A. (2006). [Meteorologia e Climatologia](#). 2ª Edição digital, Universidade Federal de Alagoas, Brasil (cap. 1).
- Vianello, R.L., A.R. Alves (2000). *Meteorologia Básica e Aplicações*. 2ª Edição. Editora Universidade Federal de Viçosa, Brasil. (cap. 3). Acessível em [SCRIBD](#).

---

<sup>8</sup> Atenção ao uso de unidades: (12- $t_s$ ) deve ter unidades coerentes com  $\Omega$  (radianos/segundo).

Programas **GoTOA.m** e **fastrododia.m** devem ser gravados no mesmo diretorio  
 Rodar programa GoTOA

```
%PROGRAMA GoTOA.m Octave - AVALIA radiação no topo da atmosfera no dia 20.06.2023
sobre São Paulo
site= 'Sao Paulo'; longitudeOESTE= [46 34]; latitudeSUL= [23 39]; %graus minutos
ano= 2023; mes= 06; dia= 20;
% -----
yR= -(latitudeSUL(1) + latitudeSUL(2)/60); %graus decimais

anomesdia= ano*1e4+mes*100+15;
astro= fastrododia(anomesdia);
declin= astro(1); %radianos
r2sun= astro(3); So= 1357; S= So*r2sun;
H= acos(-tand(yR)*tan(declin)); %radianos

Go= (S/pi)* (cos(declin)* (cosd(yR).*sin(H)) + sind(yR)*sin(declin));
% -----
disp(['site ' - dia ' num2str(anomesdia)]);
disp(['irradiancia media no TOA = ' num2str(Go) ' Wm-2']);
% FIM do programa
```

```
% funcao (subrotina) fastrododia.m avalia parametros astronomicos
function astro= fastrododia(anomesdia)
%versao corrigida abril 2017
% calcula declinacao (radianos)e equacao do tempo (horas)
%a partir da data anomesdia [yyyymmdd]
dia0= [0 31 59 90 120 151 181 212 243 273 304 334];
diasdoano= 365;
ano= floor(anomesdia/10000); mesdia= mod(anomesdia,10000);
mes= floor(mesdia/100); dia= mod(mesdia,100);
if mod(ano,4)==0
    dia0= dia0 + [0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
    diasdoano= diasdoano+1;
end
diajul= dia0(mes)+ dia;
teta = 2 * pi * (diajul-1) / diasdoano; %radianos
delta = .006918 - .399912 * cos(teta) + .070257 * sin(teta) - ...
    .006758 * cos(2 * teta) + .000907 * sin(2 * teta) - ...
    .002697 * cos(3 * teta) + .00148 * sin(3 * teta); %radianos
dtempo= .000075 + .001868* cos(teta) - .032077* sin(teta) - ...
    .014615 * cos(2 * teta) - .040849* sin(2*teta); %radianos
dt= dtempo*180/(pi*15); %horas

r2sun = 1.00011 + .034221 * cos(teta) + .000128 * sin(teta) +...
    0.000719* cos(2*teta) + 0.000077* sin(2*teta);
%algoritmos Paltridge & Platt 1976
%r2sun= (Do/D)^2
astro= [delta; dt; r2sun];
end
```

## A2. Arquivos de ACP e valores mensais em 2006-2020, região R3

No que segue, apresenta-se programa de leitura de produtos da ACP e recuperação de séries temporais.

Na seção Dados da página G-STAR <sup>(9)</sup> estão incluídos o presente Relatório e os arquivos necessários para descrever Kt e GL na região R3 no período 2006-2020 (Nt= 180 médias mensais). As matrizes de dados têm uma resolução espacial 0,04° (latitude), 0,04° (longitude), NL= 326 linhas, NC= 651 colunas.

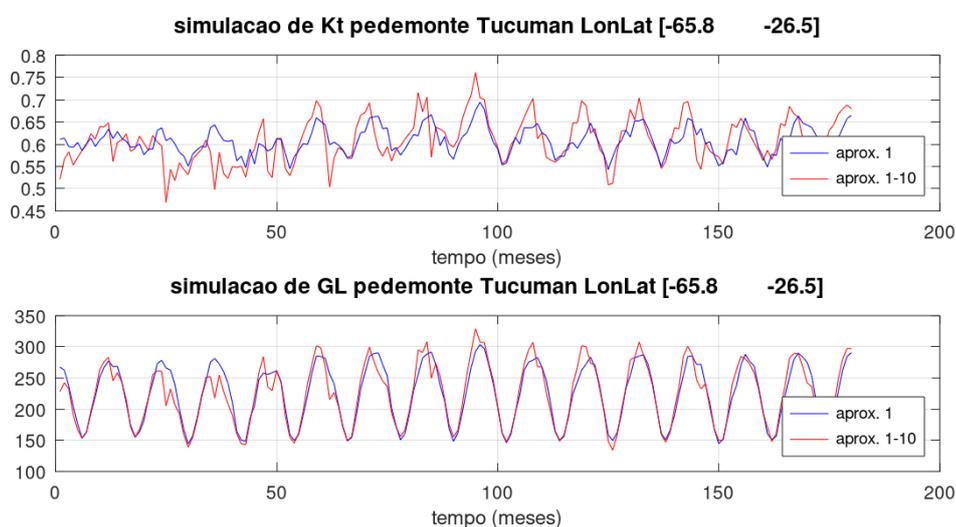
- `Ktmedio.bin` combina valor médio `Ktm` e desvio padrão `SDKt`. Dimensão (NL,NC,2).
- `FKt.bin` são cargas fatoriais para `Ncp= 10` componentes principais. Dimensão (NL,NC,Ncp).
- `CPKt.txt` é arquivo de texto contendo a matriz de componentes principais. Dimensão (Nt, Ncp).

Alocar os 3 arquivos e os programas `SimulaSerieGL.m`, `fSimulaKt.m`, `fastrododia.m` no mesmo diretório (por exemplo, `\R3`) <sup>(10)</sup>.

O programa `SimulaSerieGL.m` recebe uma lista de `Ns` sítios com coordenadas geográficas [lon lat] e de nomes dos locais, e constrói matriz `SimKtG [Nt×(1 + 3Ns)]`: Nt= 180 meses; primeira coluna tempo (1:180), e a cada 3 colunas os dados [Go, Ktsim1, Ktsim] para os `Ns` sítios.

Contém 2 opções:

- Opção 0: grava `SimKtG` como arquivo `Ktsimul.txt`;
- Opção 1: exibe um gráfico duplo, com as séries de aproximações de ordem 1 e cumulativa 1-10, para 1) Kt; 2) GL.



Exemplo de recuperação de série de Kt e de GL, período 2006-2020

<sup>9</sup> URL de acesso: [http://pururuca.cptec.inpe.br/gstar/GSTAR\\_principal.html](http://pururuca.cptec.inpe.br/gstar/GSTAR_principal.html)

<sup>10</sup> Os programas estão em linguagem Octave. Matrizes são gravada (e lidas) como sequência de colunas.

```

%Programa SimulaSerieGL

graficos=1; %0 grava serie em *.txt, =1 apenas sequencia gráficos

% ----- sitios
lonlat= [-60 -26; -65.8 -26.5; -54.0133 -31.3478; -49.0666 -22.3166];
sites= {'Chaco'; 'pedemonte Tucuman'; 'Bagé'; 'Bauru'};
[Nsites, Ngeo]= size(lonlat);
% ----- area R3
V= [-72 -46 -32 -19]; dlat= .04; dlon= .04;
NC= floor((V(2)-V(1))/dlon)+1; NL= floor((V(4)-V(3))/dlon)+1;
% -----

%Leitura Ktmedio, F, CP
zeta= load('CPKtR3.txt');
[Nt, Ncp]= size(zeta);

arq= 'Ktmedio.bin';
FID= fopen(arq, 'r');
A= fread(FID, 'real*4');
Ktmedio= reshape(A, [NL, NC, 2]);
clear A

arq= 'FKt.bin';
FID= fopen(arq, 'r');
A= fread(FID, 'real*4');
F= reshape(A, [NL, NC, Ncp]);
clear A
% -----
UKt= fSimulaKt(lonlat, Ktmedio, zeta, F, V);

% -----
tempo= (1:Nt)';
SimKtG= zeros(Nt, 1+3*Nsites);
SimKtG(:,1)= tempo;
for s=1:Nsites
    Go= zeros(Nt,1); lat= lonlat(s,2);
    for mes= 1:12
        anomesdia= 2006*1e4+mes*100+15;
        astro= fastrododia(anomesdia);
        declin= astro(1);
        r2sun= astro(3); S= 1357*r2sun;
        H= acos(-tand(lat)*tan(declin));
        Goo= (S/pi)* (cos(declin)* (cosd(lat).*sin(H)) + sind(lat)*sin(declin));
        Go(mes:12:end) = Goo;
    endfor
    SimKtG(:,3*s-1:3*s+1)= [Go UKt(:,2*s-1) UKt(:,2*s)];
endfor
% -----
switch graficos

case 0
    save 'Ktsimul.txt' SimKtG -ascii
case 1
    for s=1:Nsites
        lonlatn= lonlat(s,:); lat= lonlat(s,2);
        site= char(sites(s));
        sitio= [site ' LonLat [' num2str(lonlatn) ']];
        tempo= UKt(:,1);
        Ktsim1= UKt(:, 2*s); Ktsim= UKt(:, 2*s+1);
    % -----

```

```

figure(11); clf
subplot (2,1,1)
%po= plot(tempo, Kt, '-s', 'MarkerSize', 3, 'Color', gris); hold on
p10= plot(tempo, Ktsim, '-r'); hold on
p1= plot(tempo, Ktsim1, '-b'); hold on
title(['simulacao de Kt ' sitio], 'FontSize', 12);
xlabel('tempo (meses)');
legend([p1 p10], 'aprox. 1', 'aprox. 1-10', ...
'Location', 'SouthEast');
grid

subplot(2,1,2)
Go= SimKtG(:,3*s-1);
GLsim1= Go.*Ktsim1; GLsim10= Go.*Ktsim;
p1= plot(tempo, GLsim1, '-b'); hold on
p10= plot(tempo, GLsim10, '-r'); hold on
title(['simulacao de GL ' sitio], 'FontSize', 12);
xlabel('tempo (meses)');
legend([p1 p10], 'aprox. 1', 'aprox. 1-10', ...
'Location', 'SouthEast');
axis([0 200 100 350]);
grid

pause
endfor
endswitch

% ===== fim do programa =====

%function avalia serie temporal Kt para varios locais
function U= fSimulaKt(sitio, Ktmedio, zeta, F, V)
[NL,NC,Ncp]= size(F);
[Nt, Nz]= size(zeta);
[Nsitios, Nco]= size(sitio);
Ktm= Ktmedio(:, :,1); SD= Ktmedio(:, :,2);
% -----

U= zeros(Nt,1+2*Nsitios);
latini= V(3); lonini=V(1); dlat= .04; dlon=.04;
tempo= (1:Nt)'; U(:,1)= tempo;
for s=1:Nsitios
lon= sitio(s,1); lat= sitio(s,2);
lin= floor((lat - latini)/dlat)+1;
col= floor((lon-lonini)/dlon)+1;
%Kt= squeeze(KtR(lin,col,:));
Kto= Ktm(lin,col); SDo= SD(lin,col);
Fp= squeeze(F(lin, col, :));
Ksim= zeros(Nt,1);
for n=1:10
Ksim= Ksim+Fp(n).*zeta(:,n);
switch n
case 1
Ksim1= Ksim;
endswitch
endfor
Ktsim= Kto + SDo* Ksim;
Ktsim1= Kto+ SDo* Ksim1;
U(:, 2*s:2*s+1)= [Ktsim1, Ktsim];
endfor

% -----
end %end function

```



%ID	lat	lon	alt	dono	ldlocal	%	local	prov/estado	pais	rede
29813	-31.06	-55.6	-999	12	29813	%	Buena Unión	-999	Uruguai	URUGUAI
29822	-31.28	-57.92	49	12	29822	%	LES	-999	Uruguai	LES
29826	-31.75	-57.87	-999	12	29826	%	Baltazar Brum	-999	Uruguai	URUGUAI
29827	-31.24	-57.47	-999	12	29827	%	Colonia Rubio	-999	Uruguai	URUGUAI
29952	-29.44	-53.82	489	15	8	%	São Martinho da S.	RS	Brasil	SONDA
29955	-20.43	-54.53	677	15	12	%	Campo Grande	MS	Brasil	SONDA
29956	-27.08	-52.61	700	15	6	%	Chapecó	SC	Brasil	SONDA
29958	-27.6017	-48.5178	31	15	1	%	Florianópolis	SC	Brasil	SONDA
29959	-26.2525	-48.8577	48	15	4	%	Joinville	SC	Brasil	SONDA
29960	-26.98	-50.71	1036	15	29960	%	Lebon Regis	SC	Brasil	SONDA
29966	-29.09	-49.81	15	15	5	%	Sombrio	SC	Brasil	SONDA
30204	-29.7116	-55.5261	121	18	826	%	ALEGRETE	RS	Brasil	InmetA
30213	-20.4756	-55.7839	155	18	719	%	AQUIDAUANA	MS	Brasil	InmetA
30217	-19.6	-46.9333	1020	18	505	%	ARAXÁ	MG	Brasil	InmetA
30221	-21.1328	-48.8403	525	18	736	%	ARIRANHA	SP	Brasil	InmetA
30223	-23.0997	-48.9455	725	18	725	%	AVARÉ	SP	Brasil	InmetA
30224	-31.3478	-54.0133	230	18	827	%	BAGÉ	RS	Brasil	InmetA
30229	-22.3166	-49.0666	550	18	705	%	BAURU	SP	Brasil	InmetA
30231	-29.1672	-51.5347	640	18	840	%	Bento Gonçalves	RS	Brasil	InmetA
30237	-30.5477	-53.4675	450	18	812	%	CAÇAPAVA DO SUL	RS	Brasil	InmetA
30240	-21.9178	-46.3828	1150	18	530	%	CALDAS	MG	Brasil	InmetA
30241	-30.8106	-51.8347	108	18	838	%	CAMAQUÃ	RS	Brasil	InmetA
30244	-19.5347	-49.5286	547	18	519	%	CAMPINA VERDE	MG	Brasil	InmetA
30245	-20.45	-54.6166	530	18	702	%	CAMPO GRANDE	MS	Brasil	InmetA
30250	-31.4058	-52.7011	464	18	811	%	CANGUÇU	RS	Brasil	InmetA
30258	-21.7797	-47.075	1	18	738	%	CASA BRANCA	SP	Brasil	InmetA
30260	-24.7894	-49.9997	1003	18	819	%	CASTRO	PR	Brasil	InmetA
30265	-19.9858	-48.1525	568	18	520	%	Conceicao das Almas	MG	Brasil	InmetA
30268	-18.9967	-57.6375	126	18	724	%	CORUMBA	MS	Brasil	InmetA
30272	-28.6036	-53.6736	432	18	853	%	CRUZ ALTA	RS	Brasil	InmetA
30275	-25.4486	-49.23	923.5	18	807	%	CURITIBA	PR	Brasil	InmetA
30278	-25.6948	-53.0946	520	18	843	%	DOIS VIZINHOS	PR	Brasil	InmetA
30280	-22.1939	-54.9114	469	18	721	%	DOURADOS	MS	Brasil	InmetA
30282	-27.6603	-52.3064	765	18	828	%	ERECHIM	RS	Brasil	InmetA
30288	-27.6	-48.6166	1.8	18	806	%	FLORIANOPOLIS	SC	Brasil	InmetA
30292	-20.9666	-47.6333	1026	18	708	%	FRANCA	SP	Brasil	InmetA
30293	-27.3956	-53.4294	490	18	854	%	Fred. Westphalen	RS	Brasil	InmetA
30298	-24.185	-53.0286	468	18	825	%	GOIOÉRE	PR	Brasil	InmetA
30306	-21.8556	-48.8	492	18	737	%	IBITINGA	SP	Brasil	InmetA
30307	-23.2325	-53.3895	385	18	824	%	ICARAIMA	PR	Brasil	InmetA
30308	-24.6717	-47.5461	3	18	712	%	IGUAPE	SP	Brasil	InmetA
30310	-25.4945	-48.3259	1	18	847	%	ILHA DO MEL	PR	Brasil	InmetA
30312	-25.5658	-51.0894	1260	18	823	%	INÁCIO MARTINS	PR	Brasil	InmetA
30313	-26.9164	-49.2683	86.13	18	817	%	INDAIAL	SC	Brasil	InmetA
30318	-23.9814	-48.8853	707	18	714	%	ITAPEVA	SP	Brasil	InmetA
30319	-22.415	-46.8053	633	18	739	%	ITAPIRA	SP	Brasil	InmetA
30320	-26.0813	-48.6417	2	18	851	%	ITAPOÁ	SC	Brasil	InmetA
30322	-18.9528	-49.5253	560	18	512	%	ITUIUTABA	MG	Brasil	InmetA
30324	-25.0133	-50.8544	808	18	818	%	IVAI	PR	Brasil	InmetA
30325	-22.3	-53.8166	373.3	18	709	%	IVINHEMA	MS	Brasil	InmetA

%ID	lat	lon	alt	dono	ldlocal	%	local	prov/estado	pais	rede
30329	-20.0954	-50.3542	457	18	733	%	JALES	SP	Brasil	InmetA
30331	-27.1693	-51.559	776	18	841	%	JOAÇABA	SC	Brasil	InmetA
30334	-23.5053	-49.9464	522	18	821	%	JOAQUIM TÁVORA	PR	Brasil	InmetA
30335	-21.0956	-49.9203	405	18	735	%	JOSE BONIFACIO	SP	Brasil	InmetA
30339	-28.2219	-51.5122	842	18	844	%	LAGOA VERMELHA	RS	Brasil	InmetA
30341	-21.6655	-49.7344	459	18	727	%	LINS	SP	Brasil	InmetA
30349	-21.6092	-55.1778	401	18	731	%	Maracaju	MS	Brasil	InmetA
30351	-24.3209	-54.0111	392	18	820	%	Mar. Candido Rondon	PR	Brasil	InmetA
30353	-23.2428	-51.56	542	18	835	%	MARINGA	PR	Brasil	InmetA
30355	-20.3956	-56.4317	140	18	722	%	MIRANDA	MS	Brasil	InmetA
30359	-22.85	-46.05	1550	18	509	%	MONTE VERDE	MG	Brasil	InmetA
30367	-18.9889	-56.6231	104	18	717	%	NHUMIRIM	MS	Brasil	InmetA
30370	-23.4152	-50.5778	668	18	842	%	NOVA FÁTIMA	PR	Brasil	InmetA
30371	-24.4373	-51.9631	654	18	822	%	NOVA TEBAS	PR	Brasil	InmetA
30372	-22.9486	-49.8942	448	18	716	%	OURINHOS	SP	Brasil	InmetA
30380	-19.4143	-51.1053	424	18	710	%	PARANAIBA	MS	Brasil	InmetA
30385	-28.2294	-52.4039	684	18	839	%	PASSO FUNDO	RS	Brasil	InmetA
30386	-20.7453	-46.6339	875.2	18	516	%	PASSOS	MG	Brasil	InmetA
30388	-18.9967	-46.9856	963	18	523	%	PATROCINIO	MG	Brasil	InmetA
30396	-22.7027	-47.623	571	18	726	%	PIRACICABA	SP	Brasil	InmetA
30400	-25.7217	-53.7481	520	18	855	%	PLANALTO	PR	Brasil	InmetA
30401	-22.5333	-55.5333	650	18	703	%	PONTA PORÃ	MS	Brasil	InmetA
30403	-30.05	-51.1666	46.97	18	801	%	PORTO ALEGRE	RS	Brasil	InmetA
30404	-21.7058	-57.5533	85	18	723	%	PORTO MURTINHO	MS	Brasil	InmetA
30407	-22.1166	-51.4	435.6	18	707	%	PRES. PRUDENTE	SP	Brasil	InmetA
30408	-30.3686	-56.4372	124	18	831	%	QUARAI	RS	Brasil	InmetA
30411	-22.3725	-50.9742	350	18	718	%	RANCHARIA	SP	Brasil	InmetA
30414	-32.0333	-52.1	2.46	18	802	%	RIO GRANDE	RS	Brasil	InmetA
30415	-29.873	-52.3825	111	18	813	%	RIO PARDO	RS	Brasil	InmetA
30419	-19.8753	-47.4342	912	18	525	%	SACRAMENTO	MG	Brasil	InmetA
30423	-29.7	-53.7	95	18	803	%	SANTA MARIA	RS	Brasil	InmetA
30425	-27.5335	-54.285	276	18	810	%	SANTA ROSA	RS	Brasil	InmetA
30427	-30.8333	-55.6	328	18	804	%	Santana do Livramento	RS	Brasil	InmetA
30428	-27.85	-53.7833	550	18	805	%	SANTO AUGUSTO	RS	Brasil	InmetA
30429	-28.6494	-56.0156	83	18	830	%	SÃO BORJA	RS	Brasil	InmetA
30430	-21.98	-47.8836	863	18	711	%	SAO CARLOS	SP	Brasil	InmetA
30432	-30.3414	-54.3108	126	18	832	%	SÃO GABRIEL	RS	Brasil	InmetA
30433	-19.4201	-54.5531	647	18	732	%	SGABRIEL DO OESTE	MS	Brasil	InmetA
30438	-28.7514	-50.0583	1244	18	829	%	SJOSE DOS AUSENTES	RS	Brasil	InmetA
30441	-28.4172	-54.9625	245	18	852	%	SÃO LUIZ GONZAGA	RS	Brasil	InmetA
30443	-23.8516	-48.1645	644	18	715	%	SMIGUEL ARCANJO	SP	Brasil	InmetA
30444	-23.4964	-46.62	792.1	18	701	%	SÃO PAULO	SP	Brasil	InmetA
30447	-18.9697	-50.6289	488.5	18	11	%	SÃO SIMÃO	GO	Brasil	InmetA
30451	-23.4256	-47.5852	609	18	713	%	SOROCABA	SP	Brasil	InmetA
30462	-29.3503	-49.7331	4.5	18	808	%	TORRES	RS	Brasil	InmetA
30463	-20.7833	-51.7	313	18	704	%	TRÊS LAGOAS	MS	Brasil	InmetA
30467	-28.1264	-49.4792	1810	18	845	%	URUBICI	SC	Brasil	InmetA
30468	-29.8425	-57.0825	62.31	18	809	%	URUGUAIANA	RS	Brasil	InmetA
30470	-21.3192	-50.9303	374	18	734	%	VALPARAISO	SP	Brasil	InmetA
30477	-20.4069	-49.9653	486	18	729	%	VOTUPORANGA	SP	Brasil	InmetA

%ID	lat	lon	alt	dono	ldlocal	%	local	prov/estado	pais	rede
30485	-26.9388	-52.3982	889	18	858	%	XANXERE	SC	Brasil	InmetA
30486	-26.8193	-50.8353	952	18	859	%	CAÇADOR	SC	Brasil	InmetA
30487	-28.9314	-49.498	12	18	867	%	ARARANGUA	SC	Brasil	InmetA
30489	-22.6394	-52.8903	362	18	849	%	Diamante do Norte	PR	Brasil	InmetA
30490	-23.9669	-55.0242	402	18	751	%	SETE QUEDAS	MS	Brasil	InmetA
30491	-25.509	-48.8087	59	18	873	%	MORRETES	PR	Brasil	InmetA
30492	-26.3986	-51.3544	1018	18	875	%	GEN. CARNEIRO	PR	Brasil	InmetA
30493	-26.4172	-52.3488	980	18	876	%	CLEVELANDIA	PR	Brasil	InmetA
30501	-21.775	-54.5281	329	18	743	%	RIO BRILHANTE	MS	Brasil	InmetA
30504	-27.4183	-49.6467	484	18	863	%	ITUPORANGA	SC	Brasil	InmetA
30508	-28.8536	-52.5417	667	18	837	%	SOLEDADE	RS	Brasil	InmetA
30515	-27.9199	-53.3174	642	18	856	%	Palmeira das Missoes	RS	Brasil	InmetA
30518	-29.1914	-54.8856	394	18	833	%	SANTIAGO	RS	Brasil	InmetA
30520	-30.0097	-50.1353	1	18	834	%	TRAMANDAI	RS	Brasil	InmetA
30521	-28.2756	-49.9344	1410	18	815	%	SAO JOAQUIM	SC	Brasil	InmetA
30526	-23.0025	-55.3294	431	18	750	%	AMAMBAL	MS	Brasil	InmetA
30527	-19.1225	-51.7208	516	18	742	%	CASSILANDIA	MS	Brasil	InmetA
30532	-24.0475	-46.2631	45	18	745	%	MOELA	SP	Brasil	InmetA
30544	-29.3688	-50.8274	830	18	879	%	CANELA	RS	Brasil	InmetA
30545	-26.2864	-53.6328	810	18	848	%	Dionisio Cerqueira	SC	Brasil	InmetA
30546	-28.6042	-48.8133	52	18	866	%	SANTA MARTA	SC	Brasil	InmetA
30547	-26.2485	-49.5806	869	18	862	%	RIO NEGRINHO	SC	Brasil	InmetA
30548	-23.7731	-50.1806	930	18	871	%	IBAITI	PR	Brasil	InmetA
30557	-20.9817	-54.9719	464	18	754	%	SIDROLANDIA	MS	Brasil	InmetA
30558	-22.8572	-54.6056	379	18	749	%	JUTI	MS	Brasil	InmetA
30564	-21.3383	-48.1139	544	18	747	%	PRADOPOLIS	SP	Brasil	InmetA
30566	-22.4708	-48.5569	543	18	741	%	BARRA BONITA	SP	Brasil	InmetA
30628	-28.5325	-49.3156	48	18	814	%	URUSSANGA	SC	Brasil	InmetA
30629	-26.4071	-52.8504	960	18	816	%	NOVO HORIZONTE	SC	Brasil	InmetA
30630	-25.6017	-54.4842	231	18	846	%	Foz do Iguacu	PR	Brasil	InmetA
30631	-26.7769	-53.5045	665	18	857	%	Smiguel do Oeste	SC	Brasil	InmetA
30632	-27.2886	-50.6042	982	18	860	%	CURITIBANOS	SC	Brasil	InmetA
30633	-26.9375	-50.1464	592	18	861	%	RIO DO CAMPO	SC	Brasil	InmetA
30634	-26.3936	-50.3633	808	18	864	%	MAJOR VIEIRA	SC	Brasil	InmetA
30635	-23.3592	-52.9319	381	18	869	%	CIDADE GAUCHA	PR	Brasil	InmetA
30636	-31.2478	-50.9057	10	18	878	%	MOSTARDAS	RS	Brasil	InmetA
30637	-28.5136	-50.8828	986	18	880	%	VACARIA	RS	Brasil	InmetA
30644	-23.4494	-54.1817	336	18	752	%	ITAQUIRAI	MS	Brasil	InmetA
30645	-20.3594	-47.775	600	18	753	%	ITUVERAVA	SP	Brasil	InmetA
30646	-24.9631	-48.4164	667	18	746	%	BARRA DO TURVO	SP	Brasil	InmetA
30647	-22.4917	-52.1344	311	18	850	%	PARANAPOEMA	PR	Brasil	InmetA
30648	-30.9925	-54.8153	170	18	881	%	DOM PEDRITO	RS	Brasil	InmetA
30650	-20.5586	-48.545	1	18	748	%	BARRETOS	SP	Brasil	InmetA
30651	-26.9508	-48.7619	18	18	868	%	ITAJAI	SC	Brasil	InmetA
30655	-20.4442	-52.8756	388	18	756	%	AGUA CLARA	MS	Brasil	InmetA
30660	-23.5233	-46.8692	791	18	755	%	BARUERI	SP	Brasil	InmetA
30661	-24.2819	-50.2072	1106	18	872	%	VENTANIA	PR	Brasil	InmetA
30662	-25.835	-50.3686	788	18	874	%	S.MATEUS DO SUL	PR	Brasil	InmetA
30664	-22.1008	-56.54	208	18	757	%	BELA VISTA	MS	Brasil	InmetA
30665	-21.4782	-56.1369	249	18	758	%	JARDIM	MS	Brasil	InmetA

%ID	lat	lon	alt	dono	ldlocal	%	local	prov/estado	pais	rede
30701	-20.03	-46.01	697	18	565	%	BAMBUÍ	MG	Brasil	InmetA
30711	-20.9099	-47.1143	845	18	561	%	SSebastiao do Paraiso	MG	Brasil	InmetA
30713	-19.71	-47.9619	778	18	568	%	UBERABA	MG	Brasil	InmetA
30714	-22.1481	-53.7637	347	18	701	%	ANGÉLICA	MS	Brasil	InmetS
30715	-22.955	-55.626	605	18	702	%	ARAL MOREIRA	MS	Brasil	InmetS
30716	-21.7501	-52.4713	392	18	759	%	BATAGUASSU	MS	Brasil	InmetA
30717	-21.2983	-52.0689	345	18	705	%	BRASILÂNDIA	MS	Brasil	InmetS
30718	-22.6571	-54.8193	456	18	706	%	CAARAPÓ	MS	Brasil	InmetS
30720	-23.6449	-54.5703	319	18	709	%	IGUATEMI	MS	Brasil	InmetS
30721	-22.0928	-54.7988	360	18	710	%	ITAPORÃ	MS	Brasil	InmetS
30722	-22.5754	-55.1603	499	18	711	%	LAGUNA CARAPÃ	MS	Brasil	InmetS
30723	-21.451	-54.342	5	18	712	%	Nova Alborada do Sul	MS	Brasil	InmetS
30725	-20.4669	-53.763	442	18	715	%	Ribas do Rio Pardo	MS	Brasil	InmetS
30726	-21.3059	-52.8204	383	18	716	%	Srita do Rio Pardo	MS	Brasil	InmetS
30727	-20.3514	-51.4302	374	18	717	%	SELVIRIA	MS	Brasil	InmetS
30749	-24.5709	-52.8003	598	18	803	%	CAMPINA DA LAGOA	PR	Brasil	InmetB
30750	-25.3225	-49.1577	950	18	806	%	COLOMBO	PR	Brasil	InmetB
30751	-25.3689	-52.392	835	18	804	%	Laranjeiras do Sul	PR	Brasil	InmetB
30763	-29.0491	-50.1496	1017	18	897	%	CAMBARÁ DO SUL	RS	Brasil	InmetA
30764	-29.6743	-51.064	23	18	884	%	CAMPO BOM	RS	Brasil	InmetA
30765	-31.8025	-52.4072	13	18	887	%	Capao do Leao	RS	Brasil	InmetA
30766	-30.5432	-52.5247	428	18	893	%	Encruzilhada do Sul	RS	Brasil	InmetA
30767	-28.6535	-53.1119	455	18	883	%	IBIRUBÁ	RS	Brasil	InmetA
30768	-29.7021	-54.6943	134	18	889	%	S.VICENTE DO SUL	RS	Brasil	InmetA
30769	-28.7048	-51.8708	545	18	894	%	SERAFINA CORRÊA	RS	Brasil	InmetA
30770	-29.4503	-51.8243	80	18	882	%	TEUTÔNIA	RS	Brasil	InmetA
30771	-29.0894	-53.8267	462	18	886	%	TUPANCIRETÁ	RS	Brasil	InmetA
30772	-27.3839	-51.2161	963	18	898	%	CAMPOS NOVOS	SC	Brasil	InmetA
30773	-27.0853	-52.6357	679	18	895	%	CHAPECÓ	SC	Brasil	InmetA
30774	-27.8022	-50.3355	953	18	865	%	LAGES	SC	Brasil	InmetA
30775	-27.6785	-49.042	881	18	870	%	RANCHO QUEIMADO	SC	Brasil	InmetA
30778	-20.9492	-48.4899	790	18	764	%	BEBEDOURO	SP	Brasil	InmetA
30779	-23.8447	-46.1434	5	18	765	%	BERTIOGA	SP	Brasil	InmetA
30780	-22.952	-46.5305	891	18	744	%	Bragança Paulista	SP	Brasil	InmetA
30782	-21.4577	-51.5523	720	18	762	%	DRACENA	SP	Brasil	InmetA
30783	-22.2352	-49.9651	660	18	763	%	MARÍLIA	SP	Brasil	InmetA
30784	-24.5331	-47.8641	35	18	766	%	REGISTRO	SP	Brasil	InmetA
30785	-23.7245	-46.6775	771	18	771	%	SP-SESC Interlagos	SP	Brasil	InmetA
30787	-21.461	-47.5795	620	18	770	%	SÃO SIMÃO	SP	Brasil	InmetA
30788	-21.9273	-50.4903	498	18	768	%	TUPÃ	SP	Brasil	InmetA
32804	-31.4389	-57.9808	41	18	360	%	SALTO	UY	URUGUAI	InmetU
33571	-31.3909	-71.413	350	4	33571	%	Canela		Chile	AGROMET
33572	-29.9987	-71.3985	122	4	33572	%	Coquimbo [El Panul]		Chile	AGROMET
33573	-29.9785	-71.0804	198	4	33573	%	Gabriela Mistral		Chile	AGROMET
33574	-31.5733	-70.9982	590	4	33574	%	Huintil		Chile	AGROMET
33575	-30.3093	-70.6257	1462	4	33575	%	Hurtado [Lavaderos]		Chile	AGROMET
33576	-31.6481	-71.197	275	4	33576	%	Illapel		Chile	AGROMET
33577	-30.2031	-70.0372	3209	4	33577	%	La Laguna [Elqui]		Chile	AGROMET
33578	-29.7541	-71.2574	162	4	33578	%	La Serena [El Romeral]		Chile	AGROMET
33579	-30.2515	-71.2569	282	4	33579	%	Las Cardas		Chile	AGROMET

%ID	lat	lon	alt	dono	ldlocal	%	local	prov/estado	pais	rede
33580	-30.592	-71.248	292	4	33580	%	Ovalle [Talhuén]		Chile	AGROMET
33581	-30.0747	-71.239	135	4	33581	%	Pan de Azúcar		Chile	AGROMET
33582	-30.129	-70.4947	1240	4	33582	%	Pisco Elqui		Chile	AGROMET
33583	-29.2472	-71.468	7	4	33583	%	Punta de Choros		Chile	AGROMET
33584	-30.4961	-71.4905	183	4	33584	%	Quebrada Seca		Chile	AGROMET
33585	-30.7228	-70.7725	862	4	33585	%	Rapel		Chile	AGROMET
33586	-29.9617	-70.5391	900	4	33586	%	Rivadavia		Chile	AGROMET
33587	-31.8856	-70.714	887	4	33587	%	Salamanca [Chillepín]		Chile	AGROMET