

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

BARBARA BARRIO CAPRARA

**ANÁLISE DAS COMPONENTES HORIZONTAL E VERTICAL DO CAMPO
GEOMAGNÉTICO NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO
SUL**

**CAÇAPAVA DO SUL – RS
2019**

BARBARA BARRIO CAPRARA

**ANÁLISE DAS COMPONENTES HORIZONTAL E VERTICAL DO CAMPO
GEOMAGNÉTICO NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO
SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geofísica da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geofísica.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Lopes
Balladares

Coorientador: Prof. Dr. Éverton Frigo

**CAÇAPAVA DO SUL-RS
2019**

C251a Caprara, Barbara Barrio

ANÁLISE DAS COMPONENTES HORIZONTAL E VERTICAL DO CAMPO
GEOMAGNÉTICO NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL
/ Barbara Barrio Caprara.

94 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOFÍSICA, 2019.

"Orientação: Aline Lopes Balladares".

1. Geomagnetismo. I. Título.

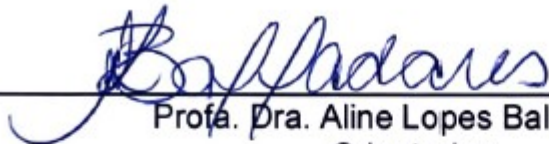
BARBARA BARRIO CAPRARA

**ANÁLISE DAS COMPONENTES HORIZONTAL E VERTICAL DO CAMPO
GEOMAGNÉTICO NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO
SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geofísica da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geofísica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 09/12/2019.

Banca examinadora:



Prof. Dra. Aline Lopes Balladares
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Igor Antonio Cancela Melnik
UNIPAMPA



Prof. Dr. Maximilian Fries
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus pais,
Sandra e Antonio, que me apoiaram em
cada decisão que tomei ao longo da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado durante toda a minha vida.

Aos meus pais, cujo apoio foi fundamental nos momentos mais difíceis dessa jornada.

Agradeço aos meus colegas Bruna, Guilherme, Matheus Cruz e Victor, assim como a todos os outros que estiveram presentes ao longo destes anos dando apoio e compartilhando conhecimento. E a Daniel Coppi por, além de ser um amigo presente, ainda compartilhar sua biblioteca steam e todas as valiosas dicas sobre Stardew Valley.

Gostaria de agradecer a professora Aline Balladares que aceitou ser minha orientadora neste trabalho, dispôs de seu tempo sempre que precisei e me forneceu ótimas reflexões sobre física.

Agradeço também a professora Cristiane Gomes que me deu a oportunidade de trabalhar com métodos potenciais, compartilhou ótimos ensinamentos sobre geologia e me permitiu adquirir uma grande carga de conhecimentos relacionados a práticas geofísicas.

Agradeço, por fim, ao professor Éverton Frigo por ter me dado a oportunidade de trabalhar com geomagnetismo, por ter compartilhado seu conhecimento ao longo de todos esses anos e principalmente pela paciência que teve comigo, foi muito gratificante trabalhar com alguém que eu tanto admirava.

“Somos apenas poeira de estrelas trazida à vida, depois dotada pelo universo do poder de se compreender – e nós apenas começamos”.

Neil deGrasse Tyson

RESUMO

O campo geomagnético é gerado principalmente no interior da Terra, possuindo uma geometria predominantemente dipolar, onde a intensidade geomagnética total (F) é resultante das contribuições de suas componentes horizontal (H) e vertical (Z). Devido a sua configuração dipolar espera-se que os valores mais altos de F sejam observados nas regiões polares, e os mais baixos na região equatorial, sendo o mesmo comportamento esperado para Z e o comportamento oposto para H , onde este apresentaria seus maiores valores na região equatorial e seus menores valores nas regiões polares, conferindo ao campo um caráter de escudo contra a entrada de partículas eletricamente carregadas (PECs). No entanto, estudos anteriores mostraram que o campo não se comporta desta forma, isso ocorre devido a uma anomalia magnética presente na região do atlântico sul, a anomalia magnética do atlântico sul (AMAS). Esta anomalia apresenta uma configuração não dipolar, agindo no campo como uma abertura para a entrada das PECs, possuindo fortes características como uma deriva para oeste, além do aumento de sua área de abrangência. Com o objetivo de analisar a importância da parcela não-dipolar para as componentes geomagnéticas H e Z , realizando uma investigação da variação temporal de intensidade destas componentes para os últimos 115 anos. Resultados mostraram a influência da parcela não-dipolar ao campo total, apresentando decréscimo na intensidade horizontal em áreas próximas ao equador. Análises feitas sobre a contribuição das componentes H e Z para F evidenciam, ainda, um acréscimo de contribuição da componente Z , assim como um decréscimo de H para a região afetada pela AMAS.

Palavras-Chave: Geomagnetismo. Rigidez Magnética de Corte. PECs.

ABSTRACT

The geomagnetic field is generated mainly within the Earth, having a predominantly dipolar geometry, where the total geomagnetic intensity (F) is the result of the contributions of its horizontal (H) and vertical (Z) components. Due to its dipolar configuration it is expected that the highest F values will be observed in the polar regions, and the lowest in the equatorial region, being the same behavior expected for Z and the opposite behavior for H , where it would present its highest values in the equatorial region and its lower values in the polar regions, giving the field a shield character against the entry of electrically charged particles (ECPs). However, previous studies have shown that the field does not behave this way, this is due to a magnetic anomaly present in the South Atlantic region, the South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA). This anomaly presents a non-dipolar configuration, acting in the field as an opening for the entrance of the ECPs, having strong characteristics as a westward drift, and increase of its coverage area. In order to analyze the importance of the non-dipolar portion for the geomagnetic components H and Z , by investigating the temporal variation of intensity of these components for the last 115 years. The results show the influence of the non-dipolar portion to the total field, showing decrease in horizontal intensity in areas close to the equator. Analysis of the contribution of components H and Z to F show us an increase of contribution of component Z , as well as a decrease of H for the region affected by SAMA.

Keywords: Geomagnetism. Cutoff Rigidity. ECPs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Linhas de campo de um dipolo magnético.....	18
Figura 02- Componentes do campo geomagnético.....	19
Figura 03– Mapa global dos valores de RC dados em GV para o ano de 2010.....	21
Figura 04 – Trajetória do centro da AMAS entre 1900 e 2005 e localização de quatro observatórios geomagnéticos (pontos verdes).....	22
Figura 05 – Razão do campo não-dipolar / total, mostrando a deriva da anomalia de campo não-dipolar presente no Atlântico Sul. Triângulos azuis marcam os valores máximos.....	23
Figura 06 – Isolinhas de fluxo de prótons construídas a partir de observações de diferentes veículos espaciais entre 1960 e 2003.....	24
Figura 07 - Seções transversais axiais mostrando as geometrias da linha de campo dos campos (a) dipolar, (b) quadrupolar e (c) octupolar.....	28
Figura 08– Mapa de localização da área que compreende os pontos estudados e a trajetória aproximada do centro da AMAS.....	35
Figura 09 – Variação da intensidade das componentes geomagnéticas dipolares total (A, B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).....	37
Figura 10 – Campo total F do campo geomagnético dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	38
Figura 11 – Componente de intensidade H do campo geomagnético dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	39
Figura 12– Componente de intensidade Z do campo geomagnético dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	40
Figura 13 - Variações das componentes do campo geomagnético dipolar. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015 (b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).....	42

Figura 14 – Mapas de razão H/F para o campo dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	43
Figura 15 – Mapas de razão Z/F para o campo dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	44
Figura 16 – Variação da intensidade das componentes geomagnéticas total (A, B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).....	46
Figura 17 – Campo total F do campo geomagnético total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	47
Figura 18 – Componente de intensidade H do campo geomagnético total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	48
Figura 19 – Componente de intensidade Z do campo geomagnético total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	49
Figura 20 – Variações das componentes do campo geomagnético total. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015 (b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).....	51
Figura 21 – Mapas de razão H/F para o campo total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	53
Figura 22 – Mapas de razão Z/F para o campo total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	54
Figura 23 – Variação da intensidade das componentes geomagnéticas não-dipolares total (A, B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).....	56
Figura 24 – Campo total F do campo geomagnético não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	57
Figura 25 – Componente de intensidade H do campo geomagnético não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	58
Figura 26 – Componente de intensidade Z do campo geomagnético não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....	59
Figura 27 – Variações das componentes do campo geomagnético não-dipolar. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015	

(b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).....61

Figura 28 – Mapas de razão H/F para o campo não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....62

Figura 29 – Mapas de razão Z/F para o campo não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....63

Figura 30 – Variação de intensidade das componentes geomagnéticas quadrupolar total (A,B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).....65

Figura 31 – Campo total F do campo geomagnético quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....66

Figura 32 – Componente de intensidade H do campo geomagnético quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....67

Figura 33 – Componente de intensidade Z do campo geomagnético quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....68

Figura 34 - Variações das componentes do campo geomagnético quadrupolar. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015 (b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).....70

Figura 35 – Mapas de razão H/F para o campo quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....72

Figura 36 – Mapas de razão Z/F para o campo quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....73

Figura 37 – Variação de intensidade das componentes geomagnéticas octupolar total (A, B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).....75

Figura 38 – Campo total F do campo geomagnético octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....76

Figura 39 – Componente de intensidade H do campo geomagnético octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....77

Figura 40 – Componente de intensidade Z do campo geomagnético octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....78

Figura 41 – Variações das componentes do campo geomagnético octupolar. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015 (b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).....80

Figura 42 – Mapas de razão H/F para o campo octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....81

Figura 43 – Mapas de razão Z/F para o campo octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.....82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das gerações do IGRF, com os intervalos de validade e as referências relacionadas.	32
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMAS – Anomalia Magnética do Atlântico Sul

D – Declinação Magnética

DGRF - Definitive Geomagnetic Reference Field

F – Intensidade geomagnética total

H – Intensidade geomagnética horizontal

I – Inclinação Magnética

IAGA - International Association of Geomagnetism and Aeronomy

IGRF - International Geomagnetic Reference Field

PECs – Partículas Eletricamente Carregadas

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

RC – Rigidez Magnética de Corte

PC- Rigidez Magnética de Corte Vertical

SV – Variação Secular

Z – Intensidade geomagnética vertical

SUMÁRIO

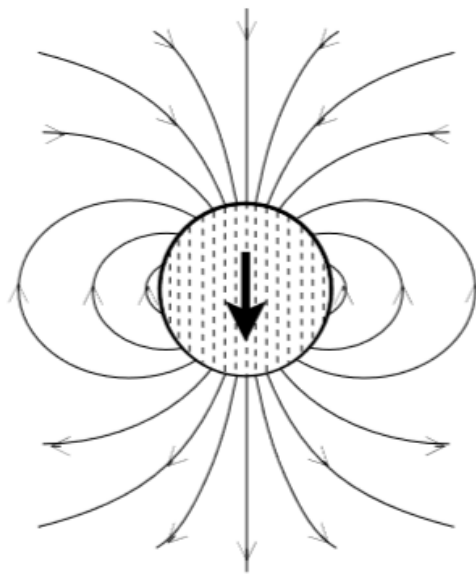
1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS.....	24
2.1 Objetivos gerais	24
2.2 Objetivos específicos.....	25
3 JUSTIFICATIVA.....	25
4 DADOS E MÉTODO DE ANÁLISE.....	26
4.1 Dados	26
4.1.1 Representação matemática do campo geomagnético	26
4.1.2 Modelo IGRF	30
4.2 MÉTODO DE ANÁLISE	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
5.1 Parcela dipolar.....	36
5.1.1 Variações do campo dipolar.....	40
5.1.2 Contribuições das componentes H e Z para F considerando o campo dipolar.....	42
5.2 Campo total.....	45
5.2.1 Variações do campo total.....	49
5.2.2 Contribuições das componentes H e Z para F considerando o campo total.....	51
5.3 Parcela não-dipolar.....	55
5.3.1 Variações do campo não-dipolar total.....	59
5.3.2 Contribuições das componentes H e Z para F considerando o campo não-dipolar.....	61
5.4 Parcela quadrupolar.....	64
5.4.1 Variações do campo quadrupolar.....	68
5.4.2 Contribuições das componentes H e Z para F considerando o campo quadrupolar.....	70
5.5 Parcela octupolar.....	73
5.5.1 Variações do campo octupolar.....	78
5.5.2 Contribuições das componentes H e Z para F considerando o campo octupolar.....	80
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83

7 REFERÊNCIAS	84
ANEXOS	86

1 INTRODUÇÃO

O campo geomagnético é uma grandeza física vetorial, gerado principalmente no interior da Terra através do mecanismo de geodínamo. A configuração geométrica do campo geomagnético é predominantemente dipolar, no entanto, diferente do campo magnético, as linhas de força do nosso planeta saem do sul em direção ao norte (Figura 01):

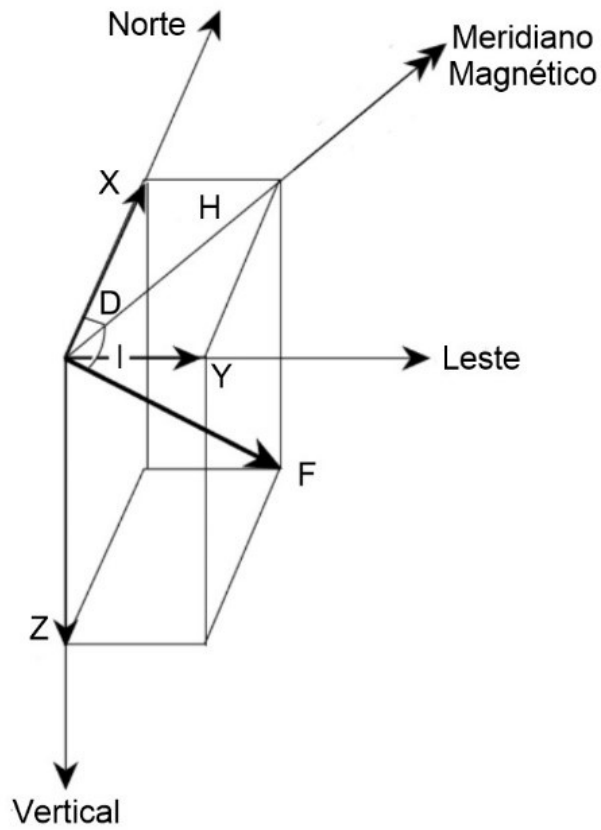
Figura 01-Linhas de campo de um dipolo magnético.



Fonte: extraído de Lowrie, 2007.

O campo geomagnético pode ser decomposto em componentes cartesianas para pontos localizados na superfície terrestre, sendo seus elementos direcionados de acordo com as direções geográficas (Figura 02). A componente norte (eixo X) possui direção norte-sul, a componente leste (eixo Y) possui direção leste-oeste e a componente vertical (Z) possui sentido apontando para o centro da Terra. A componente do campo total (F) representa o módulo do campo, sendo formada pela componente horizontal (H) e vertical (Z). Além destas componentes o campo também possui ângulo de inclinação (I) e declinação magnética (D), sendo I o ângulo entre a componente horizontal e o campo total e D o ângulo entre o norte magnético e o geográfico (Lowrie, 2007).

Figura 02- Componentes do campo geomagnético.



Fonte: Modificado de Lowrie, 2007.

A partir de relações trigonométricas, podemos obter os valores da intensidade total (F), da intensidade horizontal (H) e dos ângulos de declinação (D) e inclinação (I) como:

$$H = (X^2 + Y^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1.1)$$

$$F = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1.2)$$

$$I = \arctan \frac{Z}{H} \quad (1.3)$$

$$D = \arctan \frac{Y}{X} \quad (1.4)$$

Em razão da configuração dipolar, os valores mais altos de intensidade geomagnética total (F) são observados nas regiões polares, e os valores mais baixos observados na região equatorial. O valor de F para cada posição geográfica é resultante das contribuições das componentes geomagnéticas horizontal (H) e vertical (Z).

Os valores máximos de H são observados na região equatorial, onde as linhas de força do campo geomagnético são paralelas a superfície da Terra. Nas regiões polares, as linhas do campo geomagnético são perpendiculares a superfície da Terra, e, conseqüentemente os valores de Z são maiores (Merrill et al., 1998).

Um dos principais benefícios do campo geomagnético para o planeta é a sua atuação como um escudo natural capaz de proteger a Terra da entrada de partículas eletricamente carregadas (PECs) oriundas do espaço (Campbell, 2003). Entre os efeitos decorrentes da entrada de PECs estão danos nos sistemas eletrônicos de satélites, efeitos nocivos da radiação sobre astronautas em órbita, indução de correntes elétricas geomagneticamente induzidas em redes de transmissão de energia elétrica e até mesmo efeitos climáticos (Hartmann, 2005; Frigo, 2013; Frigo et al., 2018).

Para que estas partículas eletricamente carregadas possam penetrar na barreira geomagnética, é necessário que sua energia seja superior a rigidez magnética de corte (RC). A definição físico-matemática da RC se dá a partir da equação de Lorentz, que descreve a interação entre partículas eletricamente carregadas e campos magnéticos, dada por:

$$F_l = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1.5)$$

onde q é a carga elétrica da partícula, \mathbf{v} é a velocidade da partícula e \mathbf{E} é o campo elétrico.

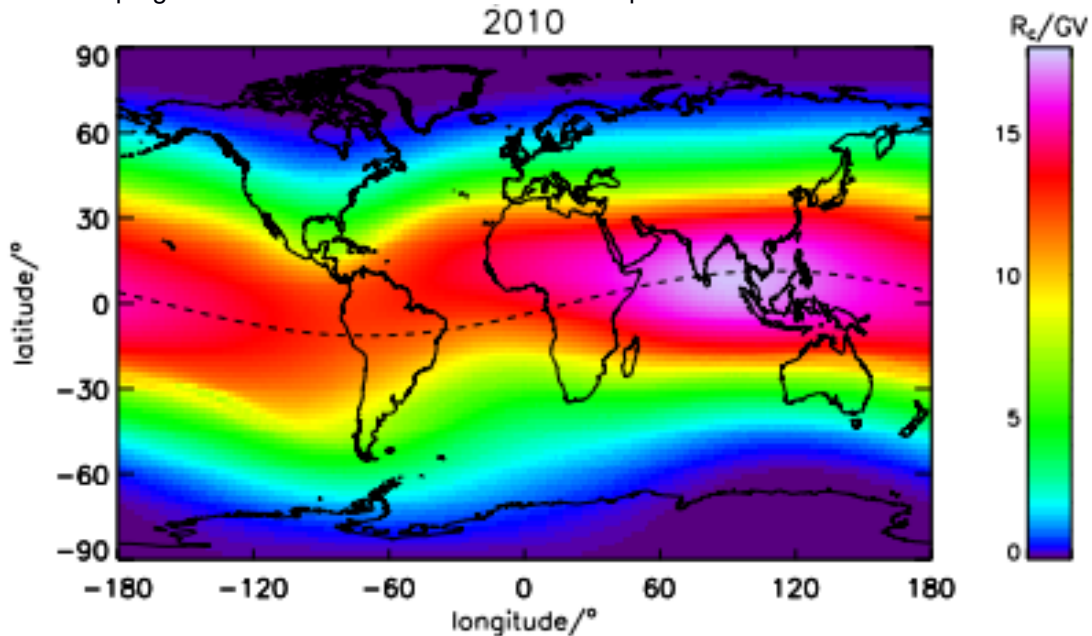
A partir da equação 1.5, é possível obter RC, que é definida como o valor mínimo de rigidez magnética (ou energia) mínima que uma partícula deve possuir para penetrar no campo geomagnético (Störmer, 1955). A RC é representada geralmente em termos de rigidez magnética de corte vertical (PC), na qual é considerado que a incidência da partícula eletricamente carregada é vertical. Segundo Frigo (2013), a PC pode ser escrita como:

$$P_c = 300 \frac{M \cos^4 \lambda_G}{r^2} \frac{1}{4} \quad (1.6)$$

onde r é a distância em relação ao centro da Terra, M é o momento de dipolo geomagnético e λ_G é a latitude geomagnética do local de incidência.

Como mostra a Figura 03, na região equatorial os valores de RC tendem a ser mais altos do que aqueles observados em regiões polares, em razão dos altos valores de H observados nas baixas latitudes. Por outro lado, nas regiões polares, nas quais H possui valores mais baixos, os valores de RC também são baixos (Smart & Shea, 2009).

Figura 03- Mapa global dos valores de RC dados em GV para o ano de 2010.



Fonte: Extraído de Herbst et al., 2013.

Esta relação entre H e RC explica o padrão observado na Terra, no qual a entrada de PECs é mínima na região equatorial geomagnética e aumenta em direção aos pólos geomagnéticos.

No entanto, em algumas regiões, como na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), que atualmente cobre grande parte do território brasileiro, a configuração geomagnética dipolar é alterada pela presença de componentes não dipolares. Caracterizada por apresentar uma deriva para oeste, tal anomalia apresenta, como resultado desta parcela não dipolar, valores de F e de H mais baixos do que aqueles esperados para um campo predominantemente dipolar, facilitando assim a entrada das PECs. Na figura 04 estão apresentadas as posições

do centro da AMAS calculadas a partir do modelo *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF) a cada cinco anos, entre 1900 e 2005.

Figura 04- Trajetória do centro da AMAS entre 1900 e 2005 e localização de quatro observatórios geomagnéticos (pontos verdes).

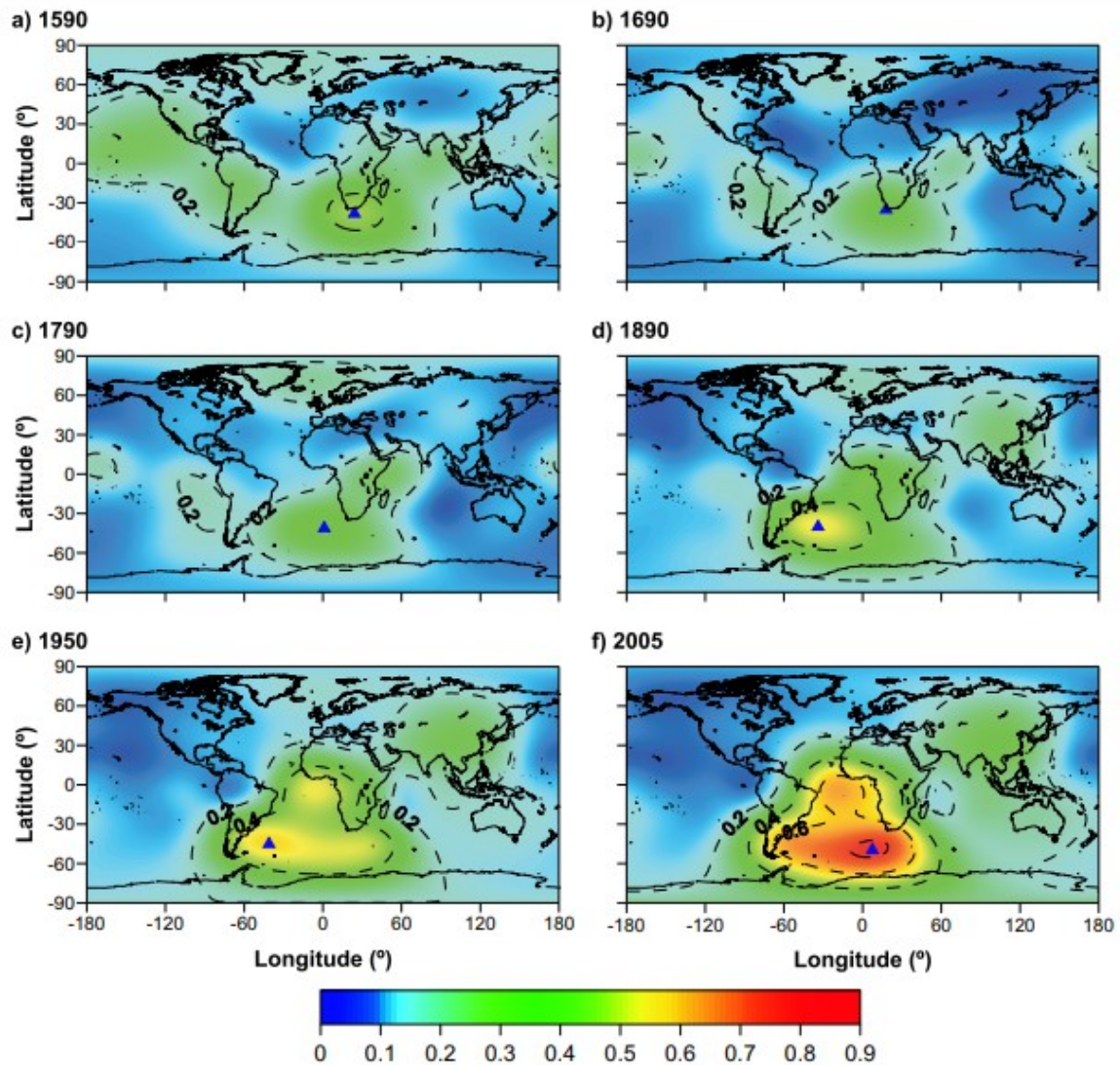


Fonte: Extraído de Hartmann, 2005.

Hartmann & Pacca (2009) investigaram a contribuição do campo não dipolar para o campo geomagnético total a partir de dados obtidos através de modelos como o IGRF, o que proporcionou a observação do campo não dipolar como uma forte característica da AMAS, evidenciando um aumento de sua contribuição ao longo dos últimos 415 anos (Figura 05).

Com este estudo foi possível observar que as principais fontes não-dipolares estão presentes no hemisfério sul, exibindo seus valores máximos principalmente na região do Atlântico Sul.

Figura 05 - Razão do campo não-dipolar / total, mostrando a deriva da anomalia de campo não-dipolar presente no Atlântico Sul. Triângulos azuis marcam os valores máximos.

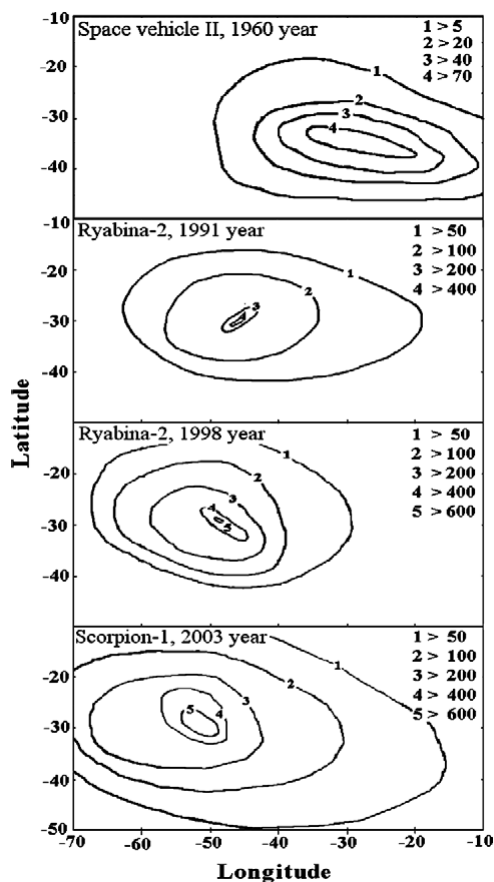


Fonte: Extraído de Hartmann & Pacca, 2009.

Estes estudos ainda mostraram que para algumas áreas o campo não dipolar corresponde a mais de 85% do campo total observado.

Grigoryan et al. (2008), utilizando dados medidos em instrumentos instalados em veículos espaciais, apresentaram uma ampla compilação de fluxo de PECs na região da AMAS. Neste trabalho, os autores mostram que diferentes tipos de partículas, com diferentes cargas elétricas e energias, são detectadas em diferentes posições geográficas. No entanto, é visível, que a região de acesso destas partículas é coincidente com a posição ocupada pela AMAS no decorrer do tempo (Figura 06). Ou seja, a área de máxima entrada de partículas apresenta uma deriva para oeste que segue a tendência de deriva para oeste da AMAS.

Figura 06 – Isolinhas de fluxo de prótons construídas a partir de observações de diferentes veículos espaciais entre 1960 e 2003.



Fonte: Grigoryan et al. (2008)

No entanto, para a região da AMAS, ainda não há estudos que abordam detalhadamente a evolução temporal e espacial da contribuição das componentes geomagnéticas horizontal e vertical para o campo total, e nem das influências da parcela não dipolar para H e Z e, conseqüentemente para F.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é investigar a importância da parcela geomagnética não dipolar para os valores de H e Z observados na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul durante o período entre 1900 e 2015.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Descrever a variabilidade temporal dos valores de H e Z na região da AMAS e realizar a comparação destes com a evolução temporal dos valores de F;
- Descrever a variabilidade temporal da parcela não-dipolar de H e Z na região da AMAS e realizar a comparação destes com a evolução temporal da parcela não dipolar de F;
- Discutir os possíveis efeitos da parcela geomagnética não-dipolar sobre a entrada de partículas eletricamente carregadas na região da AMAS.

3 JUSTIFICATIVA

O campo magnético da Terra possui uma geometria predominantemente dipolar, no entanto, esta configuração de dipolo não é predominante na região sul da América do Sul e sul do Oceano Atlântico. Nesta grande região ocorre a chamada Anomalia Magnética do Atlântico Sul, que atua como uma grande janela geomagnética facilitando a entrada de PECs até regiões da atmosfera mais próximas da superfície terrestre. Fenômenos decorrentes destas partículas podem impactar a sociedade na região da AMAS de diversas formas.

A variabilidade temporal e espacial da intensidade geomagnética total (F) e o tamanho da contribuição não dipolar para esta já foram investigados por Hartmann (2005) e Hartmann & Pacca (2009). Por outro lado, a importância da contribuição não dipolar para H e Z ainda não foram detalhadamente investigadas. Como a variabilidade de H está diretamente relacionada com a entrada das PECs, através da rigidez magnética de corte, o estudo da contribuição não dipolar para as componentes geomagnéticas direcionais H e Z se torna de grande importância.

4 DADOS E MÉTODO DE ANÁLISE

4.1 DADOS

Os dados utilizados neste trabalho consistem de séries temporais da intensidade horizontal (H), intensidade vertical (Z) e intensidade total do campo geomagnético (F). Estes dados são obtidos a partir do modelo de campo geomagnético global *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF). Este modelo consiste em uma representação matemática do vetor campo geomagnético (\mathbf{B}) e de seu potencial escalar associado (V), através de uma expansão por harmônicos esféricos.

4.1.1 REPRESENTAÇÃO MATEMÁTICA DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

A descrição da representação matemática do campo geomagnético apresentada a seguir é baseada em Langel (1987), Merrill et al. (1998) e Jones, C. et al. (2007). Ainda, cabe considerar que em uma resolução da *International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA)*, de 1973, ficou estabelecido que na representação matemática, o vetor campo geomagnético deve ser indicado por \mathbf{B} .

De acordo com a teoria do dínamo, o campo magnético da Terra se mantém a partir de um sistema de correntes elétricas que fluem através do fluido condutor presente em seu núcleo externo líquido. Quatro leis fundamentais da teoria eletromagnética descrevem o comportamento do campo magnético e das correntes em termos de cálculo vetorial. Tais equações que descrevem o campo são conhecidas como equações de Maxwell. Duas destas equações são relacionadas ao campo magnético, sendo elas a Lei de Ampère (Eq. 4.1) e a Lei de Gauss para o campo magnético (Eq. 4.2):

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) \quad (4.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (4.2)$$

onde μ_0 é a permeabilidade magnética no vácuo, \mathbf{J} é a densidade de corrente elétrica e $\partial\mathbf{D}/\partial t$ é a corrente de deslocamento.

Desprezando-se fatores como as correntes presentes entre a superfície da Terra e a ionosfera, assim como a influência do campo externo, temos que $\nabla \times \mathbf{B} = 0$ e o campo derivam de um potencial escalar. Podemos dizer então que \mathbf{B} é o gradiente de um potencial escalar, $\mathbf{B} = -\nabla V$, desta forma pela equação (4.2), o potencial escalar V satisfaz a equação de Laplace:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (4.3)$$

Em decorrência da geometria esférica da Terra, a equação 4.3 pode ser escrita como:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} = 0 \quad (4.4)$$

onde r é a distância radial, θ é a colatitude, ϕ é a longitude e V é o potencial escalar associado ao vetor campo geomagnético.

O potencial escalar V é resultante da soma do potencial escalar associado ao campo gerado no núcleo externo líquido da Terra, denominado V_{int} , com o potencial escalar associado ao campo gerado a partir da interação do campo magnético de origem interna com o campo magnético do Sol, denominado V_{ext} , que pode ser escrito como:

$$V = V_{int} + V_{ext} \quad (4.5)$$

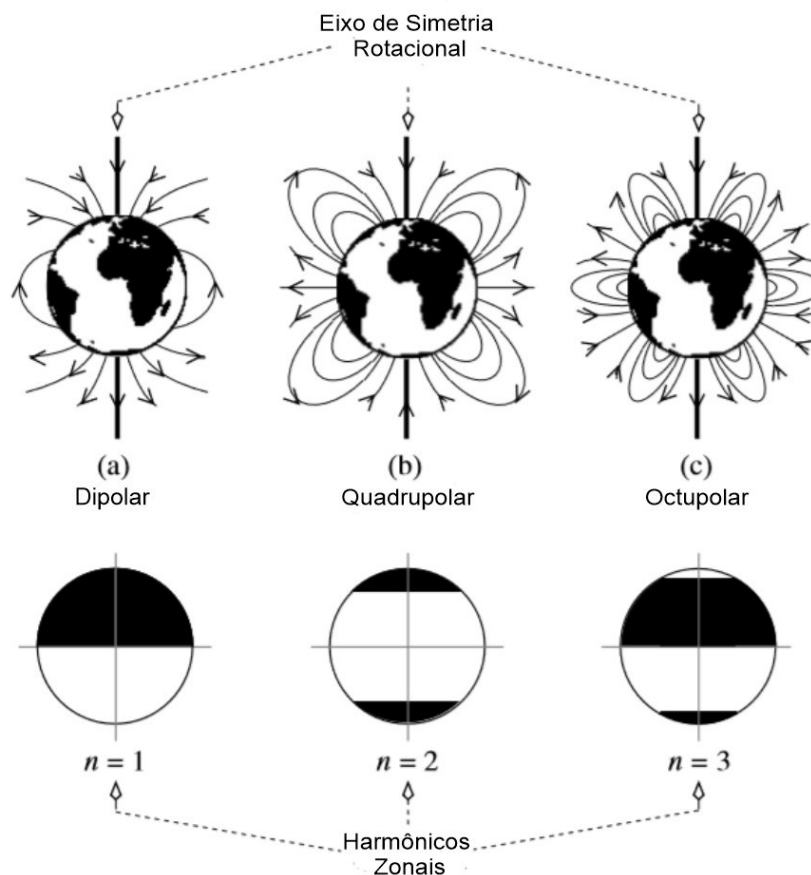
A solução da equação 4.5, nos fornece:

$$V = a \sum_{n=1}^{N_{int}} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m \phi + h_n^m \sin m \phi) \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} P_n^m \cos \theta + a \sum_{n=1}^{N_{ext}} \sum_{m=0}^n (c_n^m \cos m \phi + s_n^m \sin m \phi) \left(\frac{a}{r} \right)^n P_n^m \cos \theta \quad (4.6)$$

onde $a = 6371,2 \text{ km}$ é o raio médio da Terra. Os coeficientes de Gauss, g_n^m e h_n^m , apresentam grau n e ordem m e estão associados a V_{int} , já c_n^m e s_n^m estão associados a V_{ext} , assim como os números que correspondem aos graus máximos são N_{int} e N_{ext} , respectivamente. Os polinômios associados de Legendre estão representados por $P_n^m \cos\theta$, o termo a é introduzido como multiplicador para que assim os coeficientes tenham a dimensão do campo magnético B .

Cada conjunto de termos da Equação 4.6, associado a um conjunto de coeficientes de mesmo grau (n), correspondem conjuntamente a uma componente geométrica particular do campo. Por exemplo, os três primeiros termos, associados aos coeficientes de Gauss de grau 1, g_1^0 , g_1^1 , h_1^1 , correspondem conjuntamente a parcela do campo geomagnético com geometria dipolar. Os termos associados aos coeficientes de grau 2 correspondem ao campo quadrupolar. Os termos associados aos coeficientes de grau 3 correspondem ao campo octupolar, e assim por diante (Figura 07).

Figura 07 - Seções transversais axiais mostrando as geometrias da linha de campo dos campos (a) dipolar, (b) quadrupolar e (c) octupolar.



Fonte: Modificado de Lowrie, 2007.

Fazendo as derivadas parciais de V , na equação 4.6, em relação à θ , ϕ e r , é possível obter os valores das componentes geomagnéticas norte-sul (X), leste-oeste (Y) e vertical Z , como:

$$X = \frac{-\partial V}{r \partial \theta} \quad (4.7)$$

$$Y = \frac{-1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \phi} \quad (4.8)$$

$$Z = \frac{-\partial V}{\partial r} \quad (4.9)$$

Tais componentes também podem ser descritas para a superfície da Terra, desta forma serão escritas em termos dos coeficientes de Gauss:

$$X = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^m \{g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi\} \frac{dP_n^m(\theta)}{d\theta} \quad (4.10)$$

$$Y = \frac{1}{\sin \theta} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^m \{m g_n^m \sin m\phi + m h_n^m \cos m\phi\} P_n^m(\theta) \quad (4.11)$$

$$Z = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^m \left\{ [n c_n^m - (1 - c_n^m)(n + 1)] g_n^m \cos m\phi + [n s_n^m - (1 - s_n^m)(n + 1)] h_n^m \sin m\phi \right\} P_n^m(\theta) \quad (4.12)$$

A partir destas componentes é possível obter os coeficientes de campo interno (g_n^m e h_n^m) e externo (c_n^m e s_n^m), sendo os coeficientes de Gauss obtidos se igualarmos a equação (4.10) a transformada de Fourier para θ fixo:

$$f(\theta) = \sum_{m=0}^{\infty} (a_m \cos m\phi + b_m \sin m\phi) \quad (4.13)$$

É possível também utilizarmos a componente Y para obter os coeficientes de Gauss. Ainda segundo Hartmann (2005), para a obtenção dos coeficientes relacionados ao campo externo é utilizado a componente Z desenvolvida em série de Fourier ao longo de um paralelo, desta forma temos que:

$$Z = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n P_n^m(\theta) (\alpha_n^m \cos m\phi + \beta_n^m \sin m\phi) \quad (4.14)$$

Assim, é possível obter os valores dos coeficientes c_n^m e s_n^m a partir de α_n^m e β_n^m provenientes da série de Fourier, os quais são obtidos após igualarmos a expressão de Z dos harmônicos esféricos:

$$\begin{aligned} \alpha_n^m &= [nc_n^m - (n+1)(1-c_n^m)]g_n^m \\ \beta_n^m &= [ns_n^m - (n+1)(1-s_n^m)]h_n^m \end{aligned} \quad (4.15)$$

4.1.2 MODELO IGRF

Atualmente, o monitoramento das variações do campo magnético terrestre é realizado a partir de medidas em observatórios geomagnéticos, estações geomagnéticas fixas e móveis, e satélites, e cobrem praticamente todas as regiões do Planeta. No entanto, estas fontes de dados possuem características distintas. Enquanto as observações fixas são mais adequadas para o registro das variações temporais do campo, as observações móveis são mais adequadas para o registro das variações espaciais.

Considerando as dimensões envolvidas e as limitações tecnológicas e financeiras, não é possível realizar medidas geomagnéticas com alta resolução temporal em todos os pontos da superfície terrestre e das regiões vizinhas do espaço. Este problema pode ser contornado através da utilização de um modelo matemático que possibilite a obtenção de valores de elementos geomagnéticos para locais nos quais as observações diretas não estão disponíveis.

Um destes modelos, que é o mais utilizado para o estudo de variações geomagnéticas de origem interna, é o IGRF. Este modelo é construído a partir do ajuste dos dados geomagnéticos registrados em todo o globo, durante um período definido, através da equação 4.6. Este procedimento permite a determinação dos coeficientes de Gauss, que são válidos para o período de cobertura dos dados. Em razão da natureza estocástica da variabilidade geomagnética temporal e espacial, os coeficientes de Gauss precisam ser atualizados a cada cinco anos, gerando assim um novo IGRF a cada quinquênio.

Visando a representação apenas da parcela do campo geomagnético originada no interior da Terra, as contribuições das parcelas devidas ao campo de origem crustal e ao campo com origem em altitudes acima da superfície terrestre, devem ser eliminadas. Esta eliminação é realizada através do truncamento da expansão por harmônicos esféricos em um grau (n) adequado.

A configuração predominantemente dipolar do campo geomagnético é um indicativo de que os coeficientes de Gauss com grau $n=1$, associados ao campo dipolar, são os que mais contribuem para a intensidade total do campo geomagnético. A contribuição dos coeficientes com graus maiores decai exponencialmente. Por exemplo, enquanto o g_1^0 tem um valor de aproximadamente 30.000 nT, o g_2^0 tem um valor de aproximadamente 2.500 nT e o g_6^0 tem um valor de aproximadamente 70 nT. Resultados de análise espectral dos coeficientes de Gauss indicaram que coeficientes com grau superior 15 são influenciados por fatores externos ao interior da Terra. Por esta razão e considerando a grande disponibilidade de dados geomagnéticos para as últimas décadas, desde o ano 2000, o modelo IGRF utiliza o truncamento da expansão em $n = 13$. Antes de 2000 o truncamento era realizado em $n = 10$.

Atualmente o modelo IGRF se encontra em sua 12^a geração, sendo denominado IGRF-12. O IGRF-12 representa o campo geomagnético para o período entre 1900 e 2020 e sua variação secular. A variação secular é medida em função da variação registrada em cada elemento geomagnético durante o período de um ano. Os valores dos elementos geomagnéticos para o período 2015-2020 são obtidos a partir de uma extrapolação linear da variação anual registrada entre 2010 e 2015. Os valores dos coeficientes de Gauss calculados até 2010 não serão corrigidos, pois foram definidos a partir de medidas geomagnéticas realizadas até

2015, passando então a serem denominados definitivos. A Tabela 1 apresenta um resumo das informações relativas as doze gerações do IGRF.

Os dados geomagnéticos utilizados neste estudo são obtidos a partir da implementação computacional do modelo IGRF, através da rotina computacional *igrf12.f*, escrita em linguagem Fortran, disponibilizada pela IAGA na página da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* dos Estados Unidos¹. A partir do programa, são obtidas séries temporais das componentes geomagnéticas H, Z e F, com resolução temporal de um dado por ano e resolução espacial de um dado a cada 1° de latitude por 1° de longitude, para a altitude da superfície terrestre.

Tabela 1- Resumo das gerações do IGRF, com os intervalos de validade e as referências relacionadas.

Nome Completo	Nome resumido	Válido para	Definitivo para	Referência
IGRF 12ª geração	IGRF-12	1900.0-2020.0	1945.0-2010.0	Thébault et al. (2015)
IGRF 11ª geração	IGRF-11	1900.0-2015.0	1945.0-2005.0	Finlay et al. (2010a)
IGRF 10ª geração	IGRF-10	1900.0-2010.0	1945.0-2000.0	Maus et al. (2005)
IGRF 9ª geração	IGRF-9	1900.0-2005.0	1945.0-2000.0	Macmillan et al. (2003)
IGRF 8ª geração	IGRF-8	1900.0-2005.0	1945.0-1990.0	Mandea e Macmillian (2000)
IGRF 7ª geração	IGRF-7	1900.0-2000.0	1945.0-1990.0	Barton (1997)
IGRF 6ª geração	IGRF-6	1945.0-1995.0	1945.0-1985.0	Langel (1992)
IGRF 5ª geração	IGRF-5	1945.0-1990.0	1945.0-1980.0	Langel et al. (1988)
IGRF 4ª geração	IGRF-4	1945.0-1990.0	1965.0-1980.0	Barraclough (1987)
IGRF 3ª geração	IGRF-3	1965.0-1985.0	1965.0-1975.0	Peddie (1982)
IGRF 2ª geração	IGRF-2	1955.0-1980.0	-	IAGA (1975)
IGRF 1ª geração	IGRF-1	1955.0-1975.0	-	Zmuda (1971)

Fonte: Modificado de Thébault et al. 2015.

A rotina *igrf12.f* vem acompanhada dos valores dos coeficientes de Gauss para o período 1900-2015 (Anexo A). Seguindo o procedimento utilizado por Hartman & Pacca (2009), a edição dos valores de determinados coeficientes de Gauss permite investigar as contribuições das parcelas não dipolares para o campo geomagnético observado em determinado local. A edição consiste na atribuição do valor igual a zero aos coeficientes que se tenha o interesse de eliminar. Por

¹ Disponível no site:

<https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>

exemplo, para eliminar o campo dipolar, deve ser atribuído o valor zero aos coeficientes de Gauss de grau 1.

4.2 MÉTODO DE ANÁLISE

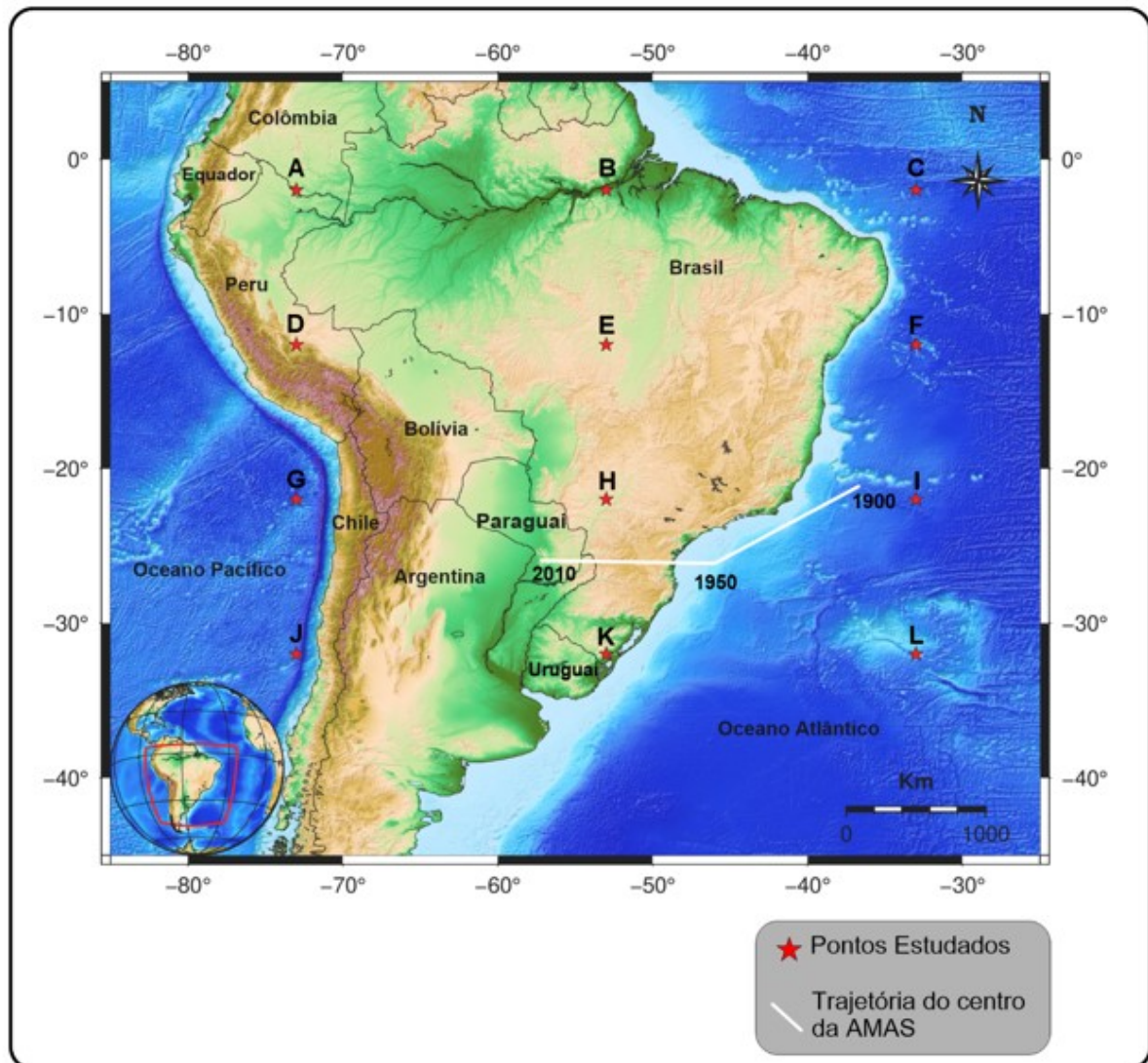
A análise de dados seguirá as seguintes etapas:

- (1) Construção de gráficos dos elementos geomagnéticos H, Z e F em função do tempo para o período entre 1900 e 2015: Os mapas são construídos a partir das séries temporais obtidas com o script computacional *igrf12.f*, para posições geográficas a cada 1° de latitude por 1° de longitude. Após, utilizando o script computacional “GeoMagMap”, implementado no Generic Mapping Tools (GMT), podem ser construídos mapas para cada ano específico. O script “GeoMagMap” está apresentado no Anexo B.
- (2) Cálculo das parcelas dipolar e não-dipolar de H, Z e F: Realizada a partir da edição, no script *igrf12.f*, dos valores dos coeficientes de Gauss. Para obter o valor da parcela dipolar, os coeficientes associados ao campo não-dipolar são igualados a zero. Para obter o valor da parcela não-dipolar, os coeficientes associados ao campo dipolar são igualados a zero. Esta metodologia foi utilizada por Hartmann & Pacca (2009);
- (3) Construção de mapas com os valores resultantes das etapas (1) e (2);
- (4) Interpretação dos resultados obtidos na etapa (3), com foco na região da AMAS;
- (5) Discussão das possíveis consequências dos resultados obtidos nas etapas (1), (2), (3) e (4) sobre a precipitação das PECs na região da AMAS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A parte sul do continente sul-americano vem sendo caracterizada por valores anormalmente baixos de intensidade total do campo geomagnético há mais de um século. Esta baixa intensidade geomagnética é decorrente da deriva e do aumento da área de influência da AMAS (Hartmann, 2005). Com a finalidade de investigar as variações temporais de H, Z e F durante o último século, com foco no território brasileiro, foram escolhidas doze posições geográficas sobre Oceano Atlântico, América do Sul e Oceano Pacífico. Estas posições estão indicadas na Figura 08. Os resultados, desta forma, serão dispostos primeiramente em escala regional, através dos gráficos e posteriormente serão dispostos resultados em escala global, afim de analisar o comportamento das componentes de intensidade geomagnéticas, suas variações ao longo do período estudado e a contribuição das componentes horizontal e vertical para o campo total. Para uma melhor visualização os resultados pontuais foram separados em dois gráficos para cada componente geomagnética, sendo os gráficos A, C e E correspondentes aos pontos de latitude -2° e -12° (A, B, C, D, E e F) e os gráficos B, D e F correspondentes aos pontos de latitudes -22° e -32° (G, H, I, J, K e L) .

Figura 08– Mapa de localização da área que compreende os pontos estudados e a trajetória aproximada do centro da AMAS.



Fonte: Autora, 2019.

Conforme já discutido anteriormente, o campo geomagnético total em qualquer posição em relação ao centro da Terra é a resultante da soma de uma parcela dipolar com uma parcela não-dipolar. Além disso, em média global, o campo é predominantemente dipolar, ou seja, a parcela dipolar se assemelha muito ao campo total observado. No entanto, para regiões como a AMAS, as parcelas não dipolares, principalmente as componentes quadripolar e octupolar, também são importantes (Hartmann & Pacca, 2009).

A fim de investigar em detalhe a importância das componentes dipolar e não-dipolar para o campo total é conveniente estudá-las separadamente.

5.1 PARCELA DIPOLAR

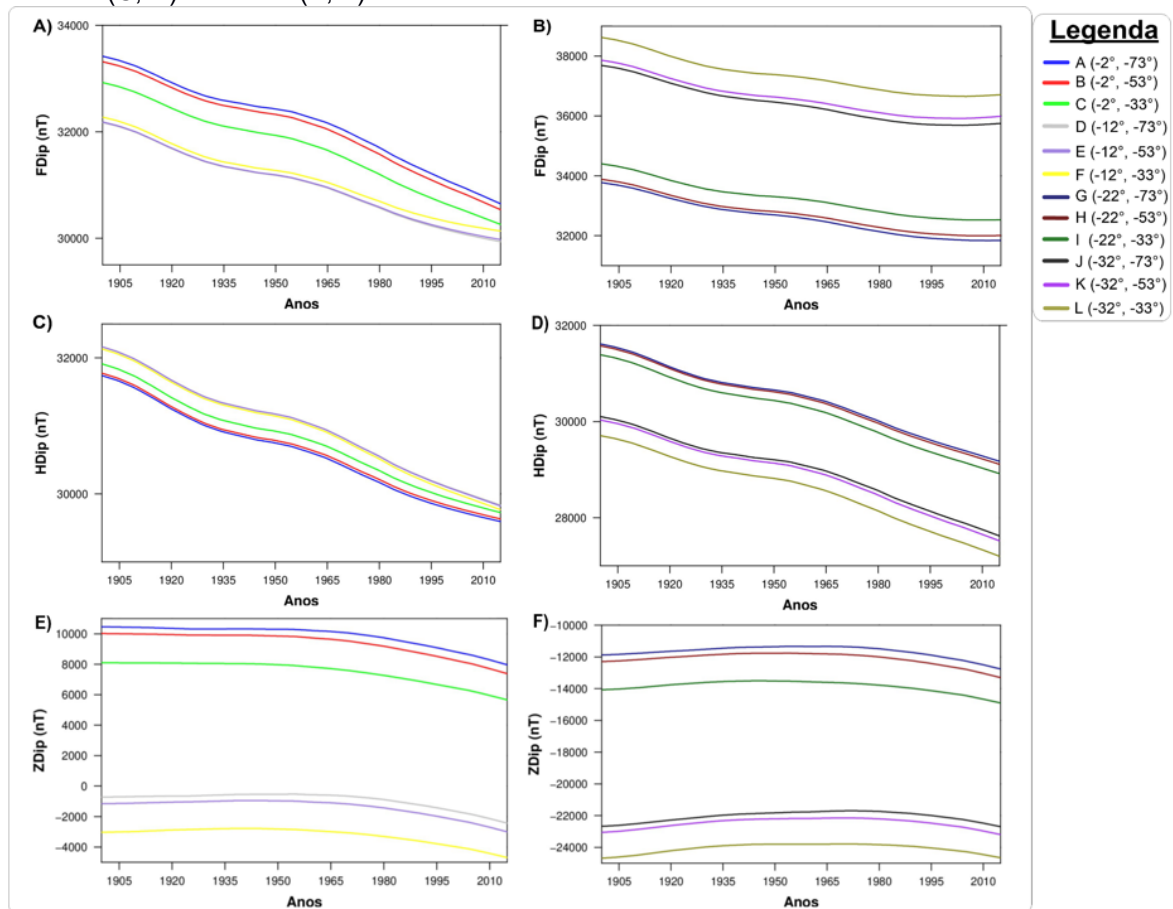
Os valores dos elementos geomagnéticos correspondentes ao campo dipolar são obtidos levando em consideração apenas os coeficientes de Gauss g_1^0 , g_1^1 e h_1^1 .

Os resultados pontuais para H, Z e F, associados a parcela dipolar do campo, denotados por HDip, ZDip e FDip, respectivamente, são apresentados na Figura 09. Por se tratar de uma geometria dipolar os resultados seguem um comportamento parecido ao longo dos pontos observados. O campo total, FDip (Figura 09 A e B), apresenta valores que variam de aproximadamente 29500 nT a cerca de 39000 nT, exibindo, nos pontos localizados nas latitudes mais próximas ao equador, uma menor variação nos valores de intensidade. Os pontos localizados em latitudes mais altas apresentam valores mais destoantes em relação a mudança de latitude, apresentando assim menores valores de intensidade para as latitudes mais altas. Mesmo apresentando diferenças entre os valores de intensidade, é possível ver um comportamento de decréscimo ao longo do período de estudo para todos os pontos observados.

A componente horizontal (HDip), disposta nos gráficos C e D da Figura 09, apresenta valores que variam de aproximadamente 27000 nT a cerca de 33000 nT, mostrando um comportamento bem parecido ao da componente total, sendo o decréscimo de intensidade presente em todos os pontos estudados. Assim como em FDip, é possível ver uma similaridade entre os valores obtidos para as latitudes mais baixas, exibindo assim, seus menores valores de intensidade nas latitudes mais altas.

Ao contrário das componentes anteriores, ZDip (Figura 09 E e F) exibe valores quase constantes ao longo do período estudado, apresentando diferenças de intensidade de acordo com a mudança de latitude. Como esperado para um campo dipolar, a componente vertical apresenta seus maiores valores de intensidade nos pontos localizados mais ao sul, apresentando, em módulo, valores de intensidade que chegam a cerca de 25000 nT.

Figura 09 – Variação da intensidade das componentes geomagnéticas dipolares total (A, B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).

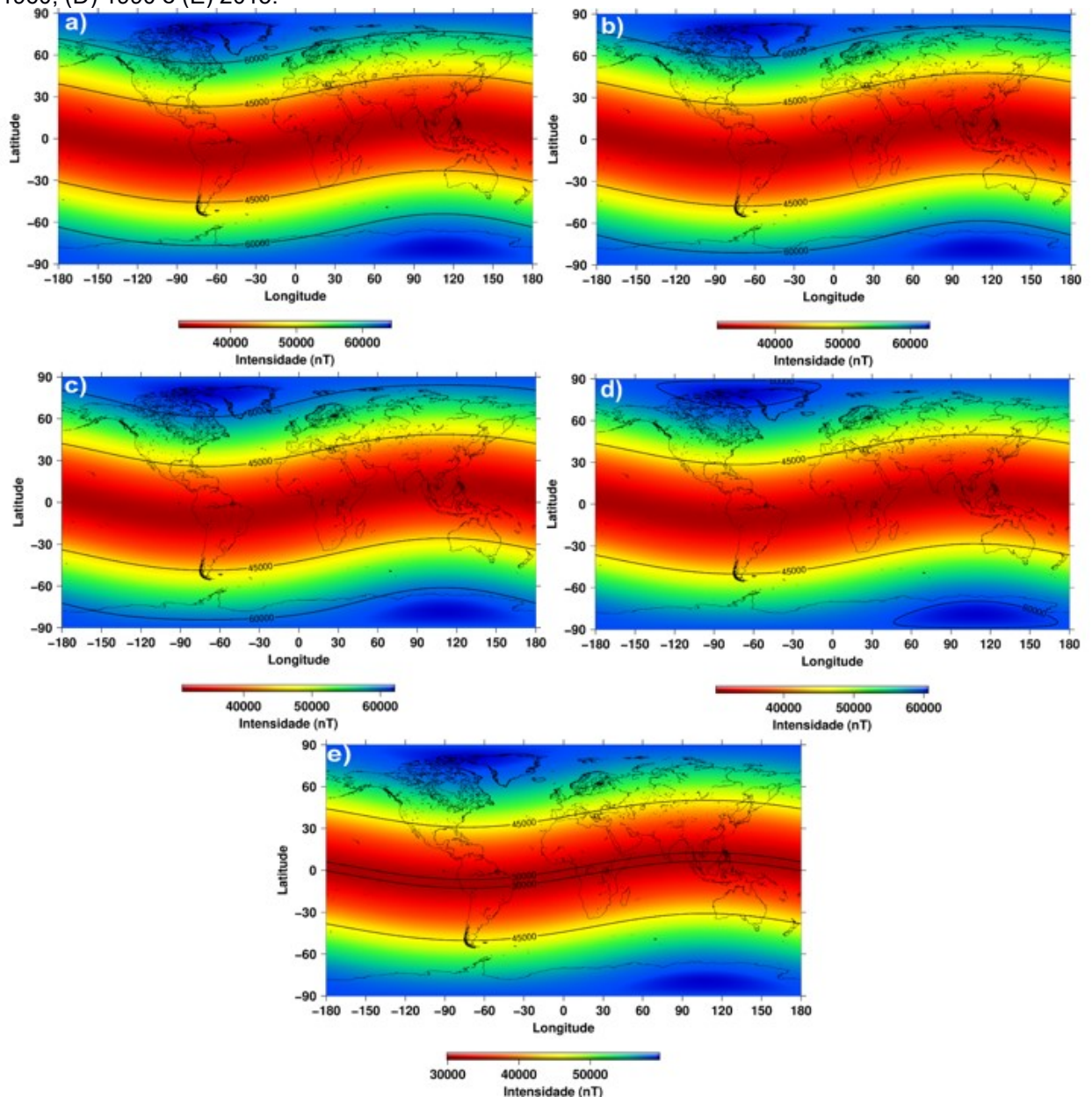


Fonte: Autora, 2019.

O campo dipolar representa o campo ideal utilizado para a maioria dos cálculos que descartam a parcela não-dipolar do campo, assim, suas componentes apresentam o comportamento esperado para a geometria. Na Figura 10 estão dispostos os resultados obtidos para F, os quais nos mostram seus menores valores de intensidade na região do equador com um aumento gradativo em direção aos polos. Nota-se que ao longo do século os valores de intensidade têm diminuído para a maior parte da região estudada, apresentando em 2015 valores abaixo dos 60000 nT presentes nas regiões polares em 1900, aumentando ainda a área de abrangência de valores abaixo de 45000 nT. A componente H (Figura 11) nos mostra um comportamento oposto ao de F, porém dentro do esperado, apresentando seus maiores valores de intensidade na região equatorial e diminuindo gradativamente em direção aos polos. Assim como F, os valores máximos de H apresentam um decréscimo ao longo do período de estudo, diminuindo sua intensidade justamente na região equatorial, onde seus valores deveriam se manter

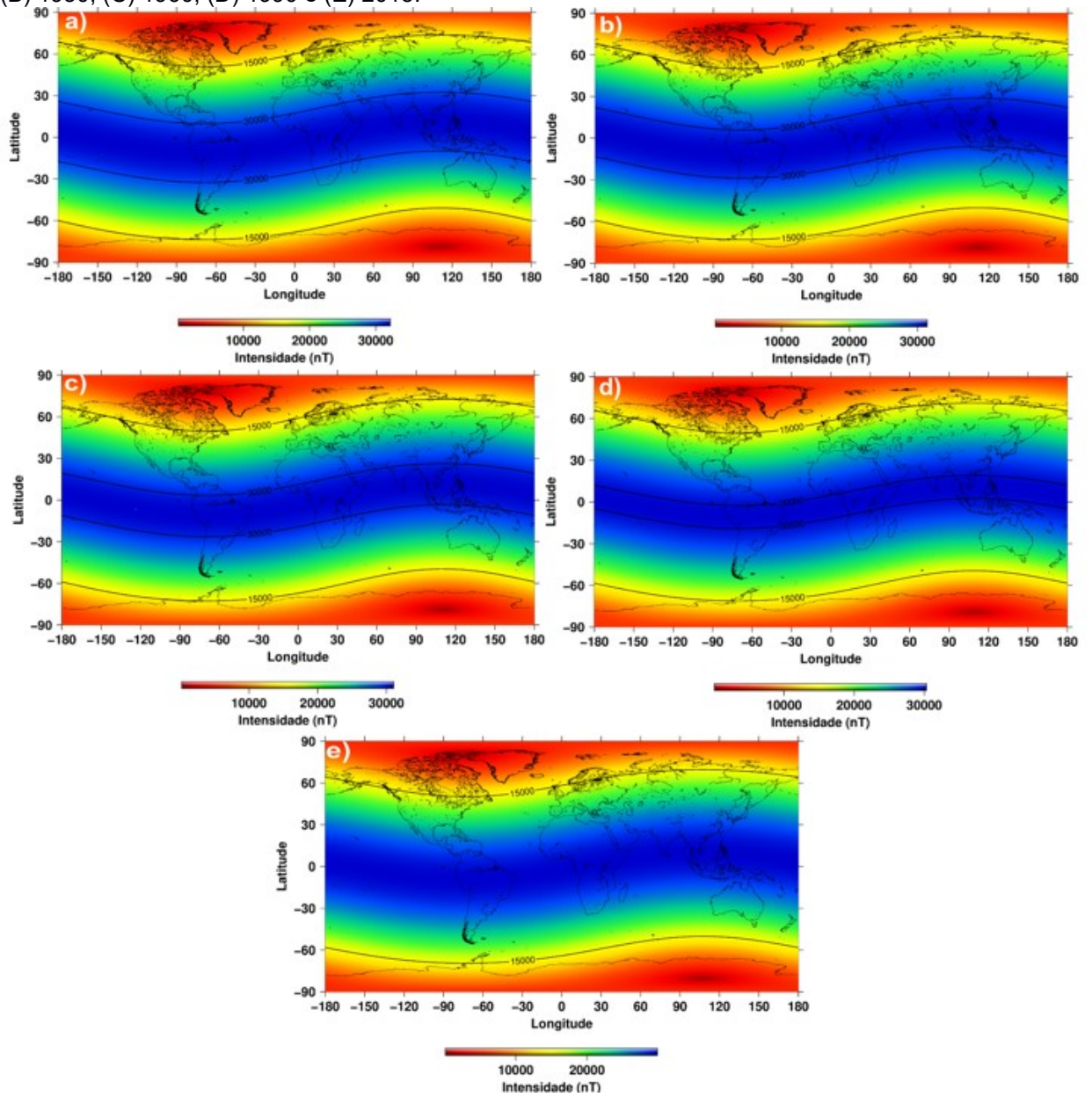
máximos. A componente Z (Figura 12), se analisada em módulo, nos mostra o comportamento parecido ao de F, apresentando seus altos valores nas regiões polares e seus menores valores na região equatorial, no entanto, assim como as demais componentes sua intensidade apresenta um decréscimo ao longo do tempo para toda a região estudada.

Figura 10 – Campo total F do campo geomagnético dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



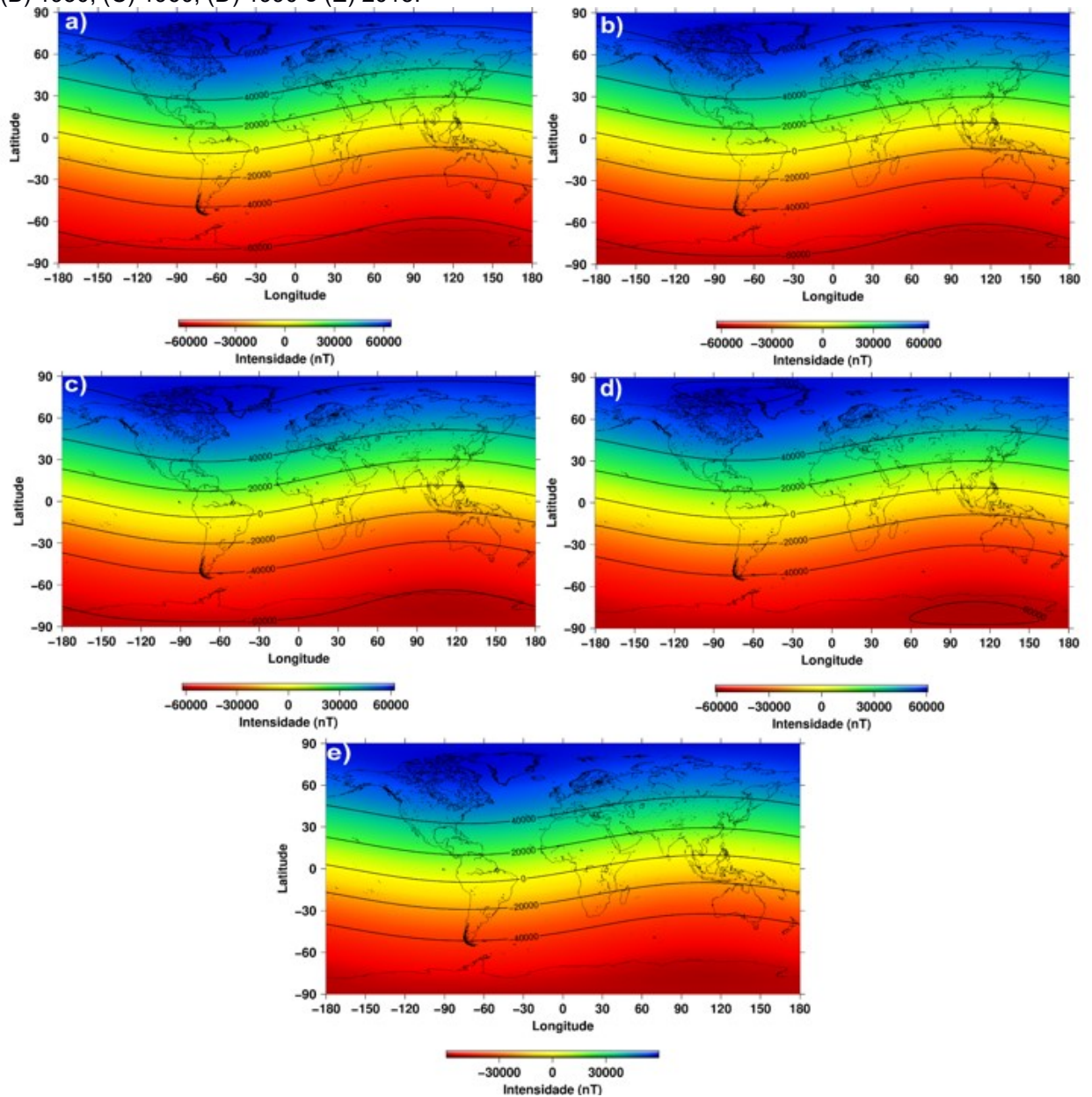
Fonte: Autora, 2019.

Figura 11 – Componente de intensidade H do campo geomagnético dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 12– Componente de intensidade Z do campo geomagnético dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



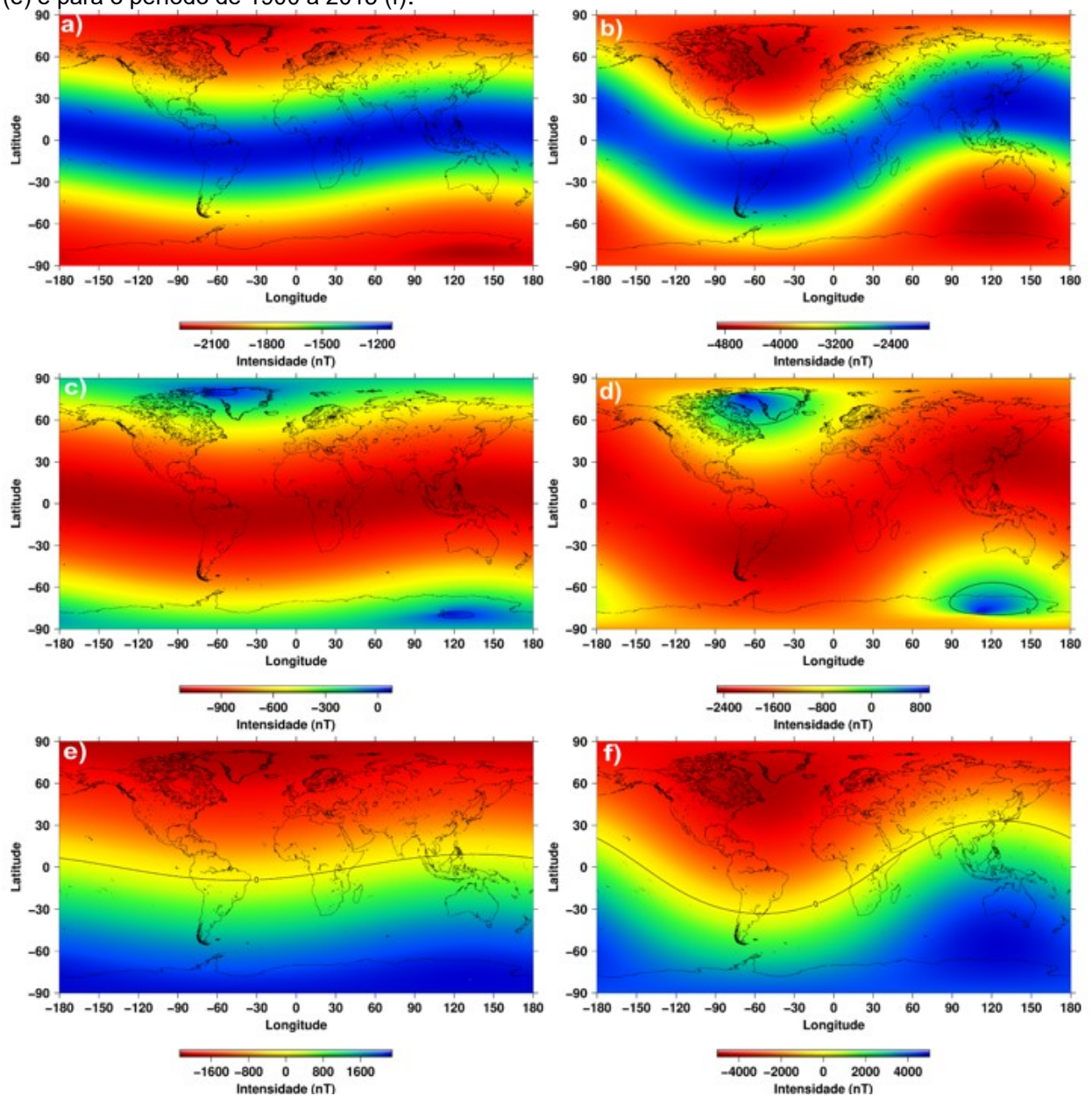
Fonte: Autora, 2019.

5.1.1 VARIAÇÕES DO CAMPO DIPOLAR

As variações do campo dipolar estão dispostas na Figura 13. O campo total, F , do campo dipolar apresenta, mesmo em relação a variação de intensidade, um comportamento parecido ao que se espera para a componente. É observado que este campo apresenta uma diminuição de intensidade para toda a área estudada para o período de 1900 a 1960, exibindo valores de decréscimo que vão de -1200 nT até -2100 nT, sendo seus maiores valores de decréscimo observados nas

regiões polares. Para o período que compreende 1900 a 2015 vemos um aumento da área de abrangência caracterizada por marcar maiores decréscimos de intensidade, além disso, os valores de decréscimo apresentam um aumento, desta forma há uma redução de cerca de 128% em relação aos valores de maior decréscimo. A componente horizontal do campo dipolar apresenta uma diminuição de intensidade para a maior parte da área de estudo no período que compreende 1900 a 1960, apresentando pequenos acréscimos apenas nas regiões polares. Os valores de decréscimo para esta região chegam a mais de 900 nT, sendo estes valores obtidos na região equatorial. Para o período que compreende 1900 a 2015 é possível observar um aumento dos valores tanto em relação aos acréscimos quanto em relação aos decréscimos de intensidade. Para as regiões polares que antes apresentavam um mínimo acréscimo, agora esses valores chegam a cerca de 800 nT. Em relação aos valores de decréscimo distribuídos ao longo da maior parte da área, esses agora chegam a cerca de -2400 nT, uma redução de cerca de 166% em relação ao período anterior. A variação de intensidade da componente Z para o campo dipolar é caracterizada por apresentar seus maiores valores nas regiões polares, quando analisada em módulo, apresentando desta forma valores que chegam a cerca de 1600 nT para o período de 1900 a 1960. Um aumento de intensidade é observado para o período de 1900 a 2015, chegando a valores de aproximadamente 4000 nT, um aumento de cerca de 150% em relação ao período anterior.

Figura 13 - Variações das componentes do campo geomagnético dipolar. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015 (b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).



Fonte: Autora, 2019

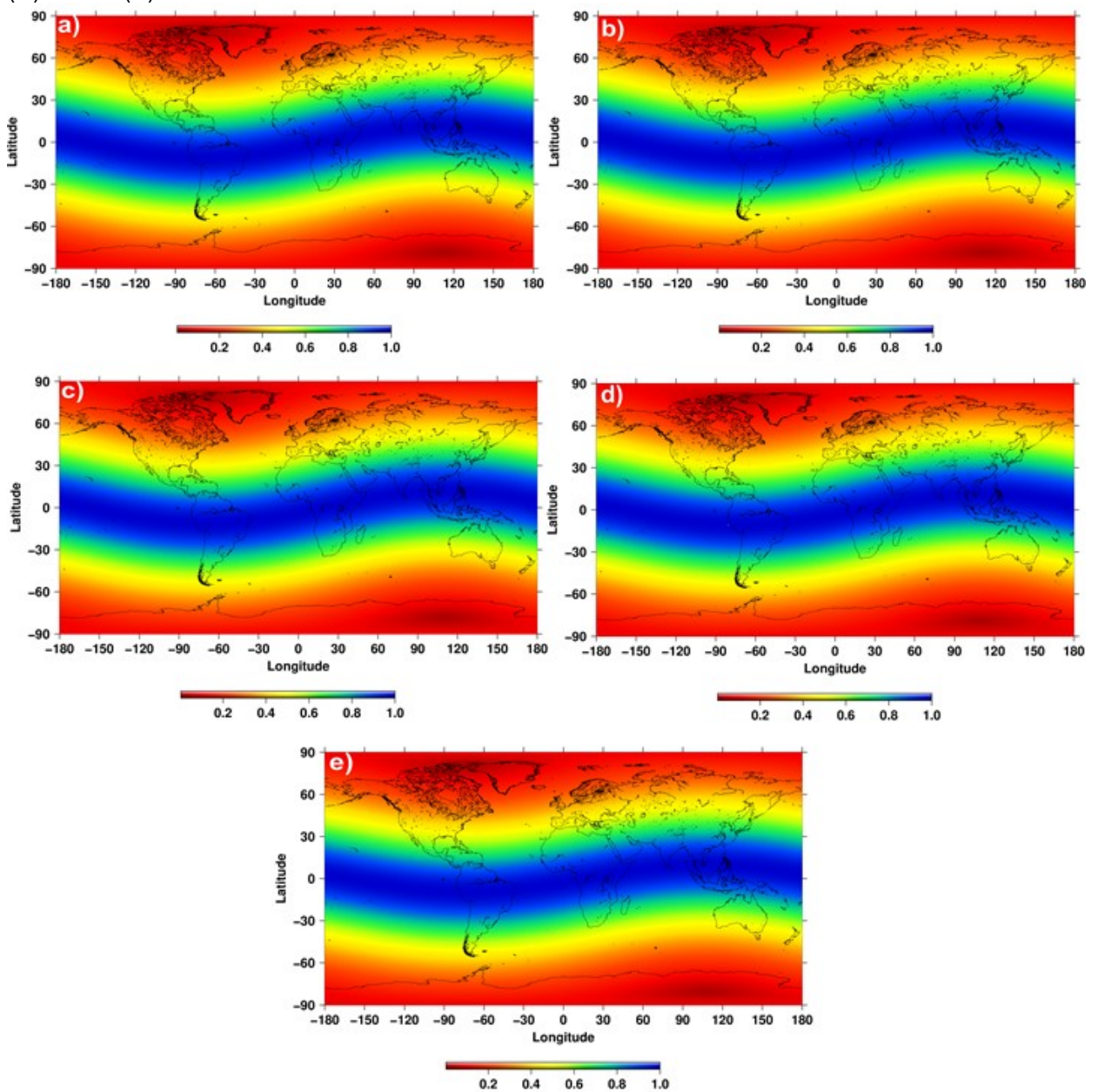
5.1.2 CONTRIBUIÇÕES DAS COMPONENTES H E Z PARA F CONSIDERANDO O CAMPO DIPOLAR

Por não apresentar a parcela não-dipolar do campo, a razão da componente H para F no campo dipolar se mantém praticamente a mesma no último século (Figura 14), apresentando um comportamento esperado para a geometria. Em 1900 vê-se valores maiores que 0.8 para latitudes de até 30°, apresentando uma diminuição na razão em relação a latitudes mais altas, este comportamento se

mantém o mesmo para todo o período estudado, desta forma, a contribuição da componente horizontal se mostra praticamente inalterada no último século.

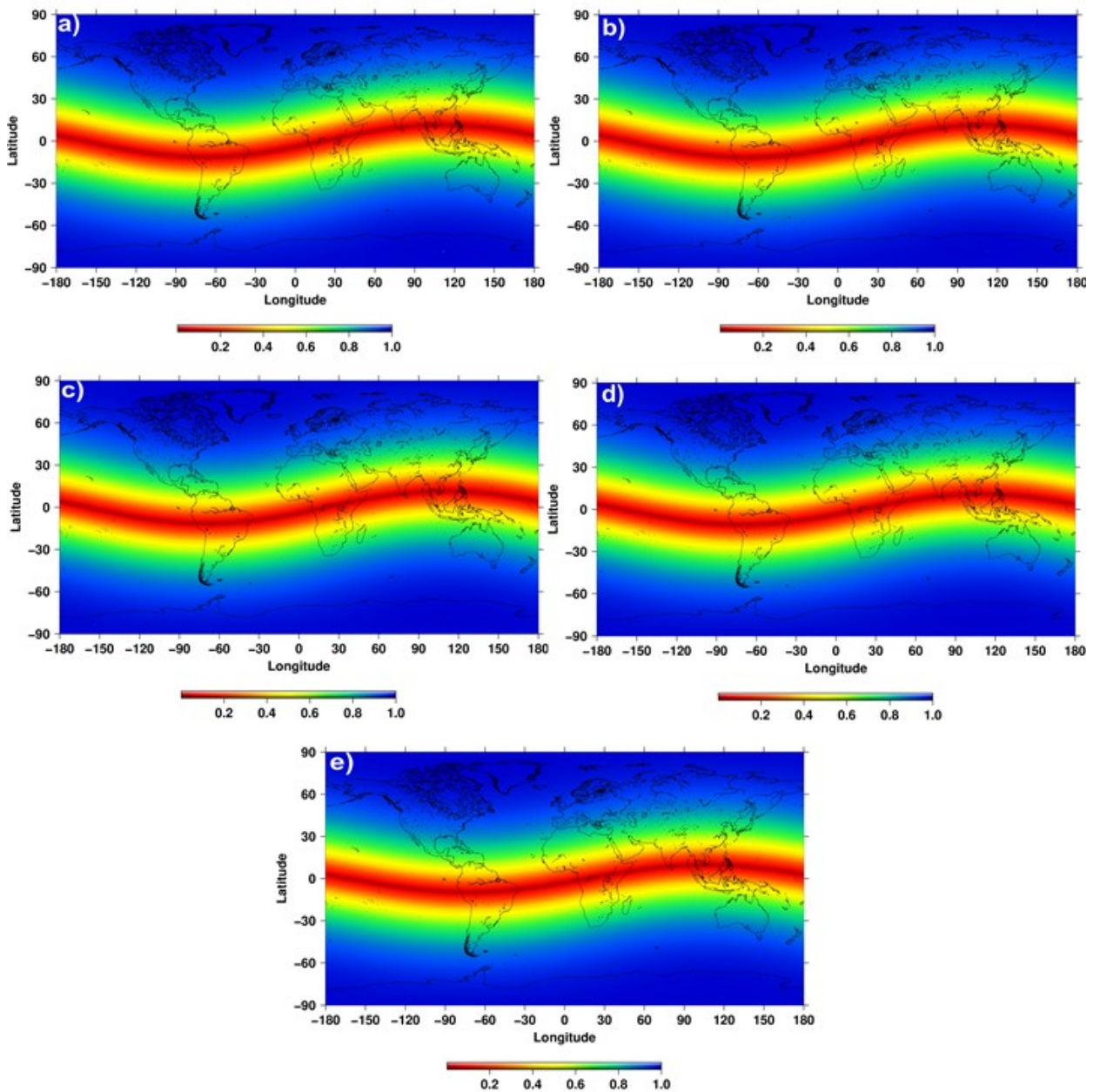
Embora a razão entre a componente vertical e F do campo dipolar (Figura 15) apresentem resultados opostos ao de H para Z , o comportamento esperado para a geometria também se faz presente nestes resultados. Para todo o período de estudo a componente vertical apresenta seus menores valores nas regiões de baixa latitude, apresentando um aumento de sua contribuição em latitudes mais altas.

Figura 14 – Mapas de razão H/F para o campo dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 15 – Mapas de razão Z/F para o campo dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

5.2 CAMPO TOTAL

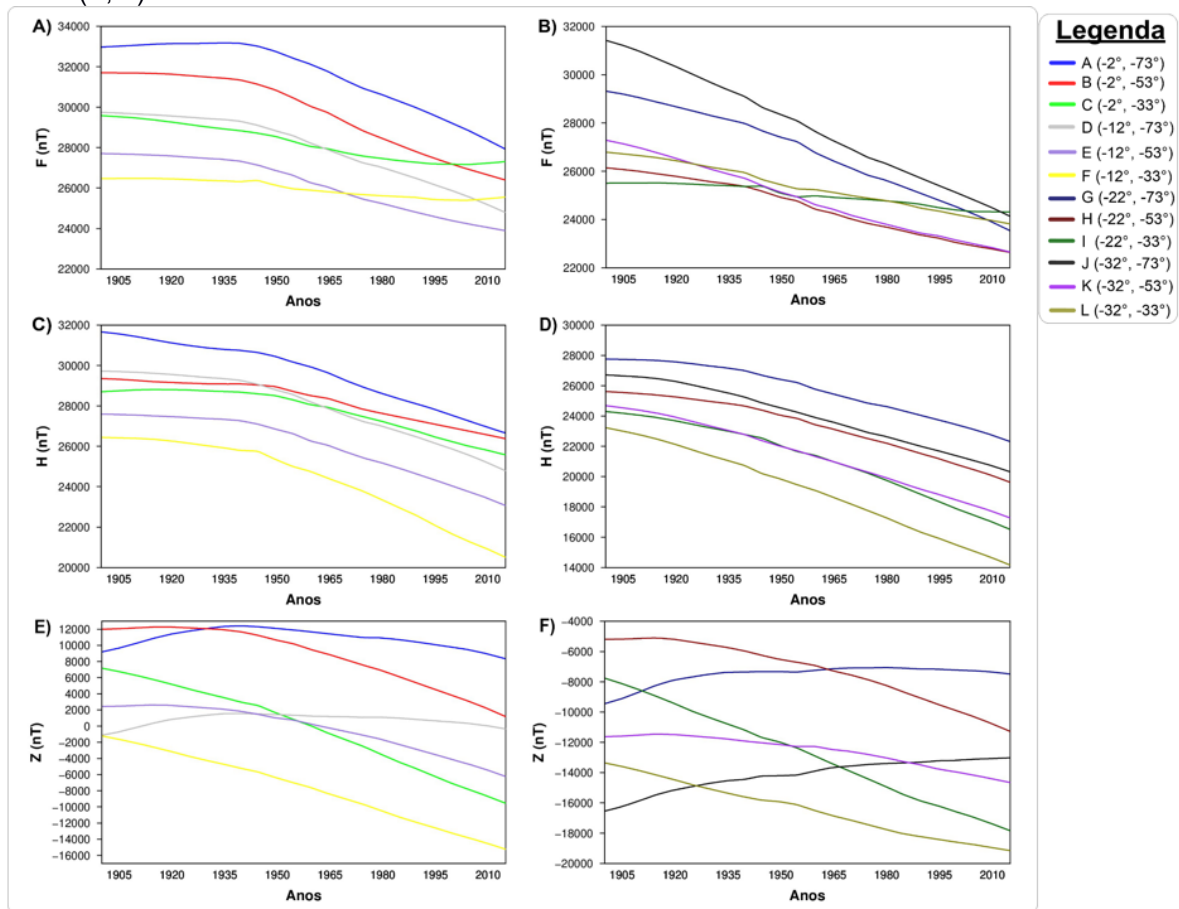
Os resultados são apresentados na forma de gráficos (Figura 16), permitindo a comparação entre distintas posições geográficas e diferentes épocas. Os valores apresentados correspondem ao campo geomagnético total, ou seja, o campo obtido levando em consideração todos os coeficientes de Gauss na expansão por harmônicos esféricos, e que é a melhor aproximação para o campo geomagnético real observado.

Os valores de F apresentados na Figura 16 (gráficos A e B) nos mostram um decréscimo em todos os pontos estudados, mostrando uma diminuição mais abrupta da intensidade a partir do ano 1940. Toda a região estudada é caracterizada por apresentar os menores valores de intensidade do campo geomagnético, sendo os pontos localizados nas latitudes mais altas dessa área os que apresentam os menores valores de todo o campo, chegando a aproximadamente 22000 nT, cerca da metade do valor observado nas outras regiões.

A evolução temporal de H (Figura 16 C e D) nos mostra que, assim como F, houve um decréscimo nos valores de intensidade ao longo do período estudado, evidenciando um comportamento bem similar com a da componente total. Mesmo os pontos localizados mais próximos ao equador, onde H deveria apresentar seus maiores valores, apresentam uma diminuição, enquanto os pontos localizados mais próximos ao centro da anomalia apresentam uma diminuição ainda maior chegando a haver uma variação de cerca de 8000 nT.

Para a análise temporal da componente Z (Figura 16 E e F), podemos ver um comportamento inverso aos apresentados pelas componentes anteriores. Considerando os valores em módulo, observamos um aumento de intensidade em toda a área estudada, onde os pontos localizados em altas latitudes, mais próximas ao centro da AMAS, apresentam acréscimos de intensidade que chegam a cerca de 11000 nT.

Figura 16 – Variação da intensidade das componentes geomagnéticas total (A, B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).

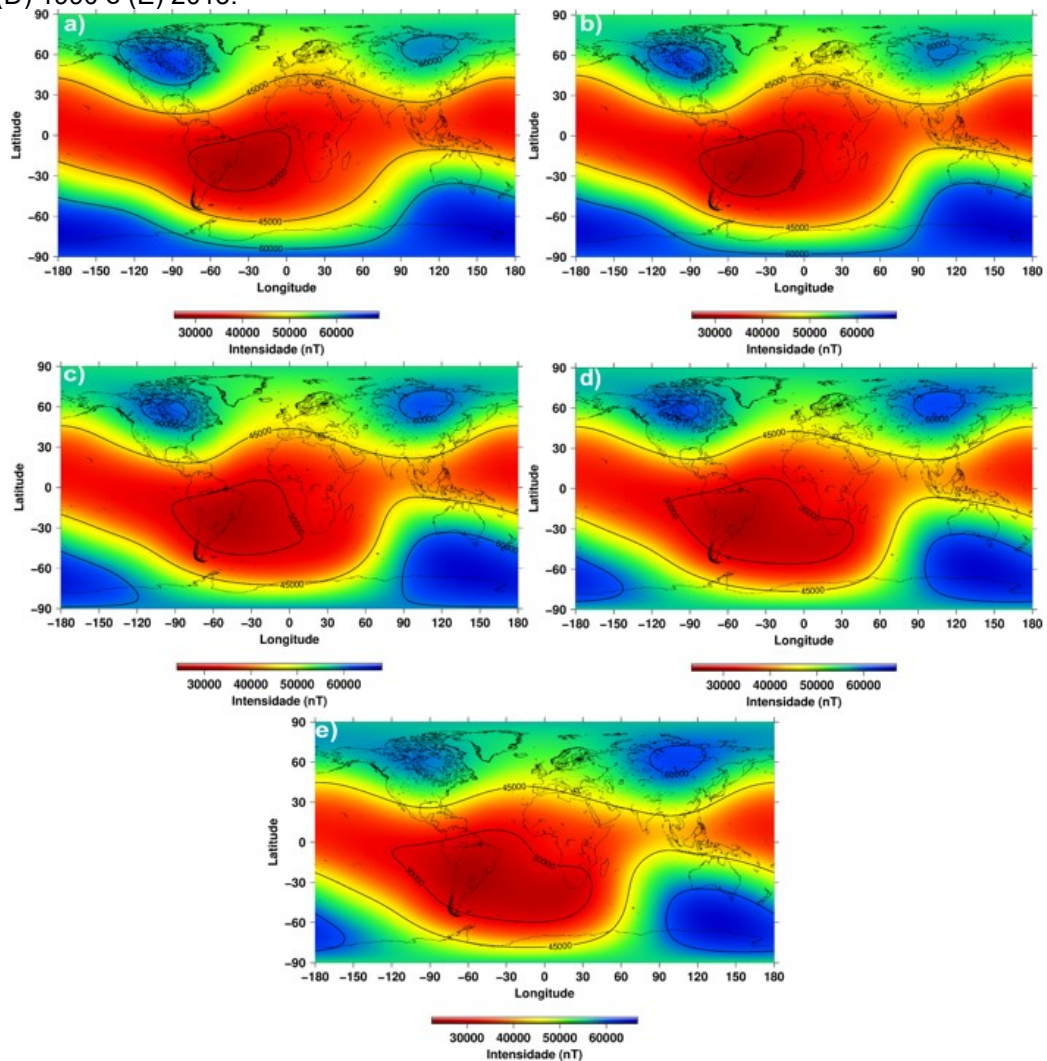


Fonte: Autora, 2019.

Os resultados obtidos em escala global para o campo total nos mostram sua variação ao longo de todo o período estudado. Embora apresente alguns valores de intensidade correspondentes aqueles esperados para um campo totalmente dipolar, como seus altos valores de intensidade nas regiões polares, os resultados de F se destacam principalmente pelos baixos valores de intensidade localizados inicialmente na porção equatorial que, ao longo do tempo, aumentam sua área de abrangência, além de apresentar uma deriva para oeste (Figura 17). O que se observa é uma região com valores abaixo de 30000 nT que se localiza sobre parte do oceano atlântico e uma porção leste do Brasil no ano de 1900, ao longo do período de estudo o baixo de intensidade se desloca, cobrindo grande parte da América do Sul, assim como a porção sul do oceano atlântico. Como citado anteriormente a componente total do campo é composta pelas componentes horizontal e vertical, desta forma, conseguimos identificar se, assim como F, elas apresentam comportamento anômalo ao esperado para essa região. Os resultados da componente horizontal (Figura 18) do campo mostram também um

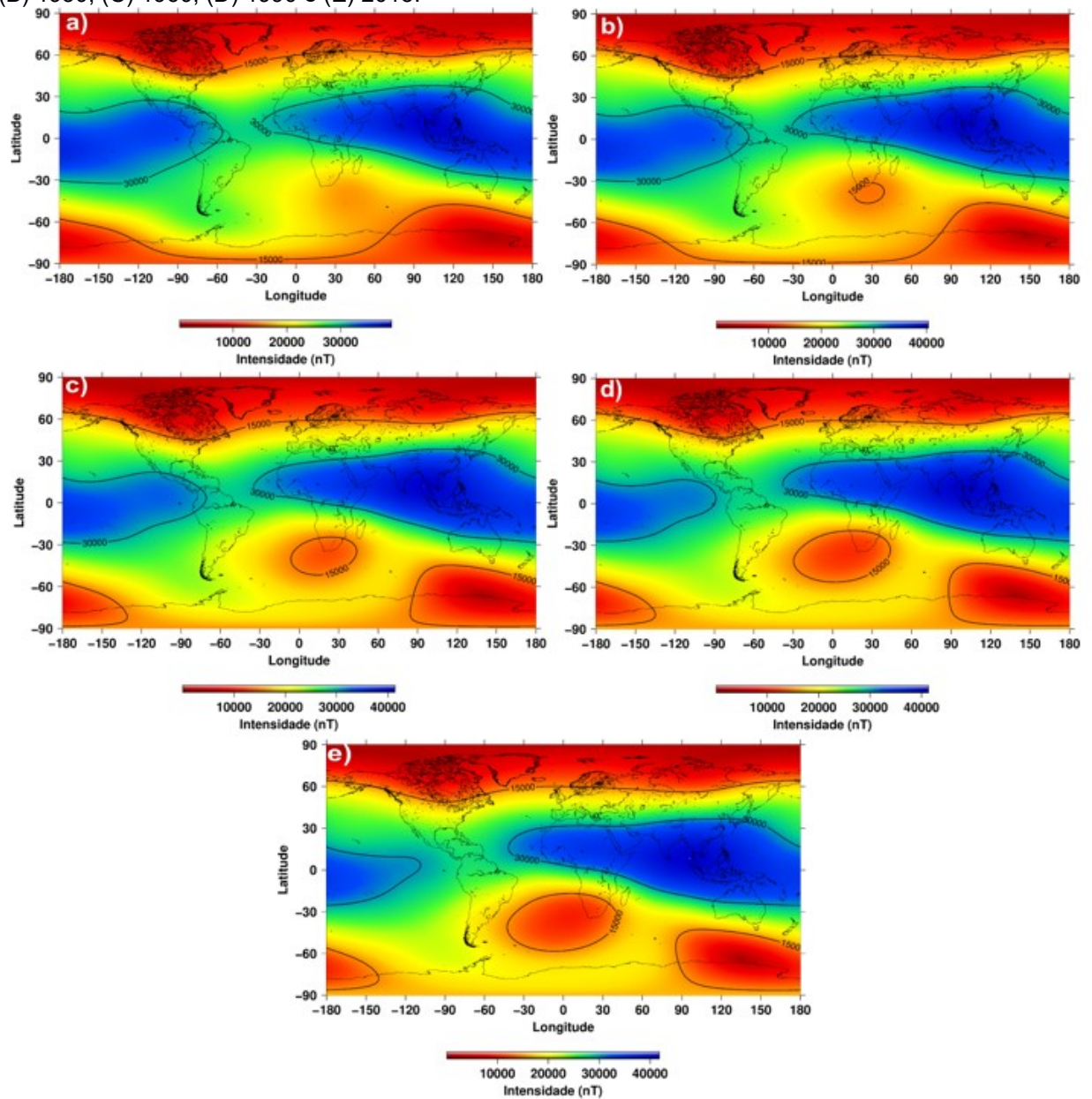
comportamento esperado para as regiões polares, apresentando baixos valores de intensidade, no entanto, assim como no campo total, o que se destaca são valores abaixo de 15000 nT presentes na região equatorial, onde a componente H deveria apresentar seus maiores valores de intensidade. É possível notar o aumento de sua área de abrangência, sendo mais perceptível a partir de 1930 e passando a cobrir parte do atlântico sul em 2015. A componente Z do campo geomagnético (Figura 19) deve ser analisada em módulo. No início do período estudado vê-se um comportamento esperado para esta componente, apresentando valores máximos nas regiões polares e mínimos nas regiões equatoriais, no entanto, uma região com valores mais altos de intensidade é notada sobre o atlântico sul, apresentando nos últimos anos estudados um aumento de abrangência assim como uma deriva para oeste.

Figura 17 – Campo total F do campo geomagnético total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



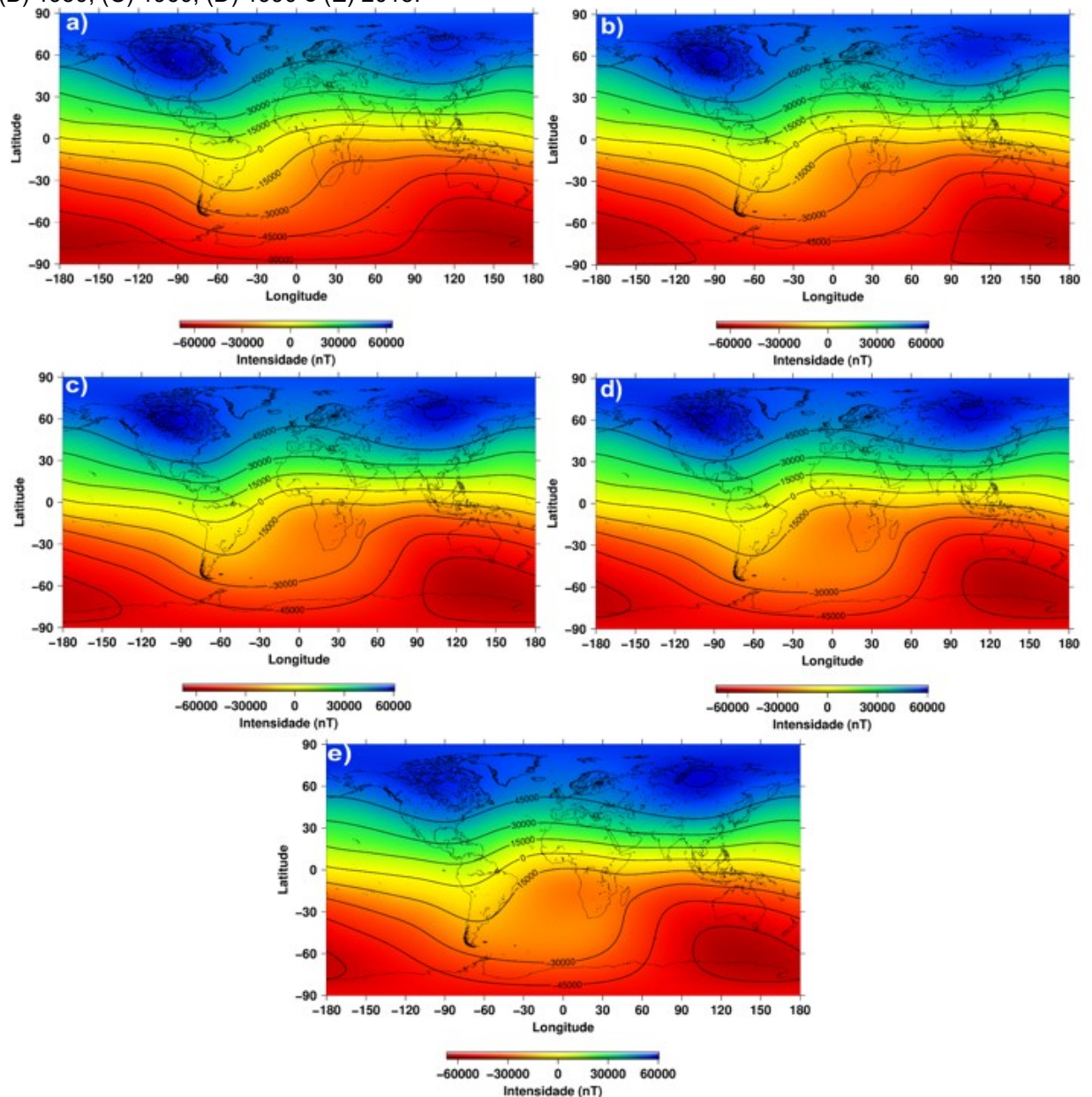
Fonte: Autora, 2019.

Figura 18 – Componente de intensidade H do campo geomagnético total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 19 – Componente de intensidade Z do campo geomagnético total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



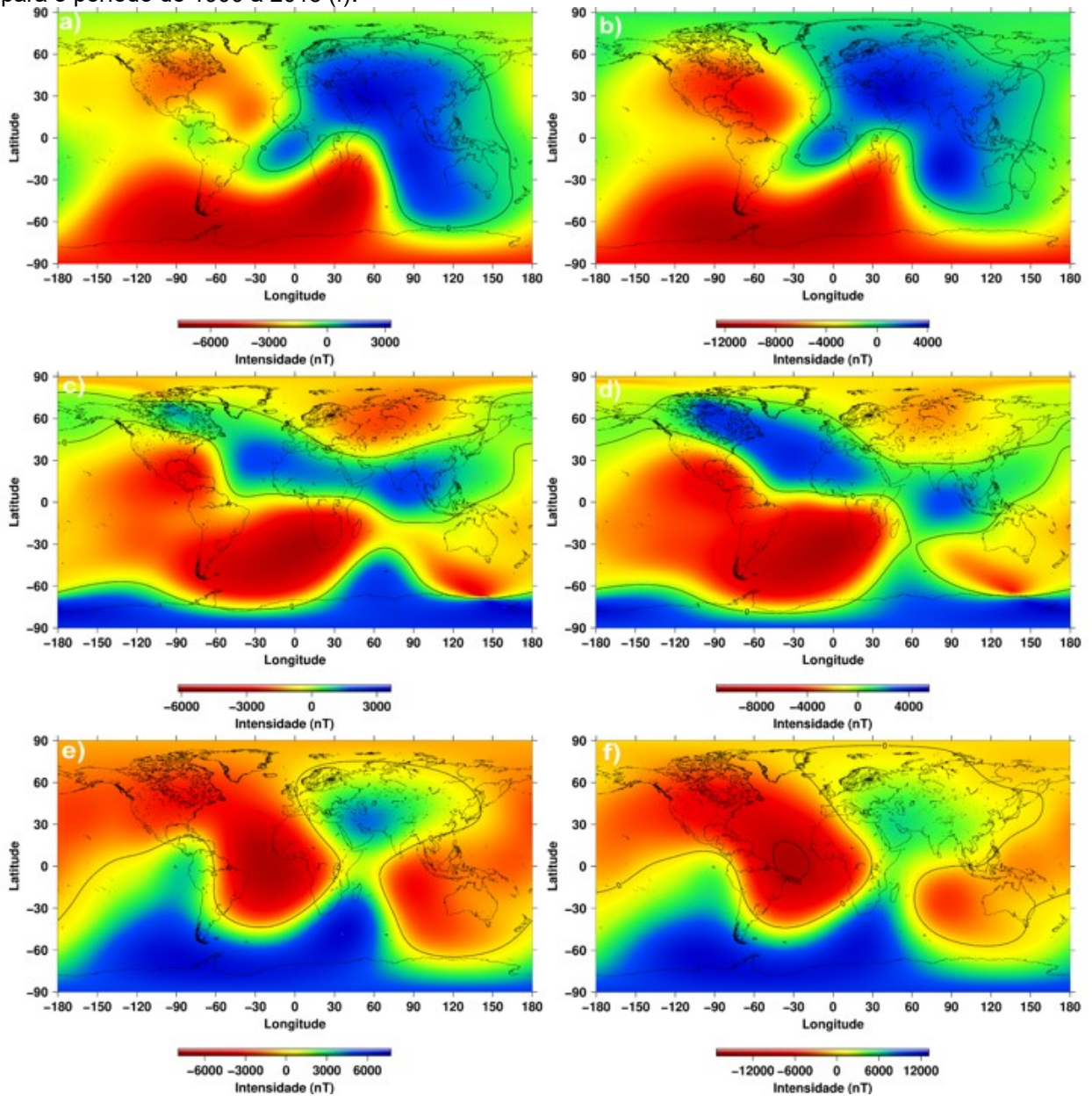
Fonte: Autora, 2019.

5.2.1 VARIAÇÕES DO CAMPO TOTAL

A Figura 20 apresenta as variações observadas para o campo total. Analisando a variação de F do campo total, observamos uma diminuição para a maior parte da área investigada para o período de 1900 a 1960, sendo possível observar que em regiões localizadas na porção ocidental do globo há uma diminuição que chega a mais de 6000 nT, embora a porção oriental apresente valores parecidos de decréscimo, a maior parte se caracteriza por apresentar um

aumento de aproximadamente 3000 nT. Para o período que compreende 115 anos (1900 a 2015) vemos que o comportamento se mantém, desta forma observamos um acréscimo de intensidade na região oriental e um decréscimo para praticamente toda a região ocidental, os valores correspondentes aos máximos e mínimos de intensidade que variaram apresentaram mudança. O valor de maior diminuição apresentado para o período até 2015 chega a mais de -12000 nT, apresentando uma redução de aproximadamente 100%, enquanto o valor correspondente ao acréscimo de intensidade até o ano de 2015 chega a 4000 nT, apresentando então um aumento de cerca de 33% de um período para o outro. A componente horizontal H, apresenta uma diminuição de intensidade para a maior parte da região estudada, exceto para as regiões localizadas na porção de altas latitudes, próximas ao polo sul e para a região que compreende o norte da África e o sul Asiático. Para as regiões que apresentam um aumento de intensidade esses acréscimos chegaram a cerca de 3000 nT, para as região que apresentam um decréscimo os valores observados chegam a cerca de -6000 nT. Para os resultados que compreendem também o período até o ano de 2015 vemos que a região afetada por um aumento de intensidade se estende, chegando a afetar porções da América do Norte, seus valores de acréscimo chegam a cerca de 4000 nT, caracterizando um aumento de aproximadamente 33% de um período para o outro, os valores de decréscimo chegam a cerca de -8000 nT, caracterizando uma diminuição de cerca de 33%. A componente vertical Z apresenta para o período de 1900 a 1960 valores que chegam a 6000 nT. Esta componente deve ser analisada em módulo, desta forma seus maiores valores de variação da intensidade são observados principalmente na região do polo sul, assim como na região do oceano Atlântico. Para o período de 1900 a 2015 a variação chegou a mais de 12000 nT, evidenciando assim um aumento de mais de 100%.

Figura 20 – Variações das componentes do campo geomagnético total. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015 (b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).



Fonte: Autora, 2019.

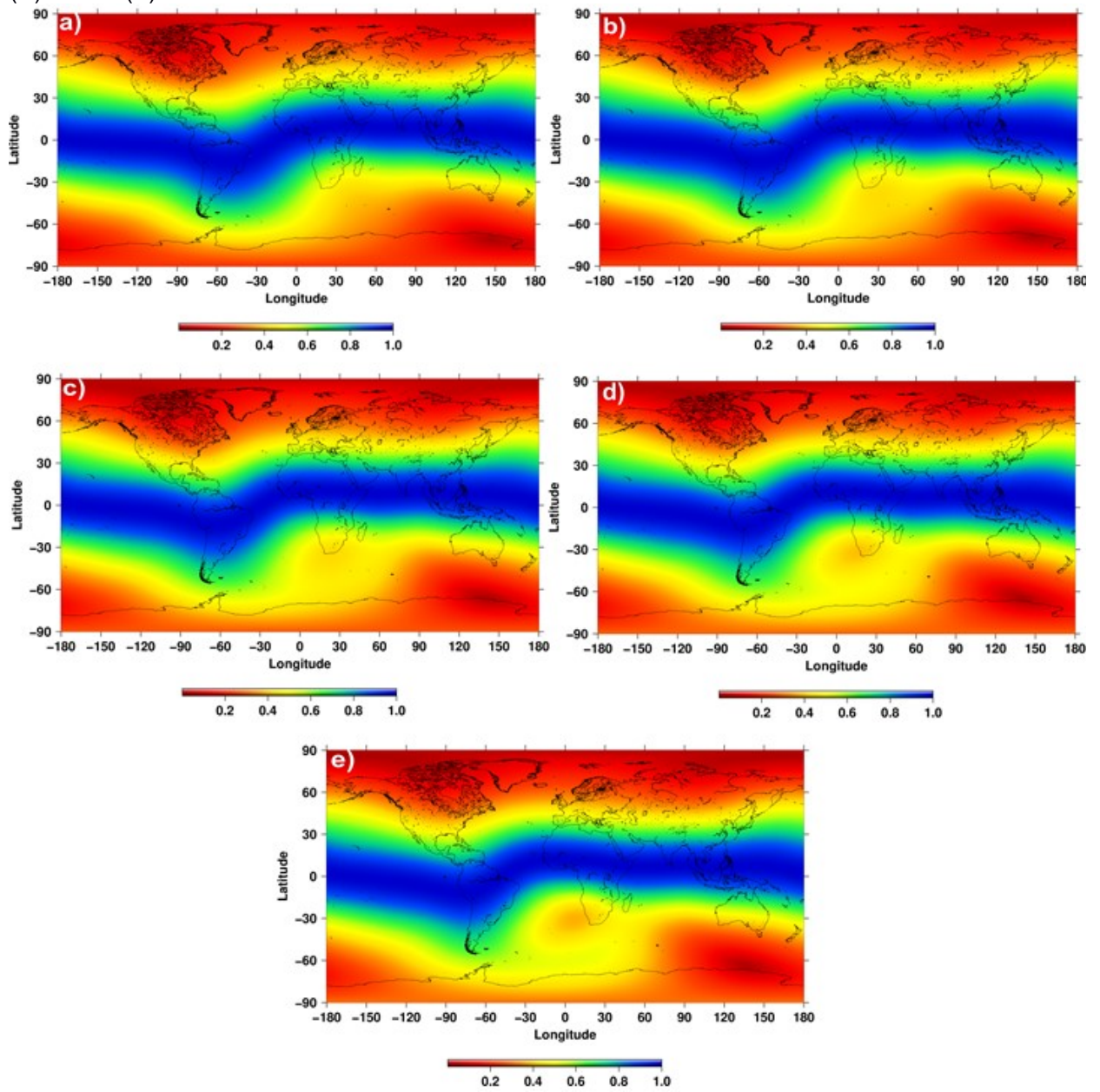
5.2.2 CONTRIBUIÇÕES DAS COMPONENTES H E Z PARA F CONSIDERANDO O CAMPO TOTAL

Na Figura 21 são apresentadas as razões entre a componente horizontal e o campo total. A razão para o início do período mostra que H tinha grande contribuição para o campo total nas regiões de baixa altitude, apresentando valores maiores do 0.9. A partir de 1930 é possível notar um aumento da área ocupada por valores abaixo de 0.5 na porção sul do oceano atlântico. Nos anos seguintes a área

de menor contribuição aumenta, além de apresentar uma diminuição ainda maior de contribuição, chegando a valores abaixo de 0.4 em 2015. Além do aumento da área ainda é observado uma deriva para oeste, com os valores abaixo de 0.4 aparecendo inicialmente no extremo sul da África e posteriormente migrando em direção ao Brasil.

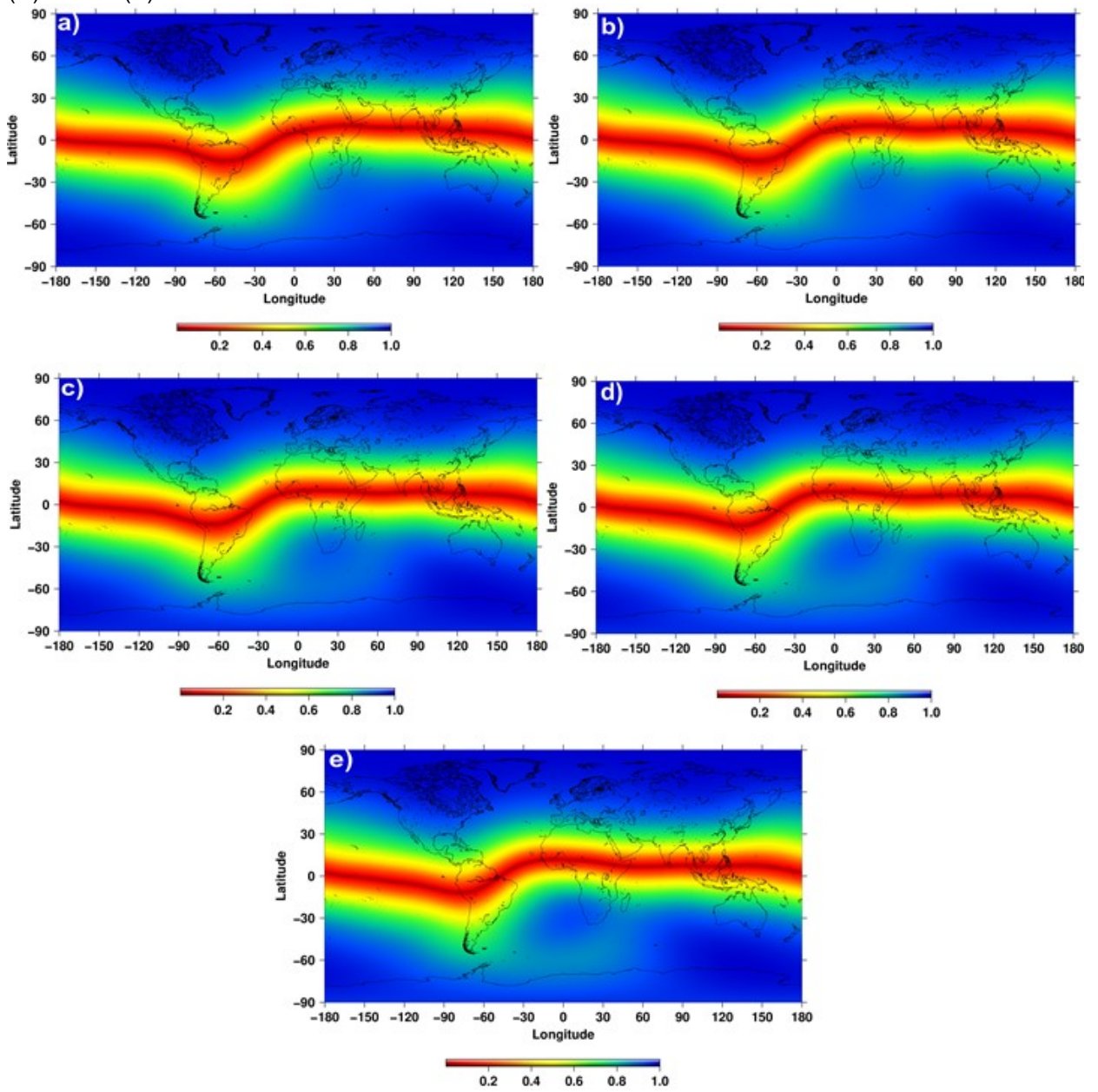
A razão entre Z e o campo total é apresentada na Figura 22 e mostra a grande contribuição da componente para grande parte do planeta, apresentando valores maiores que 0.9 nas regiões equatoriais e valores abaixo de 0.7 para toda a faixa de latitude que compreende a América do Sul. Assim como na razão H/F, aqui vê-se uma anomalia nas contribuições ao longo do período. A partir de 1930 é possível notar um aumento na contribuição da componente Z no sul da África, essa área anômala aumenta sua área de abrangência, além de apresentar uma deriva para oeste, apresentando em 2015 contribuições acima 0.8 onde antes eram apresentados valores abaixo de 0.7, mostrando assim que a contribuição da componente vertical para a região onde se localiza a AMAS vem aumentando no último século.

Figura 21 – Mapas de razão H/F para o campo total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 22 – Mapas de razão Z/F para o campo total para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

5.3 PARCELA NÃO-DIPOLAR

Os valores de H, Z e F associados ao campo não-dipolar podem ser obtidos após igualar a zero os coeficientes de Gauss associados ao campo dipolar na expansão por harmônicos esféricos. A Figura 23 apresenta os valores das componentes não-dipolares de H, Z e F, denotadas por H_{ND} , Z_{ND} e F_{ND} , respectivamente.

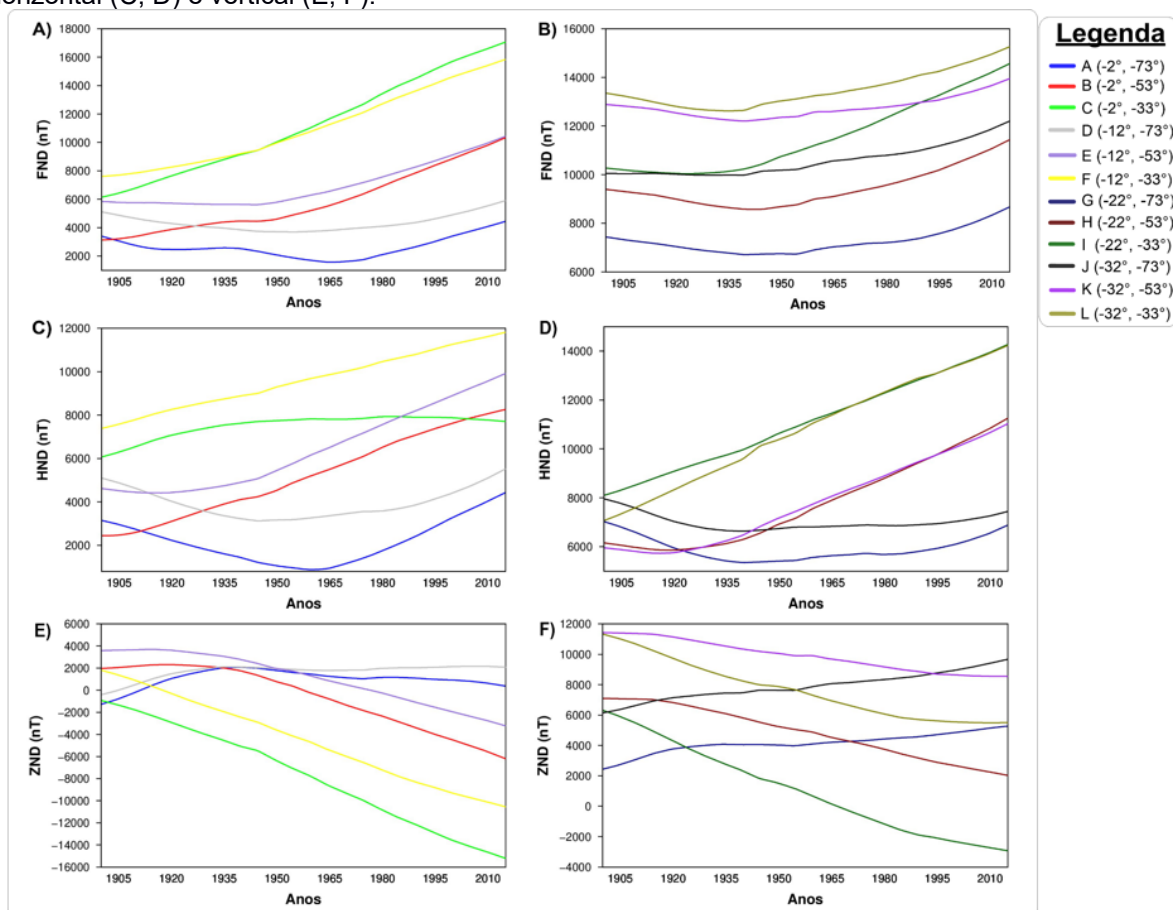
Resultados mostram que o campo não-dipolar representa cerca de 17% do campo total, desta forma seus valores de intensidade são menores do que aqueles observados para o campo geomagnético total nos resultados anteriores. A variação temporal de F_{ND} (Figura 23 A e B) apresenta um grande aumento da intensidade nos pontos de latitudes localizadas mais ao norte, esse aumento se dá principalmente nos pontos localizados na região nordeste da área investigada, isso ocorre por que a área de abrangência da AMAS ao longo dos anos aumentou de forma que passou a afetar grande parte desta região, chegando a latitudes próximas ao equador. Os pontos localizados mais ao sul da área investigada apresentam valores de intensidade maiores que os demais desde o início do período investigado, apresentando um aumento que varia de 2000 a 5000 nT ao longo dos anos, sendo esta região já afetada pela anomalia desde cerca do ano de 1850 segundo Hartmann (2005).

A variação temporal de H_{ND} (Figura 23 C e D) apresenta um relativo aumento ao longo do período estudado para todos os pontos investigados. Embora seus valores sejam muito menores do que os apresentados para o campo total, ainda mostra que ao contrário de H, H_{ND} vem aumentando sua contribuição para o campo não-dipolar gerado na anomalia. Os pontos localizados mais ao sul apresentam um aumento mais significativo do que os localizados ao norte, em um campo totalmente dipolar, esses valores de H deveriam ser mais altos justamente nos pontos de latitudes mais baixas, caracterizando assim um comportamento contrário ao esperado para o campo dipolar.

A componente Z_{ND} (Figura 23 E e F) apresenta, em módulo, um grande aumento em todos os pontos investigados, os pontos localizados ao sul compreendem os maiores aumentos. De modo geral toda a área investigada apresenta intensidade Z_{ND} maior do que a Z observada no campo geomagnético

total, sendo o aumento da intensidade vertical de ambas parcelas do campo uma forte característica desta região.

Figura 23 – Variação da intensidade das componentes geomagnéticas não-dipolares total (A, B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).

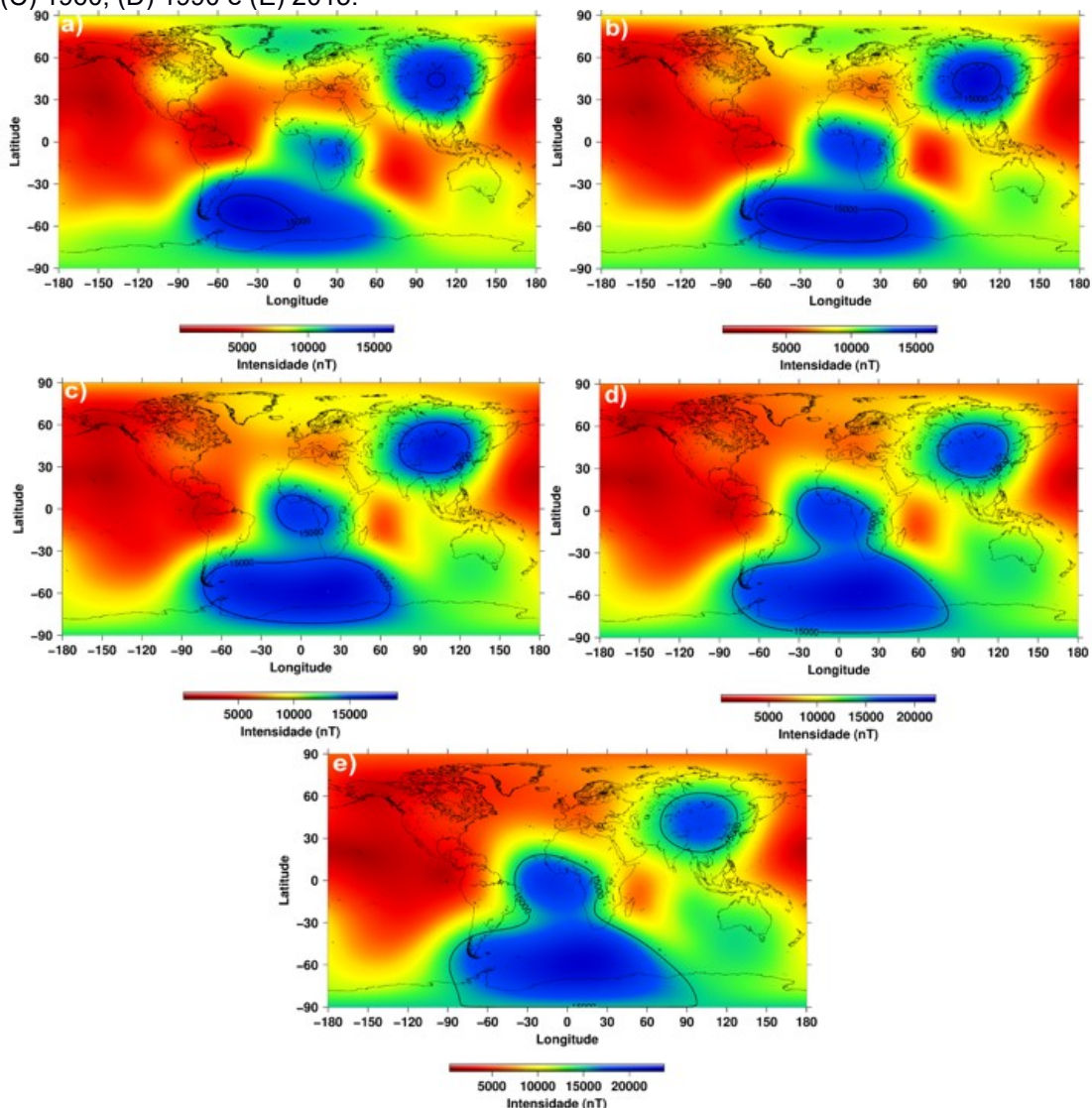


Fonte: Autora, 2019.

O campo não-dipolar corresponde a parcela do campo que caracteriza a AMAS, apresentando assim grande parte de sua contribuição na região correspondente a anomalia, desta forma, os resultados obtidos para a escala global nos permite analisar melhor seu comportamento em outras partes do globo. Logo no início do período estudado, F não-dipolar (Figura 24) apresenta duas anomalias de maior intensidade localizadas em diferentes pontos da área de estudo, uma na região sul e outra na região norte. A anomalia localizada ao sul está disposta em sua maior parte sobre o oceano atlântico, próxima a região onde as componentes do campo total apresentam seus valores anômalos. A anomalia ao norte se localiza na região do Alto da Sibéria, caracterizada, assim como a AMAS, por apresentar valores de intensidade fora do esperado para aquela região. Ao longo dos anos

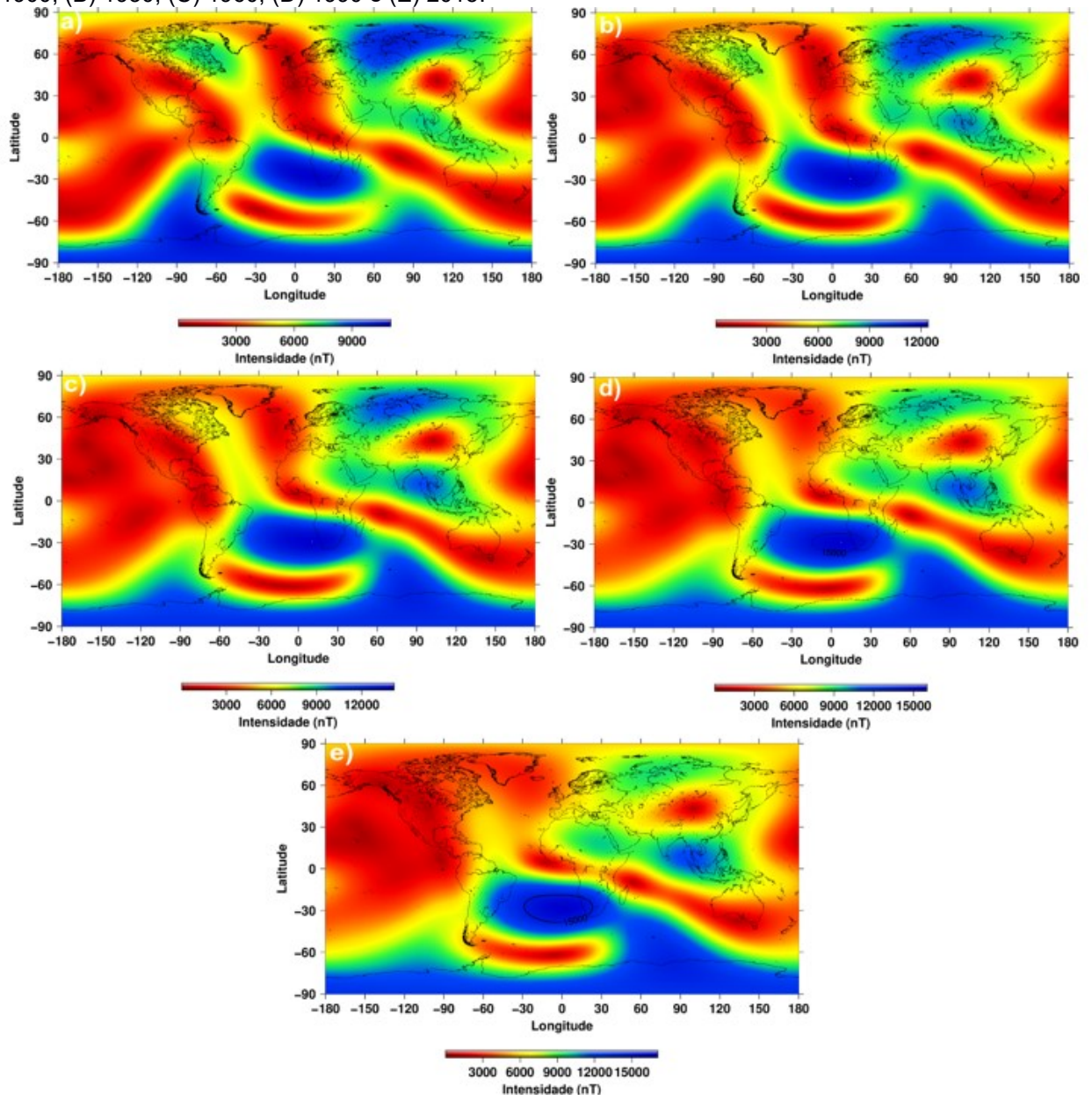
estudados vê-se um aumento da área de abrangência de ambas as anomalias com destaque para a anomalia presente na porção sul, que passa a ocupar grande parte do território. A componente horizontal do campo não-dipolar (Figura 25) apresenta ao longo do tempo um deslocamento para oeste de seus valores de menor intensidade. Embora apresente uma diminuição dos valores de intensidade para a maior parte da área de estudo, a região do atlântico sul apresenta um aumento nos valores máximos de intensidade que chegam a mais de 15000 nT em 2015. A componente Z (Figura 26) do campo não-dipolar apresenta uma diminuição de intensidade para grande parte da área estudada ao longo dos anos, apresentando ao final do período picos de valores mais altos de intensidade em regiões específicas localizadas na área do atlântico sul e na região da Sibéria.

Figura 24 – Campo total F do campo geomagnético não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



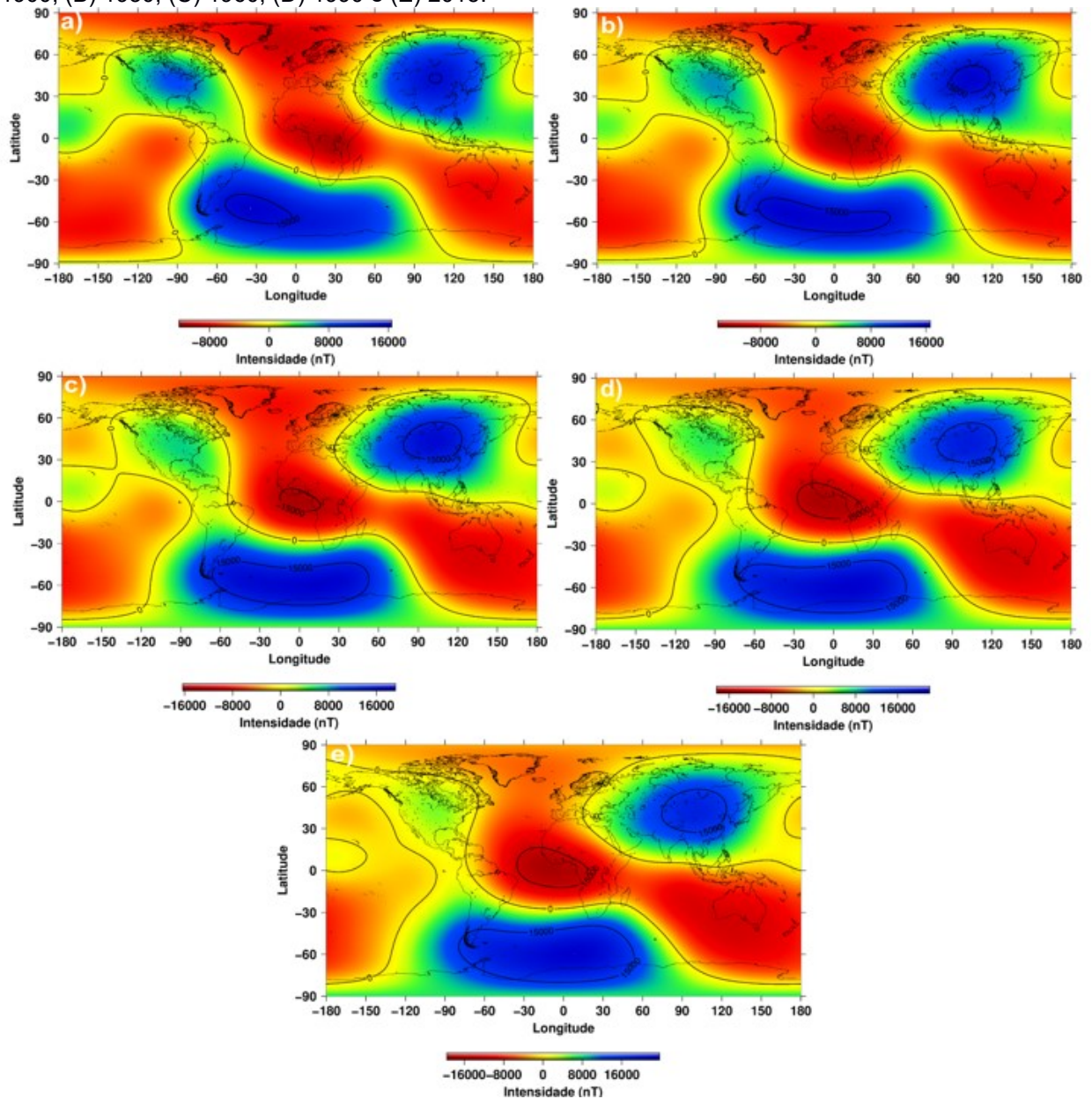
Fonte: Autora, 2019.

Figura 25 – Componente de intensidade H do campo geomagnético não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 26 – Componente de intensidade Z do campo geomagnético não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



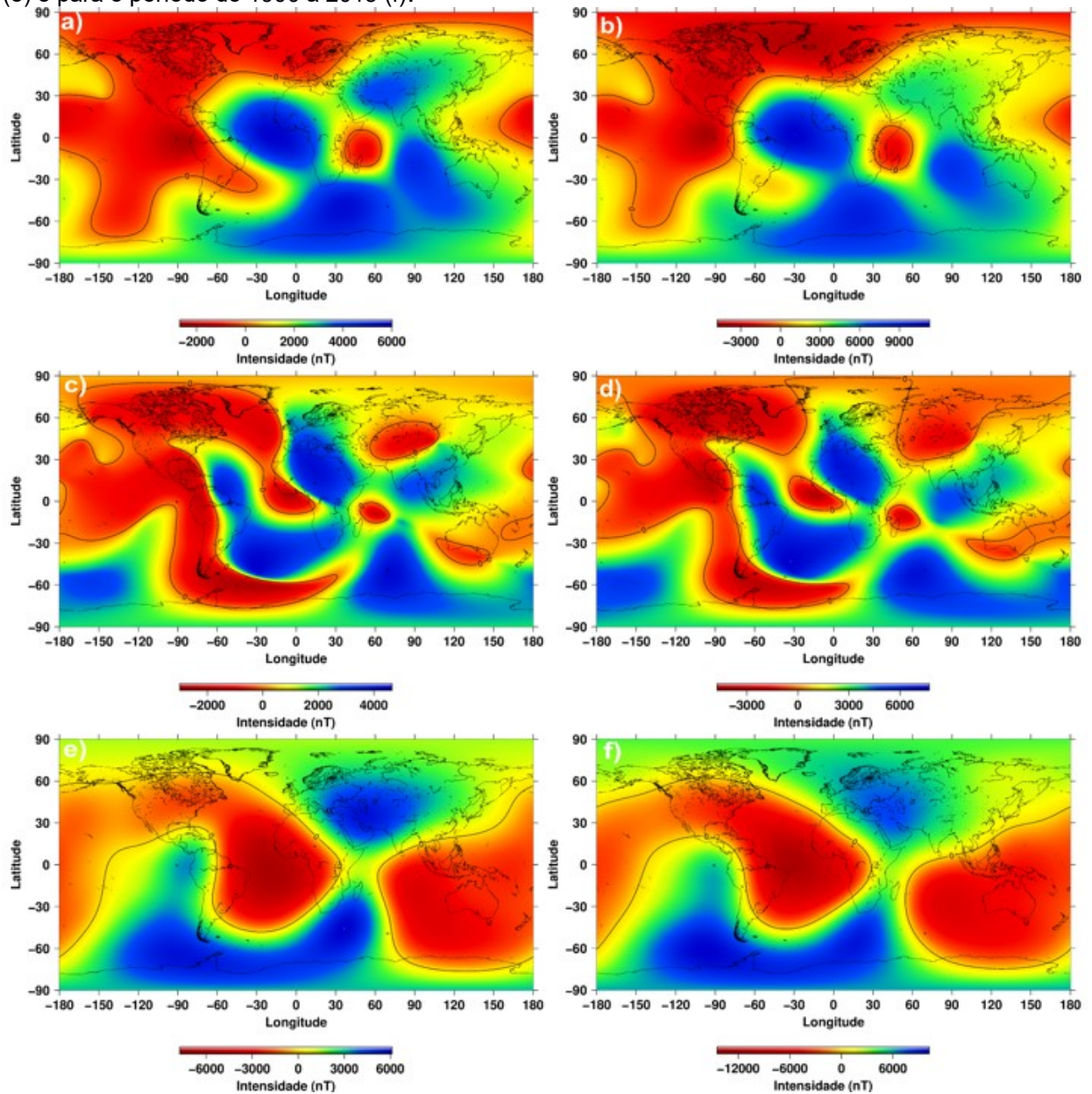
Fonte: Autora, 2019.

5.3.1 VARIAÇÕES DO CAMPO NÃO-DIPOLAR TOTAL

O campo não-dipolar total é o somatório das componentes quadrupolar, octupolar e assim por diante, suas variações estão apresentadas na Figura 27. O campo não-dipolar total apresenta um acréscimo de intensidade F para a maior parte da região, os valores chegam a cerca de 6000 nT para o período de 1900 a 1960, abrangendo uma região que compreende parte dos oceanos Atlântico, Antártico e Índico. Os valores de decréscimo de intensidade chegam a cerca de

2000 nT e cobrem grande parte do oceano Pacífico, a região do Ártico, além da América do Norte. Para o período que abrange 1900 a 2015 os valores correspondentes a acréscimos cobrem grande parte da área, apresentando um aumento de intensidade que chega a cerca de 9000 nT, aproximadamente 50% em relação ao período anterior. Os valores correspondentes ao decréscimos chegam a cerca de -3000 nT, indicando uma redução de cerca de 50% em relação ao período anterior. A variação da componente H do campo não-dipolar apresenta tanto um acréscimo quanto um decréscimo significativo, apresentando para o período de 1900 a 1960 um acréscimo de aproximadamente 4000 nT para diversas regiões do globo, dentre elas a região do Atlântico Sul. Os valores de decréscimo chegam a cerca de -2000 nT para regiões localizadas principalmente sobre parte do oceano Pacífico e sobre a América do Norte. Para o período que vai de 1900 a 2015 a variação relacionada ao acréscimo dos valores de intensidade chegam a cerca de 6000 nT, correspondendo a um aumento de cerca de 50% em relação ao período anterior, já a variação relacionada ao decréscimo chega a cerca de -3000 nT, o que caracteriza uma redução de cerca de 50% em relação ao período anterior. A componente Z apresenta no período de 1900 a 1960 variações de intensidade que chegam a cerca de 6000 nT, apresentando seus maiores valores na região da AMAS. Seu comportamento para a região da anomalia é semelhante ao comportamento apresentado para o campo total, no entanto, diferente do campo total, o campo não-dipolar não apresenta grande variação para o período de 1900 a 2015 na região do polo sul, apresentando aumento apenas na região do oceano atlântico, sendo este aumento de aproximadamente o dobro em relação ao período anterior, chegando a cerca de 12000 nT.

Figura 27 – Variações das componentes do campo geomagnético não-dipolar. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015 (b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).



Fonte: Autora, 2019

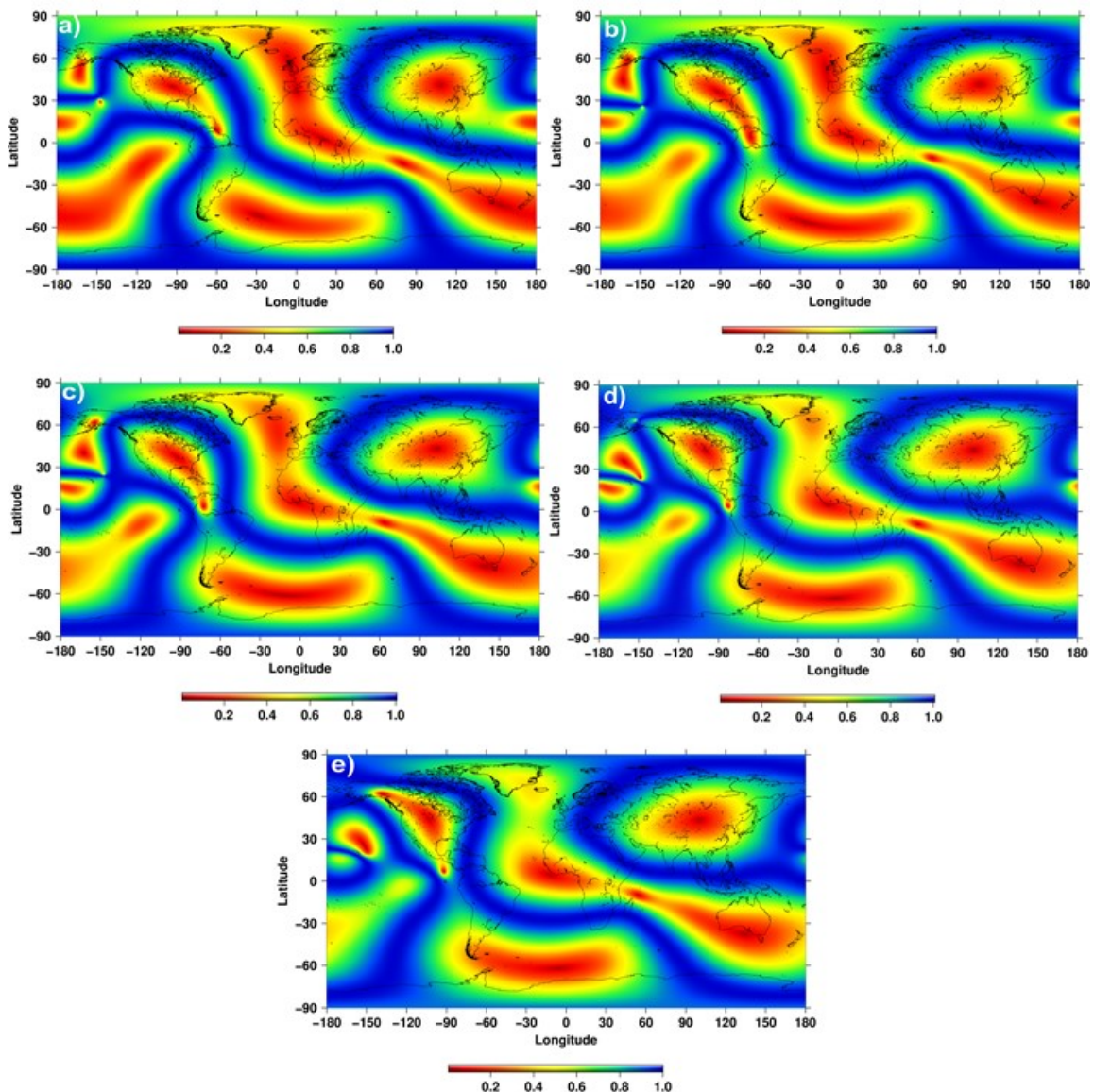
5.3.2 CONTRIBUIÇÕES DAS COMPONENTES H E Z PARA F CONSIDERANDO O CAMPO NÃO-DIPOLAR

O campo não-dipolar como visto nos resultados anteriores apresenta intensidade bem menor do que do campo total, apresentando seus maiores valores na região do atlântico sul. A contribuição da componente horizontal para o campo total F (Figura 28) apresenta um aumento de sua contribuição ao longo do tempo,

com áreas que apresentavam valores menores que 0.7 em 1900, passando a apresentar valores maiores que 0.8 em 2015. Na região sul é possível notar um aumento da área com valores abaixo de 0.7, indicando que para esta região houve uma diminuição da contribuição de H ao longo dos anos.

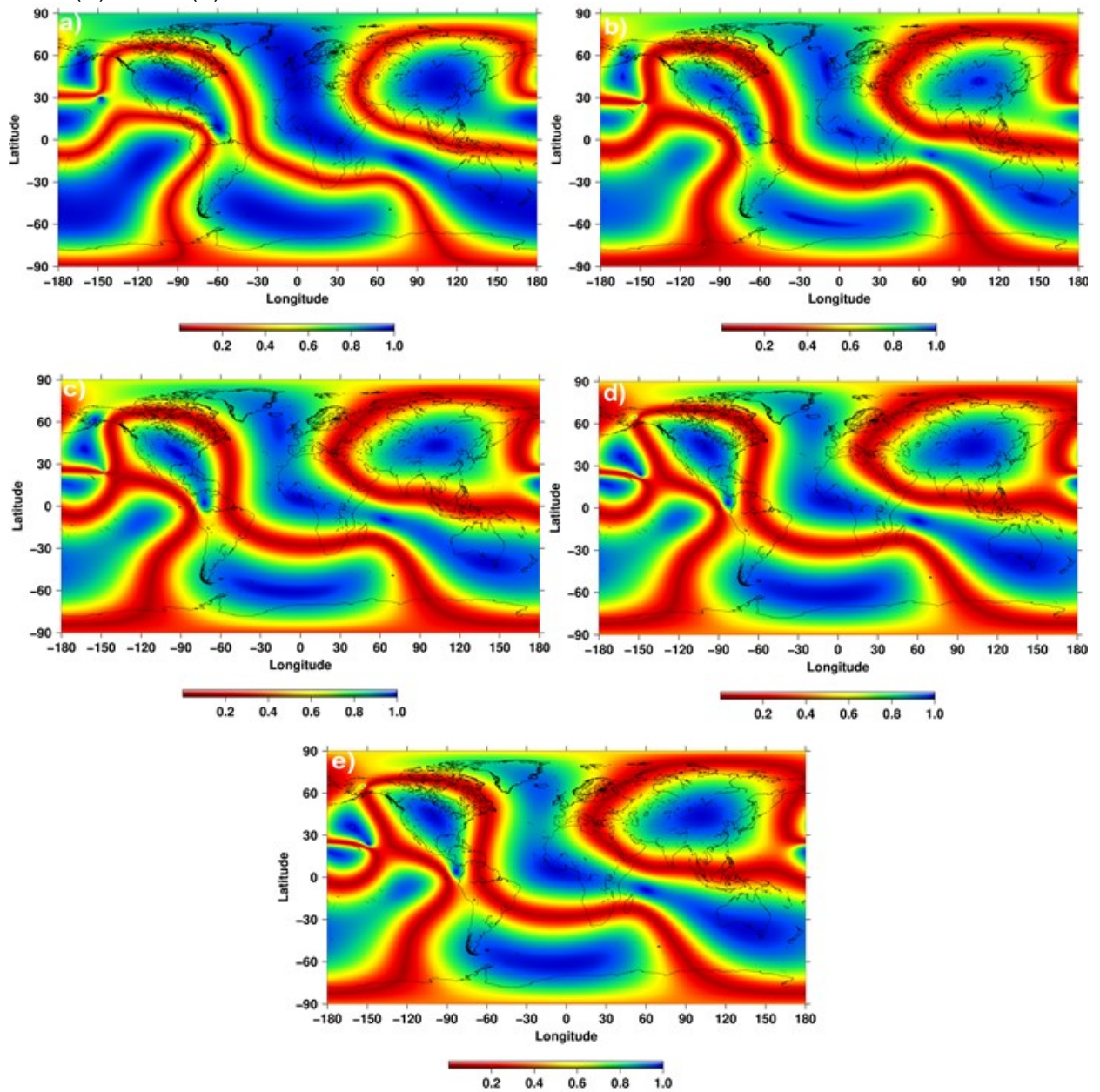
Os resultados da contribuição da componente vertical (Figura 29) apresentam valores opostos a contribuição da componente horizontal. Ao longo do período estudado vê-se um aumento das áreas correspondentes a valores menores que 0.8, apresentando, no entanto, um aumento da área de maior contribuição na região sul, mostrando assim que para esta região a contribuição da componente Z apresentou um acréscimo.

Figura 28 – Mapas de razão H/F para o campo não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 29 – Mapas de razão Z/F para o campo não-dipolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Os resultados de Hartmann & Pacca (2009), obtidos para o intensidade geomagnética total, indicaram que as componentes não-dipolares quadrupolar e octupolar apresentam contribuições distintas para F. Com o intuito de investigar se esta situação também ocorre para as componentes Z e H, as parcelas quadrupolar e octupolar foram investigadas separadamente.

5.4 PARCELA QUADRUPOLAR

Os valores das componentes de intensidade podem ser obtidos para o campo quadrupolar por meio da edição do programa utilizado, sendo assim, são atribuídos aos valores dos coeficientes correspondentes aos demais campos o valor igual a zero, desta forma obtemos apenas os valores correspondentes aos coeficientes de grau 2.

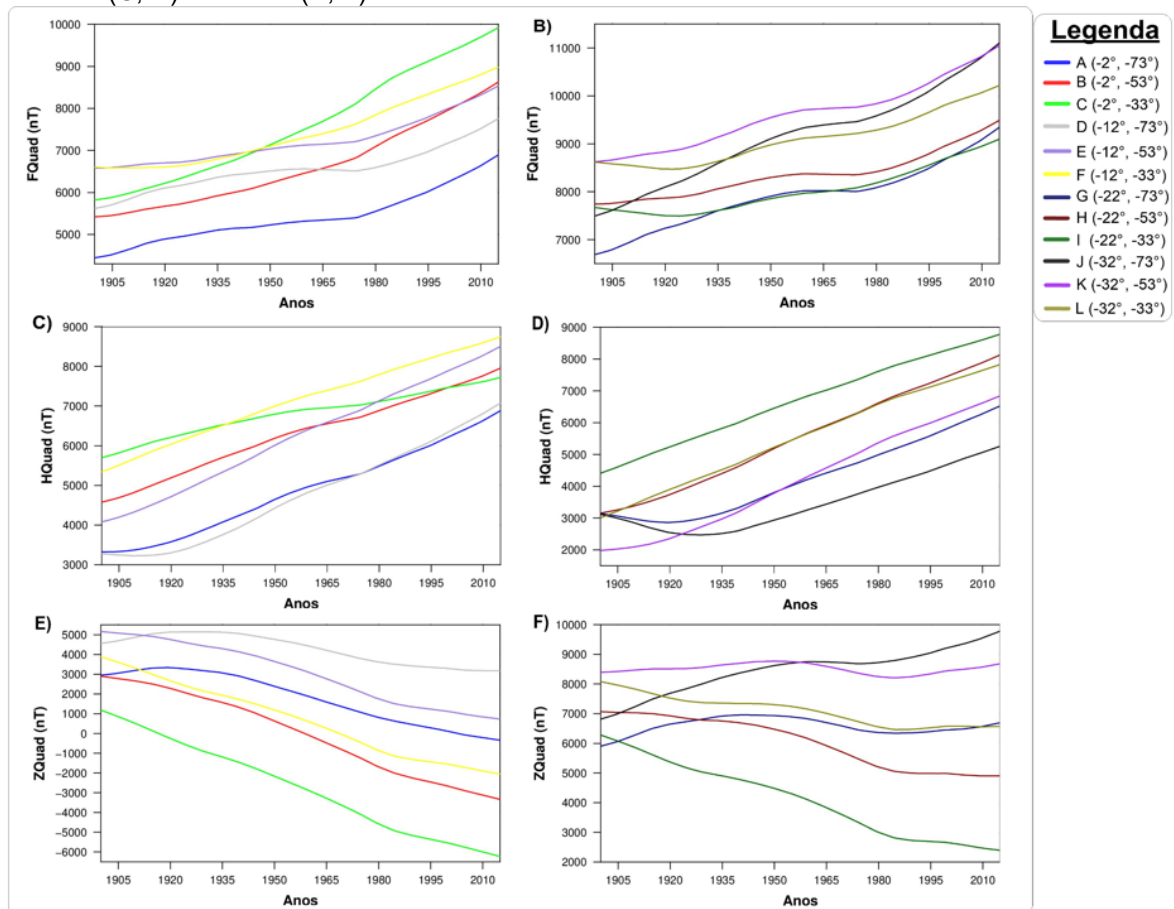
Na Figura 30 estão dispostos os valores de FQuad, HQuad e ZQuad respectivamente. Se tratando de um campo quadrupolar obtemos dipolos em diferentes lugares da área de estudo, apresentando assim um comportamento diferente do esperado para a região estudada nas análises pontuais.

O campo FQuad (Figura 30 A e B) apresenta um comportamento de acréscimo para todos os pontos estudados, com seus valores apresentando uma variação que vai de aproximadamente 4000 nT até cerca de 11000 nT ao longo do período de 115 anos. Diferente de resultados anteriores correspondentes a outras parcelas do campo, este não apresenta uma grande diferença de intensidade de acordo com a localização dos pontos, visto que os valores se mostram próximos tanto para região localizada mais perto do equador quanto para a região correspondente a latitudes mais altas.

A componente HQuad (Figura 30 C e D) também apresenta um acréscimo de seus valores ao longo do período estudado para todos os pontos, seus valores vão de cerca de 2000 nT até 9000 nT. Assim como para FQuad, a componente horizontal também apresenta valores parecidos de intensidade tanto para os pontos localizados na região equatorial quanto para pontos mais ao sul.

A componente ZQuad (Figura 30 E e F) deve ser analisada considerando seus valores em módulo, desta forma, é possível notar um comportamento diferente do apresentado pelas componentes anteriores. Apesar de apresentar acréscimo de intensidade para alguns pontos é possível notar também um pequeno decréscimo de intensidade para alguns dos pontos localizados mais ao sul. Alguns pontos localizados mais na região equatorial passam a apresentar valores negativos a partir de determinado período, isso pode significar uma mudança na área de abrangência de um dos dipolos.

Figura 30 – Variação de intensidade das componentes geomagnéticas quadrupolar total (A,B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).



Fonte: Autora, 2019.

Assim como visto nos mapas correspondentes ao campo não-dipolar total, os valores de intensidade para o campo quadrupolar são bem menores do que os valores observados no campo total.

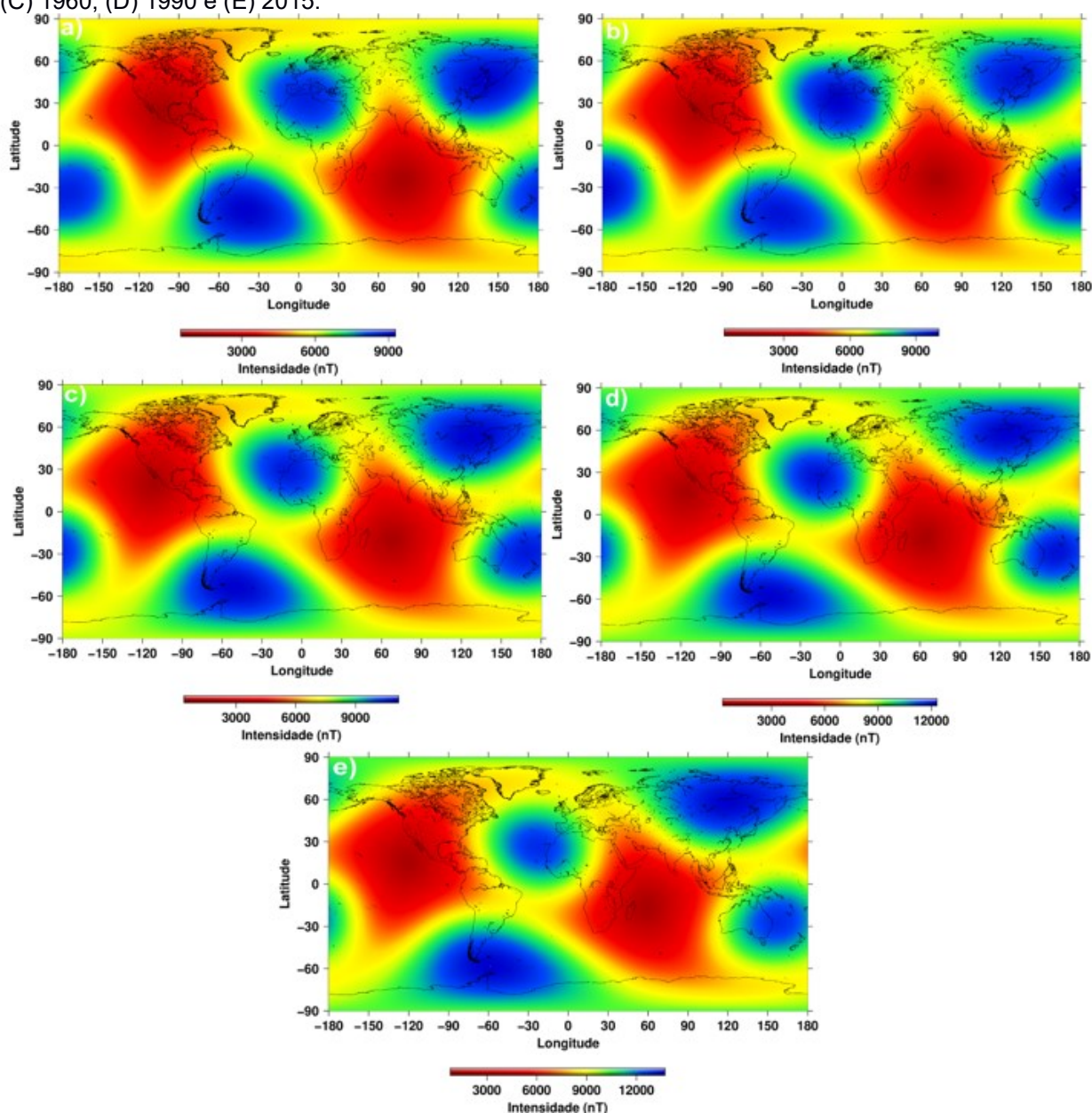
O campo F (Figura 31) do campo quadrupolar apresenta quatro picos de intensidade que chegam a mais de 12000 nT em 2015, é possível notar ainda dois pontos de mínimos valores que chegam abaixo de 3000 nT para este mesmo ano. Observa-se um aumento de intensidade ao longo do tempo, visto que no início do período observado os valores máximos eram próximos de 9000 nT, além disso é visto uma deriva para oeste, sendo possível observar que a área de abrangência de menor valor que em 1900 cobria apenas parcialmente a África, em 2015 passa a cobrir praticamente todo o continente.

A componente H (Figura 32) apresenta seus maiores valores de intensidade nas regiões polares, assim como dois picos de intensidade na região equatorial, é possível observar uma pequena deriva dos valores, sendo notado um aumento da área de abrangência dos valores mais altos de intensidade na região

norte do Brasil. Os valores máximos de intensidade aumentam de acordo com o avanço dos anos, sendo este valor de cerca de 6000 nT em 1900 e chegando a mais de 8000 nT em 2015.

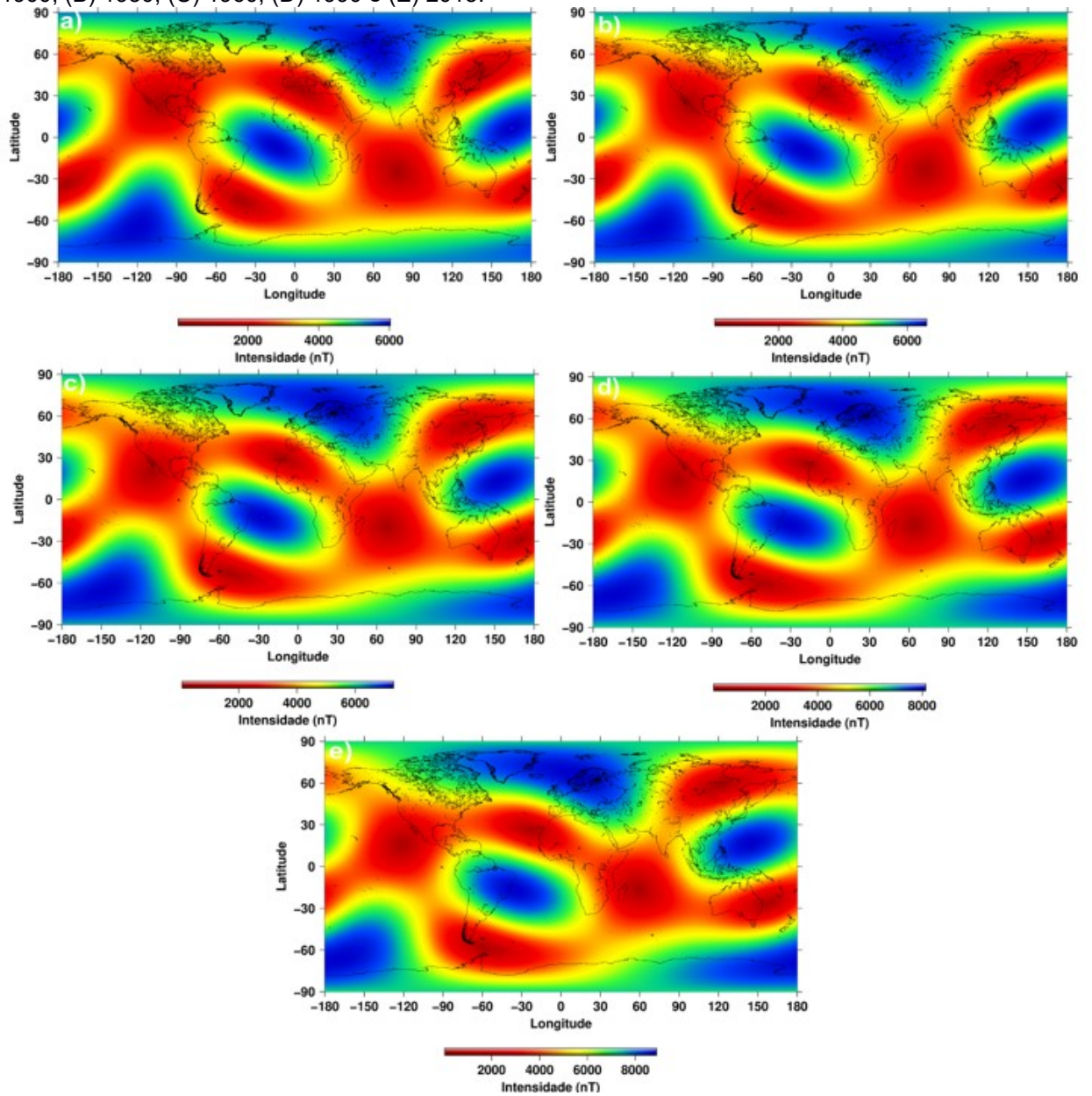
Os valores observados para a componente vertical (Figura 33) chegam a mais 12000 nT em 2015, apresentando um acréscimo de intensidade ao longo do período estudado, sendo possível notar também uma pequena deriva de seus valores de intensidade.

Figura 31 – Campo total F do campo geomagnético quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



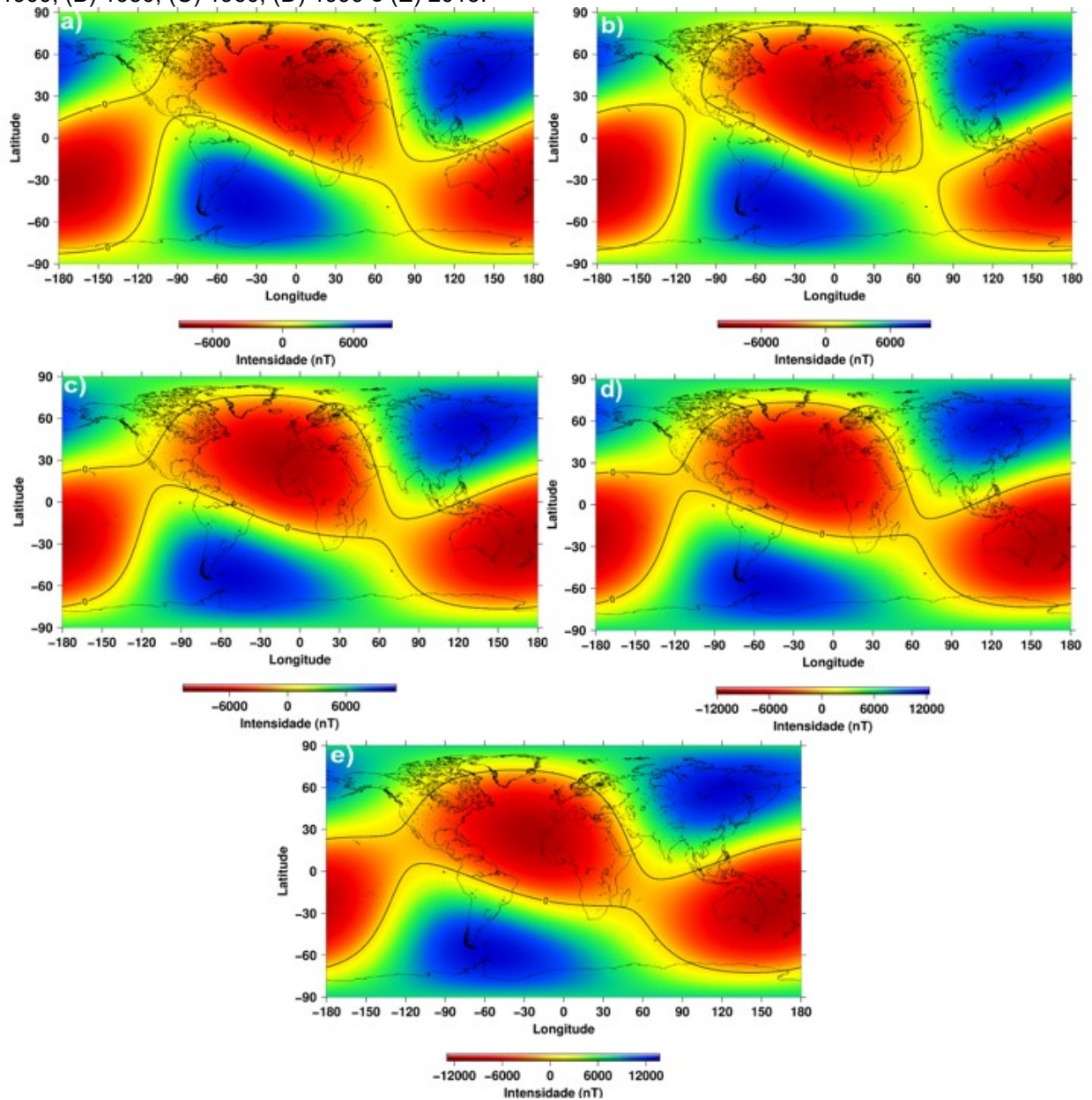
Fonte: Autora, 2019.

Figura 32 – Componente de intensidade H do campo geomagnético quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 33 – Componente de intensidade Z do campo geomagnético quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



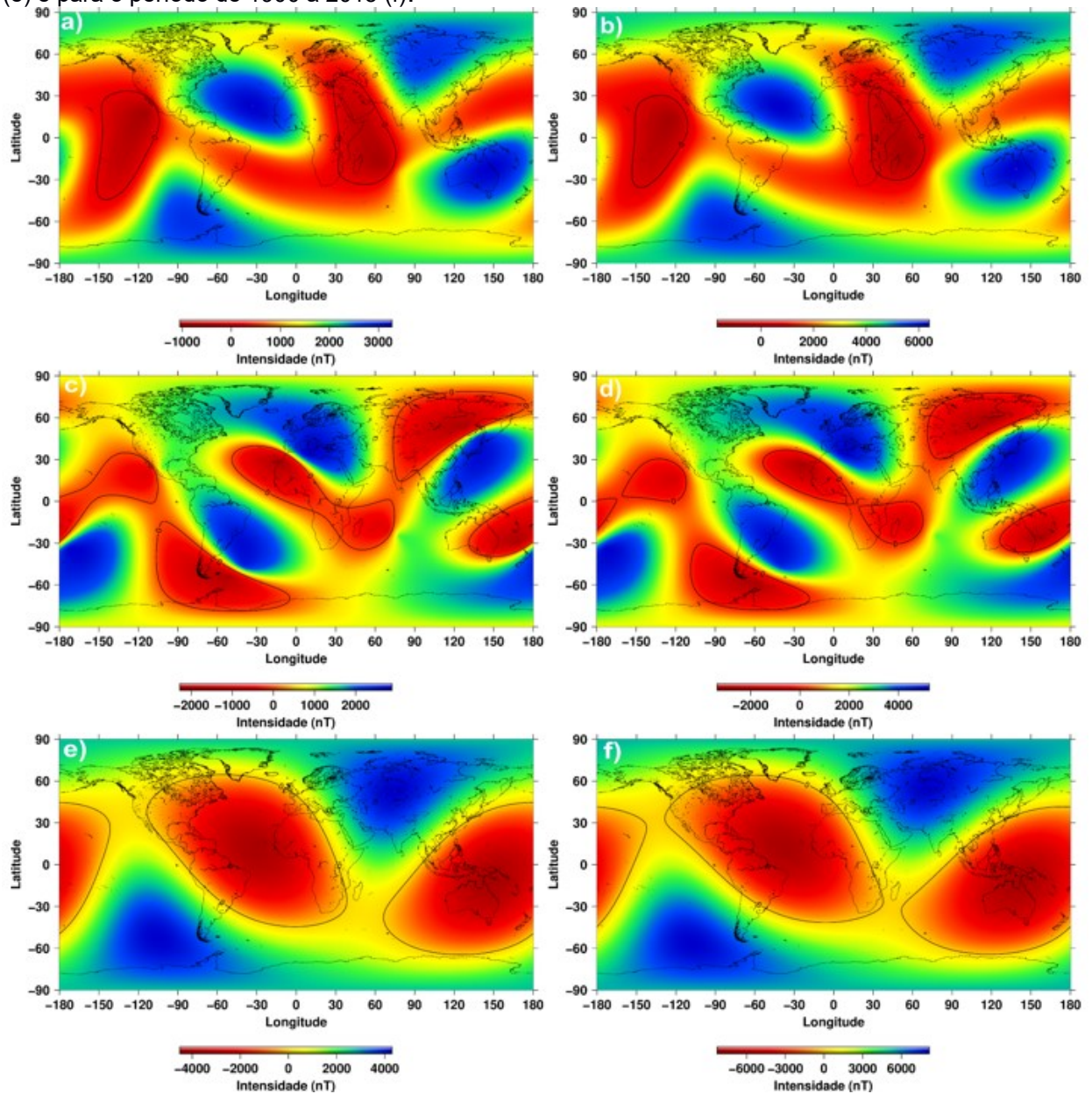
Fonte: Autora, 2019.

5.4.1 VARIAÇÕES DO CAMPO QUADRUPOLAR

As variações do campo quadrupolar estão dispostas na Figura 34. A variação de F do campo quadrupolar apresenta como característica uma semelhança ao comportamento apresentado pelo campo. Para o período que compreende os anos de 1900 a 1960 os valores máximos de acréscimos chegam a cerca de 3000 nT, os quais estão presentes em quatro regiões distintas na área de estudo, sendo as regiões de maior decréscimo caracterizada por valores que

chegam a cerca de -1000 nT. Para o período que compreende os anos de 1900 a 2015 é possível observar um acréscimo para toda a região estudada, obtendo valores de máximo acréscimo que chegam a cerca de 6000 nT, representando assim um aumento de cerca de 100%. A variação da componente horizontal apresenta um comportamento parecido ao da variação da componente F, sendo possível identificar os dipolos correspondentes ao campo quadrupolar. É possível observar acréscimos máximos em regiões do Brasil, Europa, leste da Ásia e parte do oceano Pacífico, sendo os acréscimos correspondentes a valores de aproximadamente 2000 nT e os decréscimos, localizados nas demais regiões, correspondentes a valores de cerca de -2000 nT. As variações correspondentes ao período de 1900 a 2015 apresentam uma pequena deriva para oeste, assim como um aumento de sua variação máxima chegando a valores de cerca de 4000 nT, representando um aumento de cerca de 100%. A componente Z para o período de 1900 a 1960 apresenta seus maiores valores de variação chegando a cerca de 4000 nT, apresentando para a região da AMAS valores de até 2000 nT. Para o período de 1900 a 2015 essa variação aumenta 50% chegando a valores de cerca de 6000 nT para regiões de máxima variação e cerca de 3000 nT para a região da anomalia.

Figura 34 - Variações das componentes do campo geomagnético quadrupolar. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015 (b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).



Fonte: Autora, 2019

5.4.2 CONTRIBUIÇÕES DAS COMPONENTES H E Z PARA F CONSIDERANDO O CAMPO QUADRUPOLAR

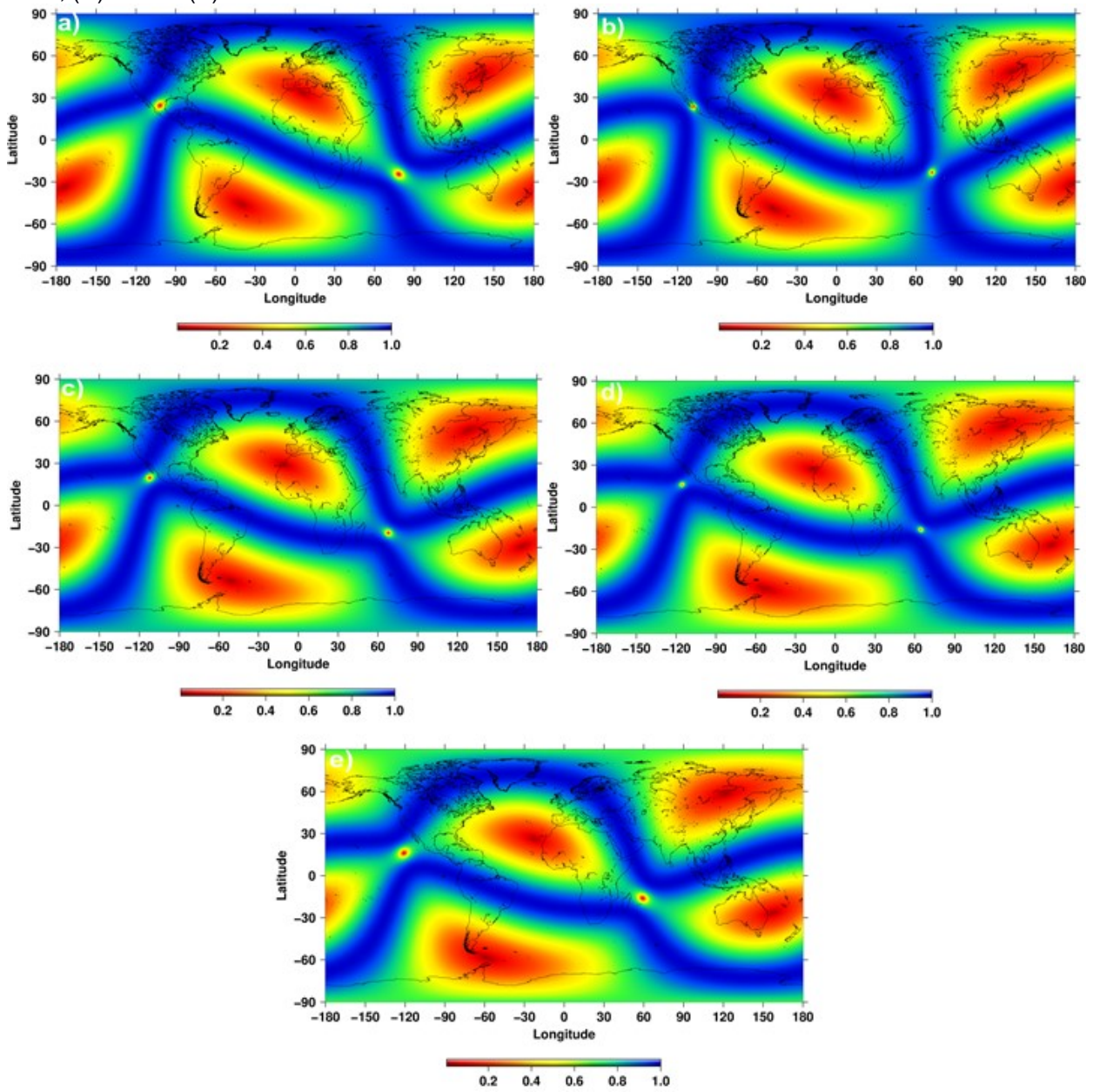
Os resultados obtidos para contribuições correspondentes ao campo quadrupolar evidenciam quatro dipolos em ambos os mapas, apresentando um comportamento oposto entre as os picos de contribuição de cada componente.

A contribuição da componente horizontal (Figura 35) nos mostra quatro dipolos, sendo os valores de baixa contribuição isolados pelos valores de mais alta

contribuição, desta forma vê-se uma baixa contribuição de H para o campo quadrupolar em várias regiões distintas. É possível notar ainda que no início do período estudado as contribuições de H eram maiores para grande parte da área estudada, ao longo do tempo essa contribuição diminui, chegando a apresentar apenas pequenas faixas de alta contribuição. Desta forma é evidente um decréscimo de sua contribuição ao longo do período estudado.

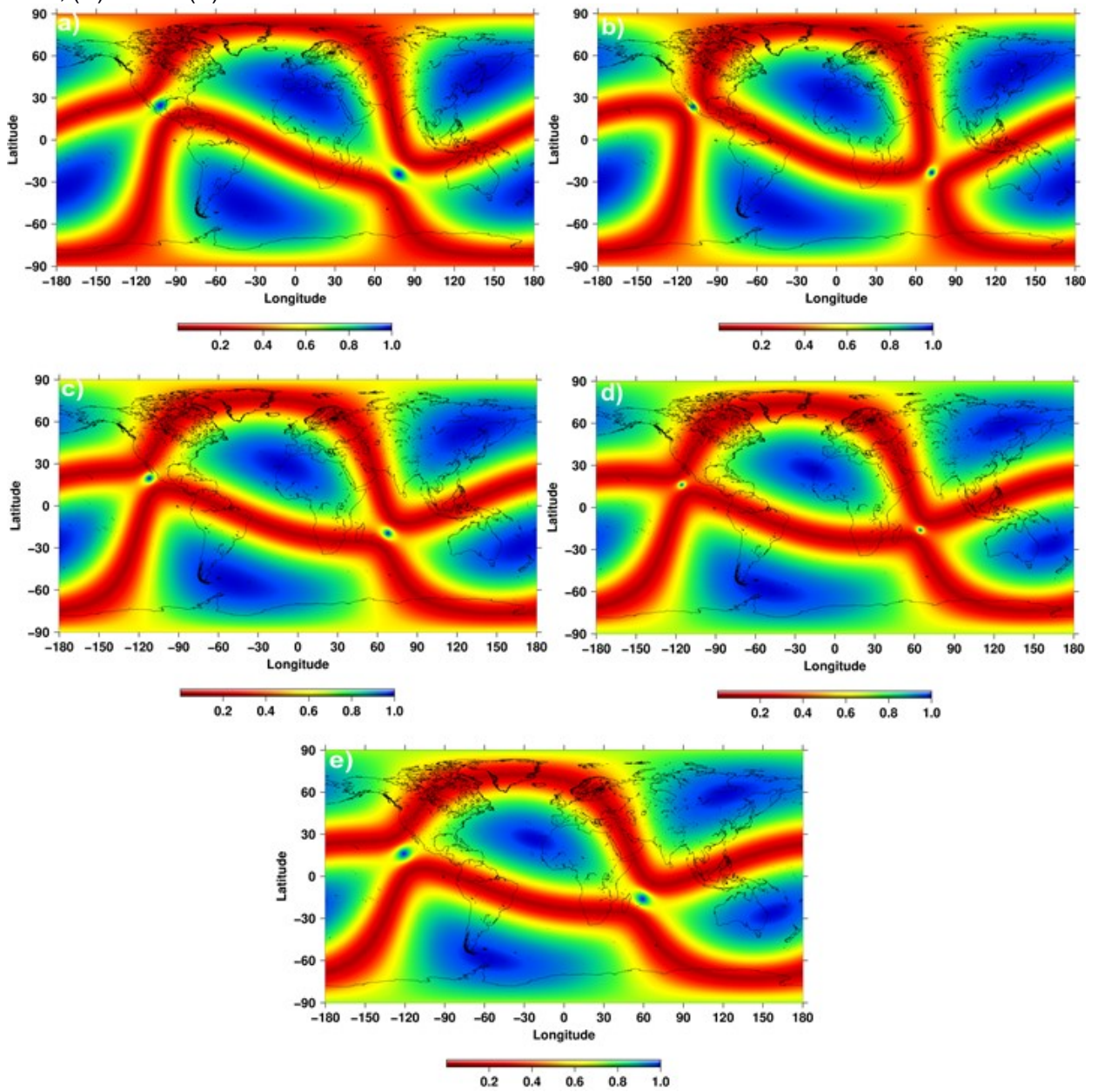
A Figura 36 correspondente a contribuição de Z para F quadrupolar apresenta um comportamento contrário ao da figura anterior. Vê-se grande parte da área de estudos apresentando picos de alta contribuição desta componente e pequenas faixas de baixa contribuição. Ao contrário da figura anterior, aqui é possível notar uma diminuição da faixa da área que abrange os menores valores de contribuição ao longo do período estudado, desta forma observa-se um aumento da área de abrangência correspondente a valores de contribuições mais altas que variam de 0.6 a 0.8 para o final do período.

Figura 35 – Mapas de razão H/F para o campo quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019

Figura 36 – Mapas de razão Z/F para o campo quadrupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019

5.5 PARCELA OCTUPOLAR

Os valores correspondentes ao campo octupolar podem ser obtidos após atribuir o valor de zero aos coeficientes correspondentes aos outros campos, desta forma, obtemos apenas os valores correspondentes aos coeficientes de grau 3.

Assim como no campo quadrupolar, no campo octupolar os valores de intensidade para cada componente diferem daqueles esperados para a região de

estudo, isso ocorre por conta da localidade de cada um dos dipolos que compõem este campo.

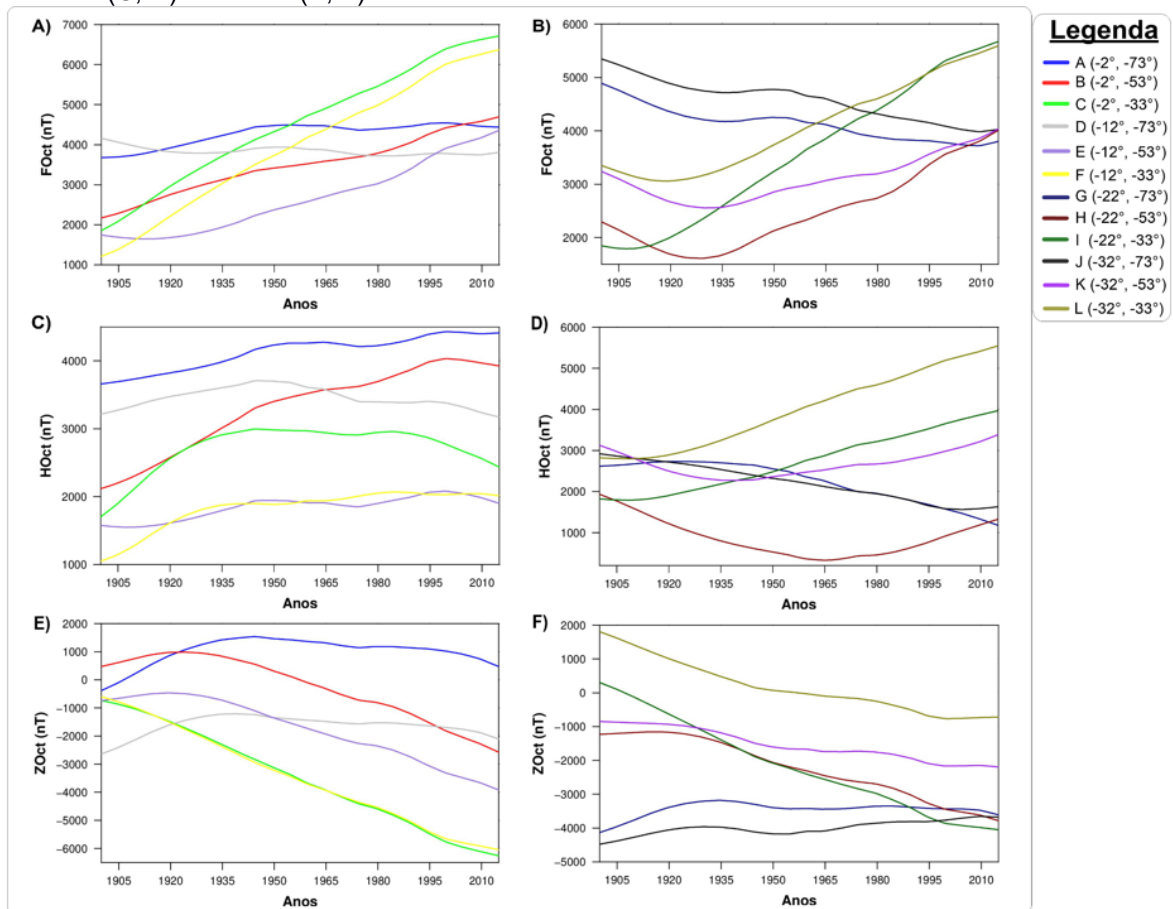
A Figura 37 apresenta respectivamente os resultados obtidos para FOct, HOct e ZOct.

F do campo octupolar, FOct, (Figura 37 A e B) apresenta uma variação de intensidade que vai de cerca de 1000 nT até aproximadamente 7000 nT, seu comportamento varia de acordo com a localização do ponto estudado, desta forma é possível observar um acréscimo para a maioria dos pontos, apresentando um decréscimo significativo apenas para os pontos G e J.

Os valores obtidos para a componente horizontal, HOct (Figura 37 C e D), apresentam uma variação de valores abaixo de 1000 nT até cerca de 6000 nT, seu comportamento varia ao longo do período estudado, apresentando acréscimo de intensidade para os pontos próximos ao equador no início do período e após aproximadamente o ano de 1940 apresenta um decréscimo para a maioria dos pontos, exceto para A e B. Já a proporção de mudança de comportamento é oposta nos pontos mais ao sul, apresentando um acréscimo para a maioria dos pontos, exceto para os pontos G e J.

A componente vertical, ZOct (Figura 37 E e F), deve ser analisada em módulo, deste modo, observa-se um comportamento semelhante para todos os pontos, onde este apresenta acréscimo de intensidade em praticamente todos os pontos estudados. Alguns pontos apresentam um aumento mais significativo de intensidade dos que os demais, sendo estes os pontos C, F e I, sendo esses localizados na mesma longitude.

Figura 37 – Variação de intensidade das componentes geomagnéticas octupolar total (A, B), horizontal (C, D) e vertical (E, F).



Fonte: Autora, 2019.

Por se tratar de um campo com menor contribuição para o campo total, os valores de intensidade observados para o campo octupolar são muito menores do que os do campo total.

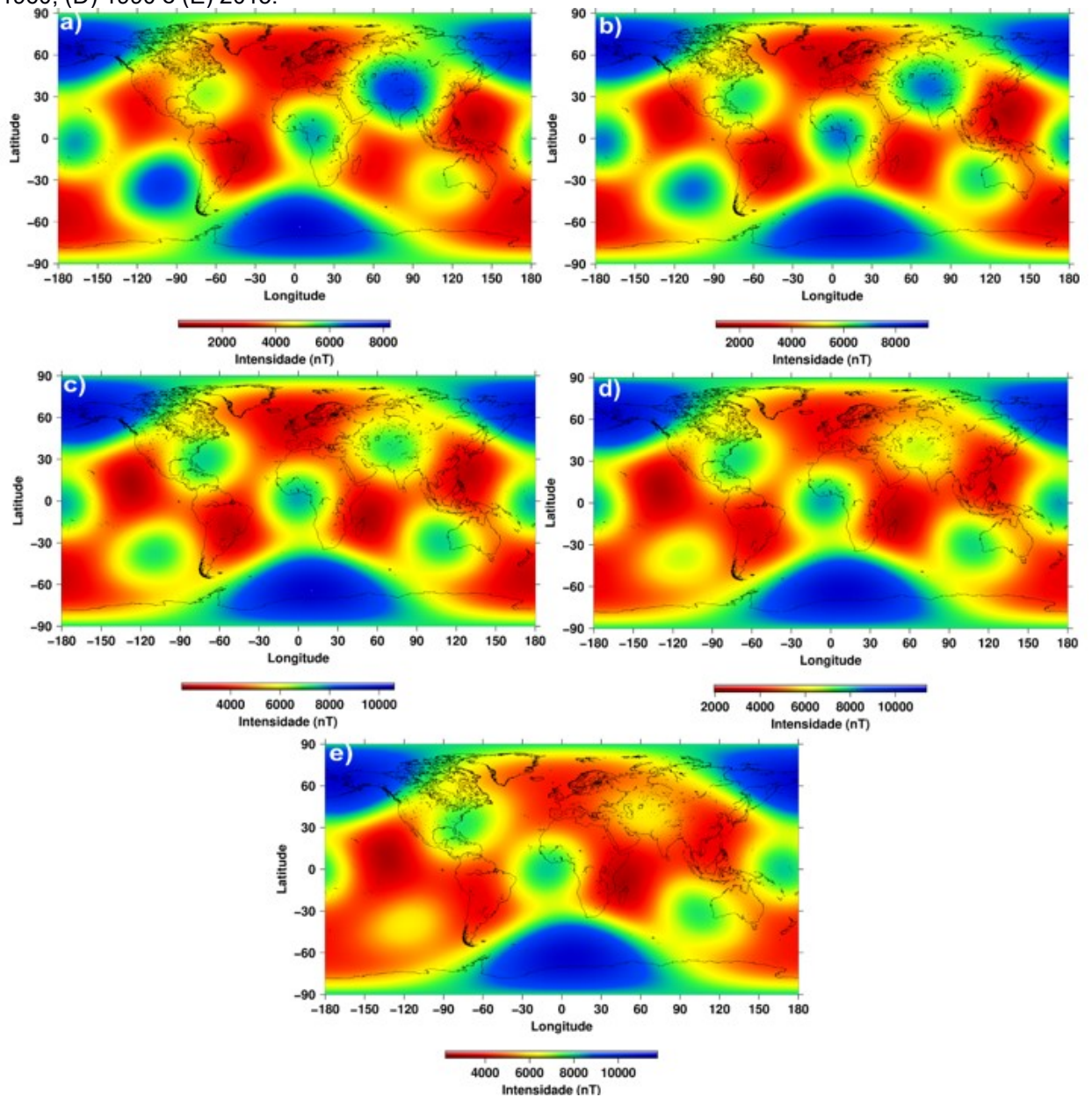
Os resultados obtidos para F do campo octupolar (Figura 38) apresentam um comportamento parecido ao longo de todo o período, é evidente a característica do campo de apresentar vários dipolos. No início do período, em 1900, os máximos de intensidade chegam a cerca de 8000 nT, sendo visível um aumento de intensidade a partir de 1960, onde os valores ultrapassam 10000 nT.

A componente horizontal (Figura 39) apresenta valores mínimos de intensidade menores que 1500 nT para todo o período estudado, com seus valores máximos apresentando um aumento ao longo dos anos chegando a mais de 6000 nT em 2015.

A componente vertical do campo (Figura 40) apresenta um comportamento parecido ao longo de todo o período, sem apresentar grandes mudanças de

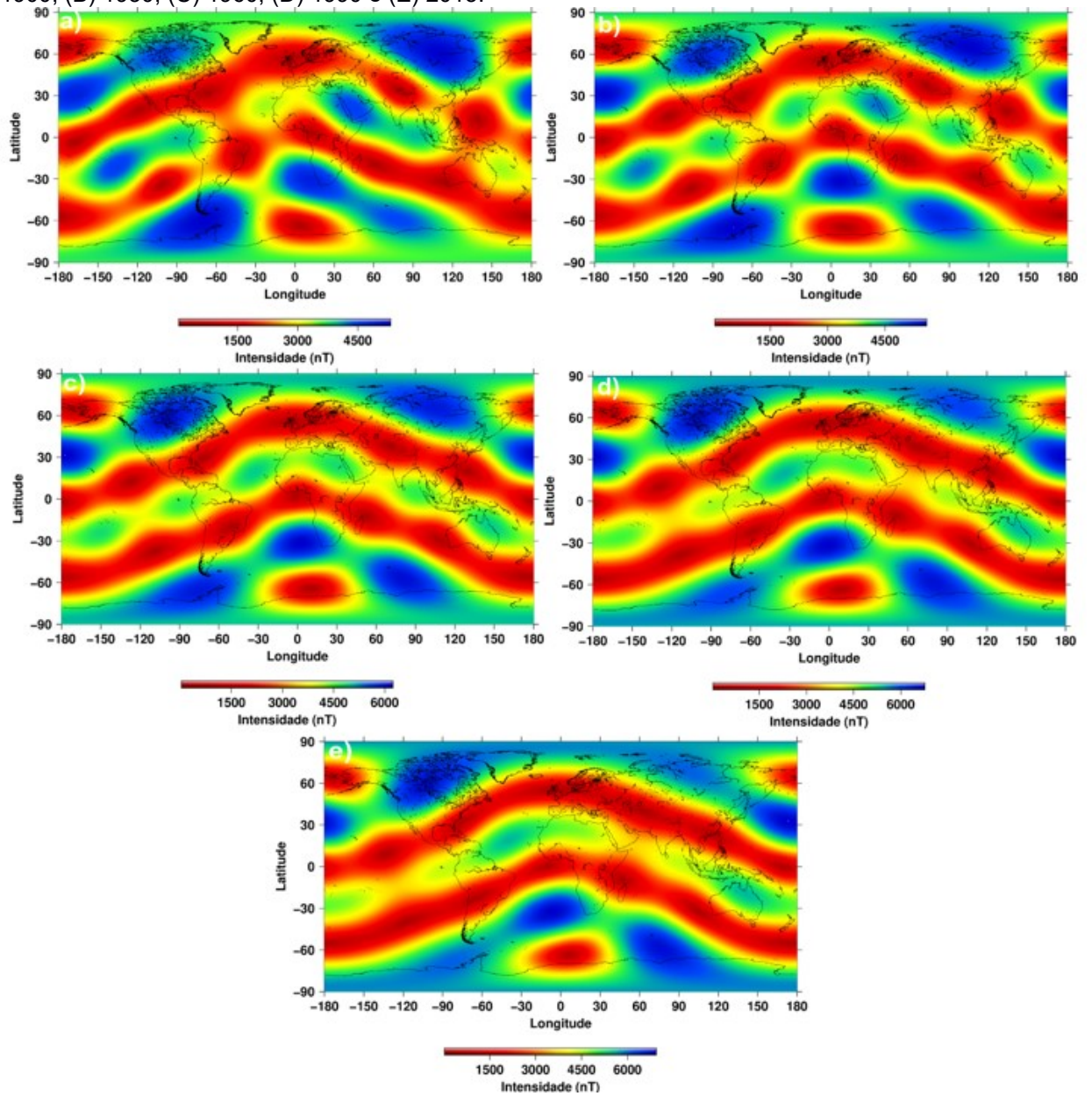
intensidade, apresentando para todo o período valores máximos de cerca de 8000 nT.

Figura 38 – Campo total F do campo geomagnético octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



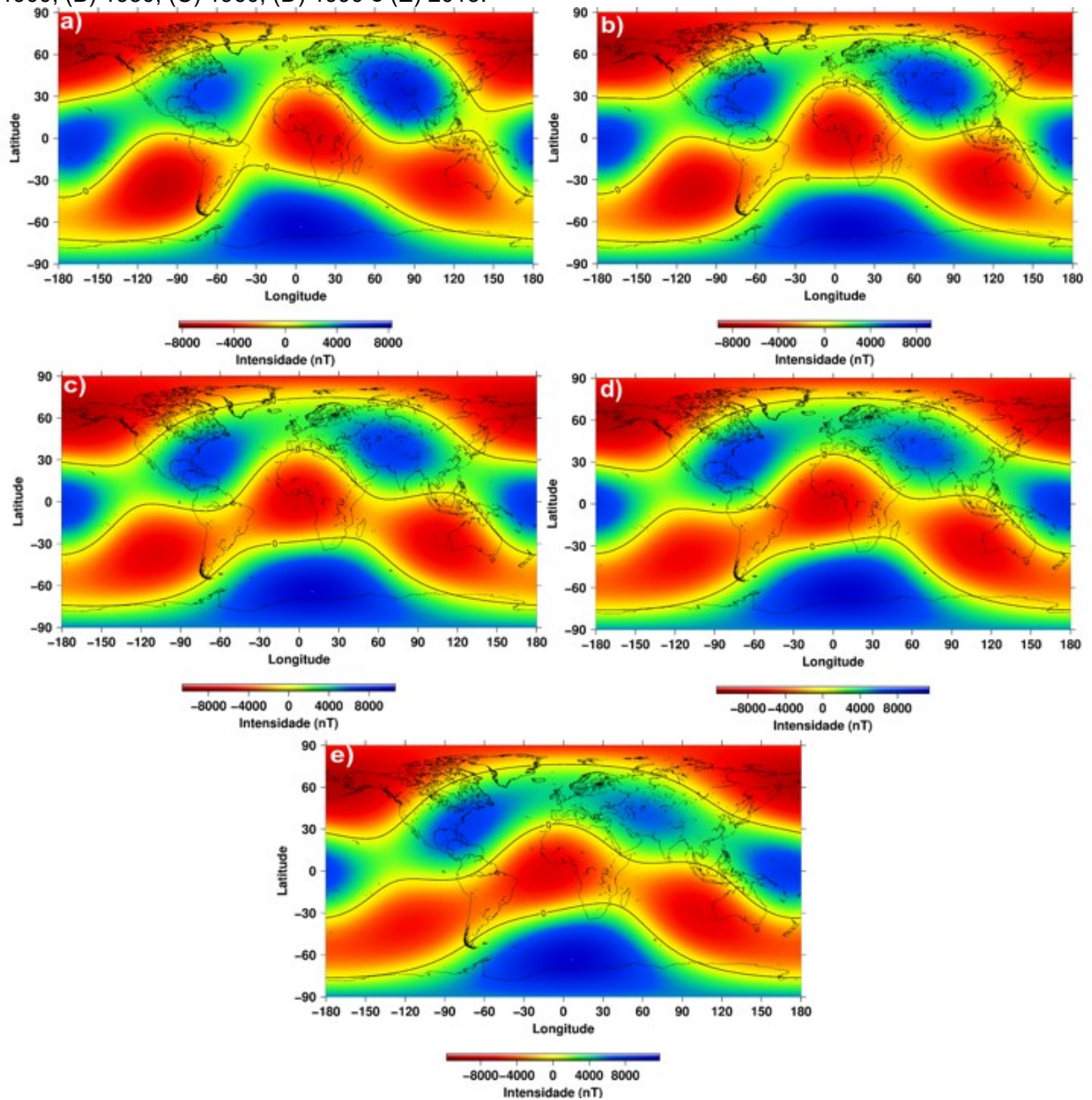
Fonte: Autora, 2019.

Figura 39 – Componente de intensidade H do campo geomagnético octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 40 – Componente de intensidade Z do campo geomagnético octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



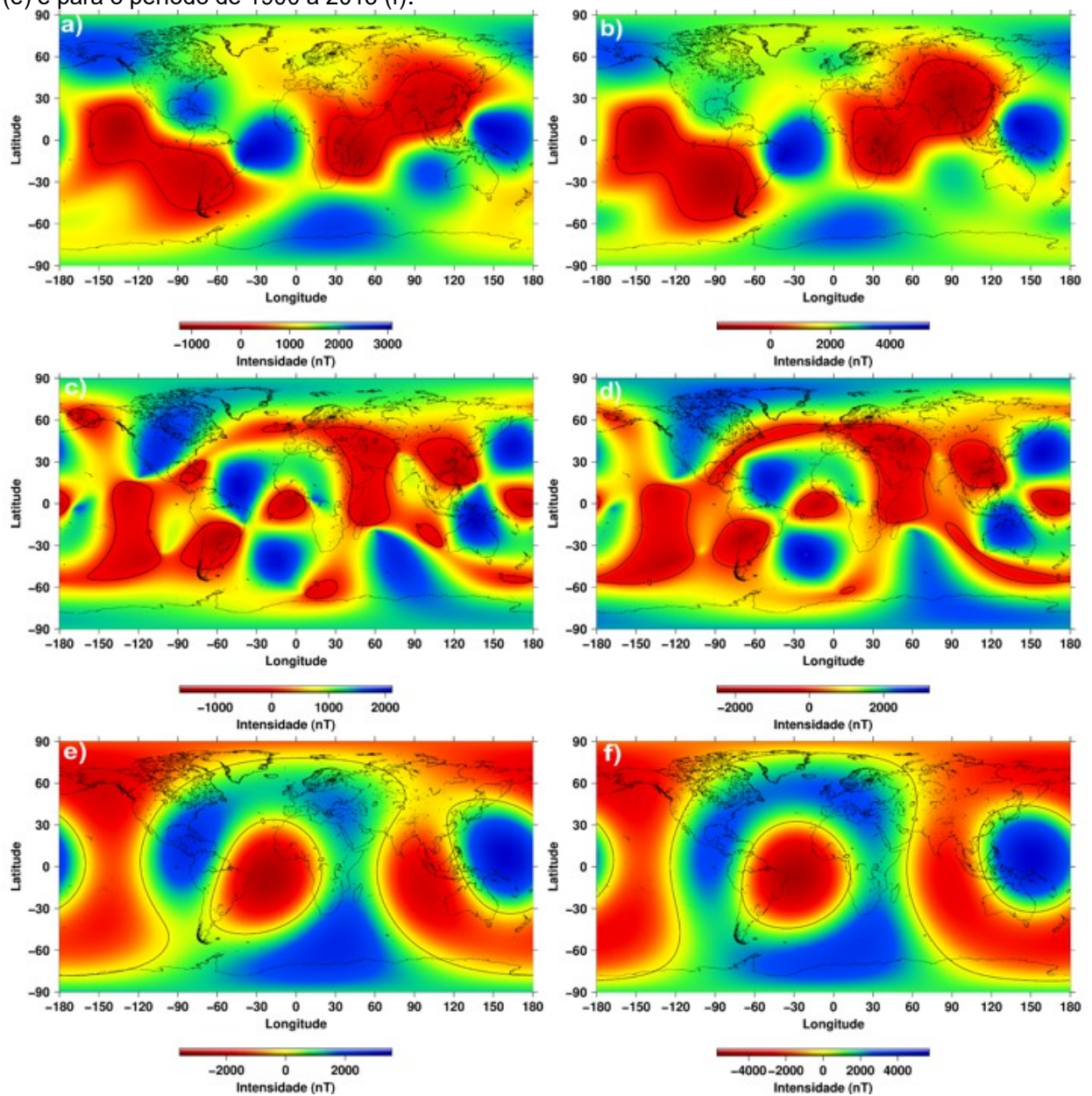
Fonte: Autora, 2019.

5.5.1 VARIAÇÕES DO CAMPO OCTUPOLAR

As variações do campo octupolar estão dispostas na Figura 41. F do campo octupolar apresenta uma variação para o período de 1960 a 1900 caracterizado por um acréscimo de intensidade de até cerca de 2000 nT para a maior parte da região. Os valores máximos de variação são de aproximadamente 3000 nT, enquanto os valores de maior decréscimo chegam a cerca de -1000 nT e

estão presentes em parte do oceano Pacífico e da América do Sul, assim como no leste Africano e no sul da Ásia. Para o período que abrange os anos de 1900 a 2015 é possível notar um aumento de intensidade para toda a área estudada, chegando a valores de cerca de 4000 nT, caracterizando assim um aumento de aproximadamente 33%. A componente horizontal para o período de 1900 a 1960 apresenta um acréscimo de intensidade para a maior parte da região, com picos de máximo acréscimo que chegam a cerca de 2000 nT, seus valores de decréscimo estão localizados ao longo de toda a área, chegando a valores de cerca de -1000 nT. O período de 1900 a 2015 é marcado por um decréscimo de intensidade chegando a valores menores que -2000 nT, o que representa uma diminuição de cerca de 100% em relação ao período anterior. A componente Z apresenta valores de mais de 2000 nT, sendo essa variação presente em praticamente toda a área estudada. Se analisado em módulo, é possível ver que a região da AMAS é marcada por picos de variação de intensidade. Para o período de 1900 a 2015 essa variação aumenta cerca de 100% em relação ao período anterior, chegando a valores de intensidade de cerca de 4000 nT.

Figura 41 – Variações das componentes do campo geomagnético octupolar. Variação de F para o período de 1900 a 1960 (a) e para o período de 1900 a 2015 (b). Variação de H para o período de 1900 a 1960 (c) e para o período de 1900 a 2015 (d). Variação de Z para o período de 1900 a 1960 (e) e para o período de 1900 a 2015 (f).



Fonte: Autora, 2019.

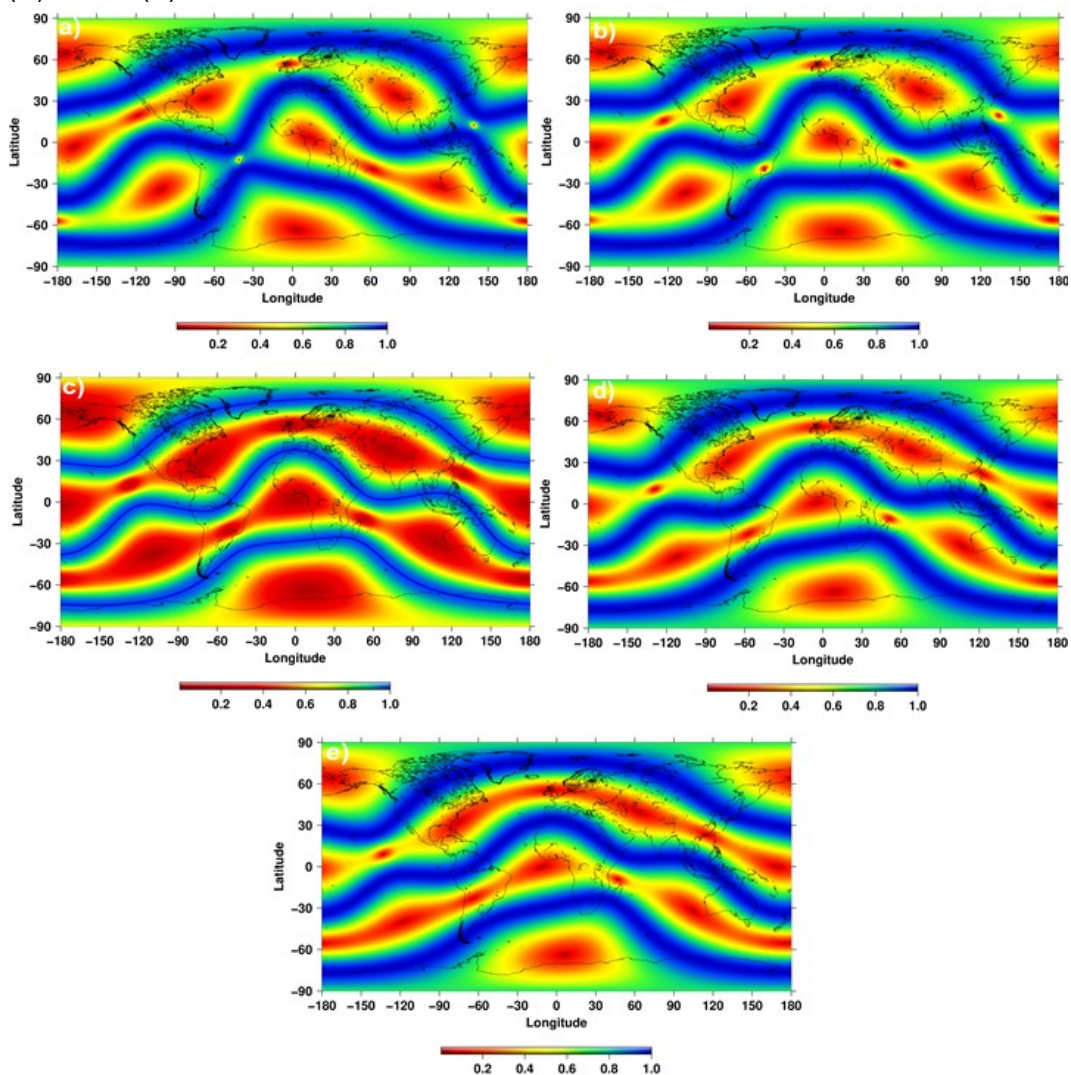
5.5.2 CONTRIBUIÇÕES DAS COMPONENTES H E Z PARA F CONSIDERANDO O CAMPO OCTUPOLAR

Os resultados obtidos para as contribuições apresentam um comportamento semelhante ao do observado nas análises correspondentes a F, sendo presentes nestas figuras oito dipolos evidenciados principalmente por seus picos de menor ou maior contribuição.

Na Figura 42 correspondente a contribuição da componente H vemos um comportamento parecido ao dos outros campos, com H apresentando valores mais altos de contribuição no início do período, com valores que vão de 0.6 a 1.0 para grande parte da área de estudo. No final do período vê-se um aumento da área de abrangência dos valores mais baixos, assim como uma diminuição de valores correspondentes a 0.6 e 0.8.

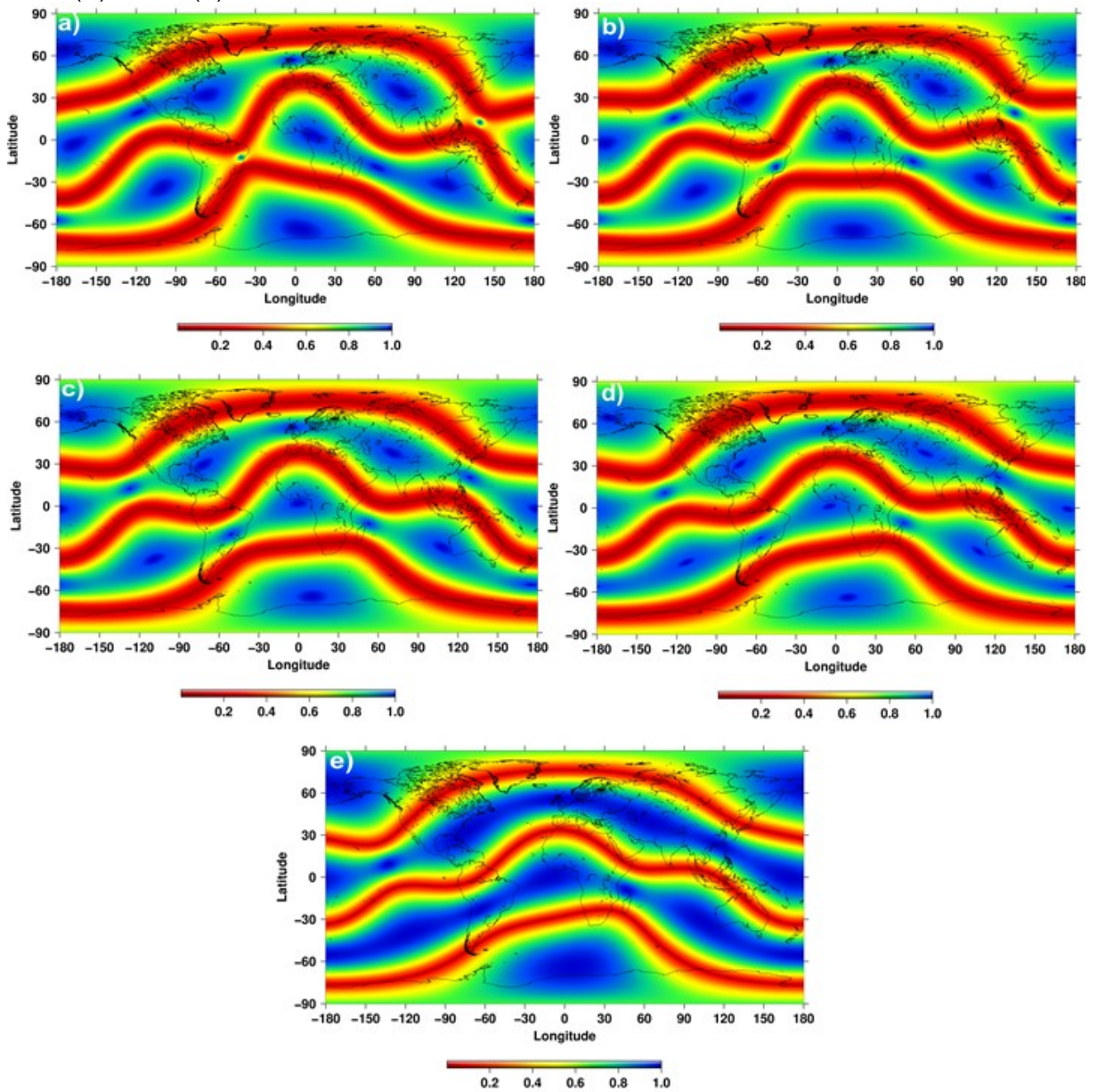
Na Figura 43 observa-se a contribuição da componentes Z para F, sendo seu comportamento oposto ao de H. Vemos aqui os dipolos mais facilmente identificáveis por conta dos picos de mais alta contribuição dessa componente, ao longo dos anos estudados vê-se um aumento de sua contribuição para grande parte da área de estudos, aumentando a área de abrangência dos máximos de contribuição.

Figura 42 – Mapas de razão H/F para o campo octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 43 – Mapas de razão Z/F para o campo octupolar para os anos de (A) 1900, (B) 1930, (C) 1960, (D) 1990 e (E) 2015.



Fonte: Autora, 2019

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Análises das contribuições relativas das componentes horizontal e vertical são fundamentais para a compreensão da intensidade geomagnética total na região da AMAS.

Trabalhos anteriores, como por exemplo, de Hartmann & Pacca (2009), evidenciaram que a intensidade total do campo geomagnético vem continuamente diminuindo ao longo dos últimos séculos na região da AMAS. Além disso, este forte decréscimo de intensidade é associado a significativa contribuição de componentes não-dipolares para o campo total. Adicionalmente, resultados experimentais apresentados por Grigoryan et al. (2008) evidenciaram que a região da AMAS é coincidente com a região de intensa entrada de PECs na atmosfera terrestre.

Os resultados deste trabalho, para o último século, mostraram que, o decréscimo da intensidade geomagnética total é acompanhado por um decréscimo da intensidade horizontal e um aumento da intensidade vertical. Além disso, foi observado que a parcela não-dipolar também é significativa para as componentes horizontal e vertical.

Se o recente decréscimo do campo total, concomitante com a diminuição da intensidade horizontal e aumento da intensidade vertical, permanecer nas próximas décadas, a entrada de PECs na região da AMAS e o seus efeitos serão amplificados. Além disso, todos os demais fenômenos associados ao enfraquecimento da barreira geomagnética terão sua efetividade aumentada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPBELL, W. H. **Introduction to Geomagnetic Fields**. 2.ed. Cambridge University Press, 2003. 337 p.

FRIGO, E. **Variações geomagnéticas, heliomagnéticas e do fluxo de raios cósmicos galácticos: possíveis consequências climáticas na região da América do Sul**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2013. 142 p.

FRIGO, E., ANTONELLI, F., SILVA, D. S. S., LIMA, P. C. M., PACCA, I. I. G., BAGESTON, J. V. **Effects of solar activity and galactic cosmic ray cycles on the modulation of the annual average temperature at two sites in southern Brazil**. *Annales Geophysicae*, 36, 555-564, 2018.

GRIGORYAN, O.R., ROMASHOVA, V.V., PETROV, A.N. **SAA drift: experimental results**. *Advances in Space Research* 41, 76–80, 2008.

HARTMANN, G. A. **A Anomalia Magnética do Atlântico Sul: causas e efeitos**. Dissertação de Mestrado. Dep. De Geofísica do IAG/USP, 2005. 153 p.

HARTMANN, G. A.; PACCA, I. G. **Time evolution of the South Atlantic Magnetic Anomaly**. *Anais da Academica Brasileira de Ciências*, v. 81, p. 243-255, 2009.

HERBST, K.; KOPP, A.; HEBER, B. **Influence of the terrestrial magnetic field geometry on the cutoff rigidity of cosmic ray particles**. *Annales Geophysicae*, p. 1637-1644, 2013.

JONES, C., in **Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism**, edited by D. Gubbins and E. Herrero-Bervera. 1. ed. Netherlands: Springer Netherlands, 2007. p 287.

LANGEL, R. A. **The main field In Geomagnetism**, (Jacobs, J.A., ed.), Academic Press, New York. Vol. 1, cap. 4, p. 249-512, 1987.

LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. 2. ed. Cambridge: University Press, 2007. 393p.

MERRILL, R.T., McELHINNY, M.W., McFADDEN, P.L. **The magnetic field of the Earth: Paleomagnetism, the core, and the deep mantle**, Vol. 63 (International Geophysics Series.), Elsevier, Academic Press, Amsterdam, 1998. 547p.

SMART, D. F.; SHEA, M. A. **Fifty years of progress in geomagnetic cutoff rigidity determinations**. Elsevier Ltd. on behalf of COSPAR, v. 44, p. 1107-1123, 2009.

STÖRMER, C. **The Polar Aurora**. Oxford University Press, London and New York, 1955.

THÉBAULT, E. et al. **International Geomagnetic Reference Field: the 12th generation**. Earth, Planets and Space. 2015

ANEXO A- Tabela dos Coeficientes de Gauss para o IGRF-12 para o período de 1900 a 2015

	Grau	Ordem	IGRF	IGRF	IGRF	IGRF	IGRF	IGRF	IGRF	IGRF	IGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	DGRF	IGRF	SV	
g/h	n	m	1900	1905	1910	1915	1920	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2015-20
g	1	0	-31543	-31464	-31354	-31212	-31060	-30926	-30805	-30715	-30654	-30594	-30554	-30500	-30421	-30334	-30220	-30100	-29992	-29873	-29775	-29692	-29619,4	-29554,63	-29496,57	-29442,0	10,3
g	1	1	-2298	-2298	-2297	-2306	-2317	-2318	-2316	-2306	-2292	-2285	-2250	-2215	-2169	-2119	-2068	-2013	-1956	-1905	-1848	-1784	-1728,2	-1669,05	-1586,42	-1501,0	18,1
h	1	1	5922	5909	5898	5875	5845	5817	5808	5812	5821	5810	5815	5820	5791	5776	5737	5675	5604	5500	5406	5306	5186,1	5077,99	4944,26	4797,1	-26,6
g	2	0	-677	-728	-769	-802	-839	-893	-951	-1018	-1106	-1244	-1341	-1440	-1555	-1662	-1781	-1902	-1997	-2072	-2131	-2200	-2267,7	-2337,24	-2396,06	-2445,1	-8,7
g	2	1	2905	2928	2948	2956	2959	2969	2980	2984	2981	2990	2998	3003	3002	2997	3000	3010	3027	3044	3059	3070	3068,4	3047,69	3026,34	3012,9	-3,3
h	2	1	-1061	-1086	-1128	-1191	-1259	-1334	-1424	-1520	-1614	-1702	-1810	-1898	-1967	-2016	-2047	-2067	-2129	-2197	-2279	-2366	-2481,6	-2594,50	-2708,54	-2845,6	-27,4
g	2	2	924	1041	1176	1309	1407	1471	1517	1550	1566	1578	1576	1581	1590	1594	1611	1632	1663	1687	1686	1681	1670,9	1657,76	1668,17	1676,7	2,1
h	2	2	1121	1065	1000	917	823	728	644	586	528	477	381	291	206	114	25	-68	-200	-306	-373	-413	-458,0	-515,43	-575,73	-641,9	-14,1
g	3	0	1022	1037	1058	1084	1111	1140	1172	1206	1240	1282	1297	1302	1302	1297	1287	1276	1281	1296	1314	1335	1339,6	1336,30	1339,85	1350,7	3,4
g	3	1	-1469	-1494	-1524	-1559	-1600	-1645	-1692	-1740	-1790	-1834	-1889	-1944	-1992	-2038	-2091	-2144	-2180	-2208	-2239	-2267	-2288,0	-2305,83	-2326,54	-2352,3	-5,5
h	3	1	-330	-357	-389	-421	-445	-462	-480	-494	-499	-499	-476	-462	-414	-404	-366	-333	-336	-310	-284	-262	-227,6	-198,86	-160,40	-115,3	8,2
g	3	2	1256	1239	1223	1212	1205	1202	1205	1215	1232	1255	1274	1288	1289	1292	1278	1260	1251	1247	1248	1249	1252,1	1246,39	1232,10	1225,6	-0,7
h	3	2	3	34	62	84	103	119	133	146	163	186	206	216	224	240	251	262	271	284	293	302	293,4	269,72	251,75	244,9	-0,4
g	3	3	572	635	705	778	839	881	907	918	916	913	896	882	878	856	838	830	833	829	802	759	714,5	672,51	633,73	582,0	-10,1
h	3	3	523	480	425	360	293	229	166	101	43	-11	-46	-83	-130	-165	-196	-223	-252	-297	-352	-427	-491,1	-524,72	-537,03	-538,4	1,8
g	4	0	876	880	884	887	889	891	896	903	914	944	954	958	957	957	952	946	938	936	939	940	932,3	920,55	912,66	907,6	-0,7
g	4	1	628	643	660	678	695	711	727	744	762	776	792	796	800	804	800	791	782	780	780	780	786,8	797,96	808,97	813,7	0,2
h	4	1	195	203	211	218	220	216	205	188	169	144	136	133	135	148	167	191	212	232	247	262	272,6	282,07	286,48	283,3	-1,3
g	4	2	660	653	644	631	616	601	584	565	550	544	528	510	504	479	461	438	398	361	325	290	250,0	210,65	166,58	120,4	-9,1
h	4	2	-69	-77	-90	-109	-134	-163	-195	-226	-252	-276	-278	-274	-278	-269	-266	-265	-257	-249	-240	-236	-231,9	-225,23	-211,03	-188,7	5,3
g	4	3	-361	-380	-400	-416	-424	-426	-422	-415	-405	-421	-408	-397	-394	-390	-395	-405	-419	-424	-423	-418	-403,0	-379,86	-356,83	-334,9	4,1
h	4	3	-210	-201	-189	-173	-153	-130	-109	-90	-72	-55	-37	-23	3	13	26	39	53	69	84	97	119,8	145,15	164,46	180,9	2,9
g	4	4	134	146	160	178	199	217	234	249	265	304	303	290	269	252	234	216	199	170	141	122	111,3	100,00	89,40	70,4	-4,3
h	4	4	-75	-65	-55	-51	-57	-70	-90	-114	-141	-178	-210	-230	-255	-269	-279	-288	-297	-297	-299	-306	-303,8	-305,36	-309,72	-329,5	-5,2
g	5	0	-184	-192	-201	-211	-221	-230	-237	-241	-241	-253	-240	-229	-222	-219	-216	-218	-218	-214	-214	-214	-218,8	-227,00	-230,87	-232,6	-0,2
g	5	1	328	328	327	327	326	326	327	329	334	346	349	360	362	358	359	356	357	355	353	352	351,4	354,41	357,29	360,1	0,5
h	5	1	-210	-193	-172	-148	-122	-96	-72	-51	-33	-12	3	15	16	19	26	31	46	47	46	46	43,8	42,72	44,58	47,3	0,6
g	5	2	264	259	253	245	236	226	218	211	208	194	211	230	242	254	262	264	261	253	245	235	222,3	208,95	200,26	192,4	-1,3
h	5	2	53	56	57	58	58	58	60	64	71	95	103	110	125	128	139	148	150	150	154	165	171,9	180,25	189,01	197,0	1,7

Tabela dos Coeficientes de Gauss para o IGRF-12 para o período de 1900 a 2015 (continuação)

g	5	3	5	-1	-9	-16	-23	-28	-32	-33	-33	-20	-20	-23	-26	-31	-42	-59	-74	-93	-109	-118	-130,4	-136,54	-141,05	-140,9	-0,1
h	5	3	-33	-32	-33	-34	-38	-44	-53	-64	-75	-67	-87	-98	-117	-126	-139	-152	-151	-154	-153	-143	-133,1	-123,45	-118,06	-119,3	-1,2
g	5	4	-86	-93	-102	-111	-119	-125	-131	-136	-141	-142	-147	-152	-156	-157	-160	-159	-162	-164	-165	-166	-168,6	-168,05	-163,17	-157,5	1,4
h	5	4	-124	-125	-126	-126	-125	-122	-118	-115	-113	-119	-122	-121	-114	-97	-91	-83	-78	-75	-69	-55	-39,3	-19,57	-0,01	16,0	3,4
g	5	5	-16	-26	-38	-51	-62	-69	-74	-76	-76	-82	-76	-69	-63	-62	-56	-49	-48	-46	-36	-17	-12,9	-13,55	-8,03	4,1	3,9
h	5	5	3	11	21	32	43	51	58	64	69	82	80	78	81	81	83	88	92	95	97	107	106,3	103,85	101,04	100,2	0,0
g	6	0	63	62	62	61	61	61	60	59	57	59	54	47	46	45	43	45	48	53	61	68	72,3	73,60	72,78	70,0	-0,3
g	6	1	61	60	58	57	55	54	53	53	54	57	57	57	58	61	64	66	66	65	65	67	68,2	69,56	68,69	67,7	-0,1
h	6	1	-9	-7	-5	-2	0	3	4	4	4	6	-1	-9	-10	-11	-12	-13	-15	-16	-16	-17	-17,4	-20,33	-20,90	-20,8	0,0
g	6	2	-11	-11	-11	-10	-10	-9	-9	-8	-7	6	4	3	1	8	15	28	42	51	59	68	74,2	76,74	75,92	72,7	-0,7
h	6	2	83	86	89	93	96	99	102	104	105	100	99	96	99	100	100	99	93	88	82	72	63,7	54,75	44,18	33,2	-2,1
g	6	3	-217	-221	-224	-228	-233	-238	-242	-246	-249	-246	-247	-247	-237	-228	-212	-198	-192	-185	-178	-170	-160,9	-151,34	-141,40	-129,9	2,1
h	6	3	2	4	5	8	11	14	19	25	33	16	33	48	60	68	72	75	71	69	69	67	65,1	63,63	61,54	58,9	-0,7
g	6	4	-58	-57	-54	-51	-46	-40	-32	-25	-18	-25	-16	-8	-1	4	2	1	4	4	3	-1	-5,9	-14,58	-22,83	-28,9	-1,2
h	6	4	-35	-32	-29	-26	-22	-18	-16	-15	-15	-9	-12	-16	-20	-32	-37	-41	-43	-48	-52	-58	-61,2	-63,53	-66,26	-66,7	0,2
g	6	5	59	57	54	49	44	39	32	25	18	21	12	7	-2	1	3	6	14	16	18	19	16,9	14,58	13,10	13,2	0,3
h	6	5	36	32	28	23	18	13	8	4	0	-16	-12	-12	-11	-8	-6	-4	-2	-1	1	1	0,7	0,24	3,02	7,3	0,9
g	6	6	-90	-92	-95	-98	-101	-103	-104	-106	-107	-104	-105	-107	-113	-111	-112	-111	-108	-102	-96	-93	-90,4	-86,36	-78,09	-70,9	1,6
h	6	6	-69	-67	-65	-62	-57	-52	-46	-40	-33	-39	-30	-24	-17	-7	1	11	17	21	24	36	43,8	50,94	55,40	62,6	1,0
g	7	0	70	70	71	72	73	73	74	74	74	70	65	65	67	75	72	71	72	74	77	77	79,0	79,88	80,44	81,6	0,3
g	7	1	-55	-54	-54	-54	-54	-54	-54	-53	-53	-40	-55	-56	-56	-57	-57	-56	-59	-62	-64	-72	-74,0	-74,46	-75,00	-76,1	-0,2
h	7	1	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-52	-45	-35	-50	-55	-61	-70	-77	-82	-83	-80	-69	-64,6	-61,14	-57,80	-54,1	0,8
g	7	2	0	0	1	2	2	3	4	4	4	0	2	2	5	4	1	1	2	3	2	1	0,0	-1,65	-4,55	-6,8	-0,5
h	7	2	-13	-14	-14	-14	-14	-14	-15	-17	-18	-18	-17	-24	-28	-27	-27	-26	-27	-27	-26	-25	-24,2	-22,57	-21,20	-19,5	0,4
g	7	3	34	33	32	31	29	27	25	23	20	0	1	10	15	13	14	16	21	24	26	28	33,3	38,73	45,24	51,8	1,3
h	7	3	-10	-11	-12	-12	-13	-14	-14	-14	-14	2	0	-4	-6	-2	-4	-5	-5	-2	0	4	6,2	6,82	6,54	5,7	-0,2
g	7	4	-41	-41	-40	-38	-37	-35	-34	-33	-31	-29	-40	-32	-32	-26	-22	-14	-12	-6	-1	5	9,1	12,30	14,00	15,0	0,1
h	7	4	-1	0	1	2	4	5	6	7	7	6	10	8	7	6	8	10	16	20	21	24	24,0	25,35	24,96	24,4	-0,3
g	7	5	-21	-20	-19	-18	-16	-14	-12	-11	-9	-10	-7	-11	-7	-6	-2	0	1	4	5	4	6,9	9,37	10,46	9,4	-0,6
h	7	5	28	28	28	28	28	29	29	29	29	28	36	28	23	26	23	22	18	17	17	17	14,8	10,93	7,03	3,4	-0,6
g	7	6	18	18	18	19	19	19	18	18	17	15	5	9	17	13	13	12	11	10	9	8	7,3	5,42	1,64	-2,8	-0,8

Tabela dos Coeficientes de Gauss para o IGRF-12 para o período de 1900 a 2015 (continuação)

h	7	6	-12	-12	-13	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-17	-18	-20	-18	-23	-23	-23	-23	-23	-24	-25,4	-26,32	-27,61	-27,4	0,1		
g	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	5	29	19	18	8	1	-2	-5	-2	0	0	-2	-1,2	1,94	4,92	6,8	0,2	
h	7	7	-22	-22	-22	-22	-22	-21	-20	-19	-19	-22	-16	-18	-17	-12	-11	-12	-10	-7	-4	-6	-5,8	-4,64	-3,28	-2,2	-0,2	
g	8	0	11	11	11	11	11	11	11	11	11	13	22	11	15	13	14	14	18	21	23	25	24,4	24,80	24,41	24,2	0,2	
g	8	1	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	15	9	6	5	6	6	6	6	5	6	6,6	7,62	8,21	8,8	0,0	
h	8	1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	12	5	10	11	7	7	6	7	8	10	11	11,9	11,20	10,84	10,1	-0,3	
g	8	2	-4	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-8	-4	-6	-4	-4	-2	-1	0	0	-1	-6	-9,2	-11,73	-14,50	-16,9	-0,6	
h	8	2	-14	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-14	-21	-22	-15	-14	-12	-15	-16	-18	-19	-19	-21	-21,5	-20,88	-20,03	-18,3	0,3	
g	8	3	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-10	-5	-1	-14	-11	-14	-13	-12	-11	-11	-10	-9	-7,9	-6,88	-5,59	-3,2	0,5	
h	8	3	7	7	6	6	6	6	5	5	5	-12	0	5	7	9	6	4	4	5	6	8	8,5	9,83	11,83	13,3	0,1	
g	8	4	1	1	1	2	2	2	2	1	1	9	11	6	2	0	-3	-8	-7	-9	-12	-14	-16,6	-18,11	-19,34	-20,6	-0,2	
h	8	4	-13	-13	-13	-13	-14	-14	-14	-15	-15	-7	-21	-23	-18	-16	-17	-19	-22	-23	-22	-23	-21,5	-19,71	-17,41	-14,6	0,5	
g	8	5	2	2	2	3	4	4	5	6	6	7	15	10	10	8	5	4	4	4	3	9	9,1	10,17	11,61	13,4	0,4	
h	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	-8	3	4	4	6	6	9	11	12	15	15,5	16,22	16,71	16,2	-0,2	
g	8	6	-9	-8	-8	-8	-7	-7	-6	-6	-5	-10	-13	-7	-5	-1	0	0	3	4	4	6	7,0	9,36	10,85	11,7	0,1	
h	8	6	16	16	16	16	17	17	18	18	19	18	17	23	23	24	21	18	16	14	12	11	8,9	7,61	6,96	5,7	-0,3	
g	8	7	5	5	5	6	6	7	8	8	9	7	5	6	10	11	11	10	6	4	2	-5	-7,9	-11,25	-14,05	-15,9	-0,4	
h	8	7	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	3	-4	-4	1	-3	-6	-10	-13	-15	-16	-16	-14,9	-12,76	-10,74	-9,1	0,3	
g	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	2	-1	9	8	4	3	1	-1	-4	-6	-7	-7,0	-4,87	-3,54	-2,0	0,3
h	8	8	-18	-18	-18	-18	-19	-19	-19	-19	-19	-11	-17	-13	-20	-17	-16	-17	-15	-11	-10	-4	-2,1	-0,06	1,64	2,1	0,0	
g	9	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	5	3	4	4	8	8	7	5	5	4	4	5,0	5,58	5,50	5,4	0,0	
g	9	1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-21	-7	9	6	10	10	10	10	10	9	9	9,4	9,76	9,45	8,8	0,0	
h	9	1	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-21	-27	-24	-11	-18	-22	-21	-21	-21	-21	-20	-20	-19,7	-20,11	-20,54	-21,6	0,0	
g	9	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-4	0	2	2	2	1	1	1	3	3,0	3,58	3,45	3,1	0,0	
h	9	2	14	14	14	14	14	14	14	15	15	17	19	12	12	15	16	16	16	15	15	15	13,4	12,69	11,51	10,8	0,0	
g	9	3	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-12	-12	-12	-11	-25	-5	-9	-13	-12	-12	-12	-12	-12	-10	-8,4	-6,94	-5,27	-3,3	0,0	
h	9	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	29	12	7	2	7	6	7	9	9	11	12	12,5	12,67	12,75	11,8	0,0	
g	9	4	12	12	12	12	12	12	12	11	11	3	10	2	1	10	10	10	9	9	9	8	6,3	5,01	3,13	0,7	0,0	
h	9	4	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-9	2	6	0	-4	-4	-4	-5	-6	-7	-6	-6,2	-6,72	-7,14	-6,8	0,0	
g	9	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	5	4	4	-1	-1	-1	-3	-3	-4	-8	-8,9	-10,76	-12,38	-13,3	0,0	
h	9	5	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	4	2	-2	-3	-5	-5	-5	-6	-6	-7	-8	-8,4	-8,16	-7,42	-6,9	0,0	

Tabela dos Coeficientes de Gauss para o IGRF-12 para o período de 1900 a 2015 (continuação)

g	9	6	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-5	1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-2	-1	-1,5	-1,25	-0,76	-0,1	0,0
h	9	6	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	8	10	9	10	10	10	9	9	9	8	8,4	8,10	7,97	7,8	0,0
g	9	7	2	2	2	2	2	2	3	3	3	-4	-2	2	-2	5	3	4	7	7	7	10	9,3	8,76	8,43	8,7	0,0
h	9	7	10	10	10	10	10	10	10	11	11	6	8	7	8	10	11	11	10	9	8	5	3,8	2,92	2,14	1,0	0,0
g	9	8	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	-3	3	2	3	1	1	1	2	1	1	-2	-4,3	-6,66	-8,42	-9,1	0,0
h	9	8	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	-11	-6	0	-4	-2	-3	-6	-7	-7	-8	-8,2	-7,73	-6,08	-4,0	0,0	
g	9	9	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-4	8	5	-1	-2	-1	-2	-5	-5	-6	-8	-8,2	-9,22	-10,08	-10,5	0,0
h	9	9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	8	-7	5	5	1	1	1	2	2	2	3	4,8	6,01	7,01	8,4	0,0
g	10	0	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-8	-3	1	-2	-3	-3	-4	-4	-3	-3	-2,6	-2,17	-1,94	-1,9	0,0
g	10	1	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	11	4	-5	-3	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-6	-6,0	-6,12	-6,24	-6,3	0,0
h	10	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	13	-4	4	2	1	1	1	1	2	1	1,7	2,19	2,73	3,2	0,0
g	10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	-1	-1	4	2	2	2	2	3	2	2	1,7	1,42	0,89	0,1	0,0
h	10	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-2	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0,0	0,10	-0,10	-0,4	0,0
g	10	3	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	2	13	2	0	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-3,1	-2,35	-1,07	0,5	0,0
h	10	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-20	-10	-8	0	2	3	3	3	3	3	4	4,0	4,46	4,71	4,6	0,0
g	10	4	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-5	-4	-3	-1	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-0,5	-0,15	-0,16	-0,5	0,0
h	10	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	-1	2	-2	2	6	4	4	6	6	6	5	4,9	4,76	4,44	4,4	0,0
g	10	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	-1	4	7	4	4	6	5	5	5	4	4	3,7	3,06	2,45	1,8	0,0
h	10	5	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-6	-3	-4	-5	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-5,9	-6,58	-7,22	-7,9	0,0
g	10	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	8	12	4	6	4	4	4	3	3	3	2	1,0	0,29	-0,33	-0,7	0,0
h	10	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	1	1	0	0	-1	0	0	0	-1	-1,2	-1,01	-0,96	-0,6	0,0
g	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	3	-2	1	0	1	1	1	1	1	2	2,0	2,06	2,13	2,1	0,0
h	10	7	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-4	-3	-3	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2,9	-3,47	-3,95	-4,2	0,0
g	10	8	2	2	2	1	1	1	1	2	2	-3	2	6	-1	2	0	0	2	2	3	5	4,2	3,77	3,09	2,4	0,0
h	10	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	-2	6	7	6	3	3	3	4	4	3	1	0,2	-0,86	-1,99	-2,8	0,0
g	10	9	2	2	2	2	3	3	3	3	3	5	10	-2	2	2	3	3	3	3	3	1	0,3	-0,21	-1,03	-1,8	0,0
h	10	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	-1	0	0	1	1	0	0	-1	-2	-2,2	-2,31	-1,97	-1,2	0,0
g	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	3	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-1,1	-2,09	-2,80	-3,6	0,0
h	10	10	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-2	8	-3	-7	-6	-4	-5	-6	-6	-6	-7	-7,4	-7,93	-8,31	-8,7	0,0
g	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,7	2,95	3,05	3,1	0,0
g	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,7	-1,60	-1,48	-1,5	0,0

Tabela dos Coeficientes de Gauss para o IGRF-12 para o período de 1900 a 2015 (continuação)

h	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,26	0,13	-0,1	0,0
g	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,9	-1,88	-2,03	-2,3	0,0
h	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	1,44	1,67	2,0	0,0
g	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	1,44	1,65	2,0	0,0
h	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,77	-0,66	-0,7	0,0
g	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,1	-0,31	-0,51	-0,8	0,0
h	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,6	-2,27	-1,76	-1,1	0,0
g	11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,29	0,54	0,6	0,0
h	11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,90	0,85	0,8	0,0
g	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,7	-0,79	-0,79	-0,7	0,0
h	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,7	-0,58	-0,39	-0,2	0,0
g	11	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,53	0,37	0,2	0,0
h	11	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,8	-2,69	-2,51	-2,2	0,0
g	11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,7	1,80	1,79	1,7	0,0
h	11	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-1,08	-1,27	-1,4	0,0
g	11	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,16	0,12	-0,2	0,0
h	11	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,2	-1,58	-2,11	-2,5	0,0
g	11	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0,96	0,75	0,4	0,0
h	11	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,9	-1,90	-1,94	-2,0	0,0
g	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,0	3,99	3,75	3,5	0,0
h	11	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-1,39	-1,86	-2,4	0,0
g	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,2	-2,15	-2,12	-1,9	0,0
g	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	-0,29	-0,21	-0,2	0,0
h	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,4	-0,55	-0,87	-1,1	0,0
g	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,21	0,30	0,4	0,0
h	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,23	0,27	0,4	0,0
g	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,89	1,04	1,2	0,0
h	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	2,38	2,13	1,9	0,0
g	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,2	-0,38	-0,63	-0,8	0,0
h	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,6	-2,63	-2,49	-2,2	0,0
g	12	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,96	0,95	0,9	0,0

Tabela dos Coeficientes de Gauss para o IGRF-12 para o período de 1900 a 2015 (continuação)

h	12	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,61	0,49	0,3	0,0
g	12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,5	-0,30	-0,11	0,1	0,0
h	12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,40	0,59	0,7	0,0
g	12	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,46	0,52	0,5	0,0
h	12	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,01	0,00	-0,1	0,0
g	12	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	-0,35	-0,39	-0,3	0,0
h	12	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,02	0,13	0,3	0,0
g	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,4	-0,36	-0,37	-0,4	0,0
h	12	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,28	0,27	0,2	0,0
g	12	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,1	0,08	0,21	0,2	0,0
h	12	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,87	-0,86	-0,9	0,0
g	12	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,2	-0,49	-0,77	-0,9	0,0
h	12	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,4	-0,34	-0,23	-0,1	0,0
g	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,4	-0,08	0,04	0,0	0,0
h	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0,88	0,87	0,7	0,0
g	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,2	-0,16	-0,09	0,0	0,0
g	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,88	-0,89	-0,9	0,0
h	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,76	-0,87	-0,9	0,0
g	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,30	0,31	0,4	0,0
h	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,33	0,30	0,4	0,0
g	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,28	0,42	0,5	0,0
h	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	1,72	1,66	1,6	0,0
g	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,4	-0,43	-0,45	-0,5	0,0
h	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,4	-0,54	-0,59	-0,5	0,0
g	13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	1,18	1,08	1,0	0,0
h	13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,0	-1,07	-1,14	-1,2	0,0
g	13	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,4	-0,37	-0,31	-0,2	0,0
h	13	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,1	-0,04	-0,07	-0,1	0,0
g	13	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,75	0,78	0,8	0,0
h	13	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,63	0,54	0,4	0,0
g	13	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,4	-0,26	-0,18	-0,1	0,0

Tabela dos Coeficientes de Gauss para o IGRF-12 para o período de 1900 a 2015 (continuação)

h	13	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,21	0,10	-0,1	0,0
g	13	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,35	0,38	0,3	0,0
h	13	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,53	0,49	0,4	0,0
g	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,1	-0,05	0,02	0,1	0,0
h	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,38	0,44	0,5	0,0
g	13	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,41	0,42	0,5	0,0
h	13	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,2	-0,22	-0,25	-0,3	0,0
g	13	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	-0,10	-0,26	-0,4	0,0
h	13	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,5	-0,57	-0,53	-0,4	0,0
g	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	-0,18	-0,26	-0,3	0,0
h	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,9	-0,82	-0,79	-0,8	0,0

ANEXO B- Script “GeoMagMap”

```

1  #!/bin/bash
2
3
4
5  #Definição da região e projeção
6  reg=-180/180/-90/90
7  pro=X17c/9c
8  grid=grid.grd
9  salve=nomearquivosaida.ps
10 cor=cor.cpt
11
12
13 #Seleção de colunas desejadas para a realização do mapa
14 awk '{print $2, $1, $9}' TOTAL1900 > F_1900.txt
15
16 #O comando Surface interpola o dado através de uma mínima curvatura
17 surface F_1900.txt -Rd -I50000e -G$grid
18
19 #Escala de cores
20 grd2cpt $grid -Z -Cseis > $cor
21
22 #Mapa base
23 psbasemap -R$reg -J$pro -Bx30+l'Longitude' -By30+l"Latitude" --FONT=13p,
Helvetica-Bold -BWSen -P -Xc -Yc -K > $salve
24
25 #Geração da escala de cores
26 psscale -Dx3.2i/-0.8i+jTC+w3i/0.10i+h -R -J -C$cor -I -B10000:'Intensidade (nT)':/::
--FONT=10p,Helvetica-Bold -O -K >> $salve
27
28 #Gerar o mapa
29 grdimage $grid -R -J -C$cor -O -K >> $salve
30
31 #Adição de linhas de costa
32 pscoast -R -J -W0.1p -O -K >> $salve
33
34 #Contorno do Mapa
35 grdcontour $grid -J -R -A15000+f8 -W0.4p,black -O >> $salve
36
37 #Imagem final gerada
38 psconvert $salve -Tg -A
39 rm gmt.history
40 evince nomearquivosaida.png &

```