

Campo magnético da América do Sul

Ridgway, J.R. & Hinze, W.J., 1986.
MAGSAT scalar anomaly map of South
America. *Geophysics*, 51(7): 1472-1479

Dados do Magsat:

- Área entre 25°N e 45°S e 25°W e 95°W, englobando parte continental e áreas oceânicas adjacentes.
- Grandes dificuldades de trabalho nessa área são as baixas latitudes magnéticas e correntes externas.
- Correntes da ionosfera e da magnetosfera foram removidas.
- Altitude foi normalizada.
- Órbita entre 325 e 550 km, começa com órbita de 550 km, e devido ao atrito com a atmosfera essa órbita vai diminuindo até que o satélite entra em combustão. A missão foi de 6 meses entre 1979 e 1980. O ângulo de inclinação orbital foi de 97°.
- Os magnetômetros foram tipo fluxgate e de bombeamento ótico. A precisão obtida de 3 nT.
- Satélite era americano e o uso principal dos dados foi para determinar o campo crustal, o campo interno e o campo ionosférico.

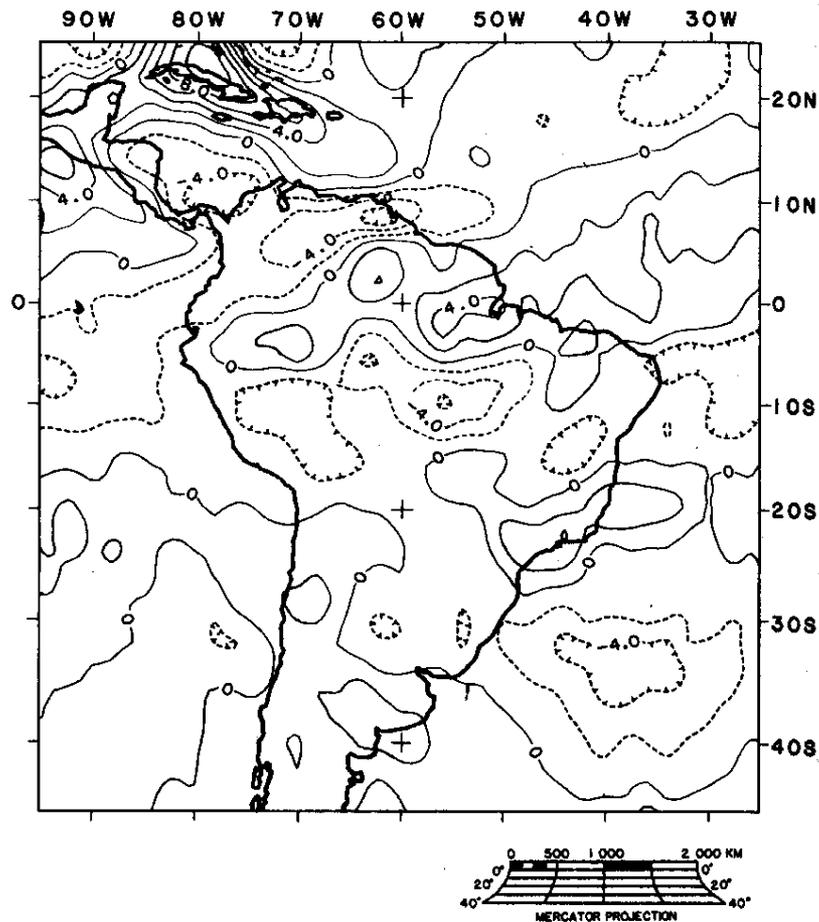
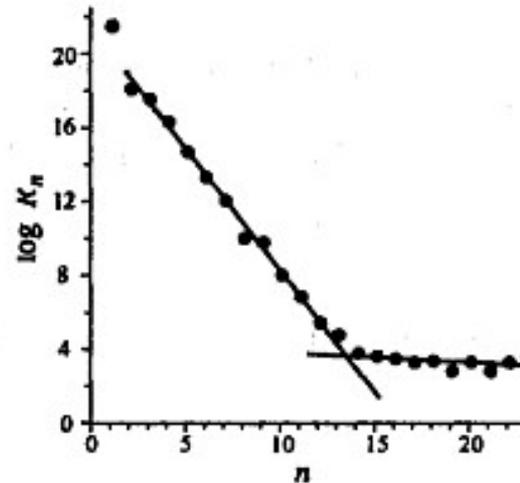


FIG. 1. MAGSAT 2 degree averaged magnetic anomaly of South America produced by averaging combined dusk dawn data sets in 2 degree areas. Mean altitude is 405. Contour interval is 2 nT (after Langel et al., 1982).

A figura mostra as anomalias magnéticas médias em região de $2^\circ \times 2^\circ$, combinando dados obtidos no amanhecer e no entardecer. A altitude média é de 405 km e o intervalo de contorno é de 2 nT. Essa é o mapa inicial antes das correções feitas para isolar o campo crustal.

Isolar o campo magnético crustal:

1) Remoção do campo interno gerado no núcleo, feita através da subtração do modelo MGST(4/81), que vem a ser uma representação do campo por harmônicos esféricos de ordem e grau 13.



Detalhes sobre isso, veja o ppt: campo magnético – básico.

Fig. 8.6. Power spectrum of the geomagnetic field at the earth's surface based on 26,500 measurements from the Magsat satellite mission. Dots indicate calculated values of $\log R_n$; best-fit lines are shown for $2 \leq n \leq 12$ and $16 \leq n \leq 23$. Modified from Langel and Estes [160].

where

$$\mathbf{B}_n = -\nabla \left[a \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) P_n^m(\theta) \right]$$

evaluated at $r = a$. Using the orthogonality property of spherical surface harmonics, Lowes [167, 168] reduced equation 8.21 to

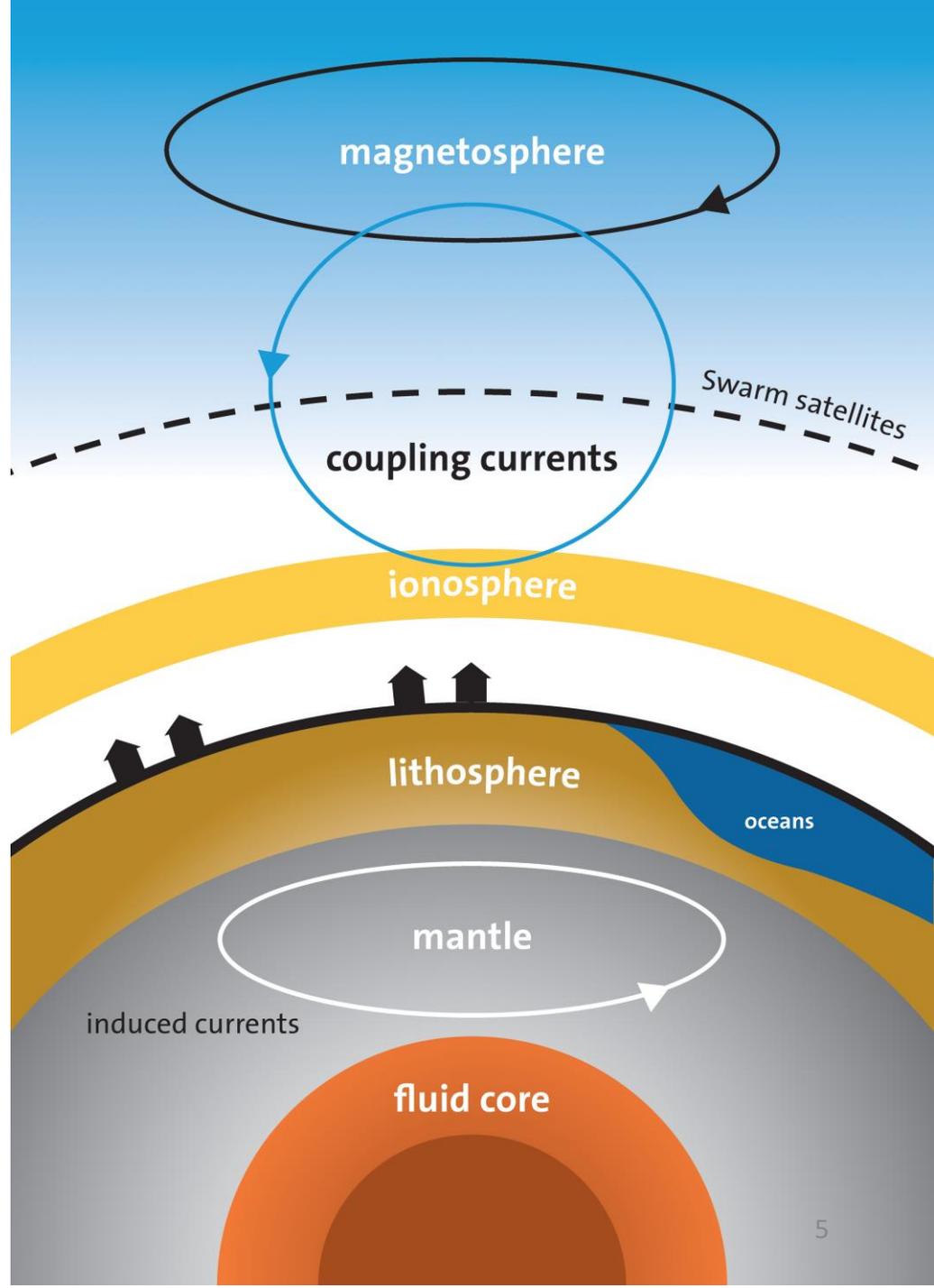
$$R_n = (n+1) \sum_{m=0}^n \left[(g_n^m)^2 + (h_n^m)^2 \right]. \quad (8.22)$$

2) Remoção do campo externo, gerado por correntes elétricas na ionosfera. No campo externo foram considerados:

Ruído de comprimento de onda curta ($<4^\circ$), removido usando-se apenas dados de períodos calmos e um filtro passa alta (latitude $<4^\circ$).

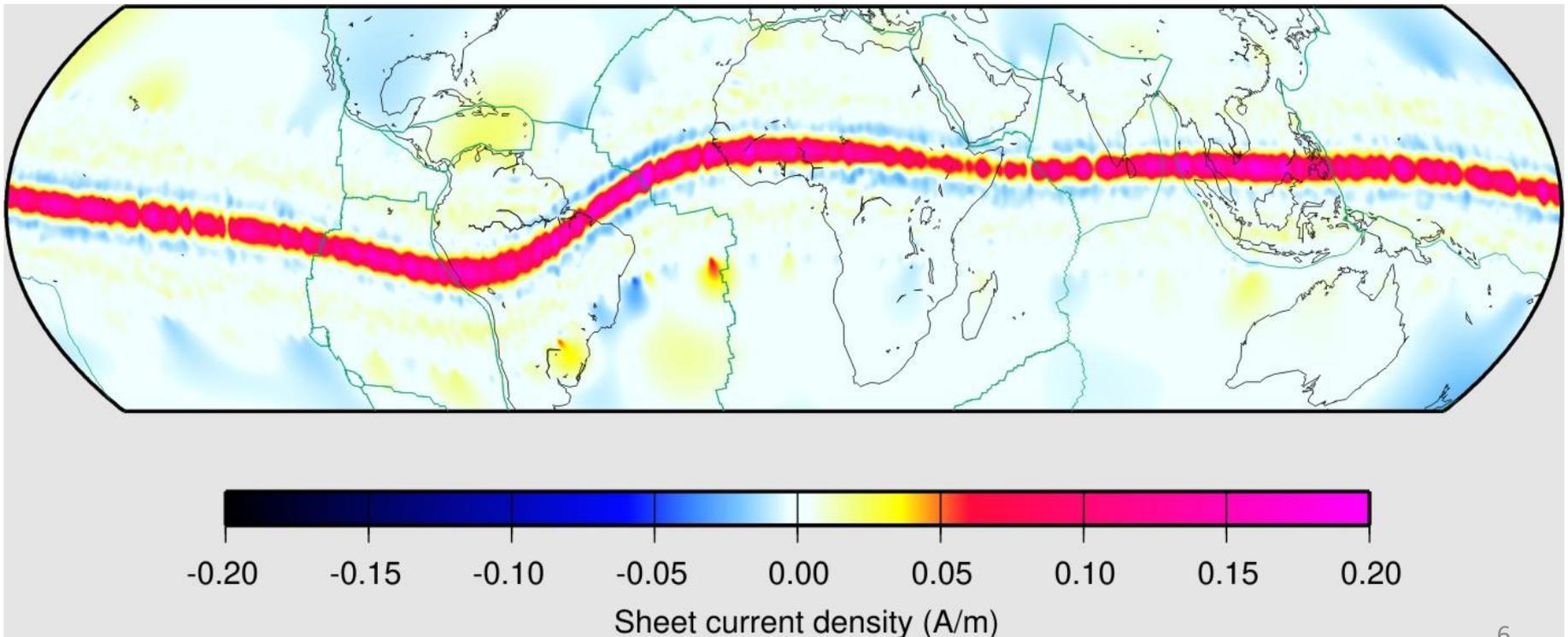
Para determinar esse filtro calculou o campo de um dipolo no equador localizado na superfície e observado na altitude do satélite.

Aí aplicaram vários filtros e a escolha recaiu sobre aquele que suaviza mais sem distorcer a anomalia do dipolo.



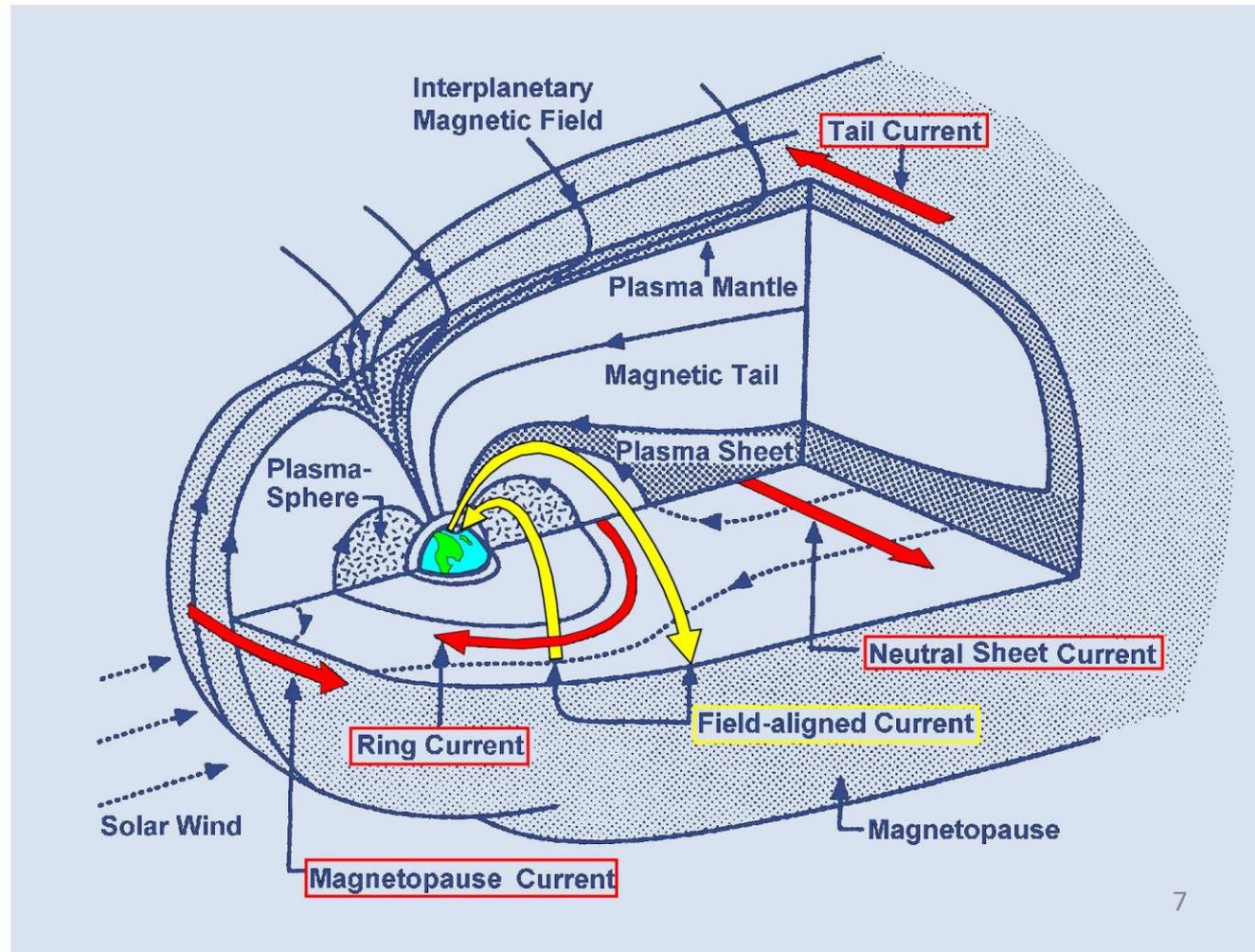
3) Remoção dos efeitos causados pelo eletrojato equatorial no campo próximo ou no equador magnético. Efeito tem de comprimento de onda médio (entre 20° e 40°).

Eletrojato equatorial: correntes ionosféricas que fluem em uma faixa de alta condutividade ao longo do equador magnético. Essa corrente é muito forte no crepúsculo e quase desaparece no amanhecer. Para remoção desse efeito usaram apenas as passagens do satélite e dados obtidos no amanhecer, durante as órbitas de 330 a 410 km acima da superfície terrestre.



4) Remoção da corrente de anel, que é um campo de comprimento de onda longo ($>40^\circ$) causado por corrente de raio grande

Corrente de anel: “placa” simétrica ao equador que se estende por 1 a 2 RT fora da cauda magnética. O efeito é um largo mínimo com amplitude variada centrada aproximadamente no equador magnético. A remoção foi feita através de um filtro passa banda.



5) Normalização da altitude:

- Normalizou todas as altitudes entre 330 e 510 km para a altitude de 350 km.
- Essa normalização foi feita por inversão de fonte pontual:
- Monta-se uma rede regular de dipolos colocados a uma profundidade qualquer. A anomalia magnética observada é invertida e a magnetização de cada dipolo é encontrada de tal forma que quando o campo devido a todos os dipolos é recalculado nos pontos de observação, o ajuste será o melhor possível. Então, conhecendo a fonte, o campo pode ser recalculado para qualquer elevação ou inclinação.
- No caso específico da América do Sul o espaçamento para as fontes foi de $2,5^\circ$ e a área total foi dividida em 9 áreas menores com sobreposição. Inverteram-se os dados para essas áreas e juntou tudo em um mapa único.

O resultado desse procedimento pode ser visto na figura 8 com as anomalias magnéticas escalares obtidas por inversão de fonte pontual observada a uma altitude de 350 km.

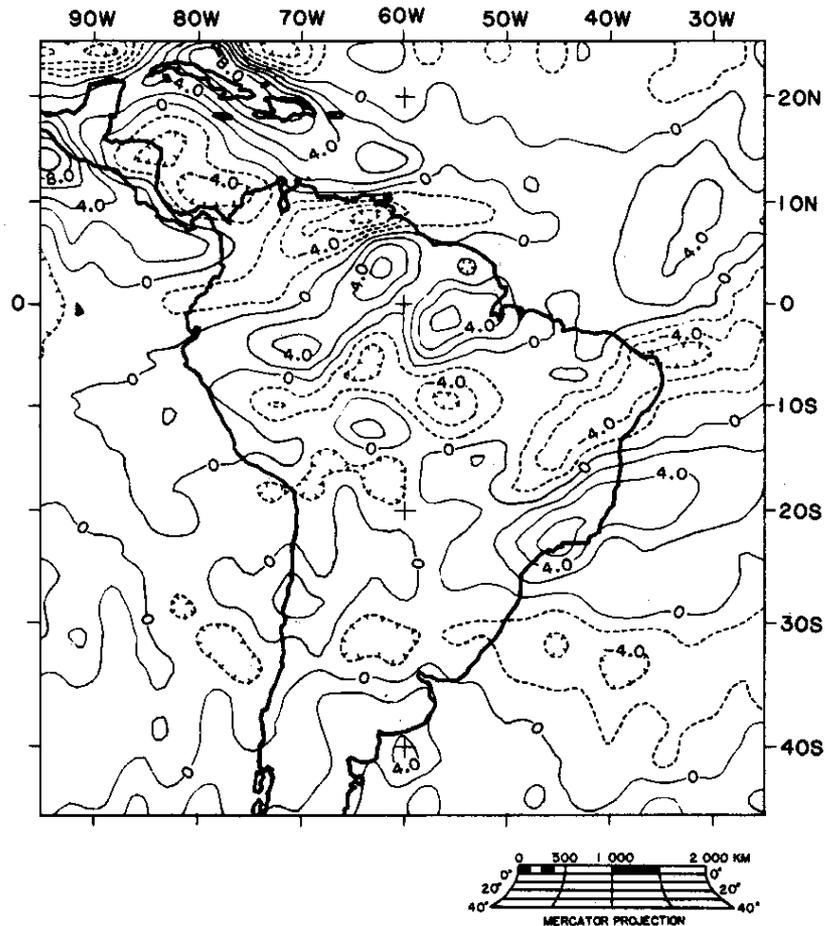


FIG. 8. Scalar magnetic anomaly map of South America at 350 km altitude produced by equivalent point-source inversion. Contour interval is 2 nT.

A principal diferença entre esse mapa, com boa parte das correções efetuadas, e o mapa da figura 1 encontra-se na região do equador magnético, indicando que o conjunto completo dos dados, dados do amanhecer e do anoitecer, estão contaminados pela presença do eletrojato equatorial. Essa diferença é observada na figura 9.

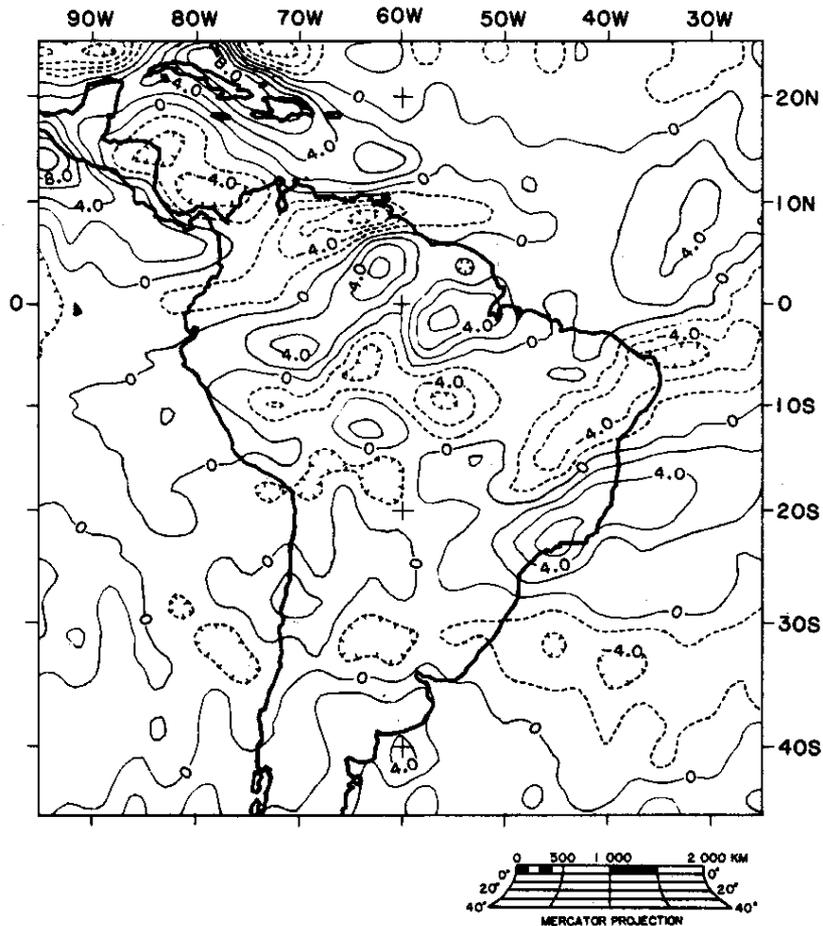


FIG. 8. Scalar magnetic anomaly map of South America at 350 km altitude produced by equivalent point-source inversion. Contour interval is 2 nT.

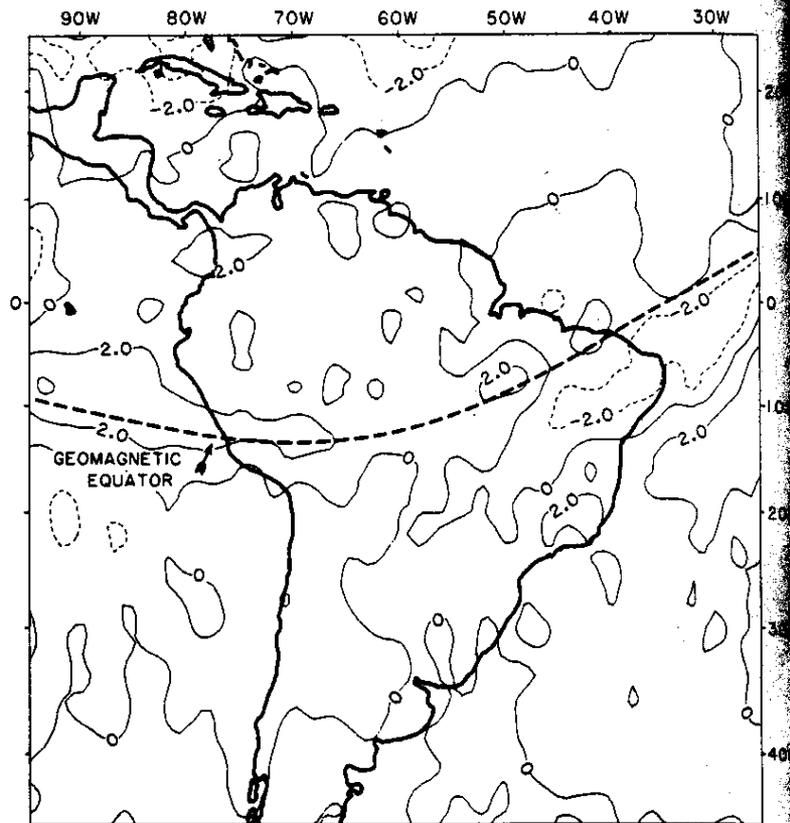


FIG. 9. Difference map produced by subtracting the MA 2 degree averaged scalar anomaly map point-for-point from the equivalent point-source inversion map. EPS map related to elevation of 2 degree averaged map prior to subtraction. Contour interval is 2 nT.

Redução ao pólo:

Para poder correlacionar as anomalias magnéticas com as feições tectônicas seria bom que todas tivessem a mesma inclinação de campo magnético, escolheu-se o pólo, onde as anomalias possuem o dobro da amplitude das anomalias no equador.

Inverteu novamente os dados em uma rede de $3,9^\circ$, aos dipolos foram associados uma inclinação de 90° , o campo indutor considerado de 60.000 nT e a altitude de cálculo foi de 450 km . O sinal e amplitude dessas anomalias indicam a magnetização relativa da crosta sob as anomalias.

A figura 10 mostra o resultado obtido com a redução ao pólo.

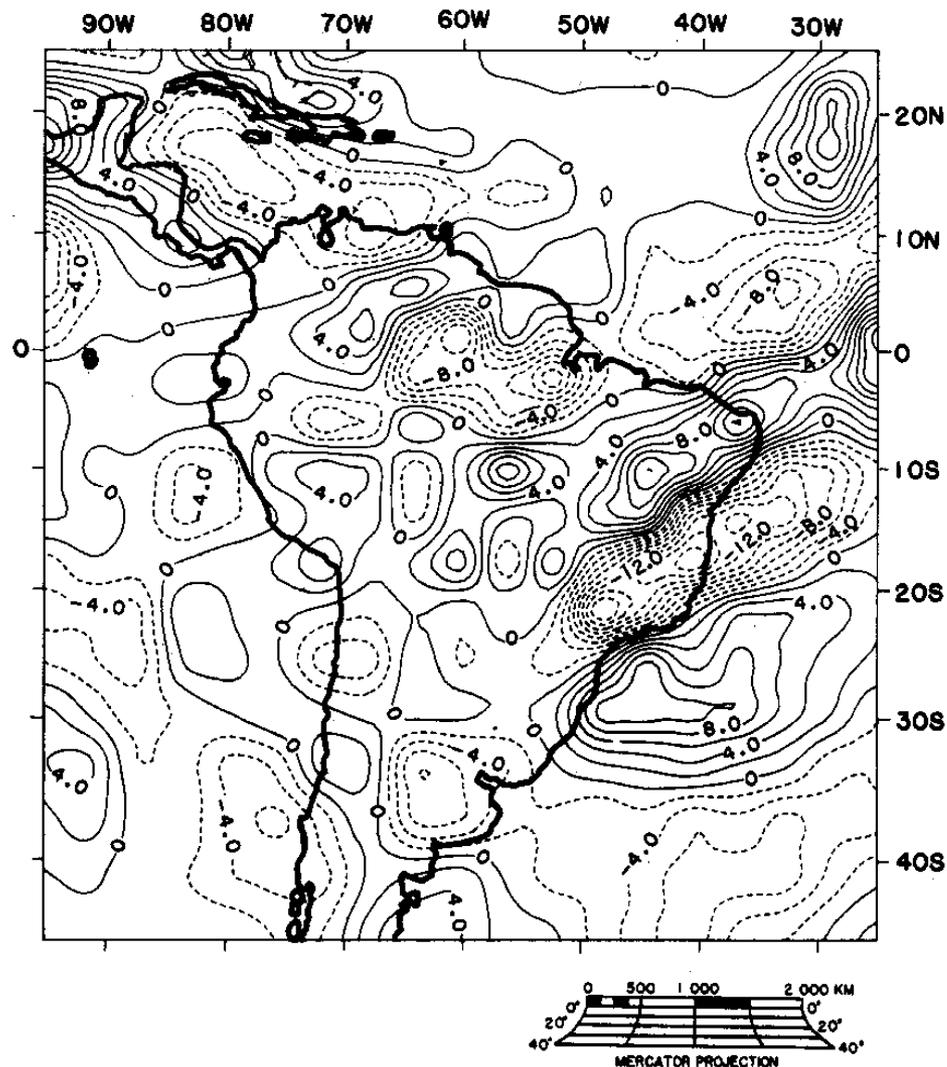


FIG. 10. Reduced-to-pole magnetic anomaly map of South America at 450 km altitude. Contour interval is 2 nT .

Correlação tectônica preliminar (figura 11):

Anomalias negativas correspondem à crosta oceânica fina das bacias de Yucatan, Colômbia e Venezuela (na região do Caribe) e anomalias positivas bordejam as bacias.

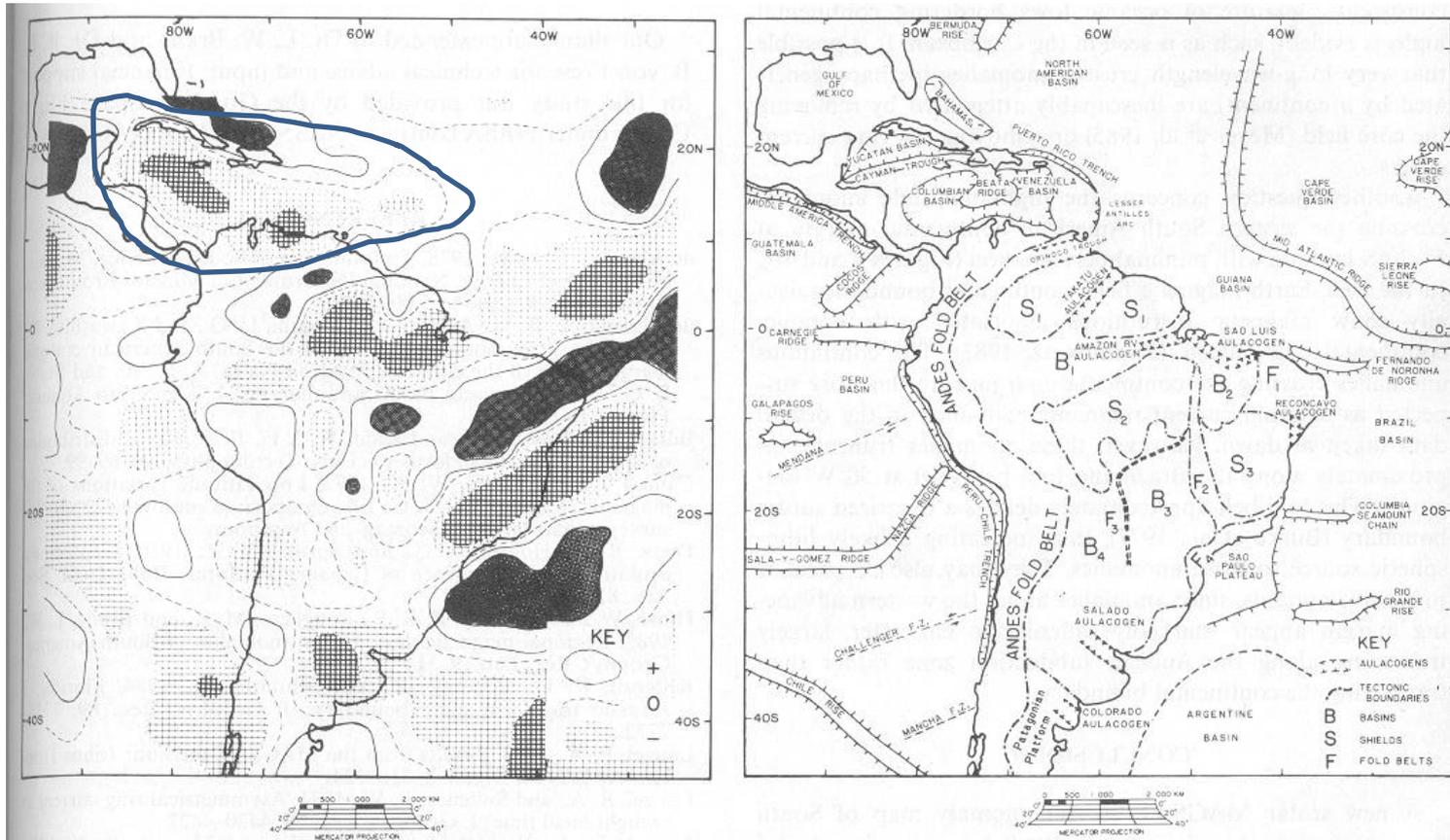


FIG. 11. Comparison of major South American tectonic features with shaded reduced-to-pole anomaly map. (Right) Generalized tectonic map of South America and adjacent marine areas identified as S_1 —Guyana shield; S_2 —Central Brazilian shield; S_3 —Sao Francisco craton; B_1 —Amazon Basin; B_2 —Parnaiba Basin; B_3 —Parana Basin; B_4 —Chaco Basin; F_1 —Caririan fold belt; F_2 —Braziliano fold belt; F_3 —Paraguay-Arguaia fold belt; F_4 —Riberia fold belt. (Left) Reduced-to-pole magnetic anomaly map of South America at 450 km altitude. The zero line is dashed, positive anomalies are shaded in a dot pattern, and negative anomalies are in a ruled pattern with greater intensities darker.

Anomalias oceânicas apresentam altos que correspondem a altos na topografia e baixos magnéticos em correspondência a bacias. Podem ser observados em concordância com elevações de Cocos, Carnegie, Galápagos, Nazca e Rio Grande. A dorsal Meso Atlântica não apresenta correlação evidente. Os baixos são observados juntos às bacias do Brasil, Guatemala e Argentina.

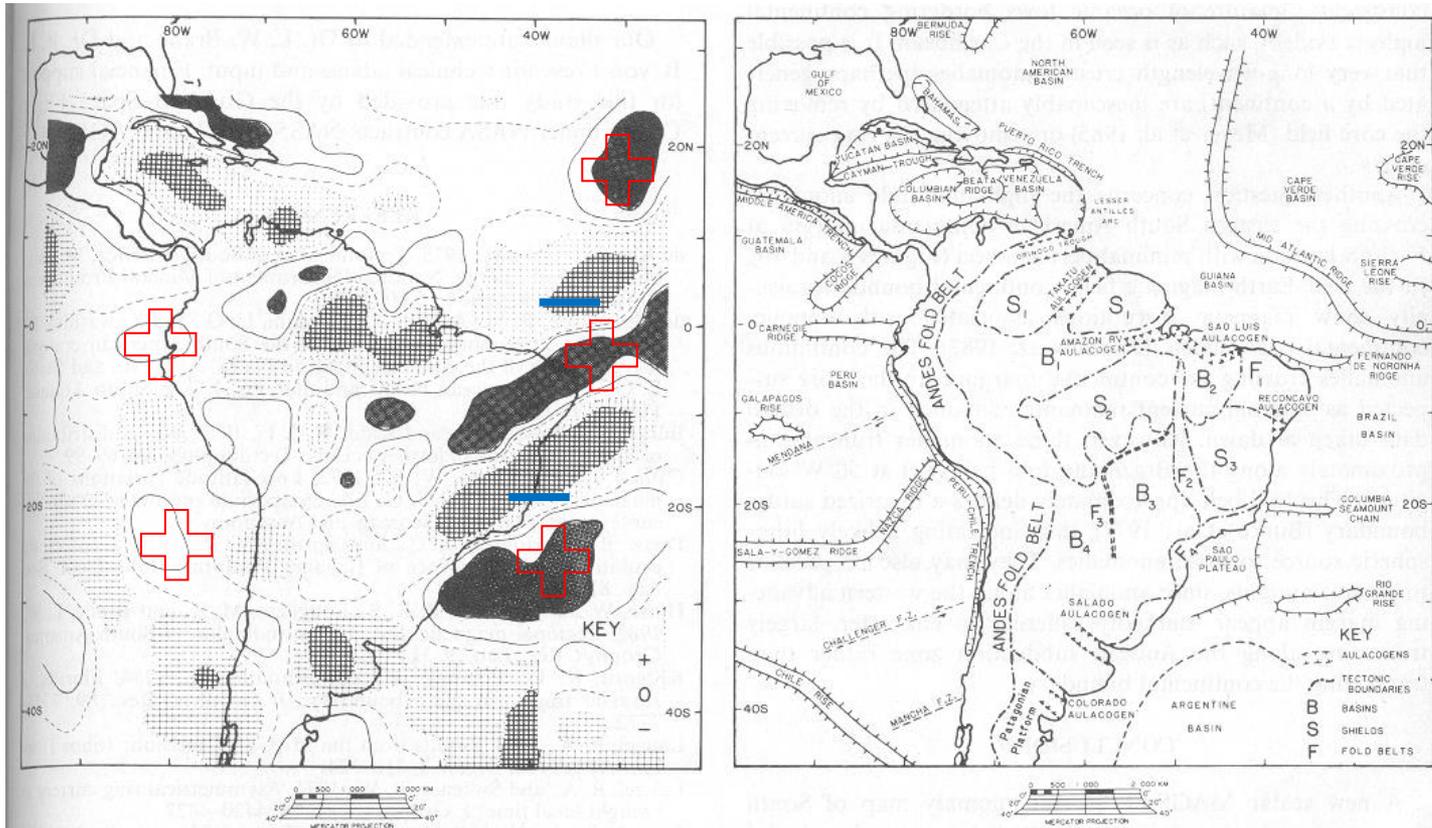


FIG. 11. Comparison of major South American tectonic features with shaded reduced-to-pole anomaly map. (Right) Generalized tectonic map of South America and adjacent marine areas identified as S_1 —Guyana shield; S_2 —Central Brazilian shield; S_3 —São Francisco craton; B_1 —Amazon Basin; B_2 —Parnaíba Basin; B_3 —Paraná Basin; B_4 —Chaco Basin; F_1 —Caririan fold belt; F_2 —Braziliano fold belt; F_3 —Paraguay-Arguáia fold belt; F_4 —Riberia fold belt. (Left) Reduced-to-pole magnetic anomaly map of South America at 450 km altitude. The zero line is dashed, positive anomalies are shaded in a dot pattern, and negative anomalies are in a ruled pattern with greater intensities darker.

As anomalias magnéticas na margem passiva parecem ter características próprias e talvez fonte litosférica.

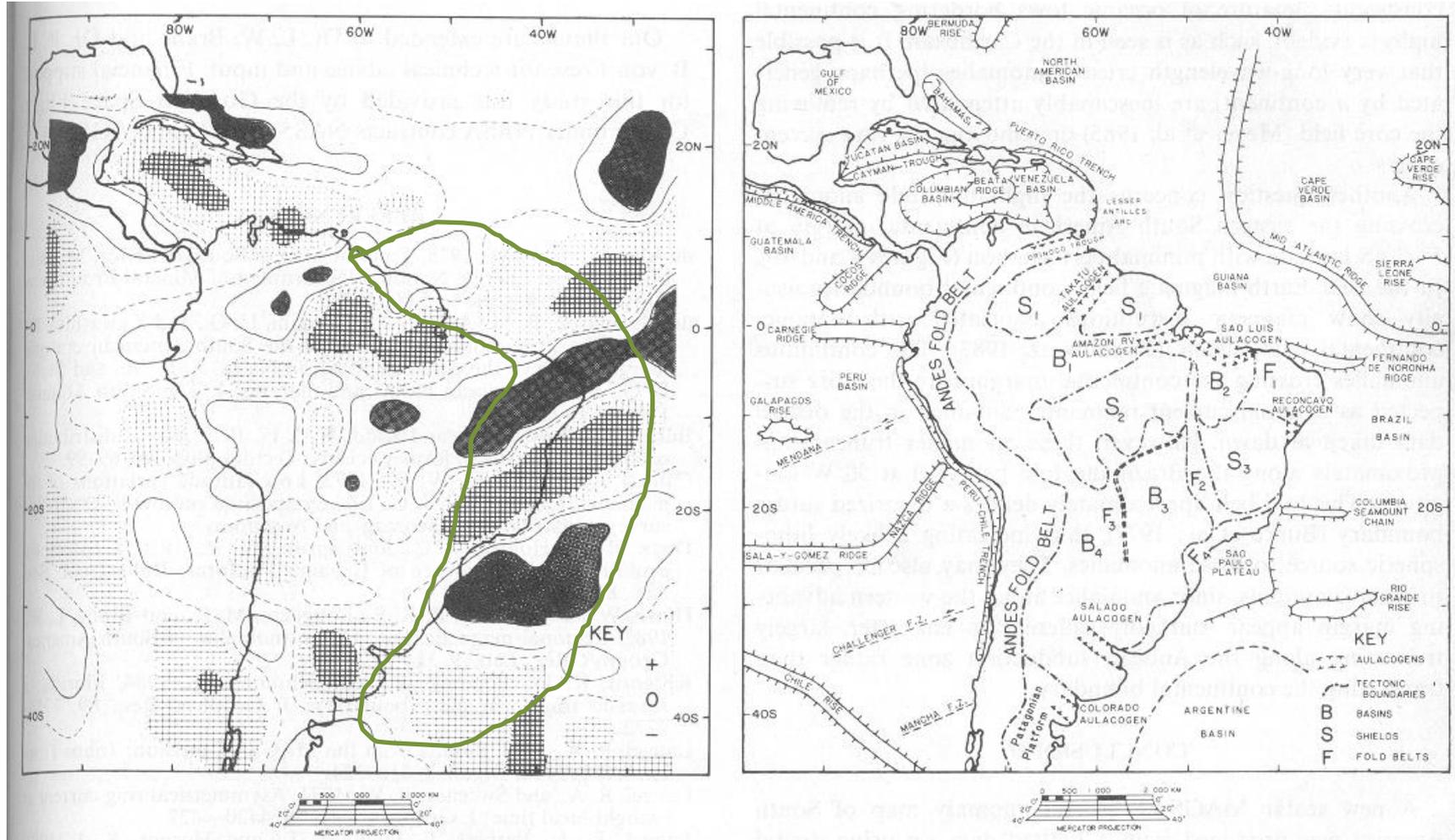


FIG. 11. Comparison of major South American tectonic features with shaded reduced-to-pole anomaly map. (Right) Generalized tectonic map of South America and adjacent marine areas identified as S₁—Guyana shield; S₂—Central Brazilian shield; S₃—Sao Francisco craton; B₁—Amazon Basin; B₂—Parnaiba Basin; B₃—Parana Basin; B₄—Chaco Basin; F₁—Caririan fold belt; F₂—Braziliano fold belt; F₃—Paraguay-Arguaia fold belt; F₄—Riberia fold belt. (Left) Reduced-to-pole magnetic anomaly map of South America at 450 km altitude. The zero line is dashed, positive anomalies are shaded in a dot pattern, and negative anomalies are in a ruled pattern with greater intensities darker.

Fortes positivos são vistos na crosta continental do México e península de Yucatan, sendo que esse alto continua por toda a América Central. Possível origem: placa de Cocos, que mergulha, e desloca o manto não magnético e abaixa a isoterma de Curie, deixando que mais material continental possa manter-se magnetizado.

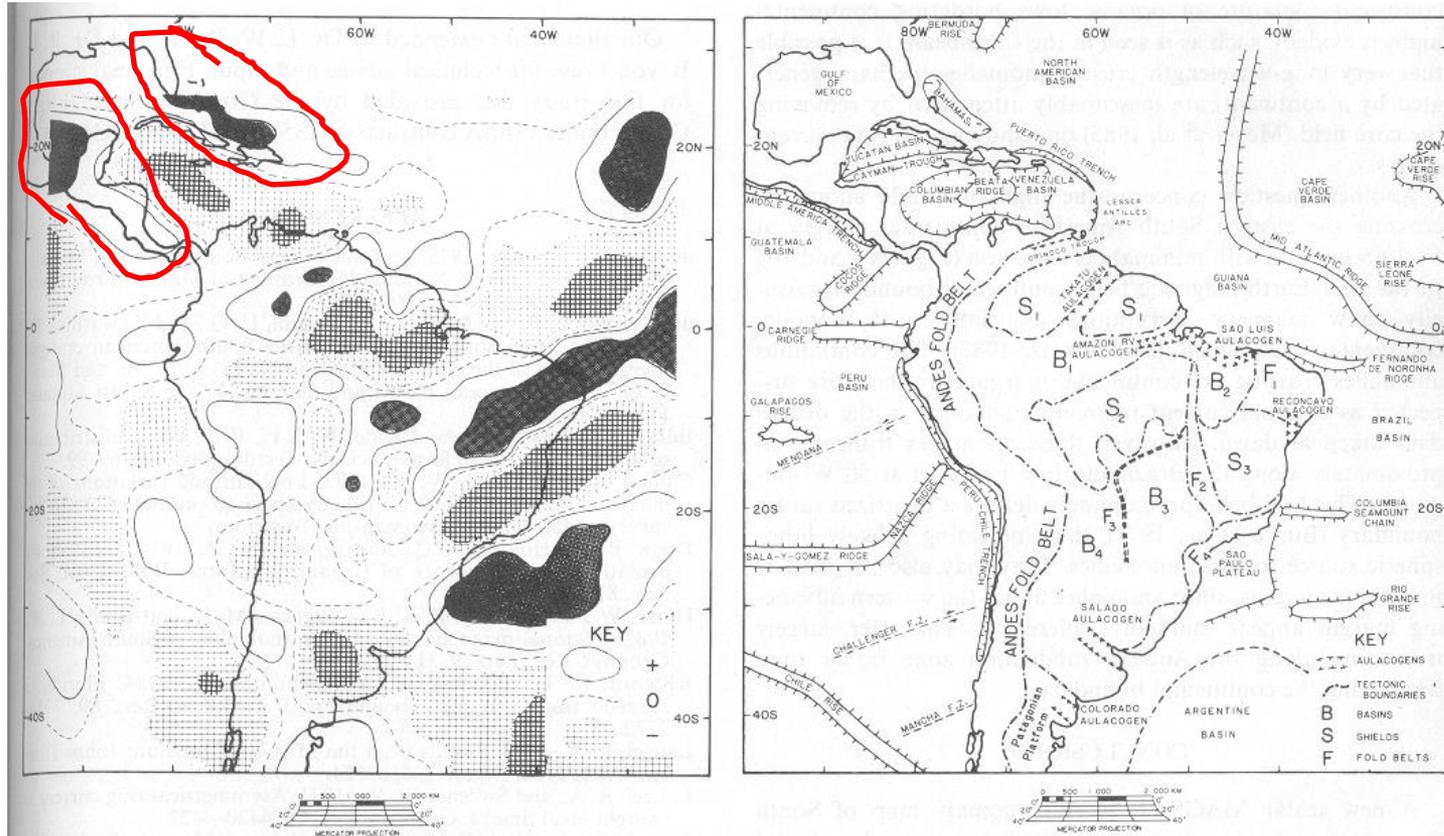


FIG. 11. Comparison of major South American tectonic features with shaded reduced-to-pole anomaly map. (Right) Generalized tectonic map of South America and adjacent marine areas identified as S_1 —Guyana shield; S_2 —Central Brazilian shield; S_3 —Sao Francisco craton; B_1 —Amazon Basin; B_2 —Parnaiba Basin; B_3 —Parana Basin; B_4 —Chaco Basin; F_1 —Caririan fold belt; F_2 —Braziliano fold belt; F_3 —Paraguay-Arguaia fold belt; F_4 —Riberia fold belt. (Left) Reduced-to-pole magnetic anomaly map of South America at 450 km altitude. The zero line is dashed, positive anomalies are shaded in a dot pattern, and negative anomalies are in a ruled pattern with greater intensities darker.

Escudos Pré-Cambrianos da América do Sul são caracterizados por altos magnéticos, como exemplo tem-se o escudo da Guiana, com a anomalia que parece acompanhar o limite tectônico, o escudo do Brasil Central com alto magnético.

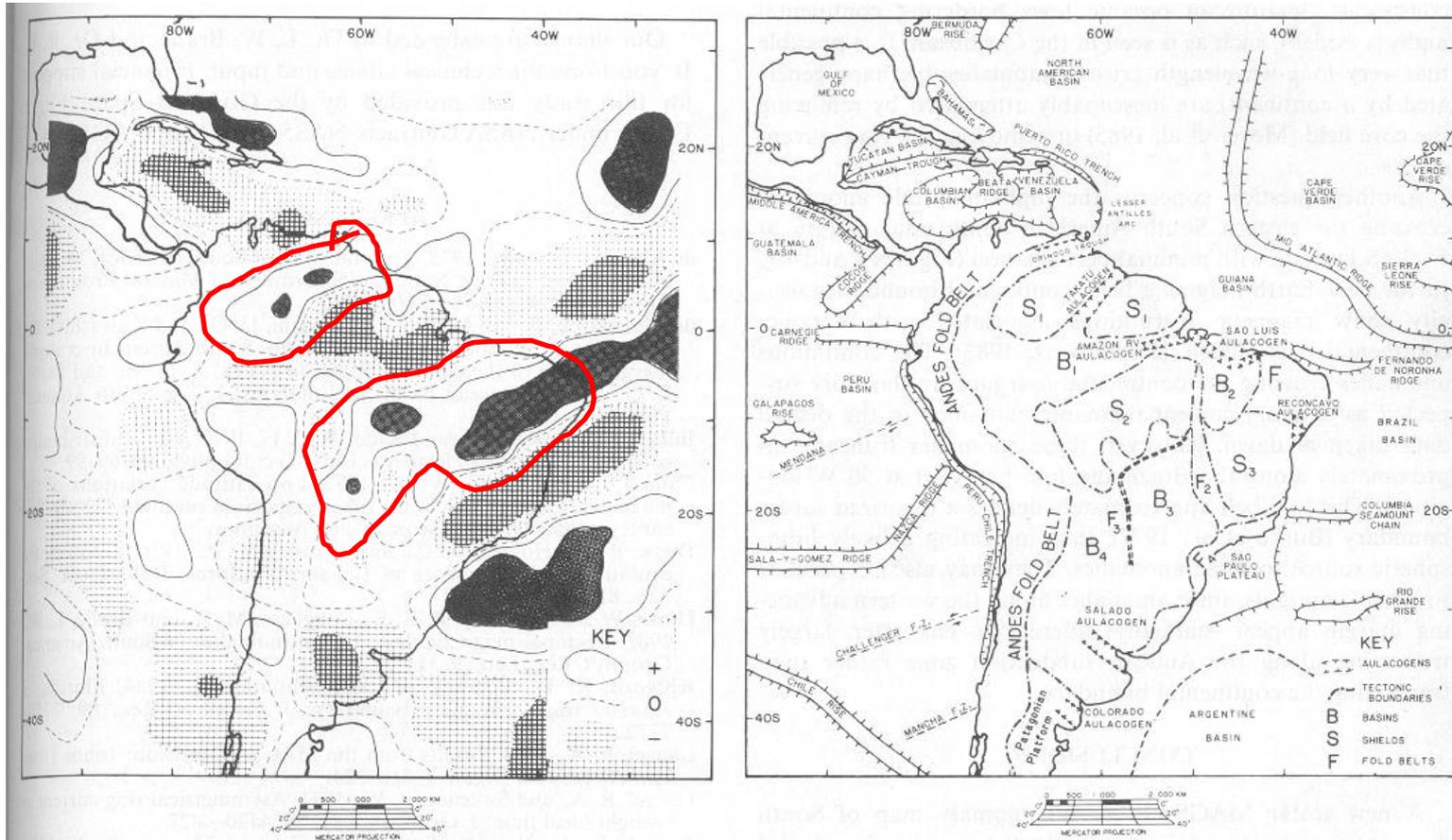


FIG. 11. Comparison of major South American tectonic features with shaded reduced-to-pole anomaly map. (Right) Generalized tectonic map of South America and adjacent marine areas identified as S₁—Guyana shield; S₂—Central Brazilian shield; S₃—Sao Francisco craton; B₁—Amazon Basin; B₂—Parnaiba Basin; B₃—Parana Basin; B₄—Chaco Basin; F₁—Caririan fold belt; F₂—Brazilian fold belt; F₃—Paraguay-Arguaya fold belt; F₄—Riberia fold belt. (Left) Reduced-to-pole magnetic anomaly map of South America at 450 km altitude. The zero line is dashed, positive anomalies are shaded in a dot pattern, and negative anomalies are in a ruled pattern with greater intensities darker.

Regiões de rifte apresentam anomalia negativa, como o rifte de Tacutú, Amazonas e Salado. O rifte afina a crosta continental trazendo para mais próxima da superfície a isoterma da Temperatura de Curie com o aumento de fluxo de calor na área.

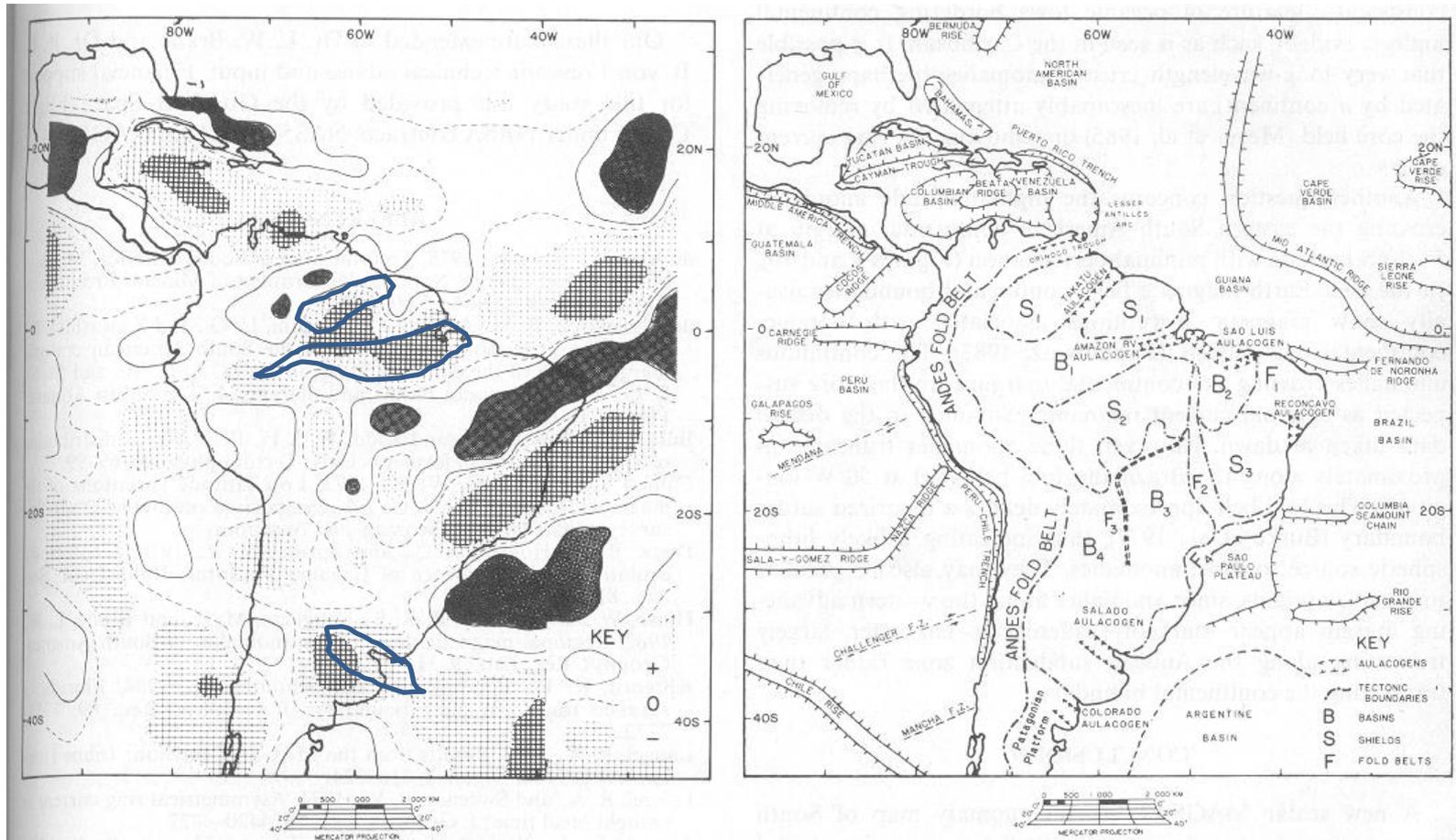


FIG. 11. Comparison of major South American tectonic features with shaded reduced-to-pole anomaly map. (Right) Generalized tectonic map of South America and adjacent marine areas identified as S₁—Guyana shield; S₂—Central Brazilian shield; S₃—Sao Francisco craton; B₁—Amazon Basin; B₂—Parnaiba Basin; B₃—Parana Basin; B₄—Chaco Basin; F₁—Caririan fold belt; F₂—Braziliano fold belt; F₃—Paraguay-Arguaia fold belt; F₄—Riberia fold belt. (Left) Reduced-to-pole magnetic anomaly map of South America at 450 km altitude. The zero line is dashed, positive anomalies are shaded in a dot pattern, and negative anomalies are in a ruled pattern with greater intensities darker.

Campo magnetico

CHAMP satellite and terrestrial magnetic data help define the tectonic model for South America and resolve the lingering problem of the pre-break-up fit of the South Atlantic Ocean

J. DEREK FAIRHEAD, GETECH, Leeds, U.K.

STEFAN MAUS, GeoForschungsZentrum, Potsdam, Germany

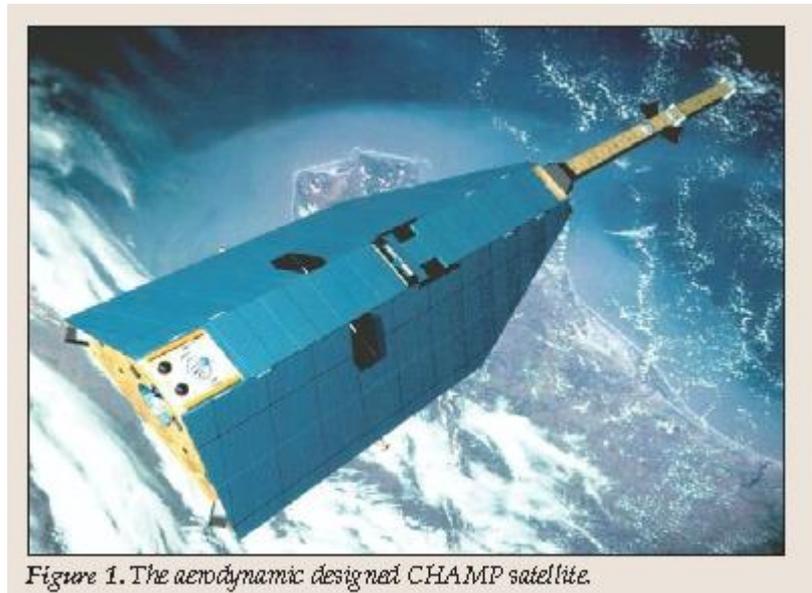


Figure 1. The aerodynamic designed CHAMP satellite.

<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/champ>

Satélite CHAMP:

- Dados para o campo magnético crustal, no intervalo de comprimento de onda entre 300 e 3000 km.
- Os dados para o campo crustal são obtidos na noite solar, diminuindo o número de correções. O satélite tem órbita circular, decrescendo de 450 para 300 km.
- Foi lançado em julho de 2000 e deve ficar operante até 2005. Operou até 2010.
- **End of the CHAMP mission:** After more than 10 years in orbit and 3718 days of providing information to researchers on the ground, the satellite burnt up on September 19, 2010 over the sea of Okhotsk, somewhere between eastern Siberia, the Russian peninsula of Kamchatka, and Japan.
- Magnetômetros de fluxgate e Overhauser (ver slides 39-41) com precisão de 0,1 nT.
- Coleta dados durante o dia e noite solar e completa 6500 órbitas por ano. Os dados da noite solar, apropriados para o campo crustal, livres de períodos de tempestade solar, perfazem cerca de 2000 meia órbitas com cerca de 5 passagens por grau de longitude por ano.
- Campo crustal foi obtido pela remoção do campo de origem nuclear, campos ionosféricos e magnetosféricos e campo induzido, com a ajuda de dados de outros satélites que têm órbita mais elevada. O campo crustal restante, à altitude de 400 km, é mostrado na figura 2.

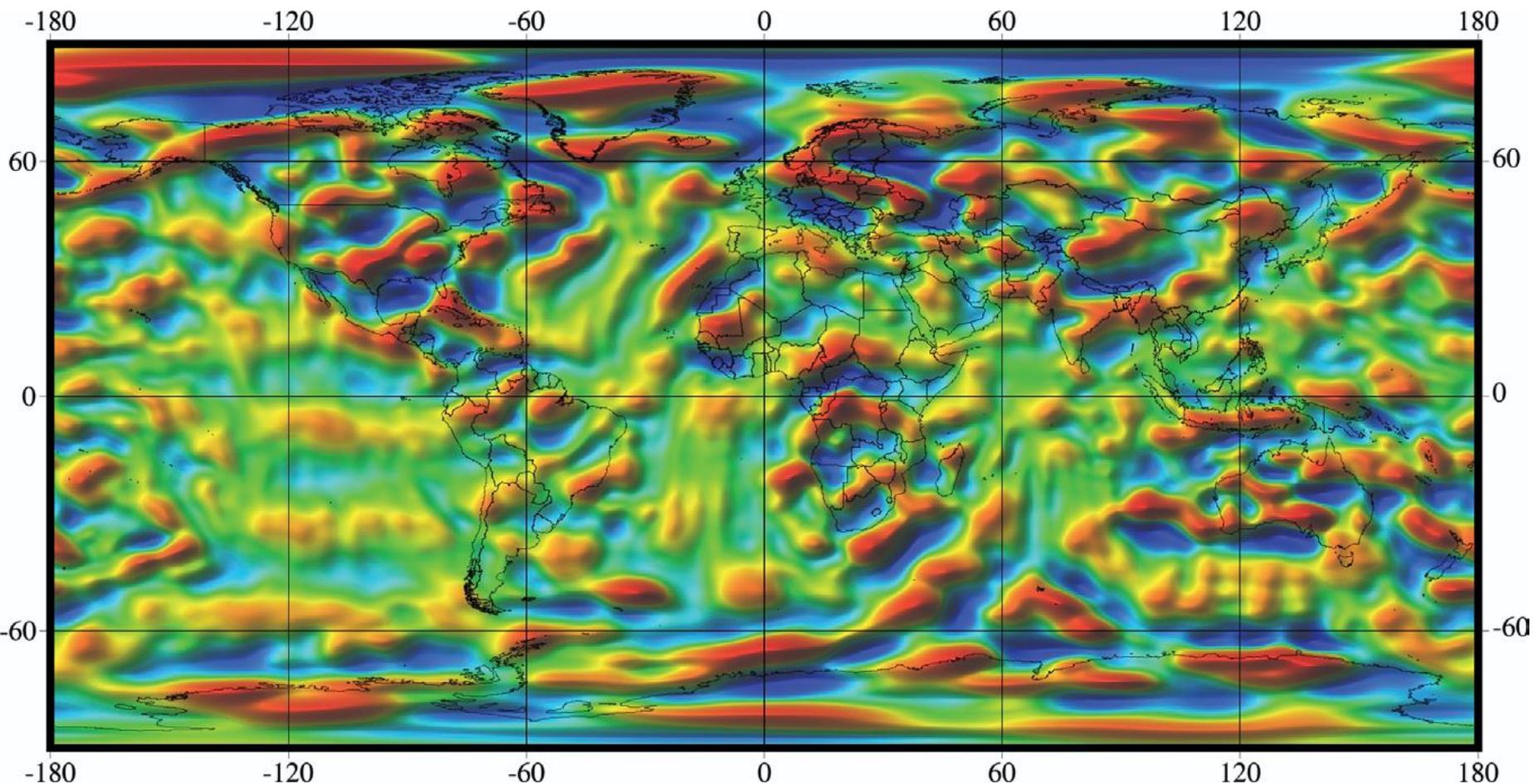


Figure 2. The crustal TMI with anomaly amplitudes varying within ± 14 nT. Latitude and longitude lines at 60° intervals superimposed.

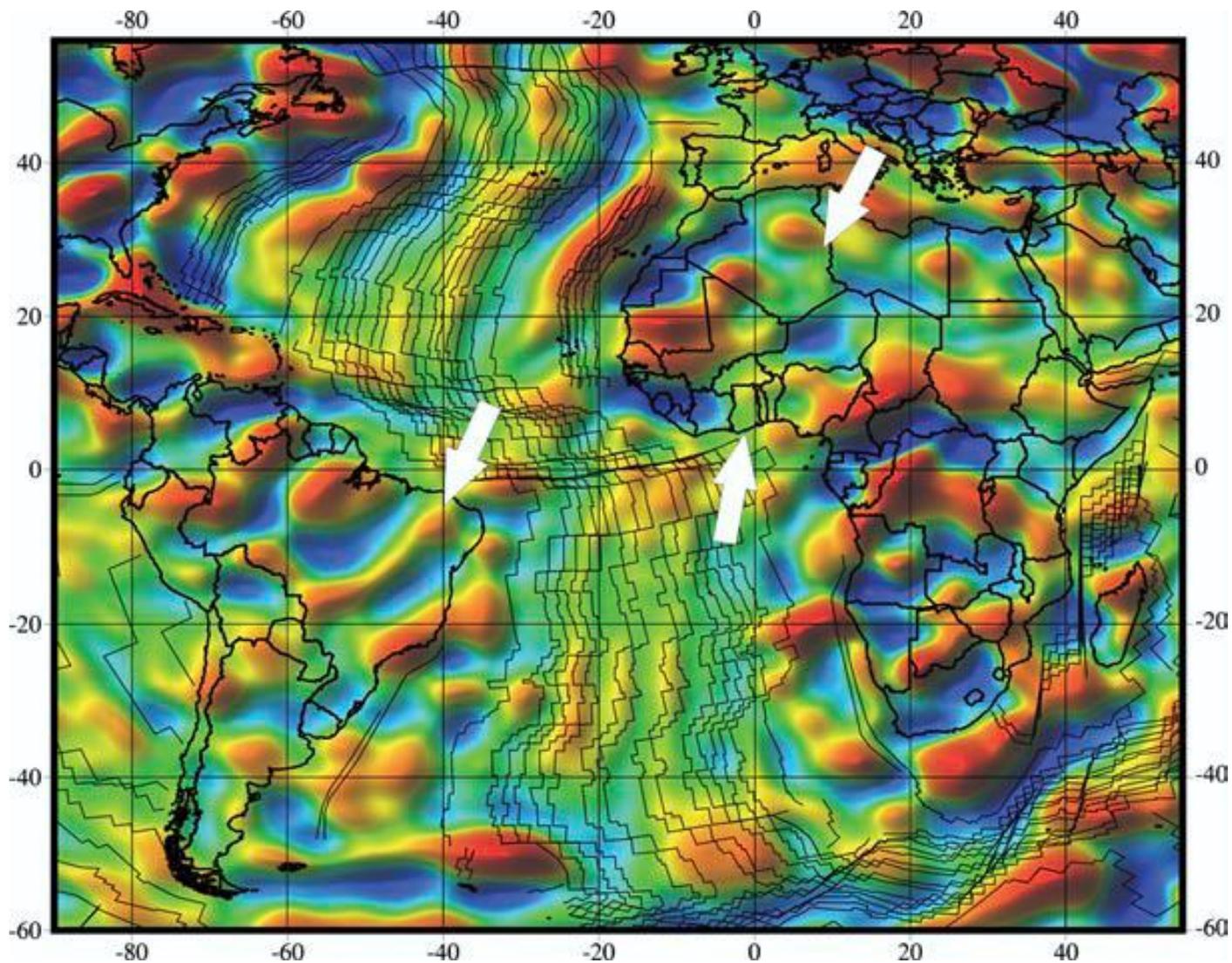


Figure 4. Vertical derivative (VDR) of the TMI at 400-km altitude with magnetic isochrons superimposed. (ver slide 46)

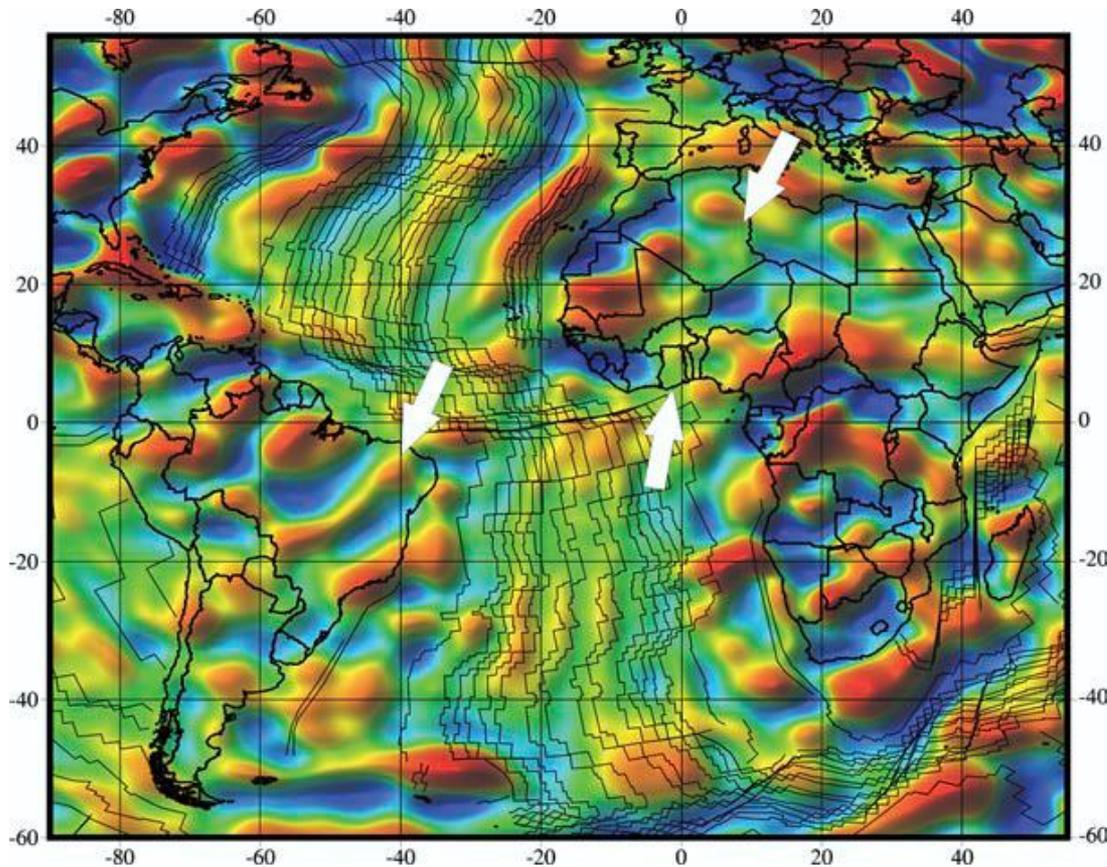


Figure 4. Vertical derivative (VDR) of the TMI at 400-km altitude with magnetic isochrons superimposed.

Anomalias magnéticas nos oceanos:

- Anomalias de direção N-S e de baixa amplitude.
- Para o Atlântico Sul, figura 4, é clara a simetria ao redor do eixo da dorsal (isócrona de 0 Ma) com um desvio em direção a SW, seguindo a direção das isócronas, perto da elevação de Walvis.
- Essa anomalia tem cerca de 5° de largura e se apresentam como linhas de monopolos (pólos positivos ou negativos apenas), consistente com corpos de geometria 2D ao longo da direção NS.
- Próximo ao equador magnético essa tendência torna-se menos clara. As anomalias são deslocadas na direção E-W próximo à zona de fratura equatorial.

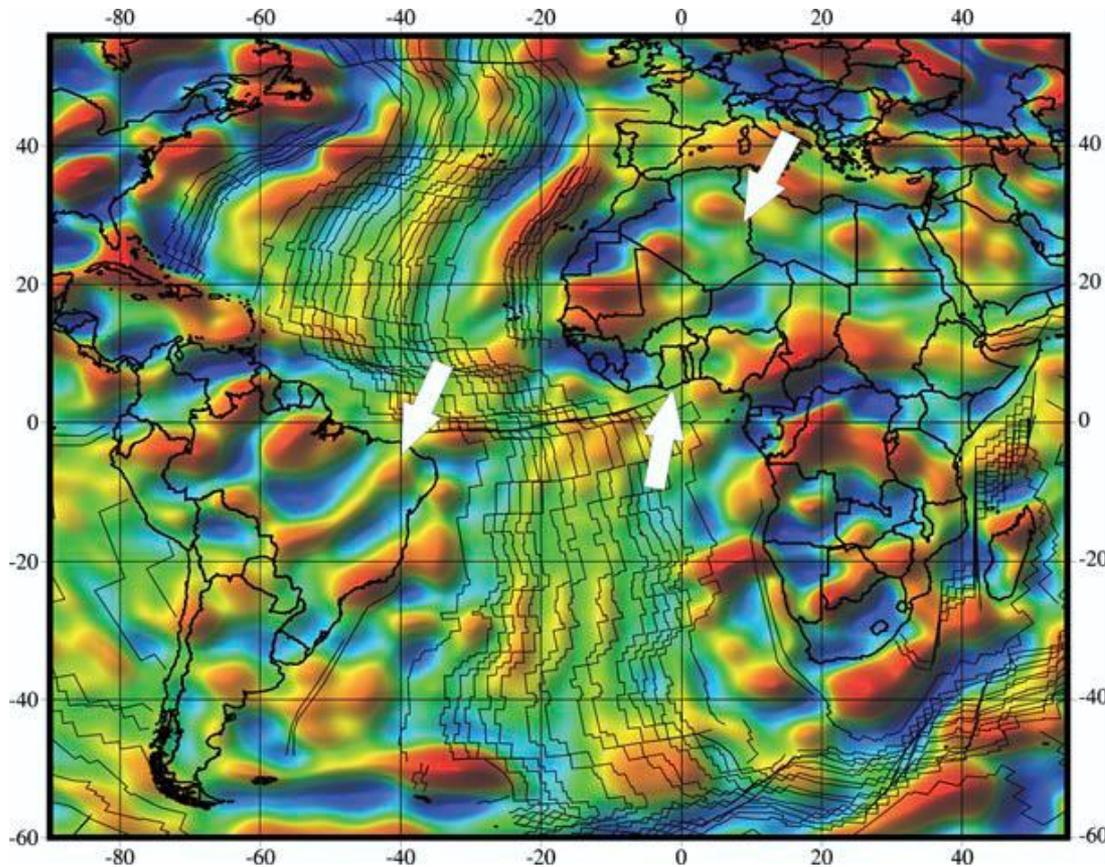


Figure 4. Vertical derivative (VDR) of the TMI at 400-km altitude with magnetic isochrons superimposed.

Anomalias magnéticas nos oceanos:

- Para o atlântico Central, as anomalias mudam da tendência NS para NE-SW, acima de 25°N, e apresentam o caráter de linhas de dipolos e assimetria ao redor do eixo da dorsal.
- Para a zona de quietude do Cretáceo, entre 83 e 118 Ma, as anomalias tornam-se altamente variadas e menos organizadas. Uma hipótese seria o enfraquecimento da magnetização remanescente da crosta oceânica com o tempo e aquisição de nova magnetização dos eventos vulcânicos e termais mais recentes.

Anomalias magnéticas nos oceanos:

- Para remover a complexidade do efeito dipolar das anomalias pode-se fazer
 - redução ao pólo, que é instável na região do equador magnético, ou
 - determinar o sinal analítico.
-
- O sinal analítico é estável para anomalias bem definidas, mas instável para anomalias fracas como as encontradas nos oceanos. No caso dos continentes o sinal analítico modificou a forma das anomalias sobre o escudo da Guiana e sobre o escudo de Bangui (África), tornando-as mais parecidas com os limites tectônicos conhecidos dessas feições. O resultado do sinal analítico pode ser visto na figura 5.

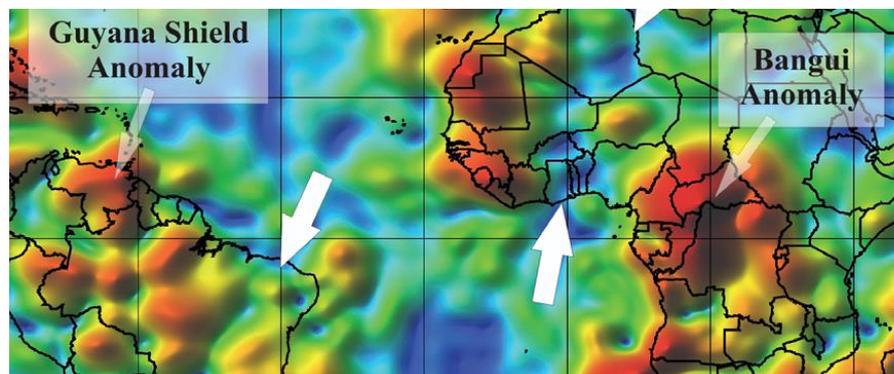
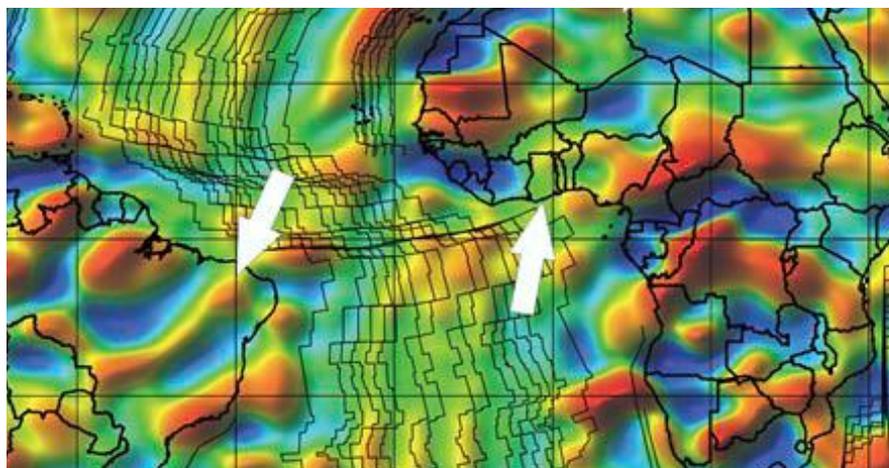
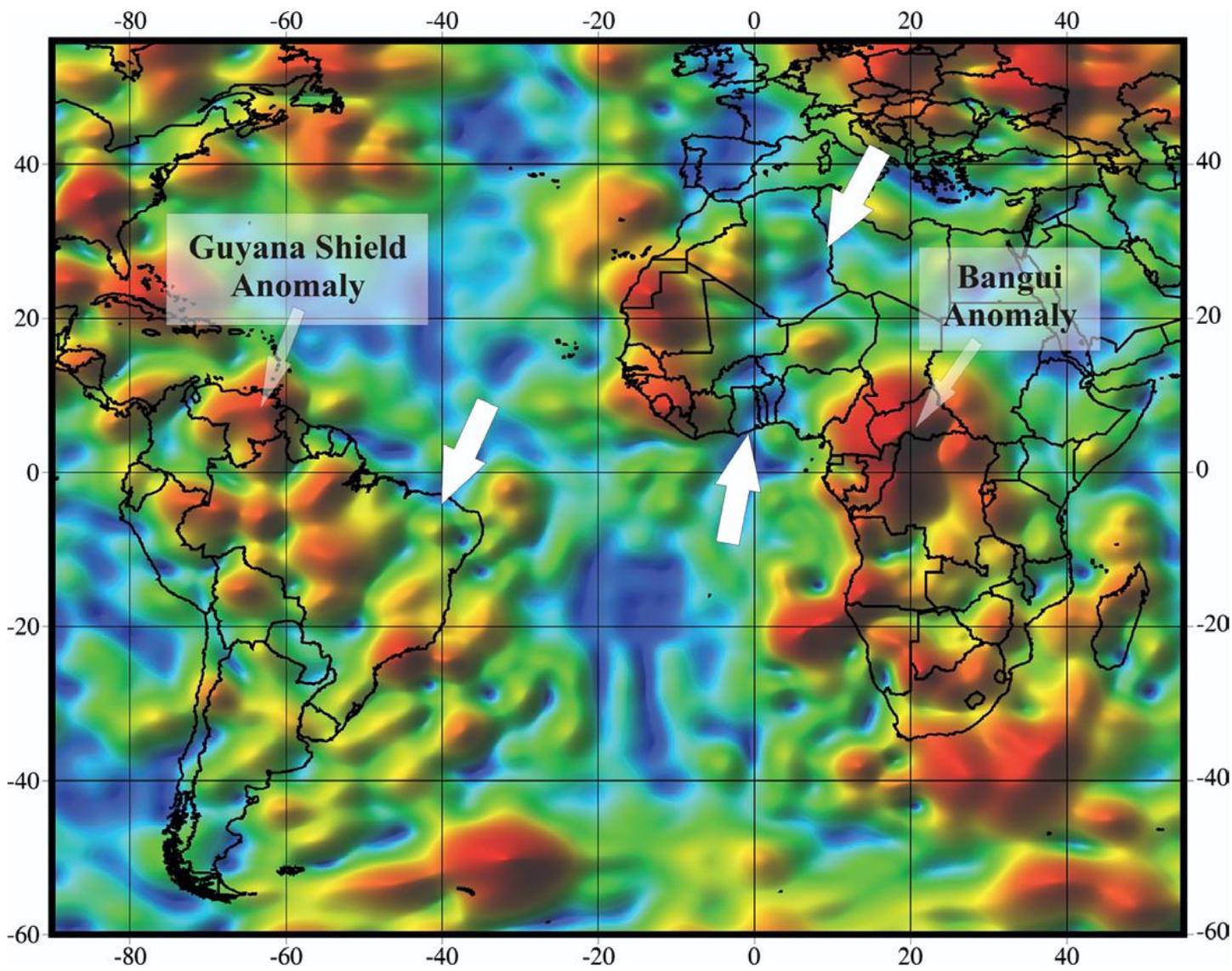


Figure 5. Analytic signal derivative showing the Bangui and Guyana Shield anomalies. The arrows indicate the northern limit of the Trans Brazilian Lineament in Brazil and its pre-drift continuation as the Kandi fault zone through West Africa into Algeria



Dados do Brasil:

- Compara os dados da figura 5 com os dados da compilação de levantamentos aeromagnéticos reduzidos para uma rede de 1 km de espaçamento, figura 6.
- Destaca-se uma grande zona de sutura, o Lineamento Transbrasiliano, que pode ser traçado da costa NE do Brasil, atravessando o continente até o Paraguai.
- Essa sutura foi importante durante todo o tempo de vida do Gondwana [e baliza boa parte dos domínios brasileiros e pré-brasileiros discutidos por Almeida e outros].
- O Lineamento aparece como uma zona de anomalias de baixa amplitude separando o craton do São Francisco, a SW, do craton do Amazonas, no NW.
- Tem cerca de 350 km de largura na sua porção central com limite NW associado com anomalias lineares (figura 6).
- Corresponde com um alto magnético de direção NNE-SSW na figura 2, com cerca de 2 nT de amplitude, flanqueado por baixos magnéticos.
- O sinal analítico, figura 5, é pequeno. A interpretação é que essa é uma zona de crosta de baixa susceptibilidade magnética.

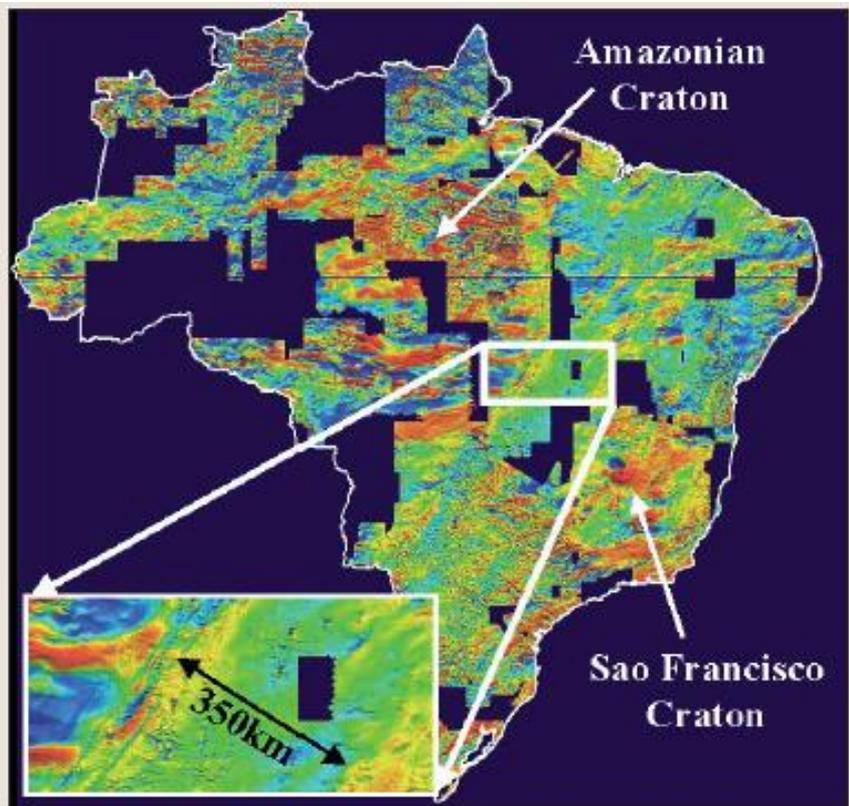
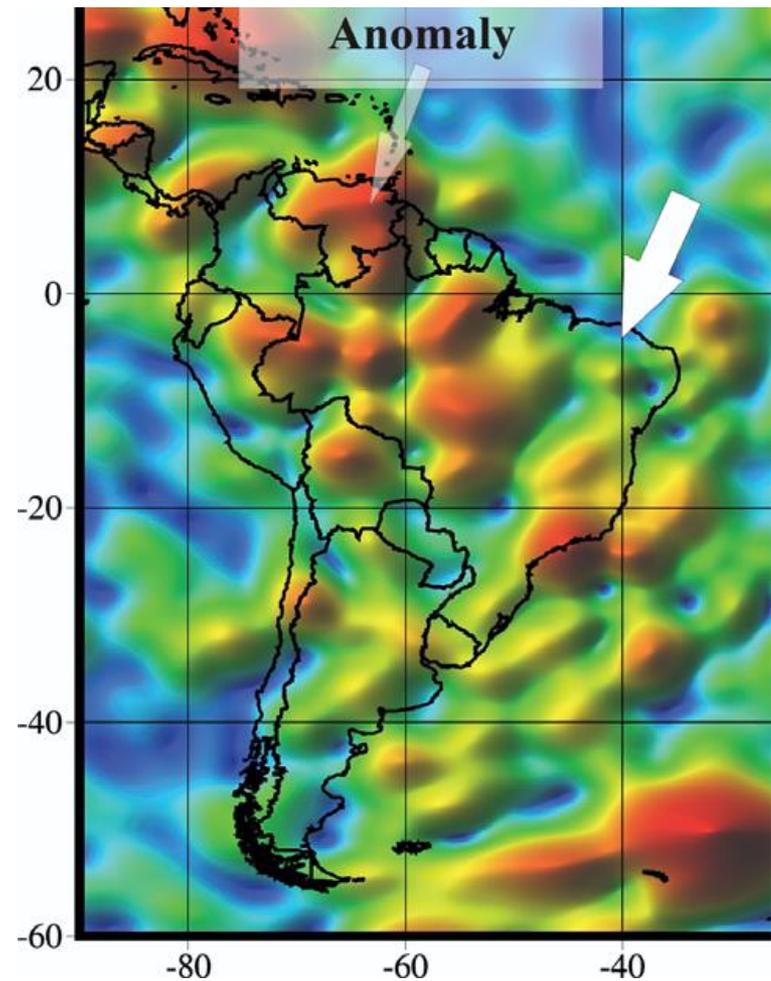
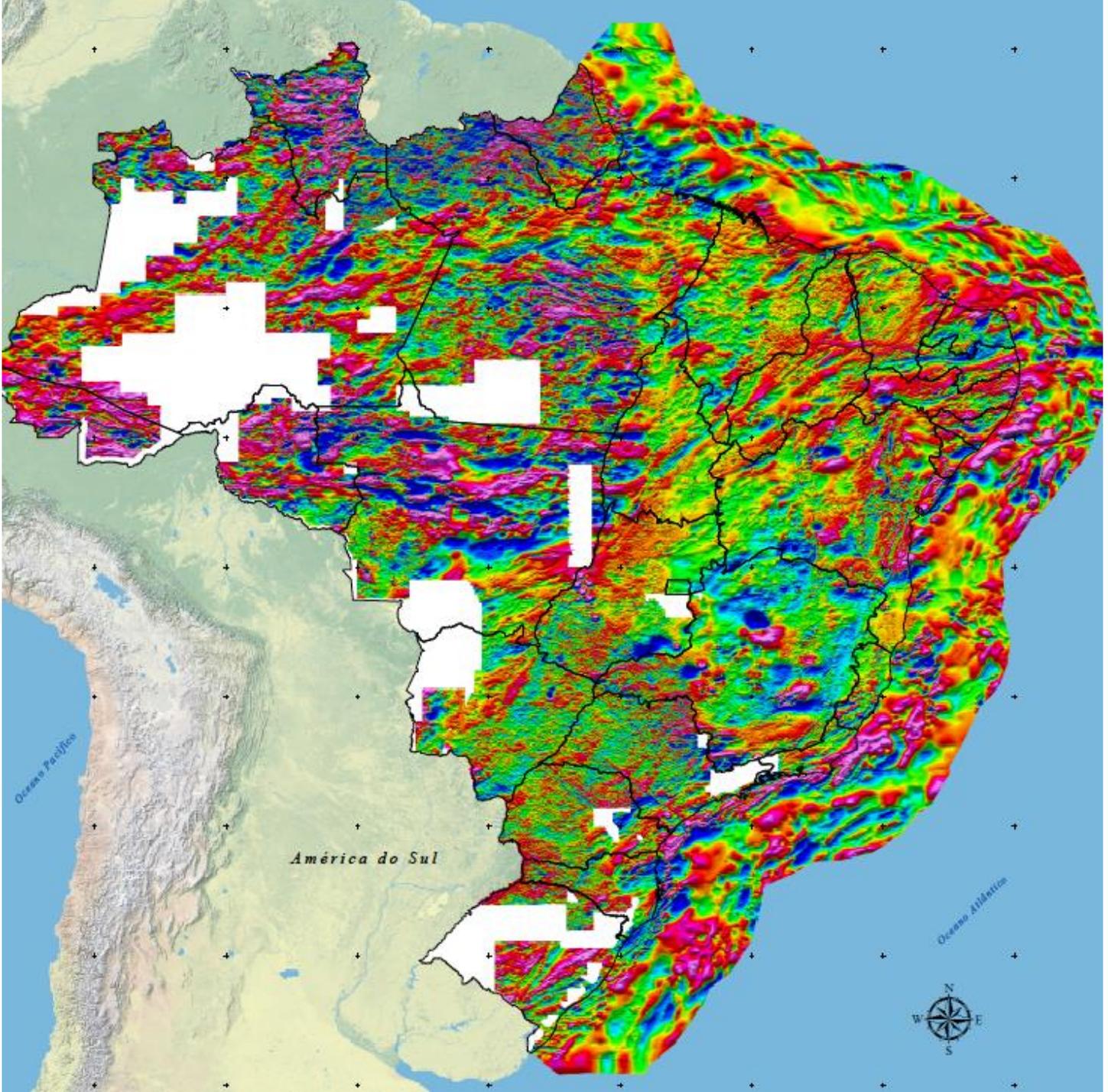
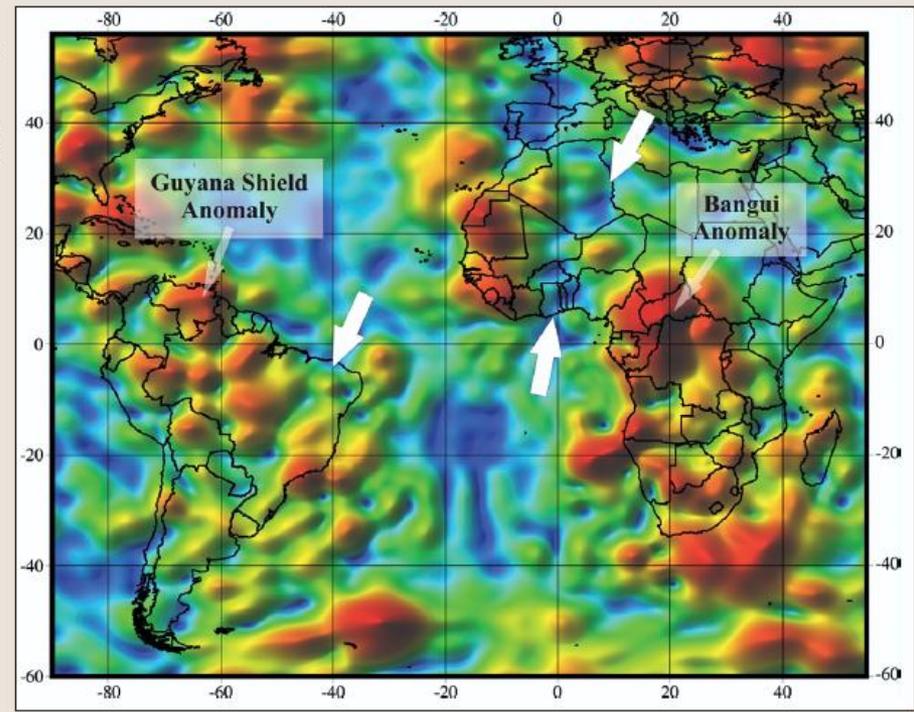
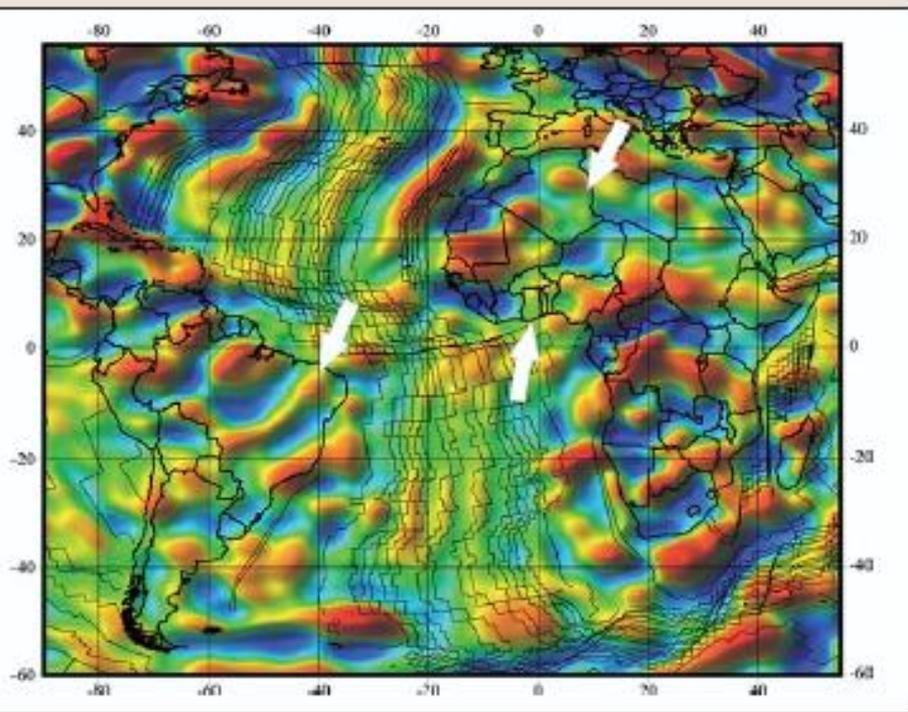


Figure 6. Image of the 1-km grid magnetic compilation of Brazil based on data sets from CPRM and Petrobras/ANP onshore data (for coverage see Figure 7).

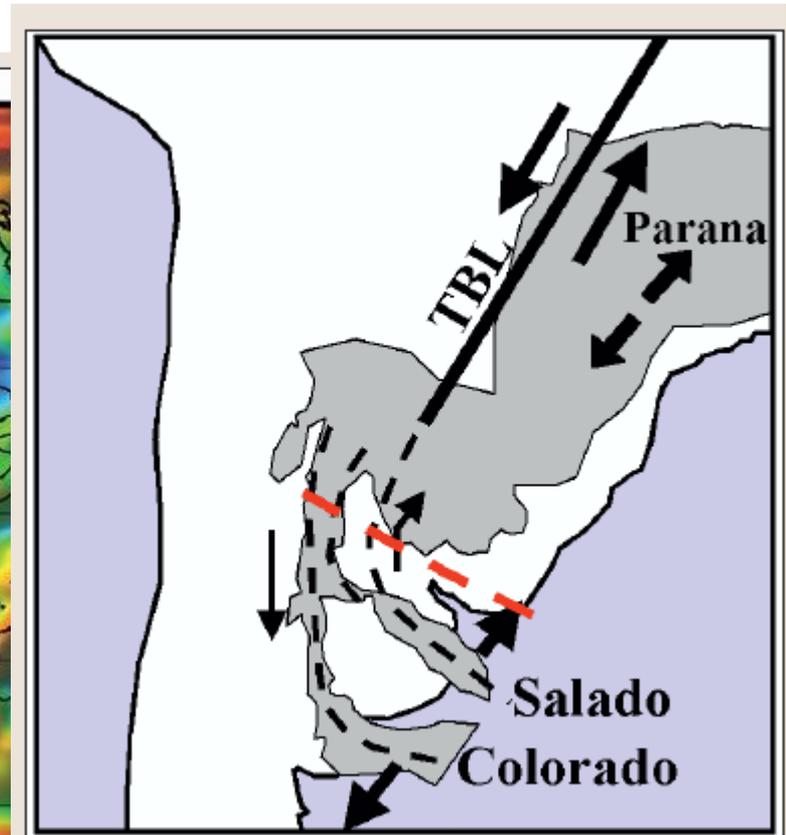
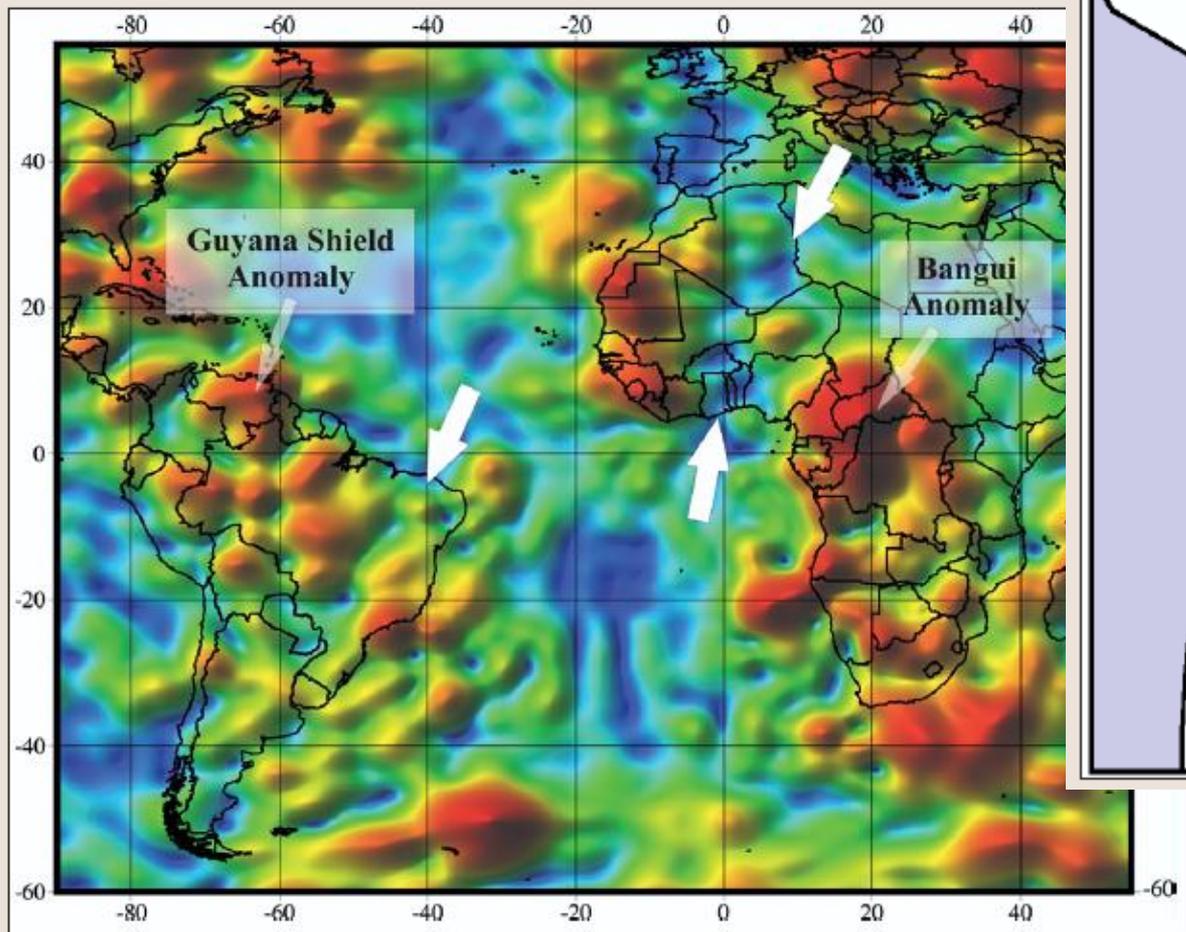




- A continuação do Lineamento pode ser vista em território africano, na república dos Camarões e no West África, em Benin.



- A continuação do lineamento no sudeste do Brasil pode ser associada a uma zona sísmica ao longo da margem oeste da bacia do Paraná e do Paraguai. A sua continuidade mais a sul é difícil de ser reconhecida. O sinal analítico sugere que esse lineamento termina com uma feição ortogonal, de direção NW-SE paralela à bacia de Salado (figura 8).



- Modelo tectônico proposto; movimento cisalhante sinistral para o lineamento, transformando-se em um sistema extensional de direção SE no norte da Argentina, formando uma série de bacias. Esse modelo tem correspondência com o proposto para a África, na formação da depressão de Benue.
- Usando o modelo acima, os autores sugerem que houve cerca de 100 km de movimento cisalhante ao longo da depressão de Benue, na África, e que a mesma quantidade de movimento deve ter ocorrido ao longo do Lineamento Transbrasiliano, no início do Mesozóico. Considerando esses movimentos cisalhantes, obtém-se um ajuste melhor entre os continentes na porção NE do América do Sul.

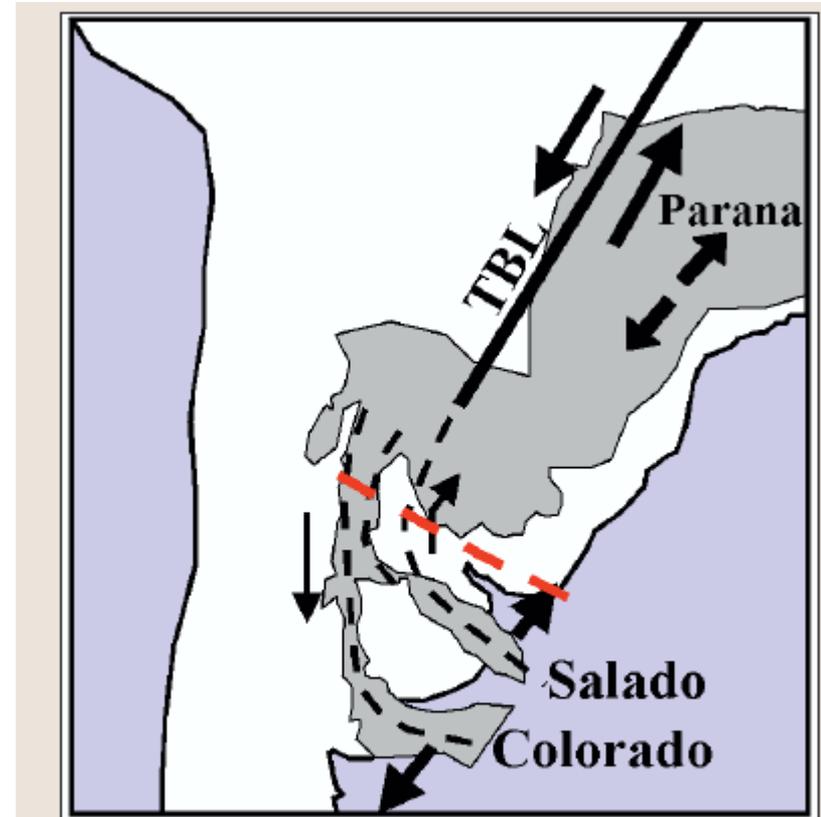


Figure 8. Proposed regional tectonic model for southern South America. The transformation from shear to extension may be controlled by a possible fundamental change in the South America crust/lithosphere structure defined by the red dashed line, which delineates the maxima of the analytic signal derivative (Figure 5).

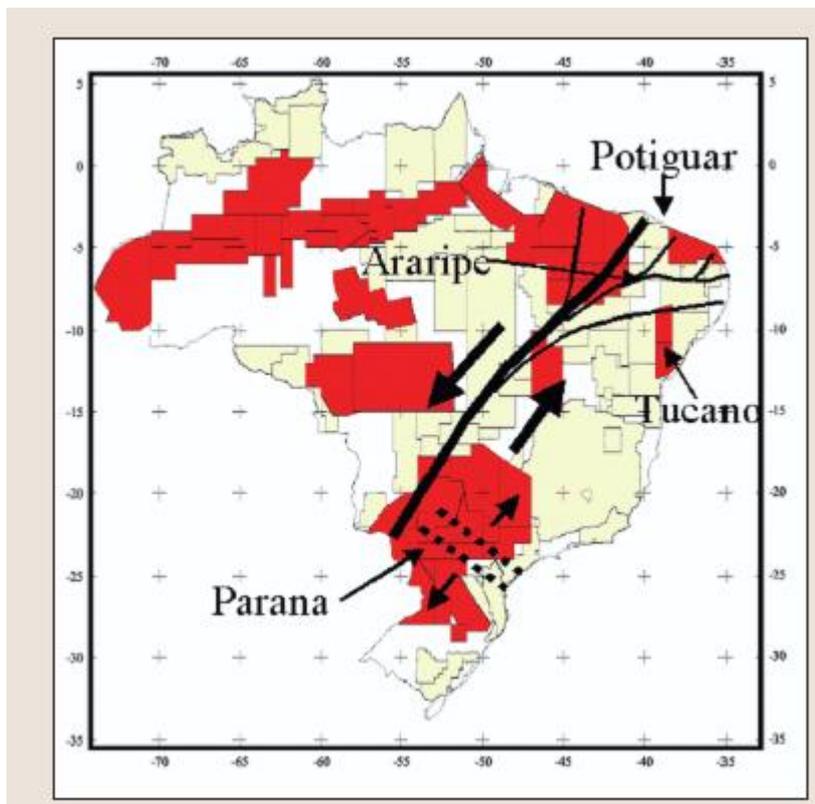


Figure 7. Aeromagnetic coverage for onshore Brazil showing CPRM data (yellow) and Petrobras/ANP data (red). Arrows show sense of sinistral motion of the Trans Brazilian Lineament (solid black line) and the stress direction within the Parana Basin to generate the dyke injection zone (black squares). Basins linked to the TBL are identified.

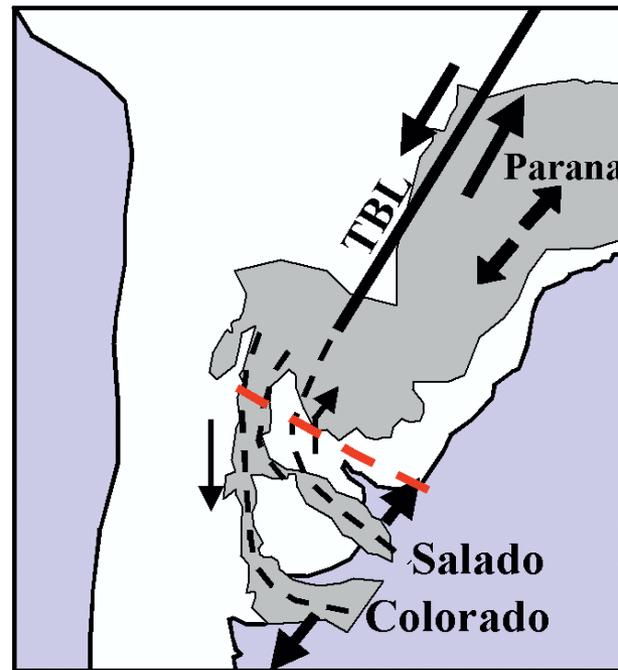
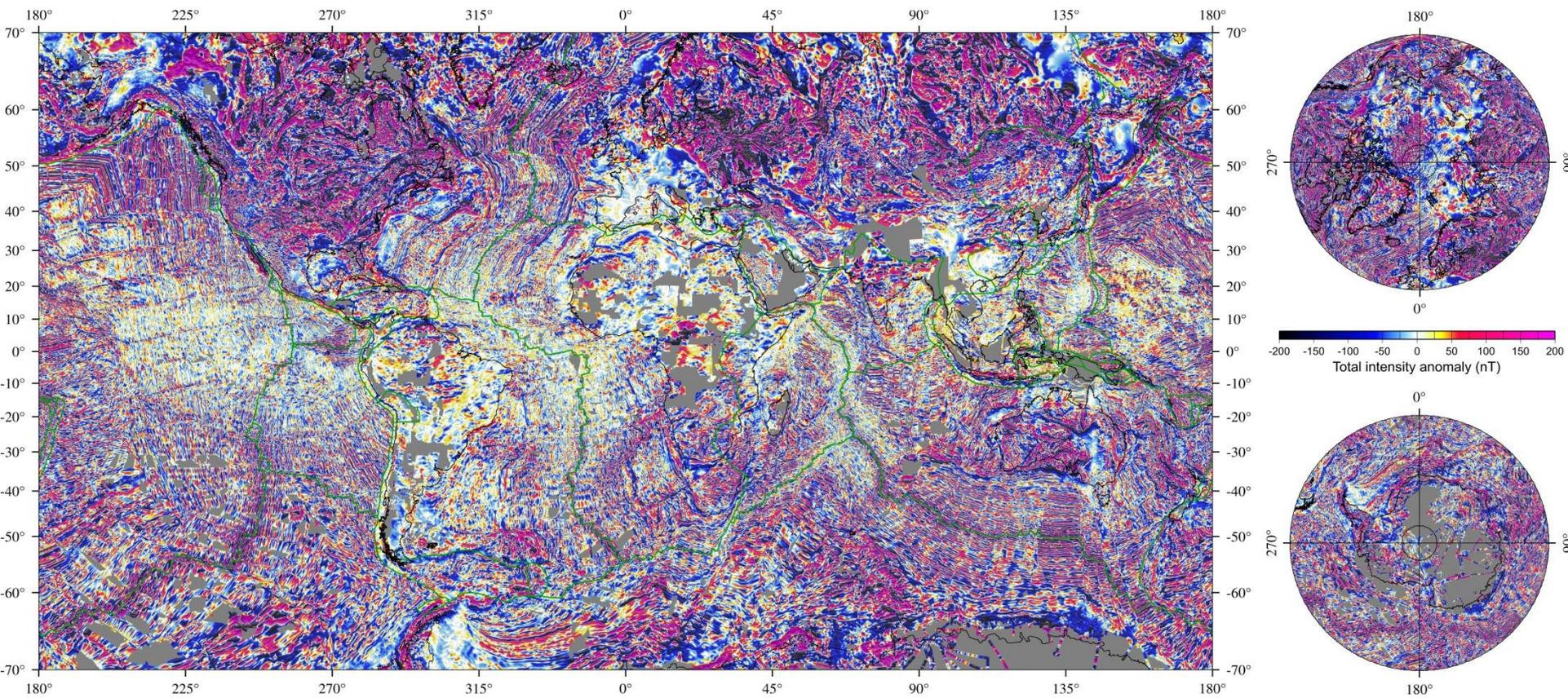


Figure 8. Proposed regional tectonic model for southern South America. The transformation from shear to extension may be controlled by a possible fundamental change in the South America crust/lithosphere structure defined by the red dashed line, which delineates the maxima of the analytic signal derivative (Figure 5).



Dados do Champ.

Modelo globais

- EMAG2 is compiled from [satellite](#), [ship](#), and [airborne](#) magnetic measurements. Magnetic anomalies result from geologic features enhancing or depressing the local magnetic field. These maps increase knowledge of subsurface structure and composition of the Earth's crust. Global magnetic anomaly grids are used for resource exploration, navigation where GPS is unavailable (submarine, directional drilling, etc.), and for studying the evolution of the lithosphere.
<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/emag2.html>
- T curie – ver slide 48

Figure 7. Maps of the lithospheric field vertical component Z (top) and of the horizontal component H (bottom) at Earth's surface (ellipsoid) from the LCS-1 model spherical harmonic degrees $n = 16-185$. Red curves represent QD latitudes of $\pm 55^\circ$, respectively 0° , while green curves show isochrones.

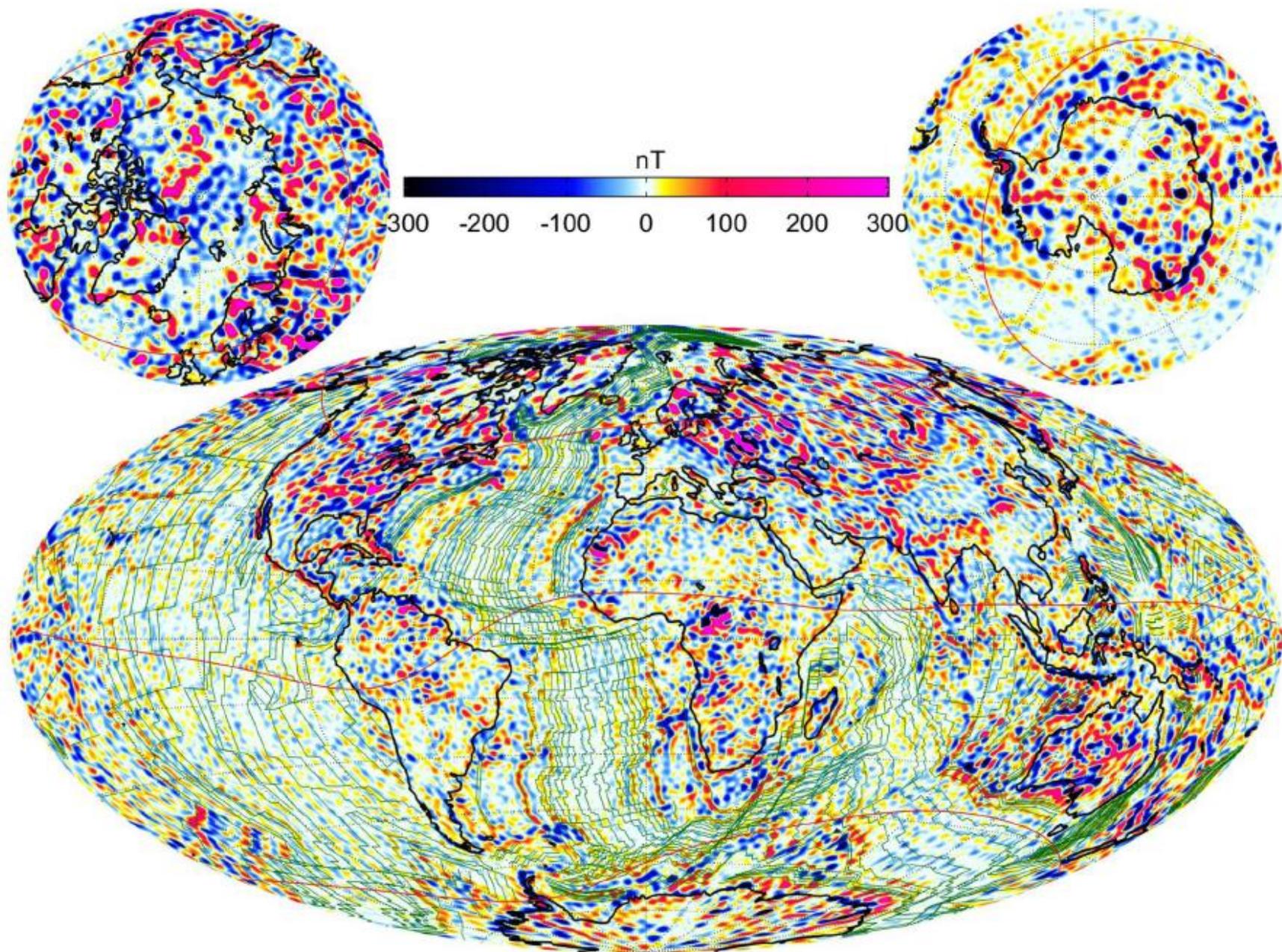
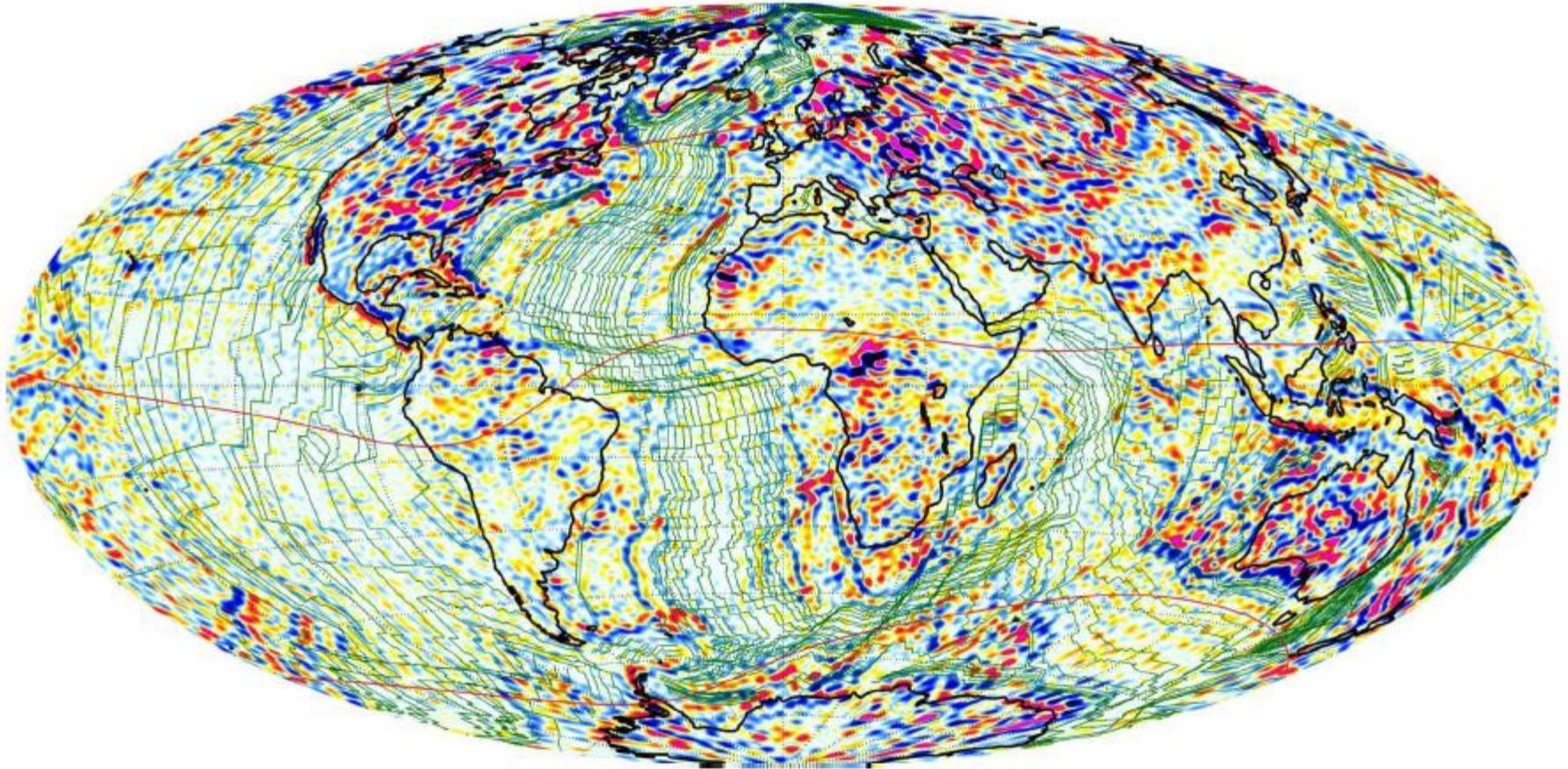


Figure 7. Maps of the lithospheric field vertical component Z (top) and of scalar anomaly F (bottom) at Earth's surface (ellipsoid) from the LCS-1 model, for spherical harmonic degrees $n = 16-185$. Red curves represent QD latitudes of $\pm 55^\circ$, respectively 0° , while green curves show isochrones.



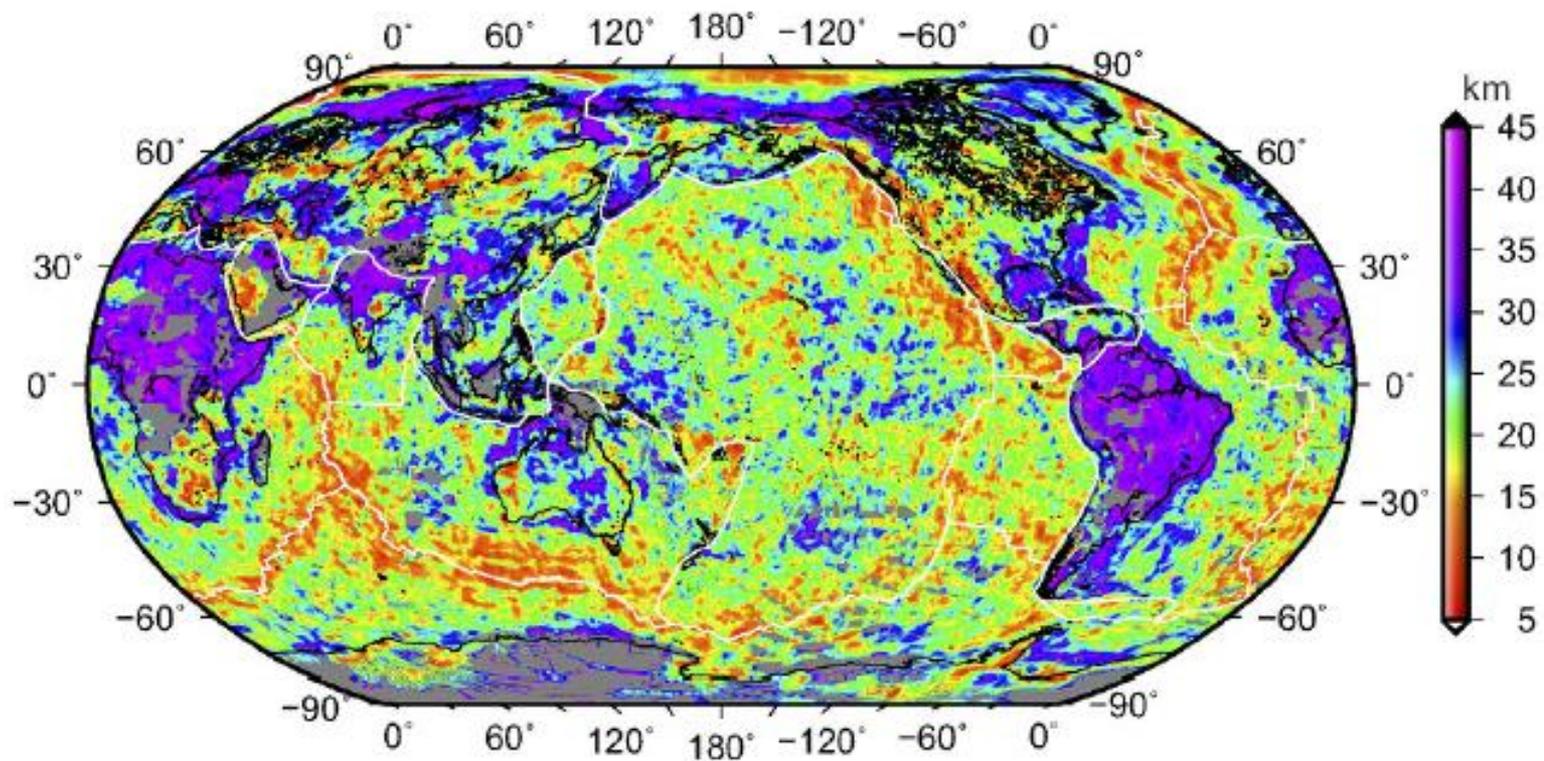
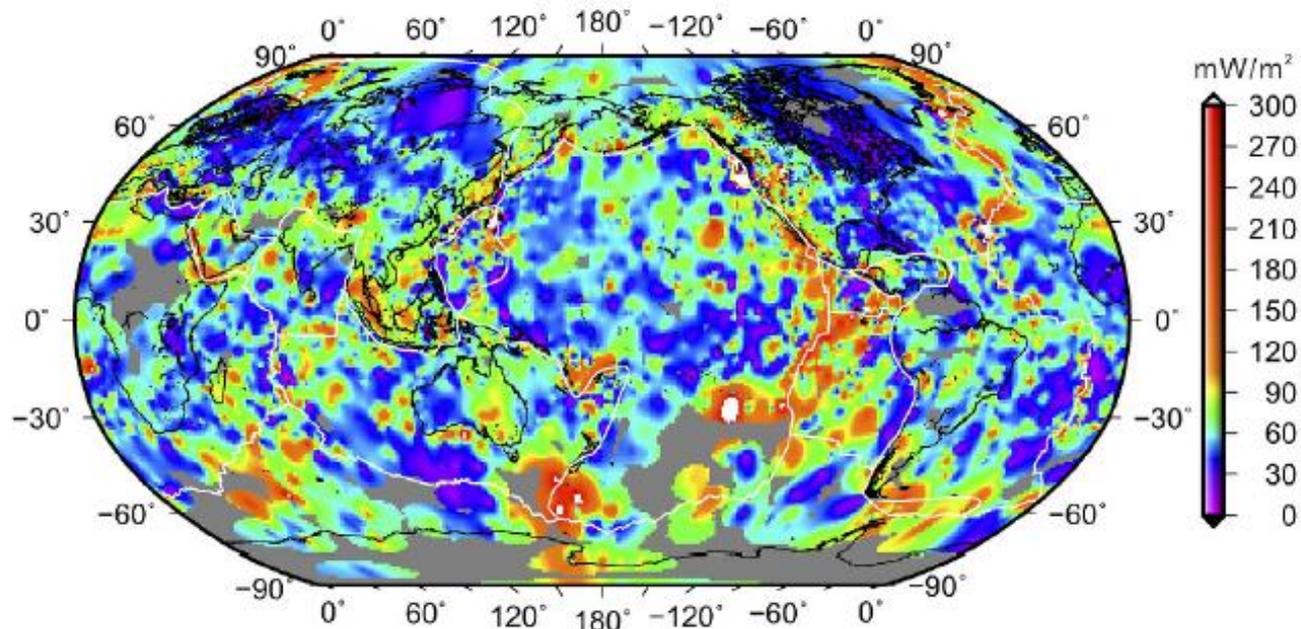
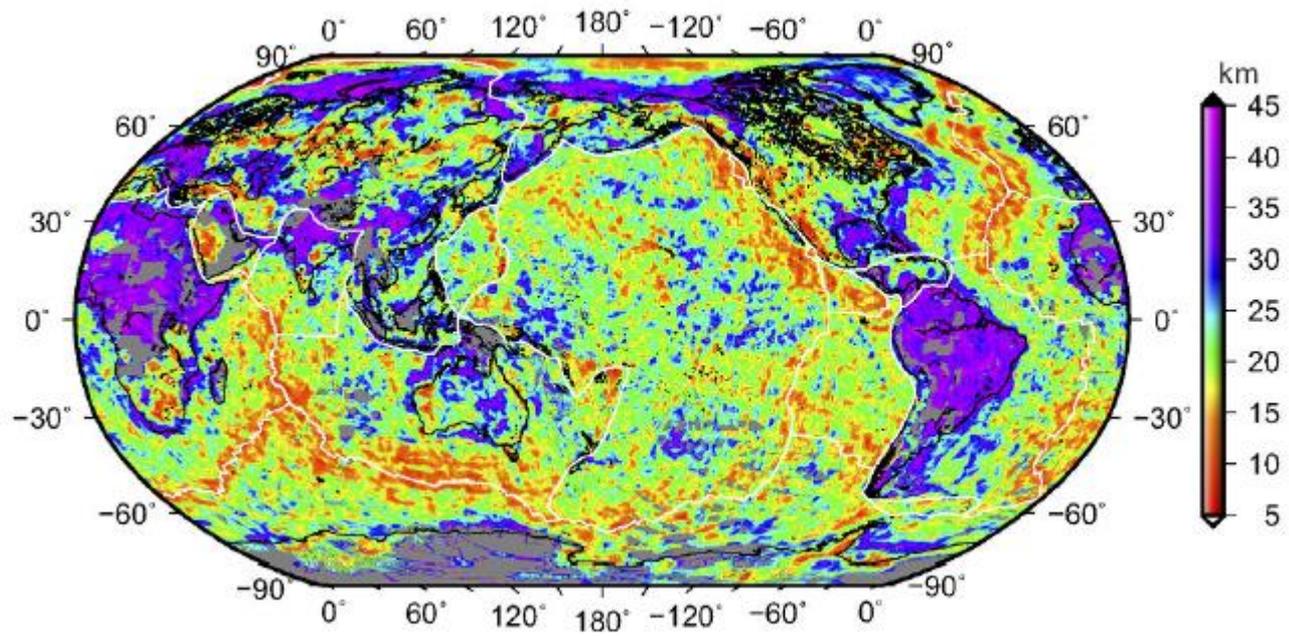


Figure 1. The global reference Curie-point depth model (GCDM) estimated in this study from the Earth Magnetic Anomaly Grid of arc-minute resolution (EMAG2¹⁶). White lines mark the major plate boundaries³². Map is generated using the USGS potential field software^{29,30} and software GMT version 5.2.1 (<http://gmt.soest.hawaii.edu/>)³¹.



Fluxo de calor



Profundidade da T Curie

Campo magnético da AS a partir do EMAG2

