

**JULIERME WAGNER DA PENHA**

**AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO TEC NO TERRITÓRIO  
BRASILEIRO UTILIZANDO DADOS DO IGS NO  
PERÍODO DE 2004 A 2008**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P399a Penha, Julierme Wagner da -  
Avaliação da variação do TEC no território brasileiro  
utilizando dados do IGS no período de 2004 a 2008. /  
Julierme Wagner da Penha. – Viçosa, MG, 2009.

2009

xii, 110f. : il.(algumas col.); 29cm.

Inclui anexo, apêndice e CD-ROM.

Orientador: Antônio Simões Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 92-95.

1. Geodésia. 2. Ionosfera. 3. Sistema de Posicionamento  
Global. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 526.1

**JULIERME WAGNER DA PENHA**

**AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO TEC NO TERRITÓRIO  
BRASILEIRO UTILIZANDO DADOS DO IGS NO  
PERÍODO DE 2004 A 2008**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

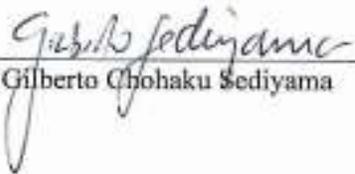
APROVADA: 07 de agosto de 2009.



Prof. Dalto Domingos Rodrigues  
(Coorientador)



Prof. Moisés Ferreira Costa



Prof. Gilberto Chohaku Sedyama



Prof. Edvaldo Simões da Fonseca Jr.



Prof. Antônio Simões Silva  
(Orientador)

*“Quanto mais acredito na ciência, mais acredito em Deus. O universo é inexplicável sem Deus.”*

(Albert Einstein)

Aos meus avós **Diva e Genin**  
A minha mãe **Maria Auxiliadora**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais este desafio em minha vida.

À família, pelo incentivo, apoio e dedicação.

À Universidade Federal de Viçosa, através do Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao Professor Orientador Antônio Simões Silva, pela orientação, dedicação ao estudo, incentivo, profissionalismo ético e amizade.

Aos Professores Coorientadores Dalto Domingos Rodrigues, Carlos Antônio Oliveira Vieira, pelas contribuições acadêmicas e ensinamentos.

Ao professor Coorientador Marcelo Tomio Matsuoka, pela grande ajuda nessa dissertação, pela orientação, dedicação, incentivo e amizade.

Aos professores do Setor de Engenharia de Agrimensura, pelos ensinamentos.

Aos colegas e irmãos de república e do alojamento 2032, em especial Marcus Vinícius “Barbonildo” e Eduardo (Baiano) “Dudas”, pela convivência agradável.

A minha namorada Lidiana “Lid” pelo incentivo e momentos felizes.

Aos grandes amigos da graduação do Curso de Engenharia de Agrimensura que fiz nesta Instituição.

Aos parentes e amigos de Nova Venécia – ES e Manhuaçu – MG, pelo incentivo e apoio durante esta jornada.

Aos colegas de estudo da Pós-graduação em Informações Espaciais, pelo companheirismo e discussões sobre diversos assuntos.

À CAPES, agência financiadora da bolsa de mestrado durante o desenvolvimento da dissertação.

Ao IBGE, pelo fornecimento dos dados da estação VICO da RBMC.

Ao IGS, pelo fornecimento dos dados do VTEC (arquivos IONEX).

Ao NRCan, pela disponibilidade do *software on-line* (CSRS-PPP) e sua documentação.

Aos professores da banca examinadora pelas críticas e sugestões.

Enfim, agradeço a todas as pessoas e instituições que contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

JULIERME WAGNER DA PENHA, filho de Elias Boldt e Maria Auxiliadora Pinto da Penha.

Em abril de 2001, ingressou no Curso de Engenharia de Agrimensura na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, concluindo a graduação em outubro de 2006.

Em março de 2007, ingressou na pós-graduação através do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Área de Concentração em Informações Espaciais e Linha de Pesquisa Geodésia Aplicada, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em 07 de agosto de 2009.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE QUADROS E TABELAS .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativa .....	5
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Estruturação da dissertação.....	6
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Estrutura e Subdivisão da Atmosfera Terrestre .....	7
2.2 Efeitos da Ionosfera no GPS.....	10
2.3 Erro devido à Ionosfera nos Sinais GPS .....	13
2.4 Cintilação ionosférica .....	20
2.5 Regiões geográficas da ionosfera.....	22
2.6 Determinação do TEC utilizando as observáveis GPS .....	23
2.7 Determinação do TEC utilizando as pseudodistâncias .....	24
2.8 Determinação do TEC a partir de Medidas da Fase da Portadora .....	24
2.9 Ciclos solares .....	25
2.10 Campo geomagnético .....	26
2.11 Índices geomagnéticos.....	28
2.12 Dados globais da ionosfera calculados pelo IGS - arquivos IONEX.....	29
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
3.1 Primeiro Experimento - Mapas horários médios mensais de VTEC .....	32
3.2 Segundo Experimento - Posicionamento por ponto preciso da estação VICO.....	37
3.3 Local de estudo .....	43
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISES.....</b>	<b>44</b>
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>90</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE 1 .....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE 2 .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE 3 .....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE 4 .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE 5 .....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>110</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE	<i>Auroral Electrojet</i>
C/A	<i>Course / Acquisition</i>
CODE	<i>Centre for Orbit/ Determination in Europe</i>
Dst	<i>Disturbance Storm-Time</i>
EHF	<i>Extremely High Frequency</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSD	<i>Geodetic Survey Division</i>
HF	<i>High Frequency</i>
HL	Hora Local
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS	<i>International GNSS Service</i>
IERS	<i>International Earth Rotation and Reference Systems Service</i>
IONEX	<i>IONosphere map EXchange format</i>
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
Kp	<i>Planetary Kennziffer – Índice Planetário</i>
L1	Portadora GPS em 1575,42 MHz
L2	Portadora GPS em 1227,60 MHz
L5	Portadora GPS em 1176,45 MHz
LF	<i>Low Frequency</i>
MF	<i>Medium Frequency</i>
NRCan	<i>Natural Resources Canada</i>
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RINEX	<i>Receiver INdependent EXchange format</i>
SA	<i>Selective Availability</i>
SHF	<i>Super High Frequency</i>
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

TEC	<i>Total Electron Content</i>
TECU	<i>Total Electron Content Unit</i>
TU	Tempo Universal
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UPC	<i>Universitat Politècnica de Catalunya</i>
VICO	Estação pertencente a RBMC localizada em Viçosa-MG
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VTEC	<i>Vertical TEC</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática da ionosfera. ....	9
Figura 2. Perfis da densidade de elétrons durante o dia e a noite. ....	10
Figura 3. Geometria para o atraso do caminho ionosférico. ....	16
Figura 4. Ângulo $z$ x $z'$ . ....	17
Figura 5. Pontos ionosféricos obtidos de observações GPS de 4 estações da RBMC referente a 29 de outubro de 2003. ....	18
Figura 6. Índice de refratividade em função da altitude para a ionosfera e troposfera. ....	20
Figura 7. Bolhas ionosféricas. ....	22
Figura 8. Regiões geográficas da ionosfera. ....	22
Figura 9. Número de manchas solares e ciclos solares. ....	25
Figura 10. Número de manchas solares – Ciclos 23 e 24. ....	26
Figura 11. Equador geomagnético em 1957 e 2000. ....	27
Figura 12. Equador geomagnético e posição do pólo magnético norte em 2005. ....	27
Figura 13. Estações da rede IGS. ....	30
Figura 14. Malha interpolada de $1^\circ$ x $1^\circ$ do território brasileiro (krigagem). ....	30
Figura 15. Disposição dos mapas nos resultados. ....	36
Figura 16. Mapa de localização da área em estudo. ....	43
Figura 17. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (janeiro/2004). ....	44
Figura 18. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (fevereiro/2004). ....	45
Figura 19. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (março/2004). ....	46
Figura 20. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (abril/2004). ....	47
Figura 21. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (maio/2004). ....	48
Figura 22. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (junho/2004). ....	49
Figura 23. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (julho/2004). ....	50
Figura 24. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (agosto/2004). ....	51
Figura 25. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (setembro/2004). ....	52
Figura 26. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (outubro/2004). ....	53
Figura 27. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (novembro/2004). ....	54
Figura 28. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (dezembro/2004). ....	55
Figura 29. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (janeiro/2008). ....	56
Figura 30. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (fevereiro/2008). ....	57
Figura 31. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (março/2008). ....	58
Figura 32. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (abril/2008). ....	59
Figura 33. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (maio/2008). ....	60
Figura 34. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (junho/2008). ....	61
Figura 35. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (julho/2008). ....	62
Figura 36. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (agosto/2008). ....	63
Figura 37. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (setembro/2008). ....	64
Figura 38. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (outubro/2008). ....	65
Figura 39. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (novembro/2008). ....	66
Figura 40. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (dezembro/2008). ....	67
Figura 41. Valores médios diários do VTEC para Viçosa, Porto Alegre e Macapá (janeiro/2004, abril/2004, janeiro/2008 e abril/2008). ....	69

Figura 42. Valores médios diários do VTEC para Viçosa, Porto Alegre e Macapá (julho/2004, outubro/2004, julho /2008 e outubro/2008).....	70
Figura 43. Mapas de diferenças do VTEC entre os meses de abril/2004 e abril/2008. ....	71
Figura 44. Mapas indicadores de VTEC de abril/2004 (8 TU). ....	73
Figura 45. Mapas indicadores de VTEC de abril/2004 (20 TU). ....	74
Figura 46. Mapas indicadores de VTEC de abril/2008 (8 TU). ....	75
Figura 47. Mapas indicadores de VTEC de abril/2008 (20 TU). ....	76
Figura 48. Gráfico de dispersão de VTEC entre abril/2004 e abril/2008 (8 TU). ....	77
Figura 49. Gráfico de dispersão de VTEC entre abril/2004 e abril/2008 (20 TU). ....	77
Figura 50. Discrepâncias das coordenadas X, Y e Z da estação VICO - 2004. ....	79
Figura 51. Resultante das discrepâncias da estação VICO - 2004.....	81
Figura 52. Desvio padrão das coordenadas X, Y e Z da estação VICO - 2004.....	83
Figura 53. Discrepâncias das coordenadas X, Y e Z da estação VICO - 2008. ....	85
Figura 54. Resultante das discrepâncias da estação VICO - 2008.....	87
Figura 55. Desvio padrão das coordenadas X, Y e Z da estação VICO - 2008.....	89

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1. Possíveis divisões da atmosfera terrestre.....	7
Tabela 1. Bandas de frequências.....	8
Tabela 2. Características das principais camadas da ionosfera.....	8
Tabela 3. Efeito do atraso de propagação, devido à ionosfera sobre as distâncias observadas na vertical com uma frequência.....	19
Tabela 4. Erros residuais para combinações lineares entre duas frequências.....	19
Tabela 5. Efeito sistemático máximo devido à ionosfera na direção vertical.....	19
Tabela 6. Relação entre o índice geomagnético Kp e ap.....	28
Tabela 7. Classificação da atividade geomagnética em função de Kp e Ap.....	29
Tabela 8. Classificação de uma tempestade geomagnética.....	29
Tabela 9. Cabeçalho do arquivo IONEX referente ao final combinado (IGSG).....	33
Tabela 10. Dados do VTEC do arquivo IONEX (IGSG).....	33
Tabela 11. Dados da latitude, longitude e VTEC obtidos pela rotina.....	34
Tabela 12. Relação dos 6 (seis) menores índices Ap de cada mês em 2004.....	35
Tabela 13. Relação dos 6 (seis) menores índices Ap de cada mês em 2008.....	35
Tabela 14. Arquivo de observação RINEX original da estação VICO-RBMC (IBGE). .....	38
Tabela 15. Arquivo de observação GPS da estação VICO-RBMC (IBGE).....	39
Tabela 16. Arquivo de observação GPS (L1 e C1) da estação VICO.....	40
Tabela 17. Tipos de efemérides precisas fornecidas pelo IGS.....	41
Tabela 18. Parâmetros de transformação e suas taxas do ITRF2005 para o IRTF2000. .....	42
Tabela 19. Análise estatística de abril/2004 (8 TU).....	73
Tabela 20. Análise estatística de abril/2004 (20 TU).....	74
Tabela 21. Análise estatística de abril/2008 (8 TU).....	75
Tabela 22. Análise estatística de abril/2008 (20 TU).....	76

## RESUMO

PENHA, Julierme Wagner da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2009. **Avaliação da variação do TEC no território brasileiro utilizando dados do IGS no período de 2004 a 2008.** Orientador: Antônio Simões Silva. Coorientadores: Dalto Domingos Rodrigues, Carlos Antônio Oliveira Vieira e Marcelo Tomio Matsuoka.

A principal fonte de erro na posição do usuário do sistema GPS (*Global Positioning System*), utilizando receptores de uma frequência, é o efeito causado pela ionosfera no sinal transmitido pelos satélites. Este erro é diretamente proporcional ao conteúdo total de elétrons (TEC – *Total Electron Content*) presentes na ionosfera e inversamente proporcional ao quadrado da frequência do sinal transmitido. O TEC varia no tempo e no espaço com relação a hora (variação diária), a época do ano (variação sazonal), a localização geográfica, ao ciclo de manchas solares (variação de longo período). Neste trabalho foi estudado e avaliado a variação do TEC para os anos de 2004 a 2008, abrangendo o território brasileiro, através de mapas do VTEC (TEC na direção vertical) utilizando dados do modelo global da ionosfera (arquivos IONEX – *Ionosphere Map Exchange Format*) do IGS (*International GNSS Service*), analisando a fase de declínio do ciclo de manchas 23 e início do ciclo 24. Também foi avaliado o processamento do posicionamento por ponto preciso, utilizando *software PPP-online* fornecido pelo GSD (*Geodetic Survey Canada*) do NRCan (*Natural Resource Canada*), denominado CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System – Precise Point Precise*) para os anos de 2004 e 2008, corrigindo o efeito da ionosfera pelo IONEX. Estes experimentos constatarem uma redução no valor do VTEC no ano de 2008 em relação ao ano de 2004, devido a menor atividade solar no ano de 2008 em comparação à 2004, conseqüentemente, uma menor quantidade de elétrons presentes na ionosfera, melhorando a performance do posicionamento com GPS, com o declínio no número de manchas solares.

## ABSTRACT

PENHA, Julierme Wagner da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2009.

**Evaluation of the TEC variation in Brazilian territory using data from the IGS in the period 2004 to 2008.** Adviser: Antônio Simões Silva. Co-Advisers: Dalto Domingos Rodrigues, Carlos Antônio Oliveira Vieira and Marcelo Tomio Matsuoka.

The main source of error in the position of the user of GPS (Global Positioning System) receivers, using a frequency is the effect caused by the ionosphere on the signal transmitted by satellites. This error is directly proportional to the total electron content (TEC - Total Electron Content) in the ionosphere and inversely proportional to the square of the frequency of the transmitted signal. The TEC varies in time and space with respect to time (daily variation), the time of year (seasonal variation), geographical location, the cycle of sunspots (range, long period). In this work was studied and evaluated the variation of the TEC and, therefore, the error due to the ionosphere in the GPS observable for the years 2004 to 2008, covering the Brazilian territory, using maps of VTEC (TEC in vertical direction) using the data model global ionosphere (files IONEX - Ionosphere Map Exchange Format) from IGS (International GNSS Service) assessing the stage of the cycle of decline of 23 spots and start the cycle 24. It was also assessed the processing of precise point positioning using PPP on-line software provided by the GSD (Geodetic Survey Canada) of NRCan (Natural Resource Canada), known as CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System – Precise Point Precise) for the years 2004 and 2008, correcting the effect of the ionosphere by IONEX. These experiments show a reduction in the value of the VTEC during 2008 in respect to the year 2004, due to lower solar activity in the year 2008 compared to 2004, consequently, a smaller amount of electrons in the ionosphere, improving the performance of the positioning with GPS, with this decline in the number of sunspots.

# 1. INTRODUÇÃO

As atividades geodésicas e cartográficas têm experimentado uma verdadeira revolução com o advento dos sistemas de posicionamento por satélites, em função da rapidez e precisão com que as coordenadas são obtidas, independentemente das condições atmosféricas e da visibilidade entre os pontos a serem determinados.

A maior fonte de erros no posicionamento com GPS (Sistema de Posicionamento Global) era a técnica SA (Disponibilidade Seletiva), desativada às 04 horas TU (Tempo Universal) de 02 de maio de 2000. Com a desativação da técnica SA, a ionosfera tornou-se a maior fonte de erro sistemático no posicionamento com GPS (MATSUOKA, 2007).

A ionosfera, termo sugerido por Watt-Watson em 1926, segundo Mcnamara (1991), é a região da atmosfera terrestre formada pela interação dos átomos e moléculas neutras existentes com as fontes ionizantes solares e cósmicas resultando em um plasma com alta densidade de cargas livres, o plasma ionosférico.

A ionosfera, está localizada em uma altura de aproximadamente 60 km (dia) e 90 km (noite) tendo o íon do oxigênio atômico  $O^+$  como o elemento químico mais abundante até em torno de aproximadamente 1000 km quando começa a predominar o íon do hélio  $He^+$ , a heliosfera e, acima desta, o íon do hidrogênio  $H^+$ , a protonosfera (RISHBETH E GARRIOT, 1969).

A existência desta região na atmosfera da Terra foi observada inicialmente pelas variações periódicas nas medições do campo geomagnético, tornando-se conhecida por permitir as radiocomunicações a longas distâncias nas primeiras décadas deste século (RISHBETH E GARRIOT, 1969). Isto se deve ao fato da ionosfera formar um guia de onda com a superfície terrestre fazendo com que as ondas de rádio reflitam-se sucessivamente, percorrendo distâncias transcontinentais.

A ionosfera é formada pela ação das fontes ionizantes solares e cósmicas. As fontes ionizantes solares consistem na principal fonte de ionização, tendo as fontes

ionizantes cósmicas um papel secundário, mas muito importante na manutenção da ionosfera noturna.

Como a composição da atmosfera varia com a altitude, a taxa de produção de íon também varia e assim induz a formação de vários picos de ionização distintos, que são as camadas D, E, F1 e F2 (SEGANTINE, 2005). Elas são nomeadas em ordem crescente de altitude.

Região D: região entre, aproximadamente, 75 e 95 km sobre a superfície terrestre cuja ionização é a principal responsável pela absorção de altas-frequências de ondas de rádio.

Região E: região entre 95 e 150 km, sobre a superfície terrestre, é a região de máxima condutividade elétrica e seu comportamento depende do ângulo zenital do Sol e do nível de atividade.

Região F: encontra-se aproximadamente, entre 150 e 500 km de altitude. Durante o dia, a camada F separa-se em duas camadas, F1 e F2. Geralmente, durante a noite, a camada F1 desaparece. A camada F produz o máximo de ionização após o meio dia, mas os efeitos do ciclo diário são menos pronunciados que nas camadas D e E.

A ionosfera caracteriza-se como parte da atmosfera superior onde está presente um número suficiente de elétrons e íons, que afetam a propagação das ondas de rádio. O seu estado pode ser descrito através da densidade de elétrons  $n_e$  em unidades de elétrons por  $m^3$ . O conteúdo total de elétrons – TEC, caracteriza-se pelo impacto da ionosfera na propagação das ondas de rádio.

O erro associado à ionosfera é inversamente proporcional ao quadrado da frequência e diretamente proporcional ao conteúdo total de elétrons (TEC) presentes ao longo do caminho da trajetória percorrida pelo sinal na ionosfera. O TEC varia no tempo e no espaço e é influenciado por diversas variáveis, tais como: ciclo solar, época do ano, hora do dia, localização geográfica, atividade geomagnética. Alguns modelos têm sido desenvolvidos para a correção das observáveis GPS do erro sistemático devido à ionosfera. O modelo mais conhecido e utilizado é o modelo de

Klobuchar que corrige algo em torno de 50 a 60% do erro ionosférico (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008; MONICO, 2000).

Os erros de atrasos ocasionados pela ionosfera são devidos principalmente à redução da velocidade e ao desvio da direção de propagação das ondas eletromagnéticas, causados pela sua refração. O retardo total pode ser estimado e compensado utilizando informações sobre a diferença dos atrasos de propagação das ondas nas frequências L1 e L2. Entretanto, como na maior parte dos receptores comerciais somente a frequência L1 está disponível, alguns modelos (ex. Kloubuchar) são usados na tentativa de se minimizar este erro. O atraso devido à ionosfera pode superar o valor de 60 ns, o que corresponde a um erro de aproximadamente 18 m na distância entre o satélite e a antena receptora, podendo chegar a 100 m e como consequência um erro grande na determinação da posição do usuário (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

O IGS disponibiliza valores do TEC, calculados usando dados coletados de receptores de dupla frequência, no formato IONEX (*Ionosphere Map Exchange Format*) com resolução espacial de  $5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  em longitude e latitude, respectivamente, e resolução temporal de 2 horas para todo o globo terrestre.

A ionosfera não só degrada a acurácia do GPS, como também reduz a sua confiabilidade, pois existe uma alta dependência entre perdas do sinal e as irregularidades ionosféricas (SKONE, 2000).

O TEC é o principal parâmetro que descreve o efeito da ionosfera nos sinais GPS. O entendimento do comportamento do TEC na região de interesse é importante para compreender os efeitos e as limitações impostas pela ionosfera no que concerne à qualidade do posicionamento com GPS (MATSUOKA, 2007).

Com respeito à região brasileira em particular, o estudo do comportamento do TEC da ionosfera é de grande interesse, pois, nesta região estão presentes os maiores valores do TEC, bem como uma alta variação espacial e temporal se comparados com valores referentes às outras regiões do globo terrestre (KOMJATHY *et al.*, 2003).

Devido à natureza dispersiva da ionosfera, com dados GPS de receptores de dupla frequência pode-se efetuar correções do erro devido à ionosfera, bem como calcular o TEC.

Há muitos trabalhos na área, tais como: (SKONE, 1998); (CAMARGO, 1999); (FEDRIZZI, 1999); (SKONE *et al.*, 2001), (DAL POZ, 2002); (FONSECA JUNIOR, 2002); (MATSUOKA, 2003); (LIU, 2004); (MATSUOKA e CAMARGO, 2004); (VERONEZ, 2004); (AGUIAR, 2005); (MATSUOKA, 2007); e outros.

## 1.1 Justificativa

Hoje em dia, com a tecnologia do posicionamento por satélites, obtêm-se fácil e rapidamente coordenadas cartesianas geocêntricas ou coordenadas geodésicas. Essas coordenadas são influenciadas de certa forma pela ionosfera. A ionosfera causa um erro sistemático que afeta diretamente as coordenadas na determinação de um ponto.

Embora a maioria dos softwares de processamento de dados GPS possui modelos de correção do efeito da ionosfera, visando o Hemisfério Norte (EUA, Canadá e Europa), é recomendável que se tenha um modelo referente a cada região para se obter suas coordenadas com uma melhor acurácia. Pois os modelos globais são construídos por observações de todo o globo e é possível que não se tenha uma quantidade de observações suficientes para uma determinada área que represente matematicamente a ionosfera local ou seu efeito.

Uma das aplicações dos dados da ionosfera determinados pelo IGS é proporcionar informações do TEC para usuários do GPS. Os valores do TEC permitem a correção das observáveis GPS do erro devido à ionosfera, melhorando assim o desempenho do posicionamento com GPS; isto é possível devido à relação existente entre o TEC e o erro devido à ionosfera. Uma vantagem do uso dos valores do TEC do IGS, para aplicação no posicionamento com GPS, é que eles são disponibilizados gratuitamente e em caráter oficial.

O Brasil é a região que apresenta os maiores valores do TEC, e uma alta variação espacial e temporal se comparados com valores referentes às outras regiões do globo terrestre. Daí a motivação de estudar o efeito ionosférico, uma vez que inúmeras atividades como na geodésia e na geodinâmica utilizam-se do posicionamento por satélites, beneficiando os usuários e trazendo melhorias para o posicionamento preciso com GPS.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral é analisar e transmitir conhecimentos sobre o comportamento do erro devido à ionosfera na região brasileira, nas observáveis GPS, a partir do parâmetro TEC, utilizando dados dos arquivos de TEC das estações do IGS.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Produzir uma série temporal de mapas horários médios mensais de VTEC para um longo período, referente aos anos de 2004 à 2008, com os arquivos IONEX (IGSG – arquivos combinados precisos), analisando a variação do VTEC horária, diária, sazonal e de ciclo de manchas;
- Analisar o comportamento do erro devido à ionosfera a partir do posicionamento por ponto (absoluto) da estação VICO (RBMC), fazendo a correção do efeito ionosférico com os arquivos do IONEX nos solstícios e equinócios para os anos de 2004 e 2008.

## 1.3 Estruturação da dissertação

Além desta parte introdutória que caracteriza o objeto de estudo, a dissertação está organizada em cinco capítulos conforme a descrição abaixo.

No capítulo 2, se encontra uma revisão bibliográfica sobre assuntos importantes que sustentam o estudo: GPS, ionosfera, TEC, IGS etc.

No capítulo 3, são descritos os experimentos, assim como área de estudo e metodologia empregada na obtenção dos resultados. No capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos e diversas análises que foram realizadas nesta pesquisa. E finalmente no capítulo 5, encontram-se as conclusões, considerações finais, sugestões e recomendações para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Estrutura e Subdivisão da Atmosfera Terrestre

Segundo Matsuoka (2007), a atmosfera terrestre, para propósitos práticos, pode ser considerada como um conjunto de camadas de gases, esféricas e concêntricas à Terra. A sua estrutura está relacionada com diversos elementos, tais como: químicos, térmicos e eletromagnéticos. Estes parâmetros combinados variam sensivelmente em função da hora, posição geográfica, estação do ano e atividade solar.

O Quadro 1 apresenta um esquema simplificado da atmosfera terrestre que pode ser dividida em função da temperatura, ionização, campo magnético, propagação de ondas eletromagnéticas e um parâmetro técnico.

Altitude (km)	Temperatura	Ionização	Campo Magnético	Propagação	Técnico
100000	Termosfera	Protonosfera	Magnetosfera	Ionosfera	Atmosfera Superior
10000		Ionosfera			
1000	Mesosfera	Neutrosfera	Dinamosfera	Troposfera	Atmosfera Inferior
100					
10	Troposfera				

Quadro 1. Possíveis divisões da atmosfera terrestre.

Fonte: Adaptada de Seeber (1993).

Segundo Leick (1995), a refração troposférica não depende da frequência do sinal transmitido, desde que ela esteja abaixo de 30 GHz. A propagação do sinal na troposfera depende principalmente do conteúdo do vapor d'água, da temperatura e da pressão do ar. Desta forma, os sinais UHF, que compreendem a faixa de frequência de 300 a 3000 MHz, onde estão incluídos os sinais GPS (L1 = 1575,42 MHz e L2 = 1227,60 MHz), se propagam de forma não dispersiva na troposfera.

A Tabela 1 apresenta algumas subdivisões das bandas de frequências, como também os comprimentos de ondas e suas respectivas faixas de frequência. Esta subdivisão é utilizada de forma habitual em tecnologia de comunicação, segundo Seeber (1993).

Tabela 1. Bandas de frequências.

Denominação	Comprimento de onda ( $\lambda$ )	Frequência (f)
LF	> 1000 m	< 300 kHz
MF	100 m... 1000 m	300 kHz... 3 MHz
HF	10 m... 100 m	3 MHz... 30 MHz
VHF	1m... 10 m	30 MHz... 300 MHz
UHF	10 cm... 1 m	300 MHz... 3GHz
SHF	1 cm... 10 cm	3 GHz... 30 GHz
EHF	1 mm... 1 cm	30 GHz... 300 GHz

Fonte: Seeber (1993).

A Tabela 2 apresenta as principais camadas da ionosfera e suas densidades de elétrons durante os períodos noturno e diurno.

Tabela 2. Características das principais camadas da ionosfera.

Camadas	D	E	F1	F2
Intervalo (km)	60... 90	90... 140	140... 200	200... 1000
$n_e$ (el/m <sup>3</sup> ) durante o dia	$10^2...10^4$	$10^5$	$5 \cdot 10^5$	$10^6$
$n_e$ (el/m <sup>3</sup> ) durante a noite	-	$2 \cdot 10^3$	$10^3$	$3 \cdot 10^5$

Fonte: Seeber (1993).

A Figura 1 apresenta a distribuição das camadas, a densidade de elétrons no período diurno, bem como tipos de ondas que propagam na ionosfera e outras informações.

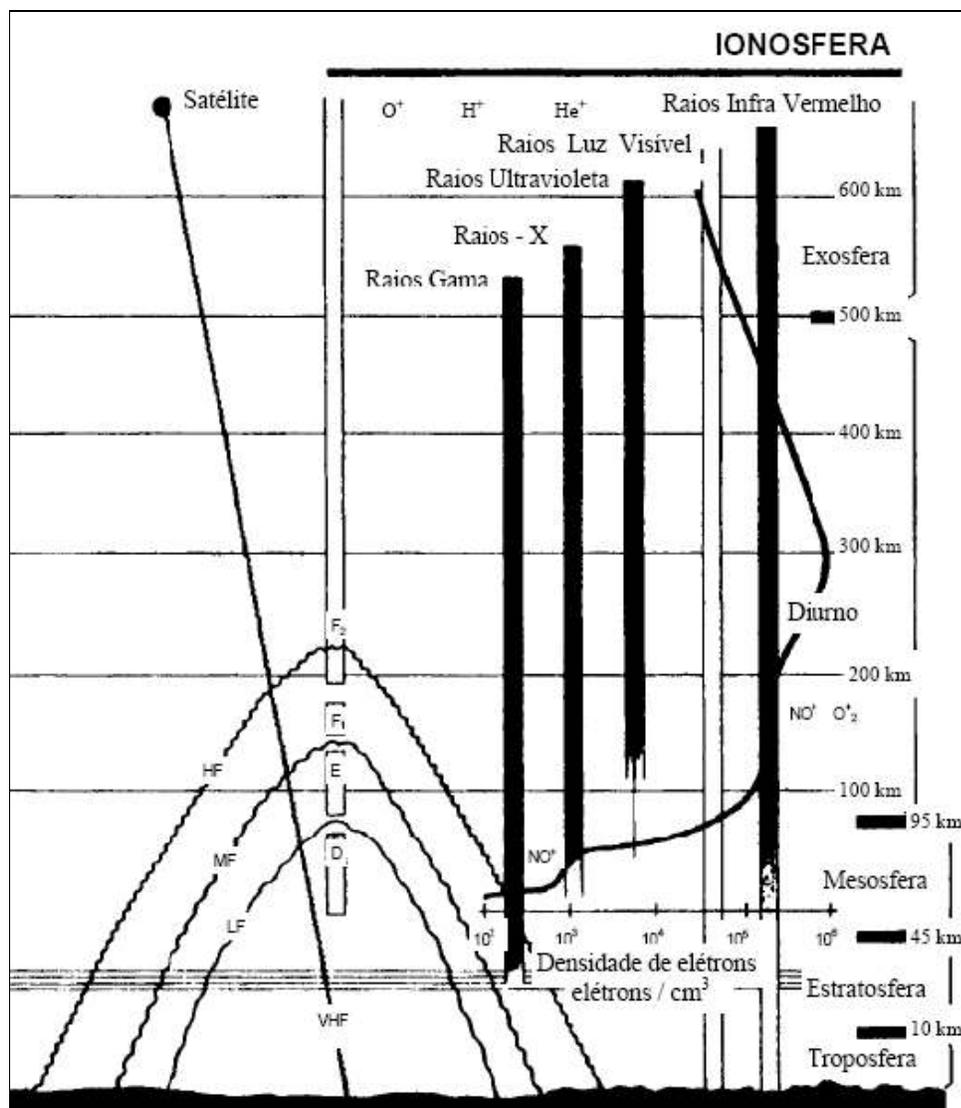


Figura 1. Representação esquemática da ionosfera.  
 Fonte: Adaptada de Osório (1992).

É importante salientar que a ionosfera se comporta de forma distinta durante os períodos diurnos e noturnos. Devido à ausência da radiação solar, durante o período noturno, acontece uma queda considerável na densidade de elétrons, como pode ser observado na Figura 2.

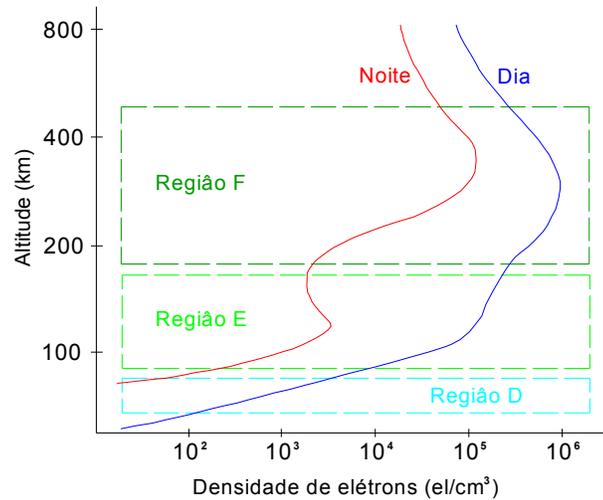


Figura 2. Perfis da densidade de elétrons durante o dia e a noite.  
Fonte: Adaptada de El Gizawy (2003).

## 2.2 Efeitos da Ionosfera no GPS

Os sinais GPS, no seu caminho entre o satélite e a antena receptora, propagam-se através da atmosfera dinâmica, atravessando camadas de diferentes naturezas e estados variáveis. Assim sendo, sofrem diferentes tipos de influências, que podem provocar variações na direção de propagação, velocidade de propagação, na polarização e na potência do sinal (SEEBER, 1993).

Esse meio de propagação compreende a troposfera e a ionosfera, com características bem diferentes. A troposfera, para frequências abaixo de 30 GHz, comporta-se como um meio não dispersivo, ou seja, a refração é independente da frequência do sinal transmitido, dependendo apenas das propriedades termodinâmicas do ar. A ionosfera, como um meio dispersivo, afeta a modulação e a fase da portadora, fazendo com que sofram, respectivamente, um retardo e um avanço na distância entre o satélite e o receptor (LEICK, 1995). O retardo é referido, também, como atraso ionosférico e aumenta o comprimento aparente do caminho percorrido pelo sinal.

O efeito da ionosfera, que depende da frequência e, conseqüentemente, do índice de refração, é proporcional ao TEC, ou seja, ao número de elétrons presentes ao longo do percurso do satélite ao receptor. O problema principal é que o TEC varia

no tempo e no espaço, em função do fluxo de ionização solar, atividade magnética, ciclo de manchas solares, estação do ano, localização do usuário e direção do raio vetor do satélite (LEICK, 1995).

Segundo Monico (2000) o afastamento do índice de refração de seu valor unitário, nas diferentes camadas da ionosfera, faz com que a velocidade da fase da portadora ( $V_f$ ) dada pela Equação 1:

$$V_f = \lambda \cdot f \quad (1)$$

sofra um atraso, onde  $\lambda$  representa o comprimento de onda e  $f$  a sua frequência.

Para as medidas de código, ou seja, para um grupo de ondas, a propagação da energia é definida com a velocidade do código ( $V_c$ ),

$$V_c = -\frac{df}{d\lambda} \cdot \lambda^2 \quad (2)$$

e sofre um avanço durante a propagação do sinal.

Diferenciando a Equação 1 em relação a  $\lambda$  tem-se:

$$dV_f = f \, d\lambda + \lambda \, df \quad (3)$$

e dividindo a Equação 3 por  $\lambda \, d\lambda$ , obtém-se:

$$\frac{df}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{dV_f}{d\lambda} - \frac{f}{\lambda} \quad (4)$$

Substituindo a Equação 4 na Equação 2:

$$V_c = -\lambda \cdot \frac{dV_f}{d\lambda} + \lambda \cdot f \quad (5)$$

A partir da diferenciação da equação (1) e substituindo-a na equação (2), obtém-se uma equação que relaciona a velocidade do código com a velocidade da fase, descrita como equação de *Rayleigh*:

$$V_c = V_f - \lambda \cdot \frac{dV_f}{d\lambda}. \quad (6)$$

Os índices de refração para a velocidade da fase e do código são dados, respectivamente, por:

$$n_f = \frac{c}{V_f} \quad (7)$$

e

$$n_c = \frac{c}{V_c} \quad (8)$$

em que,  $c$  é a velocidade da luz.

A equação modificada de *Rayleigh* relaciona esses dois índices de refração por meio da equação (MONICO, 2000):

$$n_c = n_f - \lambda \cdot \frac{dn_f}{d\lambda} \quad (9)$$

ou

$$n_c = n_f + f \cdot \frac{dn_f}{df}. \quad (10)$$

Estas equações são obtidas a partir da derivação da relação  $c = \lambda \cdot f$ , em relação a  $f$  e  $\lambda$ . O índice de refração da fase na ionosfera pode ser aproximado pela série (SEEBER, 1993):

$$n_f = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots \quad (11)$$

em que, os coeficientes  $c_2$ ,  $c_3$  e  $c_4$  dependem somente da densidade de elétrons, ao longo da trajetória em que o sinal se propaga. Considerando somente os efeitos de primeira ordem, obtém-se:

$$n_f = 1 + \frac{c_2}{f^2}. \quad (12)$$

Logo, ao derivar a equação (12), tem-se:

$$dn_f = -2 \cdot \frac{c_2}{f^3} \cdot df \quad (13)$$

que ao ser substituída na equação (10), obtém-se o índice de refração da velocidade do código:

$$n_c = 1 - \frac{c_2}{f^2} \quad (14)$$

Pode-se observar que os índices de refração da fase e do código se diferenciam somente no sinal do coeficiente  $c_2$ . Esse coeficiente, que depende da densidade de elétrons ( $n_e$ ), é dado por (MONICO, 2000):

$$c_2 = -40,3 \cdot n_e \quad (15)$$

Em unidades do SI, a constante 40,3 é dada em  $\text{mHz}^2(\text{el}/\text{m}^2)^{-1}$  e  $n_e$  em elétrons/ $\text{m}^3$ . Assim, tem-se que:

$$n_f = 1 - \frac{40,3 \cdot n_e}{f^2} \quad (16)$$

e

$$n_c = 1 + \frac{40,3 \cdot n_e}{f^2} \quad (17)$$

resultando em diferentes velocidades nos sinais, de modo que ocorre avanço na fase e atraso no código, pois a velocidade da fase  $V_f$  é maior que a velocidade do código  $V_c$ . Dessa maneira, resulta em um aumento nas distâncias obtidas a partir do código, e uma redução nas obtidas a partir da fase, de uma mesma intensidade.

### 2.3 Erro devido à Ionosfera nos Sinais GPS

A distância ( $L$ ) entre o satélite ( $s$ ) e a antena receptora ( $r$ ), considerando apenas o erro devido à ionosfera, é definida por Leick (1995):

$$L = \int_r^s n dl, \quad (18)$$

em que  $n$  representa, o índice de refração da fase ou do código. A distância geométrica ( $\rho$ ) entre o satélite e a antena receptora é obtida quando o índice de refração é unitário ( $n = 1$ ), logo:

$$\rho = \int_r^s dl. \quad (19)$$

A diferença entre a distância medida, com a influência da ionosfera, e a distância geométrica, entre o satélite e a antena receptora, resulta no erro devido à ionosfera, que é dado por:

$$I = \int_r^s n dl - \int_r^s dl. \quad (20)$$

Substituindo os índices de refração da fase e do código na equação (20), obtém-se o erro devido à ionosfera para a distância medida pela fase da portadora ( $I_f$ ) e pelo código ( $I_c$ ). Logo, para a fase da portadora tem-se que:

$$I_f = \int_r^s \left(1 - \frac{40,3n_e}{f^2}\right) dl - \rho \quad (21)$$

ou

$$I_f = -\frac{40,3}{f^2} \int_r^s n_e dl. \quad (22)$$

E, para o código, tem-se que:

$$I_c = \int_r^s \left(1 + \frac{40,3n_e}{f^2}\right) dl - \rho, \quad (23)$$

ou

$$I_c = +\frac{40,3}{f^2} \int_r^s n_e dl, \quad (24)$$

em que, a parcela variável ( $\int_r^s n_e dl$ ) caracteriza a quantidade de elétrons ao longo do caminho do sinal, entre o satélite e a antena receptora em uma coluna de  $1 \text{ m}^2$ , que por sua vez representa o conteúdo total de elétrons (TEC), ou seja (LEICK, 1995):

$$TEC = \int_r^s n_e dl. \quad (25)$$

Substituindo a equação (25) nas equações (22) e (24), obtém-se o erro devido à ionosfera na distância medida pela fase da portadora e pelo código, em função do TEC e da frequência:

$$I_f = -\frac{40,3}{f^2} TEC, \quad (26)$$

$$I_c = +\frac{40,3}{f^2} TEC. \quad (27)$$

O TEC é dado em elétrons por metro quadrado ( $\text{el}/\text{m}^2$ ), a frequência em Hertz (Hz) e a constante 40,3 é dada em  $\text{mHz}^2(\text{el}/\text{m}^2)^{-1}$ , resultando no erro devido à ionosfera expresso em metros (m). De acordo com as equações (26) e (27), percebe-se que o erro devido à ionosfera, seja ela incidente sobre o código ou a fase da portadora, é inversamente proporcional ao quadrado da frequência e diretamente proporcional ao TEC. Com isso, as frequências mais altas são menos afetadas pela ionosfera e quanto menor o TEC menor será o erro devido à ionosfera.

Para efeito de padronização, o TEC é dado na direção vertical (VTEC) e o erro devido à ionosfera é calculado pelas seguintes equações (28) e (29):

$$I_f = -\frac{1}{\cos(z')} \cdot \frac{40,3}{f^2} \cdot VTEC, \quad (28)$$

e

$$I_c = \frac{1}{\cos(z')} \cdot \frac{40,3}{f^2} \cdot VTEC, \quad (29)$$

respectivamente, para a fase e o código.

O valor de  $z'$  representa o ângulo zenital do sinal transmitido com relação à vertical e é calculado no ponto em que o sinal transmitido atravessa a camada ionosférica, e pode ser obtido pela Equação 30 (HOFMANN-WELLENHOF *et al.*, 2008):

$$\text{sen}(z') = \frac{R_m}{R_m + h_m} \cdot \text{sen}(z), \quad (30)$$

em que:

$z = z_0$  que é o ângulo zenital do sinal transmitido, em relação ao receptor;

$R_m$  é o raio médio da Terra;

$h_m$  é a altura da camada ionosférica em referência à superfície da Terra, que varia de 300 a 450 km.

A Figura 3 ilustra todas as quantidades envolvidas na Equação 30, além de identificar o ponto ionosférico (PI), o ponto sub-ionosférico (PSI), o centro da Terra (O) e o ângulo de elevação (el) entre o receptor (r) e o satélite (s).

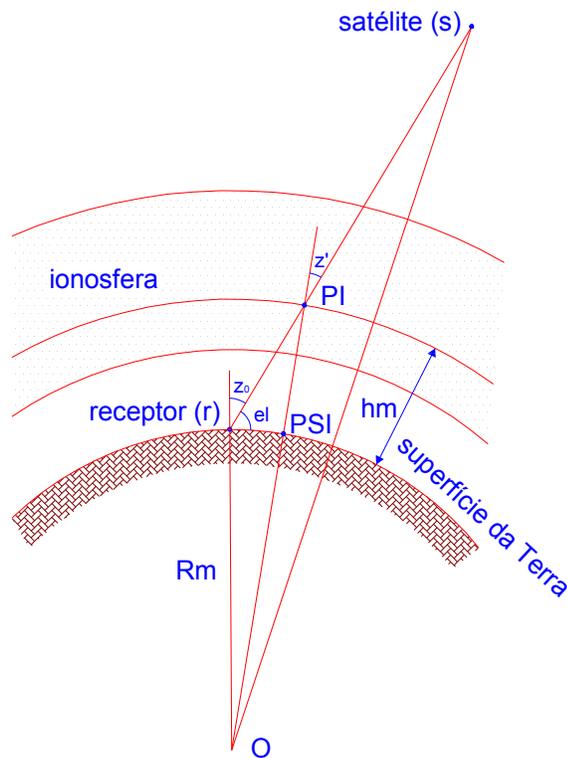


Figura 3. Geometria para o atraso do caminho ionosférico.  
Fonte: Adaptado de Hofmann-Wellenhof *et al.* (2008).

A Figura 4 mostra os valores do ângulo zenital do caminho do sinal no ponto ionosférico em relação ao ângulo zenital no receptor, para as altitudes médias da camada ionosférica de 300, 350, 400 e 450 km.

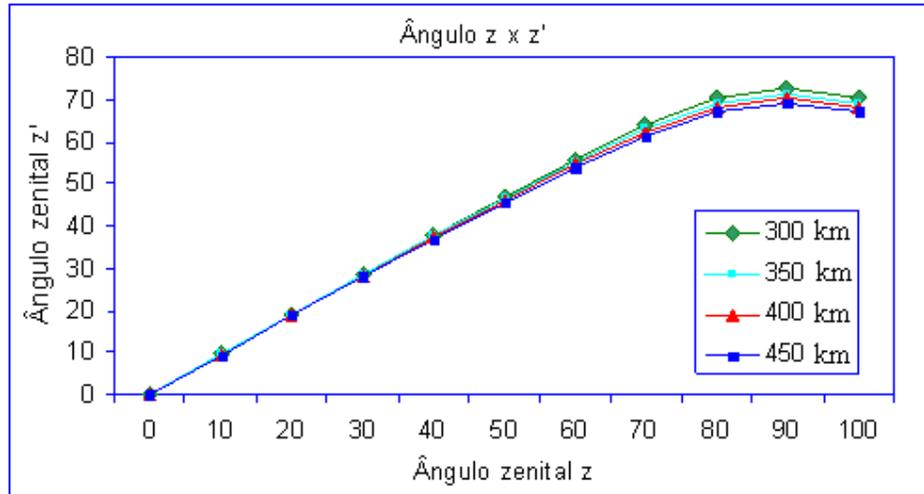


Figura 4. Ângulo z x z'.

Os valores do TEC são obtidos para um ponto na camada ionosférica, denominado ponto ionosférico (PI). Este ponto é a interseção entre o vetor satélite/receptor e a camada que representa a ionosfera.

A localização do ponto ionosférico pode ser calculado em função da latitude e da longitude geodésica do receptor, do azimute e do ângulo de elevação do satélite. De acordo com El Gizawy (2003), a latitude e longitude geodésica do ponto ionosférico são calculados assim:

$$\phi_{PI} = \phi_r + \psi \cdot \cos Az, \quad (31)$$

$$\lambda_{PI} = \lambda_r + \left( \frac{\psi \cdot \sin Az}{\cos \phi_{PI}} \right), \quad (32)$$

sendo:

$$\psi = \cos^{-1} \left( \frac{Rm}{Rm + hm} \cdot \cos el \right) - el, \quad (33)$$

em que:

$\phi_{PI}$  e  $\lambda_{PI}$  representam a latitude e a longitude do ponto ionosférico;

$\phi_r$  e  $\lambda_r$  representam a latitude e a longitude do receptor;

$el$  representa o ângulo de elevação do satélite;

Az representa o azimute do satélite.

Para ilustração, a Figura 5 mostra a localização dos pontos ionosféricos, durante um período de 24 horas obtidos a partir de observações GPS de quatro estações da RBMC (BRAZ, IMPZ, POAL e UEPP) para o dia 29 de outubro de 2003. Para cada ponto ionosférico uma medida de TEC pode ser obtida.

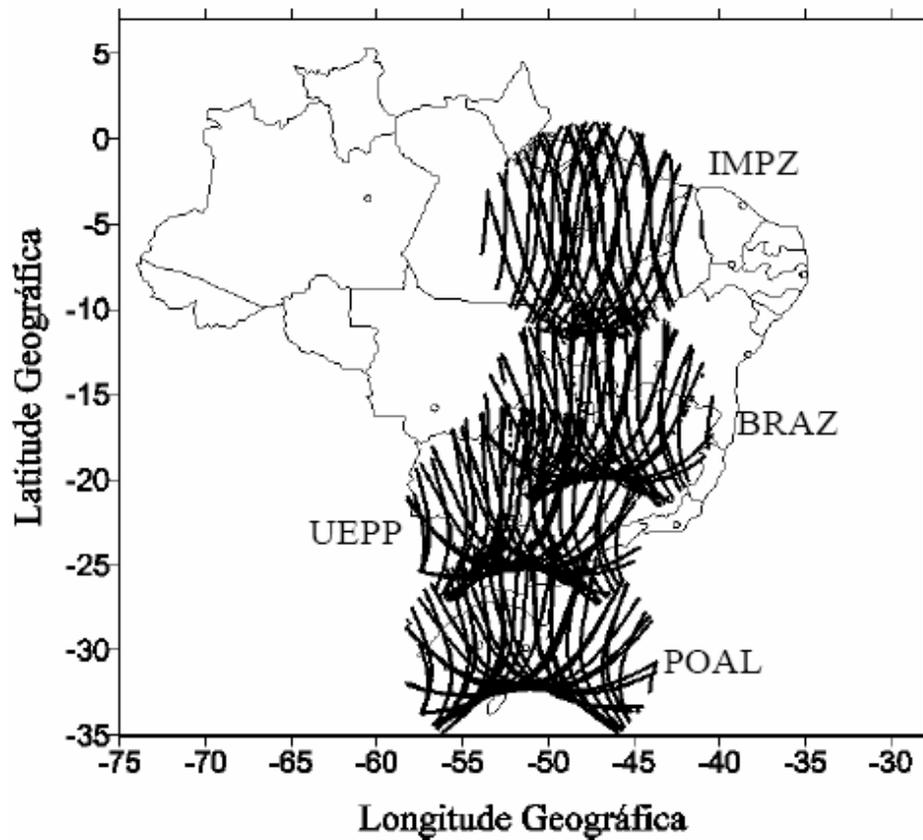


Figura 5. Pontos ionosféricos obtidos de observações GPS de 4 estações da RBMC referente a 29 de outubro de 2003.

Fonte: Matsuoka (2007).

Na Tabela 3, tem-se uma estimativa do erro devido à ionosfera em distâncias observadas na vertical para diferentes frequências e na Tabela 4 tem-se o erro residual na direção vertical para a combinação linear *ion-free* entre duas frequências (SEEBER, 1993).

Tabela 3. Efeito do atraso de propagação devido à ionosfera sobre as distâncias observadas na vertical com uma frequência.

1 frequência	400 MHz	1600 MHz	2000 MHz	8000 MHz
Efeito médio	50 m	3 m	2 m	0,12 m
90% <	250 m	15 m	10 m	0,6 m
Efeito máximo	500 m	30 m	20 m	1,2 m

Fonte: Seeber (1993).

Tabela 4. Erros residuais para combinações lineares entre duas frequências.

2 frequências	150 / 400 MHz	400 / 2000 MHz	1227 / 1572 MHz	2000 / 8000 MHz
Efeito médio	0,6 m	0,9 cm	0,3 cm	0,04 cm
90% <	10 m	6,6 cm	1,7 cm	0,21 cm
Efeito máximo	36 m	22,0 cm	4,5 cm	0,43 cm

Fonte: Seeber (1993).

Devido a aproximação realizada para a obtenção do índice de refração nas equações (23) e (24), a correção do erro sistemático por causa da ionosfera, calculada pelas expressões (23) e (24), representa somente os efeitos de primeira ordem da ionosfera, os quais podem ser modelados a partir dos dados obtidos com receptores GPS de dupla frequência. O erro remanescente é da ordem de poucos centímetros (SEEBER, 1993). A Tabela 5 apresenta o erro máximo, na direção vertical, que pode ser esperado nas portadoras L1 e L2 e para a combinação linear livre da ionosfera (L0), considerando os efeitos de 1ª, 2ª e 3ª ordem da ionosfera. Segundo Seeber (1993), para direções inclinadas, a influência aumenta.

Tabela 5. Efeito sistemático máximo devido à ionosfera na direção vertical.

Frequência	Efeitos de 1ª ordem (1/f <sup>2</sup> )	Efeitos de 2ª ordem (1/f <sup>3</sup> )	Efeitos de 3ª ordem (1/f <sup>4</sup> )
L1	32,5 m	0,036 m	0,002 m
L2	53,5 m	0,076 m	0,007 m
L0	0,0 m	0,026 m	0,006 m

Fonte: (Seeber, 1993; Monico, 2000).

O valor do índice de refração da ionosfera, que depende da frequência do sinal, bem como da troposfera, pode ser visto na Figura 6, através do índice de refratividade em função da altitude. Na troposfera, o índice ( $N_t$ ) é positivo e independente da frequência utilizada, ao contrário da ionosfera, onde o índice ( $N_i$ ) é negativo e depende da frequência (Seeber, 1993).

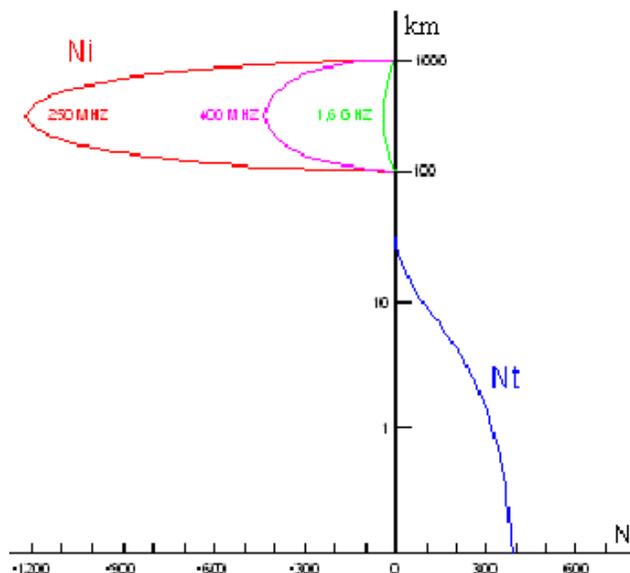


Figura 6. Índice de refratividade em função da altitude para a ionosfera e troposfera.  
Fonte: Adaptado de Seeber (1993).

## 2.4 Cintilação ionosférica

Segundo Webster (1993) e El Gizawy (2003), as cintilações ionosféricas são rápidas variações na fase e amplitude do sinal GPS recebido, as quais são causadas por irregularidades na densidade de elétrons ao longo do caminho percorrido pelo sinal na ionosfera.

Rodrigues (2003) define as cintilações ionosféricas como sendo as flutuações da amplitude ou fase de uma onda de rádio, através de uma região na qual existem irregularidades na densidade de elétrons e, conseqüentemente, do índice de refração. Segundo Davies (1990) apud Matsuoka (2007), essas irregularidades que causam cintilação estão localizadas entre 200 e 600 km de altitude.

Após o lançamento do primeiro satélite artificial em 1957, tornou-se possível observar cintilações ionosféricas em sinais emitidos por rádios-transmissores a bordo de satélites (RODRIGUES, 2003).

De acordo com Skone (2000), os efeitos mais intensos da cintilação ionosférica ocorrem nas regiões de baixa latitude geomagnética ( $\pm 10$  até  $\pm 20$  graus), nas regiões onde ocorrem as auroras (65 até 75 graus de latitude geomagnética), e na região que envolve a capa polar (latitudes geomagnéticas maiores que 75 graus). Cintilações que ocorrem nas regiões de altas latitudes (região auroral) e na região equatorial surgem de distintos fenômenos físicos. As cintilações que ocorrem na região equatorial possuem um maior impacto na performance de rastreamento dos receptores do que na região de altas latitudes. No caso da região equatorial, a cintilação está relacionada mais diretamente com a anomalia equatorial.

De acordo com Santos (2001), as bolhas ionosféricas são imensas regiões do espaço onde a densidade do plasma ionosférico é drasticamente reduzida, ela estende-se ao longo das linhas de força do campo geomagnético, alcançando extensões 10000 km e cerca de 150 a 300 km na direção perpendicular a esse campo. Essas bolhas ocorrem após o por do Sol e principalmente no período noturno até a meia noite (Hora Local).

Segundo Matsuoka (2007), as bolhas ionosféricas geralmente ocorrem entre os meses de outubro a março e variam de acordo com as características da atividade solar.

A Figura 7 ilustra um esquema da evolução espacial e temporal das bolhas ionosféricas.

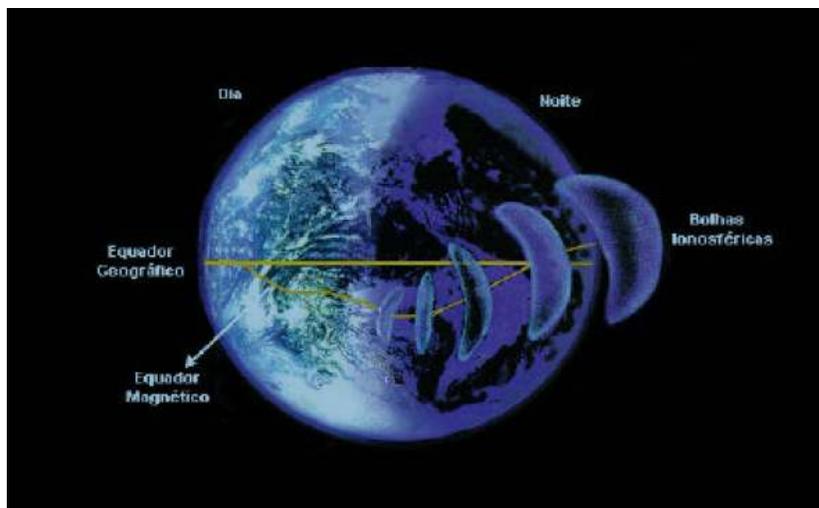


Figura 7. Bolhas ionosféricas.  
Fonte: Adaptado de Abreu (2007)

## 2.5 Regiões geográficas da ionosfera

A estrutura global da ionosfera não é homogênea. As três maiores regiões geográficas ionosféricas são conhecidas como regiões de altas e médias latitudes e região equatorial. A Figura 8 mostra a localização geográfica dessas regiões no globo terrestre. Ainda que a amplitude dessas regiões da ionosfera não possa ser estabelecida exatamente, quando projetadas na superfície terrestre, é conveniente indicar aproximadamente a localização destas regiões.

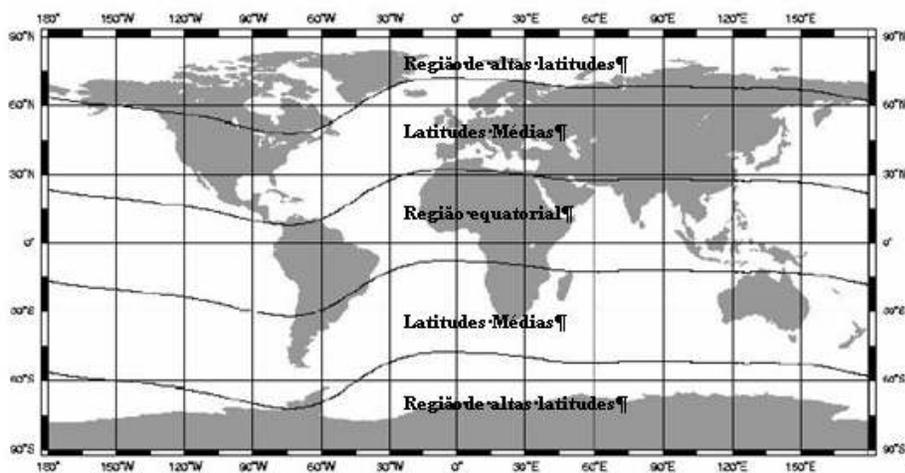


Figura 8. Regiões geográficas da ionosfera.  
Fonte: Adaptada de Fonseca Junior (2002).

## 2.6 Determinação do TEC utilizando as observáveis GPS

O TEC é o principal parâmetro que descreve o efeito da ionosfera nos sinais GPS, este é medido em elétrons/m<sup>2</sup>. Normalmente, o TEC apresenta valores muito elevados, sendo muitas vezes maior que  $1 \times 10^{18}$  elétrons/m<sup>2</sup> (LIU, 2004). O TEC representa o número de elétrons contidos em uma coluna que se estende desde a antena receptora até o satélite, e cuja área da seção transversal é unitária (1 m<sup>2</sup>). Para propósitos de padronização a comunidade científica tem adotado como unidade do TEC a sigla TECU (*TEC Unit* – Unidade de TEC), sendo  $1 \text{ TECU} = 1 \times 10^{16}$  elétrons/m<sup>2</sup>. O TEC é facilmente convertido em erro na distância medida pela fase portadora ou pelo código, nas frequências L1 e L2, usando as equações (26) e (27), em que:

Para L1,  $1 \text{ TECU} = \pm 0,16 \text{ m}$ ;

Para L2,  $1 \text{ TECU} = \pm 0,27 \text{ m}$ ;

Para L5,  $1 \text{ TECU} = - 0,29 \text{ m}$ .

A natureza dispersiva da ionosfera permite o cálculo do TEC usando dados coletados por receptores GPS de dupla frequência. O TEC pode ser obtido utilizando dados de um receptor de dupla frequência a partir de uma combinação linear entre as observáveis da fase da portadora e as observáveis da pseudodistância em L1 e L2. Nessas combinações lineares para a obtenção do TEC, os erros que afetam as observáveis em ambas as frequências da mesma maneira são eliminados, tais como a refração troposférica, o erro das efemérides, o não sincronismo do relógio do satélite e do receptor, bem como, também a distância geométrica é eliminada. Alguns erros não são correlacionados com as frequências e, portanto, não são eliminados na combinação linear, influenciando na determinação do TEC. São eles: o atraso instrumental interfrequência do satélite e do receptor, o ruído do receptor e os efeitos de multicaminho (MATSUOKA,2007). Mais detalhes sobre estes erros podem ser obtidos, em Seeber (1993), Monico (2000) e Hofmann-Wellenhof *et al.* (2008).

## 2.7 Determinação do TEC utilizando as pseudodistâncias

O TEC na direção do satélite (s) à antena receptora (r) pode ser obtido utilizando as pseudodistâncias, advindas dos códigos P nas portadoras L1 e L2, a partir desta combinação linear (MATSUOKA, 2007):

$$TEC_r^s = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40,3 \cdot (f_1^2 - f_2^2)} \left[ (P_2 - P_1) - \varepsilon_{P12} \right] \quad (34)$$

em que,

$f_1$  e  $f_2$  representam as frequências das portadoras L1 e L2, respectivamente;

$P_1$  e  $P_2$  representam as pseudodistâncias nas portadoras L1 e L2, respectivamente;

$\varepsilon_{p12}$  representa a diferença dos demais erros sistemáticos não eliminados na combinação linear entre L1 e L2 e os erros aleatórios. O cálculo desses erros sistemáticos é feito pelo atraso instrumental interfrequência do satélite e receptor, pelo efeito do multicaminho e pelos efeitos do ruído do receptor.

## 2.8 Determinação do TEC a partir de Medidas da Fase da Portadora

O TEC na direção do satélite (s) à antena receptora (r) também pode ser obtido a partir desta combinação linear entre as medidas da fase das portadoras L1 e L2 (MATSUOKA, 2007):

$$TEC_r^s = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40,3 \cdot (f_1^2 - f_2^2)} \left[ (\lambda_1 \cdot \varphi_1 - \lambda_2 \cdot \varphi_2) - (\lambda_1 \cdot N_1 - \lambda_2 \cdot N_2) - \varepsilon_{\varphi12} \right] \quad (35)$$

em que,

$\lambda_1$  e  $\lambda_2$  representam os comprimentos de ondas nas portadoras L1 e L2, respectivamente;

$\varphi_1$  e  $\varphi_2$  representam as medidas de fase nas portadoras L1 e L2, respectivamente;

$\varepsilon_{\varphi12}$  representa a diferença dos demais erros sistemáticos não eliminados na combinação linear entre L1 e L2 e os erros aleatórios.

## 2.9 Ciclos solares

A Figura 9 apresenta o número de manchas solares desde 1700 até 2008. Vale notar que de 1700 até 1755, as médias eram anuais, visto que de 1755 até os dias atuais, a contagem do número de manchas são dadas pela média mensal. Nota-se que os ciclos solares variam de 11 anos aproximadamente. Atualmente a ionosfera está no “ciclo 24”.

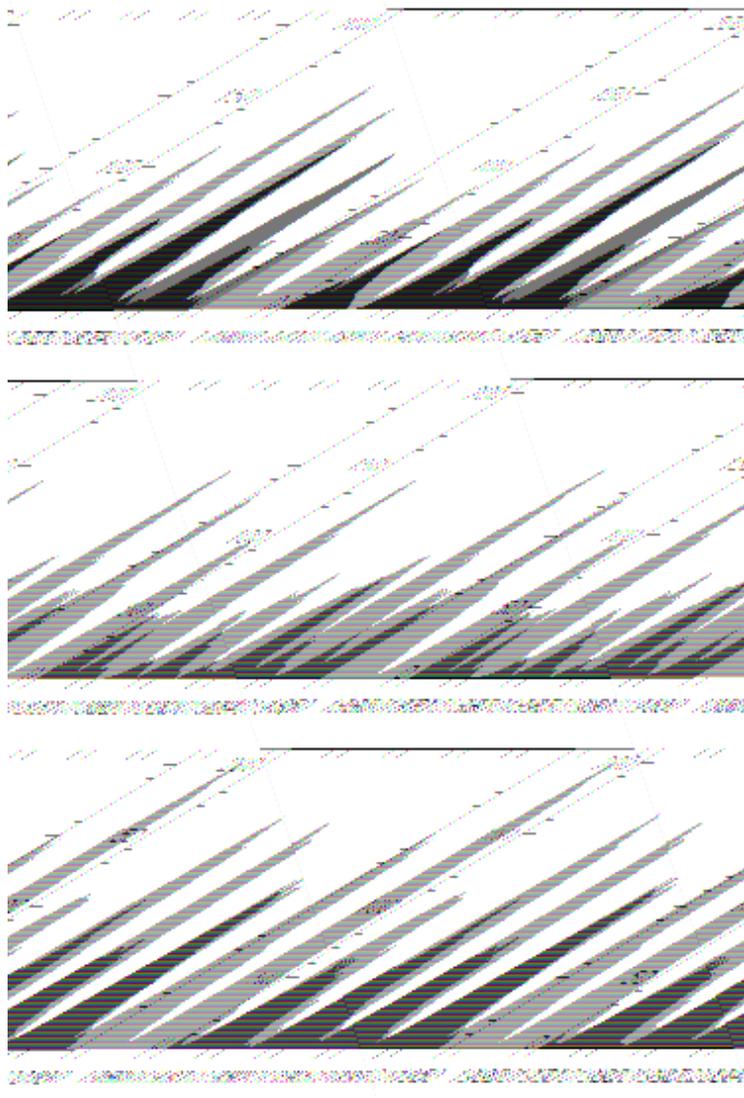


Figura 9. Número de manchas solares e ciclos solares.

Fonte: <http://sidc.oma.be/html/wolfaml.html> - acesso em agosto/2008.

A Figura 10 apresenta o número de manchas solares em relação aos anos de 1997 a 2008, abrangendo todo o ciclo 23 e o início do ciclo 24. No ciclo 23 o período de máxima atividade solar compreendeu os anos de 2000 e 2002. A curva tracejada mostra uma previsão do número de manchas até meados de 2009.

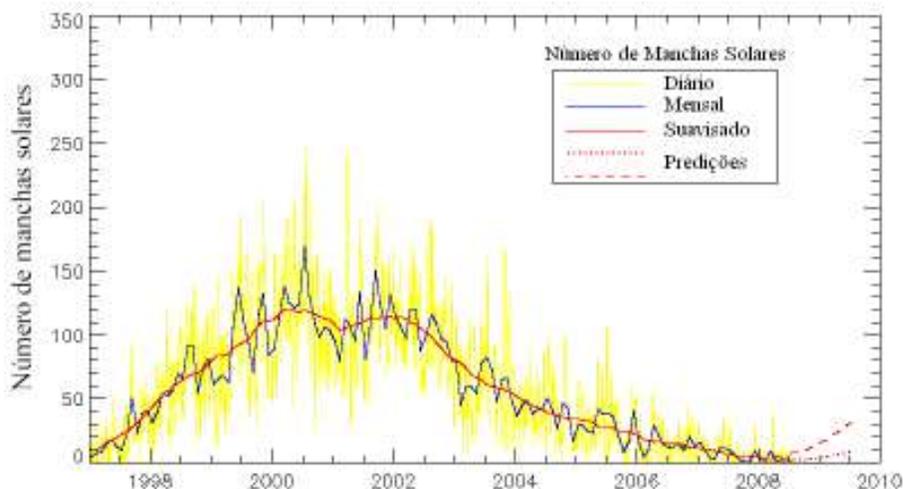


Figura 10. Número de manchas solares – Ciclos 23 e 24.

Fonte: <http://sidc.oma.be/html/wolfjmmms.html> - acesso em agosto/2008.

Segundo previsão do NCAR (2008), o ciclo de manchas solares 24 será de 30% a 50% maior do que o ciclo 23. Os valores máximos do número de manchas solares do ciclo 24 deve ocorrer por volta de 2012.

## 2.10 Campo geomagnético

Segundo Fonseca Junior (2002), próximo a superfície da Terra, o campo magnético terrestre ou campo geomagnético pode ser aproximado a um dipolo não coincidente com o eixo de rotação da Terra. A Figura 11 ilustra a localização do equador geomagnético em 1957 e 2000.

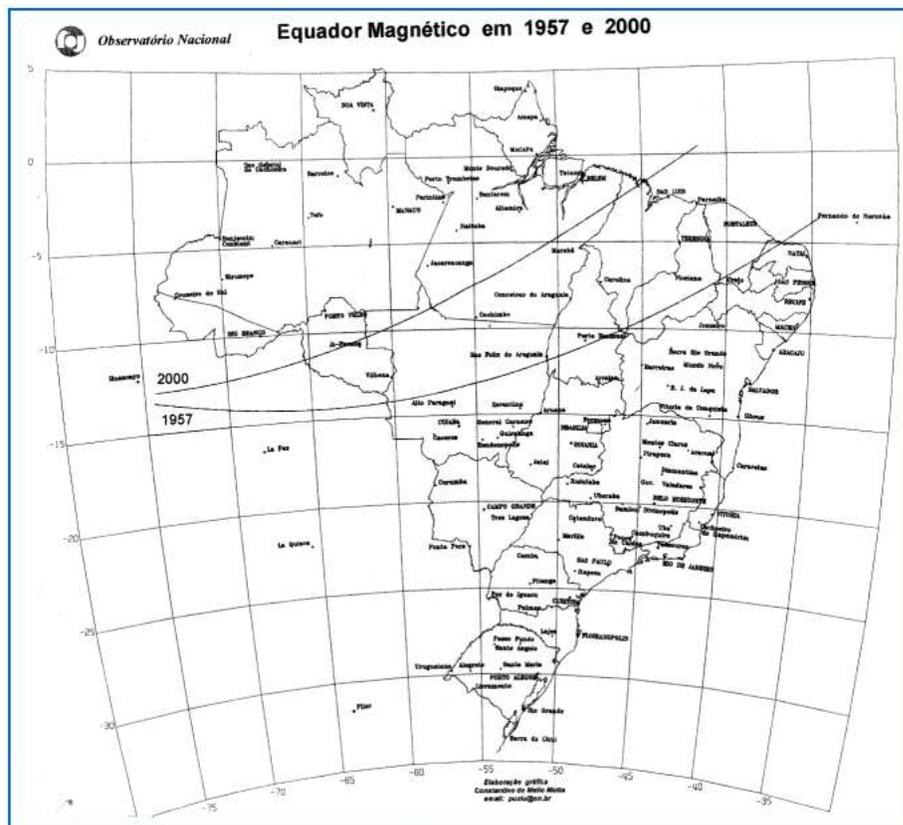


Figura 11. Equador geomagnético em 1957 e 2000.

Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/coord/polos.htm>- acesso em janeiro/2009.

A Figura 12 ilustra a posição do pólo magnético norte em 2005 com as coordenadas geodésicas de  $83,21^{\circ}\text{N}$  e  $118,32^{\circ}\text{O}$

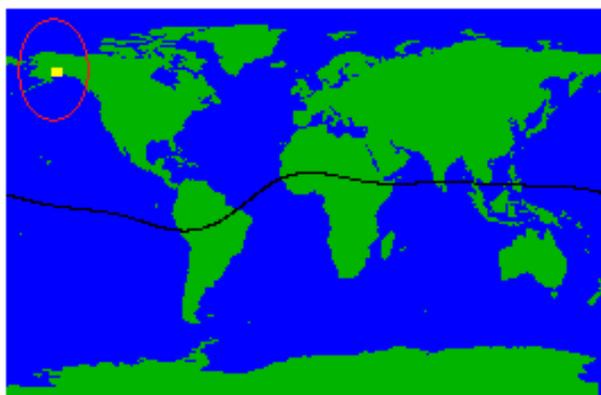


Figura 12. Equador geomagnético e posição do pólo magnético norte em 2005.

Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/coord/polos.htm>- acesso em janeiro/2009.

## 2.11 Índices geomagnéticos

Índices geomagnéticos constituem uma série de dados que visam descrever em escala planetária a atividade geomagnética ou alguns de seus componentes (ISGI, 2008). Os índices geomagnéticos mais frequentemente utilizados para determinar a intensidade e a duração das tempestades são os índices: Dst (*Disturbance Storm-Time*), Kp (*Planetarische Kennziffer*) ou índice planetário e AE (*Auroral Electrojet*) (Fedrizzi, 2003).

O índice planetário Kp é obtido à partir da média aritmética dos índices K medidos em 13 observatórios entre as latitudes de 46° e 63° N e 46° e 63° S em relação ao equador geomagnético (OLIVEIRA, 2003). De acordo com a Tabela 7 o índice Kp está distribuído em 28 níveis que varia de 0 a 9, sendo expressos em terços de uma unidade; por exemplo: 4- é equivalente a  $3 \frac{2}{3}$ , 4° é equivalente ao próprio 4 e 4+ é equivalente a  $4 \frac{1}{3}$ . Segundo Batista (2003), o índice Kp possui intervalos de 3 horas (8 valores diários), para estudos de longo período é conveniente definir um único índice médio por dia. Devido aos índices Kp serem de função logarítmica, é difícil trabalhar com médias dos mesmos, por isso, foram criados índices lineares. E assim, o índice ap (no mesmo intervalo) é derivado do índice Kp, como pode ser observado na Tabela 6. O índice Ap é obtido a partir da média dos oitos valores diários de ap.

Valores dos índices Kp e Ap podem ser obtidos nos seguintes endereços eletrônicos: <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/index.html>; <ftp://ftp.gfz-otsdam.de/pub/home/obs/kp-ap>.

Tabela 6. Relação entre o índice geomagnético Kp e ap.

Kp	0°	0+	1-	1°	1+	2-	2°	2+	3-	3°	3+	4-	4°	4+
ap	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
Kp	5-	5°	5+	6-	6°	6+	7-	7°	7+	8-	8°	8+	9-	9°
ap	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

Fonte: Adaptada de Matsuoka (2007).

A atividade geomagnética é classificada de acordo com os índices Kp e Ap, como é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Classificação da atividade geomagnética em função de Kp e Ap.

<b>Atividade Geomagnética</b>	<b>Índice Kp</b>	<b>Índice Ap</b>
Calma	0 - 2	< 8
Transição	3	8 - 15
Ativo	4	16 - 29
Tempestade Fraca	5	30 - 49
Tempestade Intensa	6	50 - 99
Tempestade Muito Intensa	7 - 9	100 - 400

Fonte: Adaptada de Batista (2003).

De acordo com a Tabela 8, a classificação de uma tempestade geomagnética é dada em função do índice Dst. O índice Dst (dado em nanoTesla - nT) representa o invólucro das curvas de medidas magnetométricas obtidas por uma cadeia de magnetômetros localizados na região equatorial, ao longo do globo terrestre (YAMASHITA, 1999).

Tabela 8. Classificação de uma tempestade geomagnética.

<b>Condição da Tempestade Geomagnética</b>	<b>Valor do índice Dst (nT)</b>
Fraca	-30 a -50
Moderada	-50 a -100
Intensa	-100 a -250
Muito Intensa	< -250

Fonte: Fedrizzi (2003).

## 2.12 Dados globais da ionosfera calculados pelo IGS - arquivos IONEX

No ano de 1998 o IGS, a partir do seu grupo de trabalho da ionosfera, iniciou a produção de arquivos da ionosfera que disponibilizam valores de VTEC calculados usando dados coletados pela sua rede de receptores de dupla frequência. A Figura 13 ilustra as estações pertencentes ao IGS.

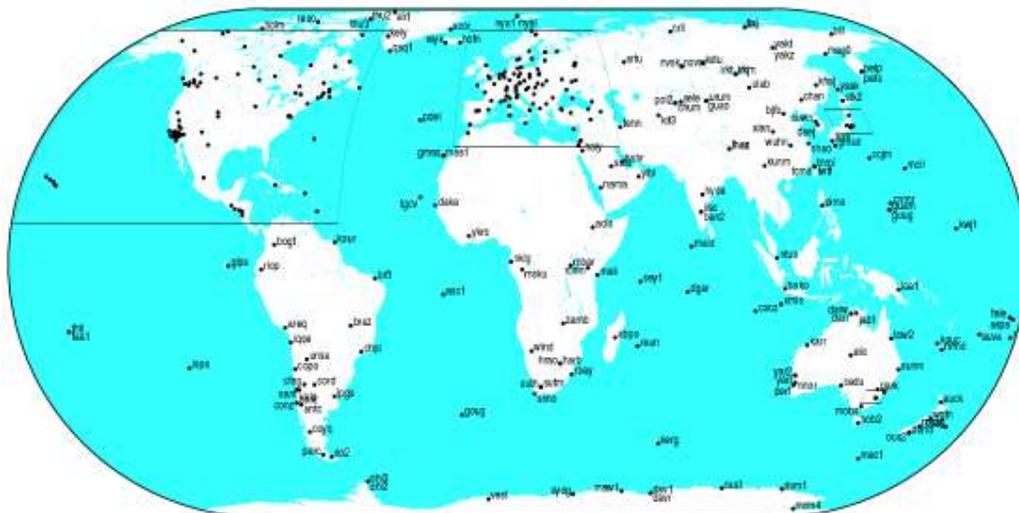


Figura 13. Estações da rede IGS.

Fonte: IGS <<http://igsb.jpl.nasa.gov>> acesso: out./2008.

Oficialmente, estes arquivos são disponibilizados na sua forma final com uma latência de 11 dias (HERNANDEZ-PAJARES, 2003). Porém, desde dezembro de 2003, o IGS vem disponibilizando esses arquivos em uma versão preliminar com uma disponibilidade menor do que 24 horas (Produtos Ionosféricos Rápidos do IGS).

Os arquivos são disponibilizados no formato IONEX (*IONosphere map EXchange format*), que fornecem valores de VTEC em um *grid* com resolução espacial de  $5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  em longitude e latitude, respectivamente, e resolução temporal de 2 horas. Além dos valores de VTEC, os arquivos IONEX fornecem valores do atraso instrumental dos satélites, bem como, dos receptores envolvidos no processamento.

Atualmente, o grupo de trabalho da ionosfera do IGS conta com a participação de 4 centros de análises:

- CODE (*Center for Orbit Determination in Europe* - Suíça);
- ESA (*European Space Agency* - Alemanha);
- JPL (*Jet Propulsion Laboratory* - EUA);
- UPC (*Universitat Politècnica de Catalunya* - Espanha).

São estes centros de análise que produzem os mapas do TEC disponibilizados pelo IGS, cada qual com suas estratégias, porém todas utilizando os dados GPS e GLONASS das estações ativas do IGS.

No modelo do CODE, o TEC é modelado por uma expansão em harmônicos esféricos até 12 graus e ordem 8, referido a uma estrutura de referência geomagnética solar. Os 12 parâmetros da ionosfera, a cada 2 horas, são obtidos a partir de medidas da fase da portadora da rede global do IGS (AIUB, 2008);

Para a ESA, a ionosfera é modelada por um modelo bi-dimensional considerando a ionosfera como uma camada única, bem como um modelo baseado no perfil 3-D de Chapman, com uma integração vertical usando uma função exponencial do tipo Gauss (ESA, 2008);

No JPL, a ionosfera é modelada numa estrutura de referência geomagnética solar usando *splines* bicúbicas num *grid* esférico. O filtro de Kalman é usado para resolver, simultaneamente, a tendência instrumental L1-L2 e o atraso vertical nos pontos de um *grid* ionosférico. Os parâmetros são modelados como um processo estocástico e os arquivos são gerados a cada hora (JPL, 2008);

Na UPC usa-se um modelo tomográfico estocástico e a ionosfera é dividida em duas camadas. As altitudes limites são de 59-739 km e de 739-1419 km (UPC, 2008).

Desde meados de dezembro de 2002, para cada dia, os arquivos IONEX produzidos por cada um dos centros de análise são combinados para resultar em um único arquivo IONEX, ou seja, em um único arquivo global do VTEC. Os arquivos IONEX de cada centro de análise, bem como os arquivos combinados, são disponibilizados pelo IGS no seguinte endereço: <ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov.br>.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia foi executada em dois conjuntos de experimentos. O primeiro conjunto de experimentos refere-se à geração de mapas do VTEC para a região brasileira em uma série temporal (2004 - 2008), considerando os dias com atividade geomagnética classificada como calma, e o segundo experimento, refere-se ao processamento do posicionamento por ponto preciso – PPP da estação VICO referente aos meses das quatro estações (solstícios e equinócios) dos anos de 2004 e 2008 com a correção da ionosfera, a partir dos arquivos IONEX, com a finalidade de reduzir o erro ionosférico. Em ambos os experimentos, considerando-se a variação do VTEC diária, mensal, sazonal e de ciclo de manchas.

#### 3.1 Primeiro Experimento - Mapas horários médios mensais de VTEC

Os dados brutos foram obtidos das estações da rede IGS (*International GNSS Service*); disponibilizados no formato IONEX (*IONosphere map EXchange format*), com os valores de VTEC sendo fornecidos com resolução espacial de 5° e 2,5° em longitude e latitude, respectivamente, e resolução temporal de 2 horas. Estes dados são referentes aos valores de VTEC finais combinados do IGS (IGSG) com disponibilidade de 11 dias.

A Tabela 09 apresenta o cabeçalho do arquivo IONEX com várias descrições informações, tais como: data, início e fim dos dados, número de estações e satélites envolvidos etc. Já a Tabela 10 ilustra os valores do VTEC na escala de 10 vezes a sua magnitude real, para cada latitude e longitude especificada.

Tabela 9. Cabeçalho do arquivo IONEX referente ao final combinado (IGSG).

1.0	IONOSPHERE MAPS	MIX	IONEX VERSION / TYPE	
cmprmb v1.2	gAGE/UPC	30-jan-08 12:34	PGM / RUN BY / DATE	
ionex file containing IGS COMBINED Ionosphere maps		COMMENT		
global ionosphere maps for day 015, 2008		DESCRIPTION		
IONEX file containing the COMBINED IGS TEC MAPS and DCBs		DESCRIPTION		
IONEX files of the following IAACs were combined: cod		DESCRIPTION		
		esa	DESCRIPTION	
		jpl	DESCRIPTION	
		upc	DESCRIPTION	
Contact address (e-mail): manuel@mat.upc.es		DESCRIPTION		
2008	1	15	0 0 0	EPOCH OF FIRST MAP
2008	1	16	0 0 0	EPOCH OF LAST MAP
7200				INTERVAL
13				# OF MAPS IN FILE
COSZ				MAPPING FUNCTION
0.0				ELEVATION CUTOFF
combined TEC calculated as weighted mean of input TEC values		OBSERVABLES USED		
321				# OF STATIONS
30				# OF SATELLITES
6371.0				BASE RADIUS
2				MAP DIMENSION
450.0	450.0	0.0		HGT1 / HGT2 / DHGT
87.5	-87.5	-2.5		LAT1 / LAT2 / DLAT
-180.0	180.0	5.0		LON1 / LON2 / DLON
-1				
EXPONENT				
TEC values in 0.1 tec units; 9999, if no value available		COMMENT		
DCB values in nanoseconds, reference is Sum_of_SatDCBs = 0		COMMENT		

Tabela 10. Dados do VTEC do arquivo IONEX (IGSG).

1	START OF TEC MAP													
2008	1	15	0	0	0	EPOCH OF CURRENT MAP								
87.5-180.0	180.0	5.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
33	33	33	33	33	33	33	33	33	32	32	32	32	32	31
31	31	31	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	29	29
29	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	31
31	31	31	32	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33
33	33	33	33	33	33	33	33	33						
85.0-180.0	180.0	5.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
34	34	34	35	34	34	34	34	34	33	33	32	32	32	31
30	30	29	29	28	27	27	26	25	25	25	25	24	25	25
25	25	25	26	26	27	27	27	27	28	28	29	29	30	31
31	30	31	31	31	32	31	32	32	32	33	33	33	33	33
33	33	33	33	33	34	34	34	34						
82.5-180.0	180.0	5.0	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
36	37	36	37	37	37	36	36	36	35	35	34	33	33	32
30	29	28	27	26	25	24	23	23	22	22	22	22	22	23
23	23	24	24	24	25	26	26	27	27	27	27	28	29	30
30	31	31	31	31	31	31	32	32	32	32	32	32	32	32
32	32	32	33	33	34	34	35	36						

Esses dados são selecionados de acordo com a região de interesse, neste caso, a região que envolve todo o território brasileiro, definido pelo retângulo envolvente na Figura 16. Desta forma, foram considerados os valores do VTEC da grade referente ao território brasileiro.

Para a seleção destes dados, ou seja, latitude, longitude e VTEC foi utilizada uma rotina desenvolvida pelo autor, que gera a partir do arquivo bruto do IGS, 12 arquivos (.dat) referentes as horas (0, 2, 4, 6, ..., 22) com 3 colunas referentes a latitude, longitude e valor do VTEC respectivamente, de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11. Dados da latitude, longitude e VTEC obtidos pela rotina.

Latit (°)	Longit (°)	VTEC (tecu)
5.00000	-75.00000	25.300
5.00000	-70.00000	25.800
5.00000	-65.00000	26.200
5.00000	-60.00000	26.900
5.00000	-55.00000	27.700
5.00000	-50.00000	27.700
5.00000	-45.00000	27.400
5.00000	-40.00000	26.800
5.00000	-35.00000	26.100
5.00000	-30.00000	25.400
2.50000	-75.00000	28.400
2.50000	-70.00000	28.900
2.50000	-65.00000	29.200
2.50000	-60.00000	29.900
2.50000	-55.00000	30.500
2.50000	-50.00000	30.100
2.50000	-45.00000	29.000
2.50000	-40.00000	27.900
2.50000	-35.00000	26.900
2.50000	-30.00000	26.000
.00000	-75.00000	30.100
.00000	-70.00000	30.800
.00000	-65.00000	31.000
.00000	-60.00000	31.600

Visou-se a elaboração de mapas médios mensais. Para tanto, foram escolhidos os seis dias de cada mês com base na atividade geomagnética (verificando-se o índice Ap diário), que correspondem aos seis dias com menor atividade geomagnética, ou seja, buscou-se estudar o comportamento do TEC em períodos com atividade geomagnética calma, a fim de evitar dias com influência de tempestades geomagnéticas. Esses dias podem ser visualizados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Relação dos 6 (seis) menores índices Ap de cada mês em 2004.

2004												
Data	8/jan	12/jan	14/jan	21/jan	29/jan	31/jan	8/fev	10/fev	17/fev	20/fev	25/fev	26/fev
Ap	7	9	12	14	9	10	4	6	4	4	6	3
Data	5/mar	6/mar	7/mar	8/mar	24/mar	25/mar	1/abr	14/abr	20/abr	22/abr	27/abr	29/abr
Ap	5	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Data	9/mai	16/mai	17/mai	18/mai	25/mai	27/mai	12/jun	22/jun	23/jun	24/jun	25/jun	27/jun
Ap	5	4	4	4	4	4	3	2	3	3	3	3
Data	4/jul	6/jul	7/jul	8/jul	9/jul	21/jul	3/ago	4/ago	8/ago	19/ago	24/ago	25/ago
Ap	5	5	3	2	4	4	3	3	3	4	3	4
Data	3/set	4/set	10/set	11/set	12/set	26/set	1/out	7/out	17/out	23/out	26/out	28/out
Ap	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	1	2
Data	2/nov	5/nov	6/nov	15/nov	18/nov	19/nov	2/dez	3/dez	4/dez	19/dez	20/dez	24/dez
Ap	4	4	1	2	2	4	4	3	0	3	4	3

Tabela 13. Relação dos 6 (seis) menores índices Ap de cada mês em 2008.

2008												
Data	2/jan	3/jan	4/jan	11/jan	22/jan	30/jan	5/fev	6/fev	9/fev	22/fev	24/fev	26/fev
Ap	2	2	2	3	2	2	4	4	4	4	4	4
Data	4/mar	6/mar	7/mar	24/mar	25/mar	31/mar	1/abr	2/abr	3/abr	11/abr	14/abr	20/abr
Ap	3	3	2	3	3	4	4	1	2	5	2	4
Data	9/mai	13/mai	15/mai	17/mai	18/mai	27/mai	4/jun	5/jun	9/jun	10/jun	13/jun	22/jun
Ap	3	3	2	1	2	3	3	2	3	2	2	3
Data	2/jul	3/jul	7/jul	8/jul	19/jul	25/jul	2/ago	5/ago	15/ago	24/ago	26/ago	30/ago
Ap	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Data	11/set	12/set	13/set	21/set	24/set	29/set	8/out	9/out	18/out	24/out	25/out	27/out
Ap	2	1	0	2	2	2	1	0	1	1	1	1
Data	3/nov	6/nov	11/nov	13/nov	21/nov	22/nov	1/dez	2/dez	9/dez	14/dez	21/dez	29/dez
Ap	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1

Os mapas horários médios mensais do VTEC (12 mapas por mês) foram gerados no *software* Surfer 8.0, utilizando os arquivos de saída da rotina (média mensal), que contém valores de VTEC dos pontos da malha do IGS. Para a conclusão destes mapas foi utilizado o método de interpolação por Krigagem, devido sua dependência espacial, para uma malha de 1° de latitude x 1° de longitude como ilustra a Figura 14 através das isolinhas do VTEC. Mais detalhes sobre esse método de interpolação pode ser encontrado em Isaaks e Srivastava (1989).

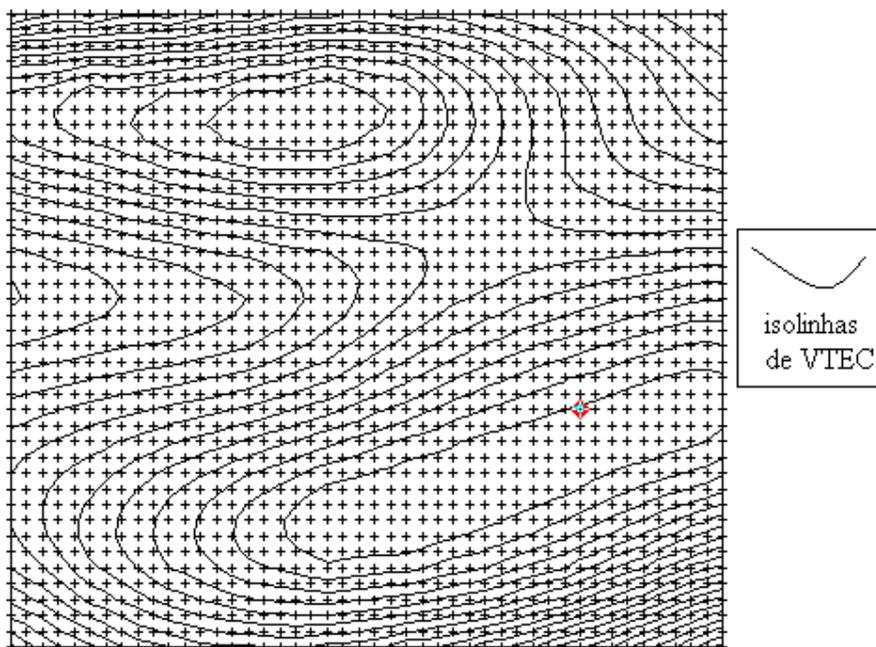


Figura 14. Malha interpolada de 1° x 1° do território brasileiro (krigagem).

Pela Figura 14 pode-se observar que o parâmetro variável são os valores do VTEC dentro da malha interpolada.

Os mapas encontram-se disponibilizados nos resultados de acordo com o quadro explicativo na Figura 15.

MÊS/ANO 00 TU	MÊS/ANO 02 TU	MÊS/ANO 04 TU
MÊS/ANO 06 TU	MÊS/ANO 08 TU	MÊS/ANO 10 TU
MÊS/ANO 12 TU	MÊS/ANO 14 TU	MÊS/ANO 16 TU
MÊS/ANO 18 TU	MÊS/ANO 20 TU	MÊS/ANO 22 TU

Figura 15. Disposição dos mapas nos resultados.

### 3.2 Segundo Experimento - Posicionamento por ponto preciso da estação VICO

Os arquivos de observação foram obtidos da estação VICO da rede RBMC no site oficial do IBGE, com acesso livre, disponibilizados no formato RINEX (*Receiver INdependent EXchange format*) de acordo com a Tabela 14.

Para o processamento foi utilizado o *software* PPP *on-line* fornecido pelo GSD (*Geodetic Survey Canada*) do NRCan (*Natural Resource Canadá*), denominado CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System – Precise Point Precise*), pois ele processa observações GPS de uma ou duas frequências, operando no método estático ou cinemático, segundo Tétreault *et al.*, (2005). A acurácia obtida por este processamento está baseada na utilização dos produtos IGS, sendo: órbitas, relógio e mapas da ionosfera (somente no processamento por código). Este software possibilita a obtenção do processamento preciso submetendo dados de somente uma estação, e é considerado equivalente ao processamento diferencial GPS.

Os dados usados neste processamento com o *software* CSRS-PPP foram o código C/A na portadora L1, sendo solicitados dados da ionosfera (IONEX) para corrigir os atrasos ionosféricos de primeira ordem.

Tabela 14. Arquivo de observação RINEX original da estação VICO-RBMC (IBGE).

```

4 L1 C1 L2 P2 # / TYPES OF OBSERV
15.0000 INTERVAL
CODIGO: 91696 Estacao: Vicosa COMMENT
2008 9 27 0 0 0.000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER

08 9 27 0 0 0.000000 0 18G 7G 8G10G11G13G17G19G23G25G27G28R 4
R13R14R15R17R23R24
-15271266.279 7 22502562.469 7 -11863147.445 9 22502557.18048
-18160092.041 7 21833436.508 7 -13118953.27648 21833432.16848
-12554995.166 6 22782664.367 6 -9306763.39247 22782660.43047
-754069.047 3 25416651.586 3
-17624485.237 6 21912028.336 6 -13104012.37048 21912023.86348
-11381145.754 6 23176691.188 6 -8842808.569 9 23176686.46947
-3450921.424 5 24531024.547 5 -2453736.00946 24531016.48046
-3666203.319 5 24473575.055 5 -1923339.05146 24473567.34846
-13802243.760 6 23176545.062 6 -10437518.64447 23176539.95747
-21754310.429 7 21495332.359 7 -16509922.18748 21495327.25848
-28344174.619 7 20257078.023 7 -21947290.49249 20257072.12549
-15878051.393 7 20809449.594 7 -12330624.656 9 20809453.504 9
-1412269.455 4 23946819.211 4 -1080736.558 7 23946825.418 7
-13507134.196 7 21678510.727 7 -10489794.482 9 21678517.977 9
-11318951.587 7 22236040.734 7 -8776603.499 8 22236046.473 8
-15095637.671 7 21182188.352 7 -11724477.665 9 21182192.656 9
-1350116.176 1 23947024.906 1 -1041037.853 7 23947030.777 7
-15952173.494 8 20859650.922 8 -12384281.760 9 20859655.699 9
08 9 27 0 0 15.000000 0 18G 7G 8G10G11G13G17G19G23G25G27G28R 4
R13R14R15R17R23R24

```

Como o intuito foi deixar somente as observações L1 e C1 do sistema GPS, houve a necessidade de retirar todas as observações *Glonass* do arquivo de observação original utilizando o *software* TEQC no *prompt MS-DOS*, aplicando o seguinte comando:

*TEQC -R (arquivo de entrada) > (arquivo de saída).*

Este arquivo de saída pode ser visualizado na Tabela 15.

Tabela 15. Arquivo de observação GPS da estação VICO-RBMC (IBGE).

```

4 L1 C1 L2 P2 # / TYPES OF OBSERV
15.0000 INTERVAL
MSXP|IAx86-PII|bcc32 5.0|MSWin95->XP|486/DX+ COMMENT
teqc 2007Jun25 RBMC 20080928 09:08:12UTC COMMENT
CODIGO: 91696 Estacao: Vicosa COMMENT
teqc edited: all GLONASS satellites excluded COMMENT
2008 9 27 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
08 9 27 0 0 0.0000000 0 11G 7G 8G10G11G13G17G19G23G25G27G28
-15271266.279 7 22502562.469 7 -11863147.445 9 22502557.18048
-18160092.041 7 21833436.508 7 -13118953.27648 21833432.16848
-12554995.166 6 22782664.367 6 -9306763.39247 22782660.43047
-754069.047 3 25416651.586 3
-17624485.237 6 21912028.336 6 -13104012.37048 21912023.86348
-11381145.754 6 23176691.188 6 -8842808.569 9 23176686.46947
-3450921.424 5 24531024.547 5 -2453736.00946 24531016.48046
-3666203.319 5 24473575.055 5 -1923339.05146 24473567.34846
-13802243.760 6 23176545.062 6 -10437518.64447 23176539.95747
-21754310.429 7 21495332.359 7 -16509922.18748 21495327.25848
-28344174.619 7 20257078.023 7 -21947290.49249 20257072.12549

```

A partir do arquivo com somente as observações GPS, retirou-se as observações L2 e P2, utilizando o mesmo *software* TEQC no *prompt MS-DOS*, aplicando outro comando:

*TEQC -O.obs L1+C1(arquivo de entrada) > (arquivo de saída).*

Este arquivo contendo somente as observáveis L1 e C1 do sistema GPS pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16. Arquivo de observação GPS (L1 e C1) da estação VICO.

2	L1	C1	# / TYPES OF OBSERV
15.0000			INTERVAL
MSXP IAx86-PII bcc32 5.0 MSWin95->XP 486/DX+			COMMENT
teqc	2008Oct2	20090117	04:25:56UTC
teqc	2007Jun25	RBMC	20080928 09:08:12UTC
CODIGO: 91696 Estacao: Vicos			COMMENT
teqc edited: all GLONASS satellites excluded			COMMENT
2008	9	27	0 0 0.000000 GPS
			TIME OF FIRST OBS
			END OF HEADER
08	9	27	0 0 0.000000 0 11G 7G 8G10G11G13G17G19G23G25G27G28
-15271266.279	7	22502562.469	7
-18160092.041	7	21833436.508	7
-12554995.166	6	22782664.367	6
-754069.047	3	25416651.586	3
-17624485.237	6	21912028.336	6
-11381145.754	6	23176691.188	6
-3450921.424	5	24531024.547	5
-3666203.319	5	24473575.055	5
-13802243.760	6	23176545.062	6
-21754310.429	7	21495332.359	7
-28344174.619	7	20257078.023	7

Para realizar o posicionamento por ponto preciso, os dados foram processados no *software PPP-online (Precise Point Positioning online)* desenvolvido pelo GSD (*Geodetic Survey Division*) do NRCan (*Natural Resources Canada*).

O *PPP-online* pode ser acessado no seguinte endereço eletrônico: [http://www.geod.nrcan.gc.ca/software/gpspace\\_e.php](http://www.geod.nrcan.gc.ca/software/gpspace_e.php).

Esse *software* possibilita realizar o posicionamento por ponto preciso utilizando pseudodistâncias. No processamento utilizaram-se, como observáveis, as pseudodistâncias advindas do código C/A em L1, coletadas de satélites sem nenhuma máscara de elevação. As posições foram estimadas a cada 15 segundos. Para esta análise foram comparadas as coordenadas médias estimadas de cada dia com a coordenada conhecida da estação VICO a partir do descritivo (IBGE), ver Anexo 1.

Os processamentos PPP dos dados acima apresentados foram realizados a partir das efemérides precisas finais fornecidas pelo IGS. A Tabela 17 apresenta a qualidade das efemérides disponibilizadas pelo IGS.

Tabela 17. Tipos de efemérides precisas fornecidas pelo IGS.

Efemérides		Acurácia	Disponibilidade	Intervalo
Ultra Rápida	Órbitas	~160 cm	3 horas	15 min
	Relógios	~7 ns		
Rápida	Órbitas	< 5 cm	17 horas	15 min
	Relógios	~0,2 ns		5 min
Final	Órbitas	< 5 cm	~13 dias	15 min
	Relógios	< 0,1 ns		5 min

Fonte: adaptado do IGS (<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/products.html>).

Para o processamento referente ao ano de 2004, o NRCan disponibilizou as coordenadas em ITRF2000. Como as coordenadas da estação VICO (RBMC) estão no SIRGAS2000 (Época 2000,4), não houve a necessidade de transformar esses sistemas para avaliar a acuracidade, pois estes dois sistemas são compatíveis para fins práticos e a realização do SIRGAS2000 é uma densificação regional do ITRF.

Já para o processamento referente ao ano de 2008, o NRCan disponibilizou as coordenadas no ITRF2005. Para avaliar a acurácia dessas coordenadas em relação a VICO (RBMC), houve a necessidade de transformar as coordenadas da estação para o ITRF2005 também, sendo esta, a última realização do ITRF.

Para transformar as coordenadas  $X, Y, Z$  em ITRF2000 para  $X_s, Y_s, Z_s$  em ITRFyy para a data de referência, neste caso ITRF2005, segue-se o seguinte modelo dado pela Equação (36), de acordo com Boucher *et al.* (2004).

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_3 & R_2 \\ R_3 & D & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (36)$$

Os parâmetros de transformação, de translação, envolvidos  $T_1, T_2, T_3$  são as coordenadas da origem do ITRF2000 na rede ITRFyy para a época  $t_0$  de referência.  $R_1, R_2, R_3$  são os parâmetros de rotação para a época  $t_0$  em milionésimos de segundos em torno dos eixos  $X, Y, Z$  da rede ITRF2000, respectivamente. O parâmetro  $D$  é o fator diferencial de escala expresso em partes por bilhão (ppb) para a época  $t_0$ . Para

um parâmetro  $P$ , este deve ser atualizado conforme a Equação (37), onde  $t$  e  $t_0$  são as datas para qual se deseja atualizar o parâmetro e a época de referência em anos, respectivamente.

$$P(t) = P(t_0) + \dot{P} \cdot (t - t_0) \quad (37)$$

A Tabela 18 apresenta os valores dos parâmetros de transformação de coordenadas do ITRF2005 para ITRF2000, retirados da página do IERS em [http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2005/tp\\_05-00.php](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/tp_05-00.php).

Tabela 18. Parâmetros de transformação e suas taxas do ITRF2005 para o ITRF2000.

<b>Parâmetro</b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>D</b>	<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	<b>t<sub>0</sub></b>
Unidade	mm	mm	mm	ppb	ms	ms	ms	
<b>Taxa de Variação</b>	<b><math>\dot{T}_1</math></b>	<b><math>\dot{T}_2</math></b>	<b><math>\dot{T}_3</math></b>	<b><math>\dot{D}</math></b>	<b><math>\dot{R}_1</math></b>	<b><math>\dot{R}_2</math></b>	<b><math>\dot{R}_3</math></b>	
Unidade	mm/ano	mm/ano	mm/ano	ppb/ano	ms/ano	ms/ano	ms/ano	ano
ITRF2000	0,1	-0,8	-5,8	0,40	0,000	0,000	0,000	
Taxa, Var.	-0,2	0,1	-1,8	0,08	0,000	0,000	0,000	2000,0

Mais detalhes sobre o ITRF e sistemas de referência, pode-se consultar Monico (2000) e Boucher *et al.* (2004).

### 3.3 Local de estudo

A área de estudo referente ao primeiro experimento está localizada na América do Sul, abrangendo em destaque o território brasileiro.

A área está delimitada pelo seguinte retângulo envolvente (Coordenadas Geodésicas), como pode ser observado na Figura 16:

Canto superior direito:  $05^{\circ}00'00''\text{N}$  e  $30^{\circ}00'00''\text{W}$ ;

Canto inferior esquerdo:  $35^{\circ}00'00''\text{S}$  e  $75^{\circ}00'00''\text{W}$ .

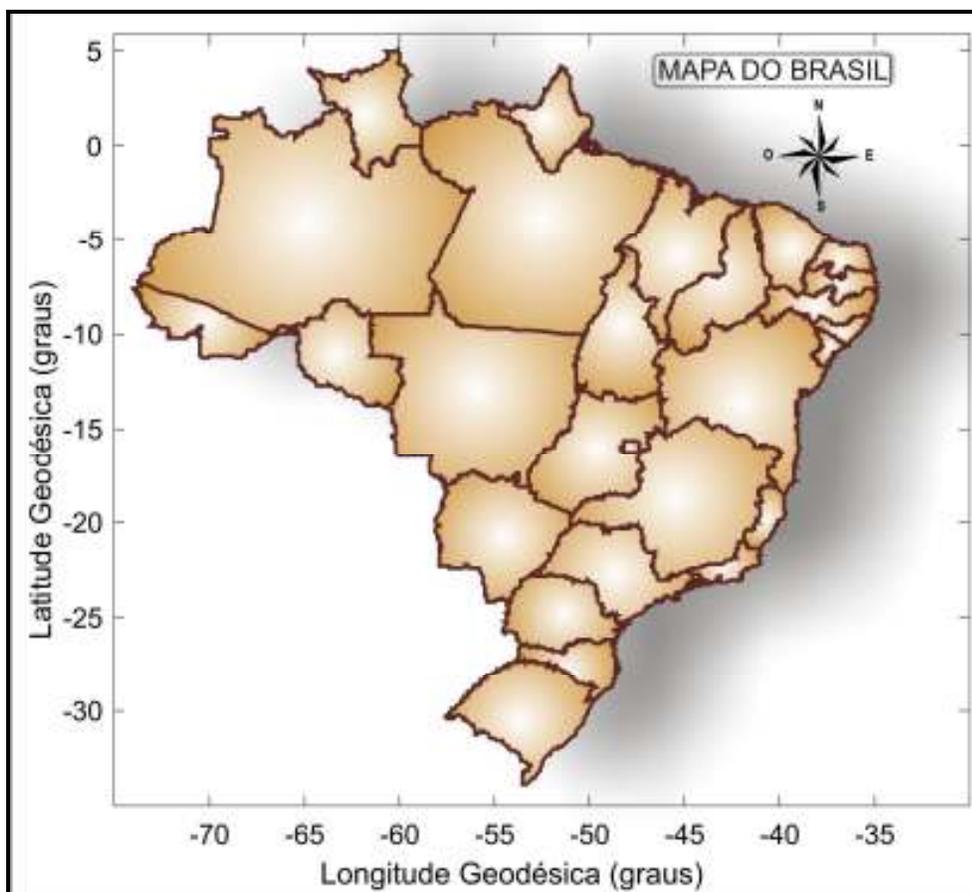


Figura 16. Mapa de localização da área em estudo

A área de estudo referente ao segundo experimento está localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Minas Gerais.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

As Figuras 17 a 40 apresentam os mapas médios mensais do VTEC para o território brasileiro, referente a todos os meses dos anos de 2004 e 2008.

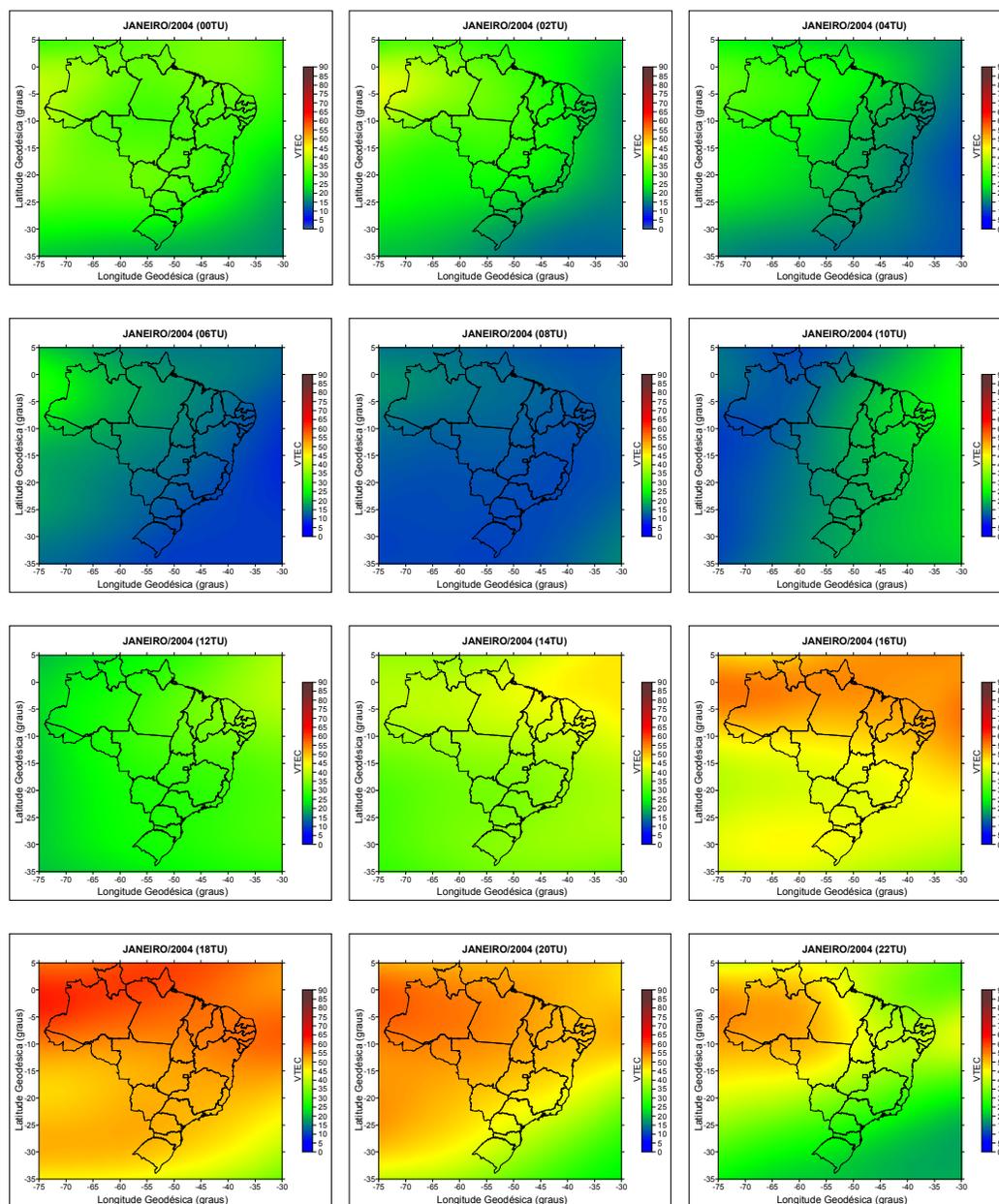


Figura 17. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (janeiro/2004).

Analisando os mapas da Figura 17 referente ao mês de janeiro de 2004, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos a 63 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos a 10 TECU no das 8 horas TU.

A Figura 18 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de fevereiro de 2004.

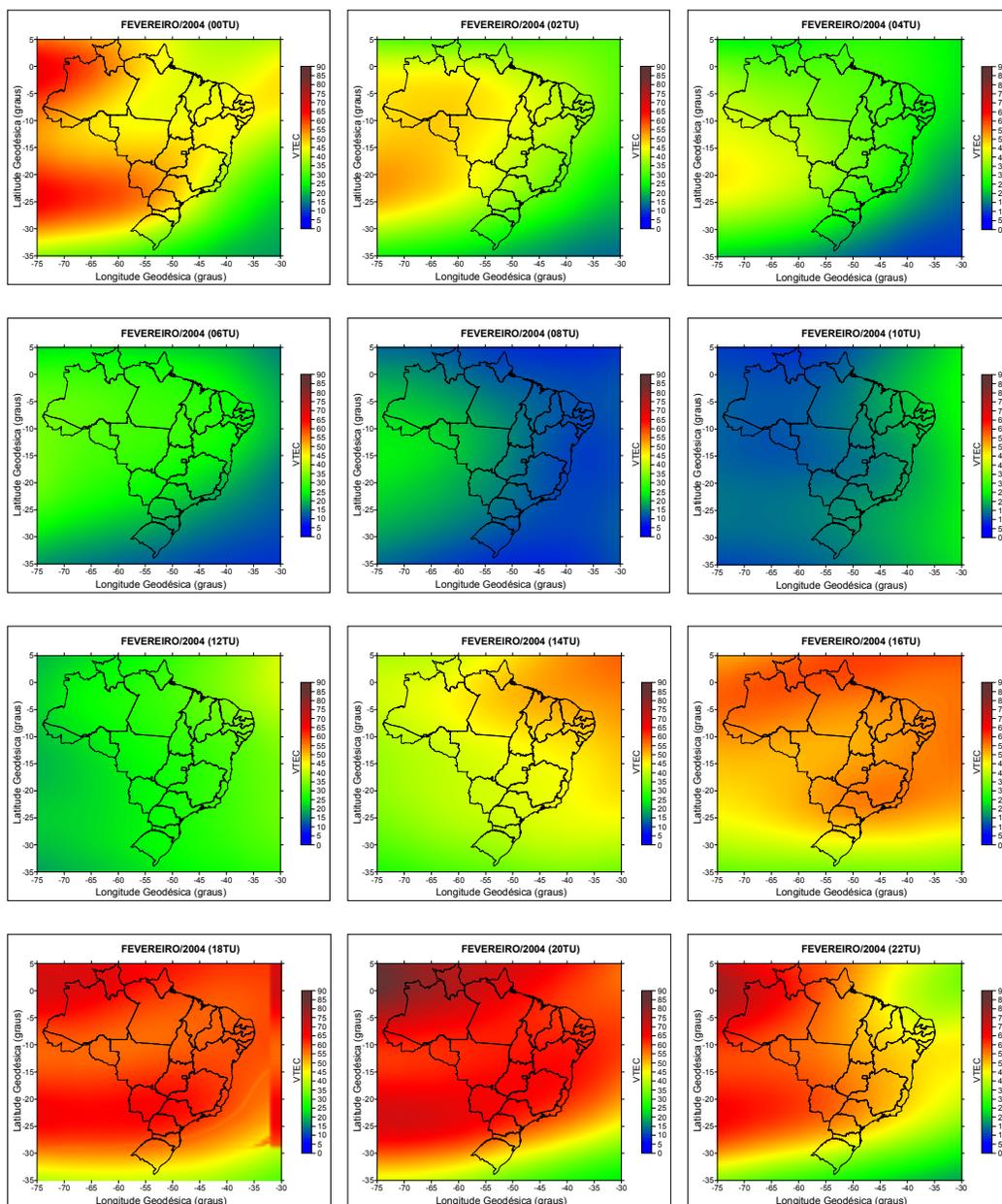


Figura 18. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (fevereiro/2004).

Nos mapas da Figura 18, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 e 20 horas TU com valores próximos de 70 a 85 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos a 8 TECU no horário das 8 horas TU.

A Figura 19 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de março de 2004.

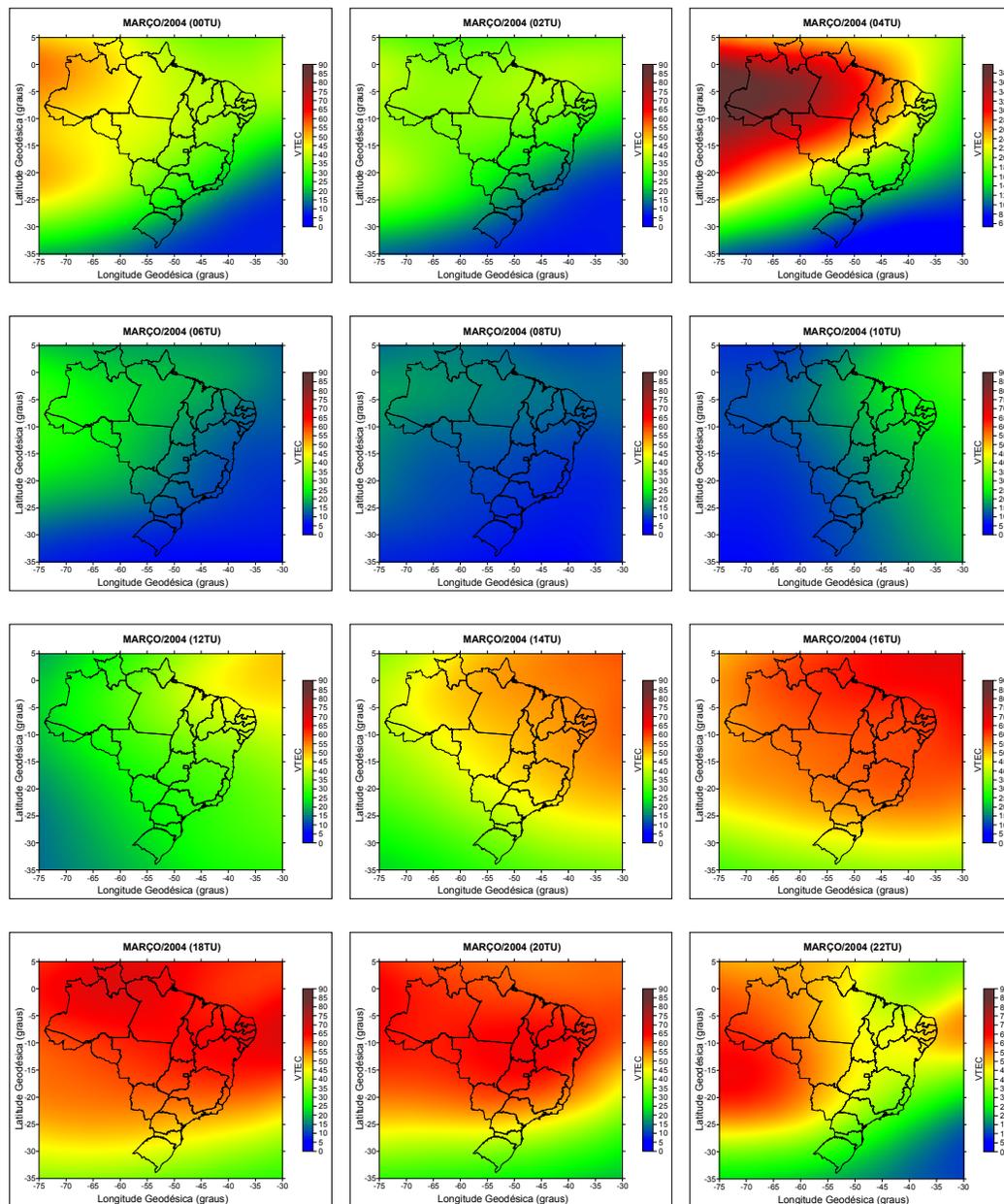


Figura 19. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (março/2004).

De acordo com os mapas da Figura 19, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 e 20 horas TU com valores próximos de 70 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos a 5 TECU no horário das 8 horas TU.

A Figura 20 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de abril de 2004.

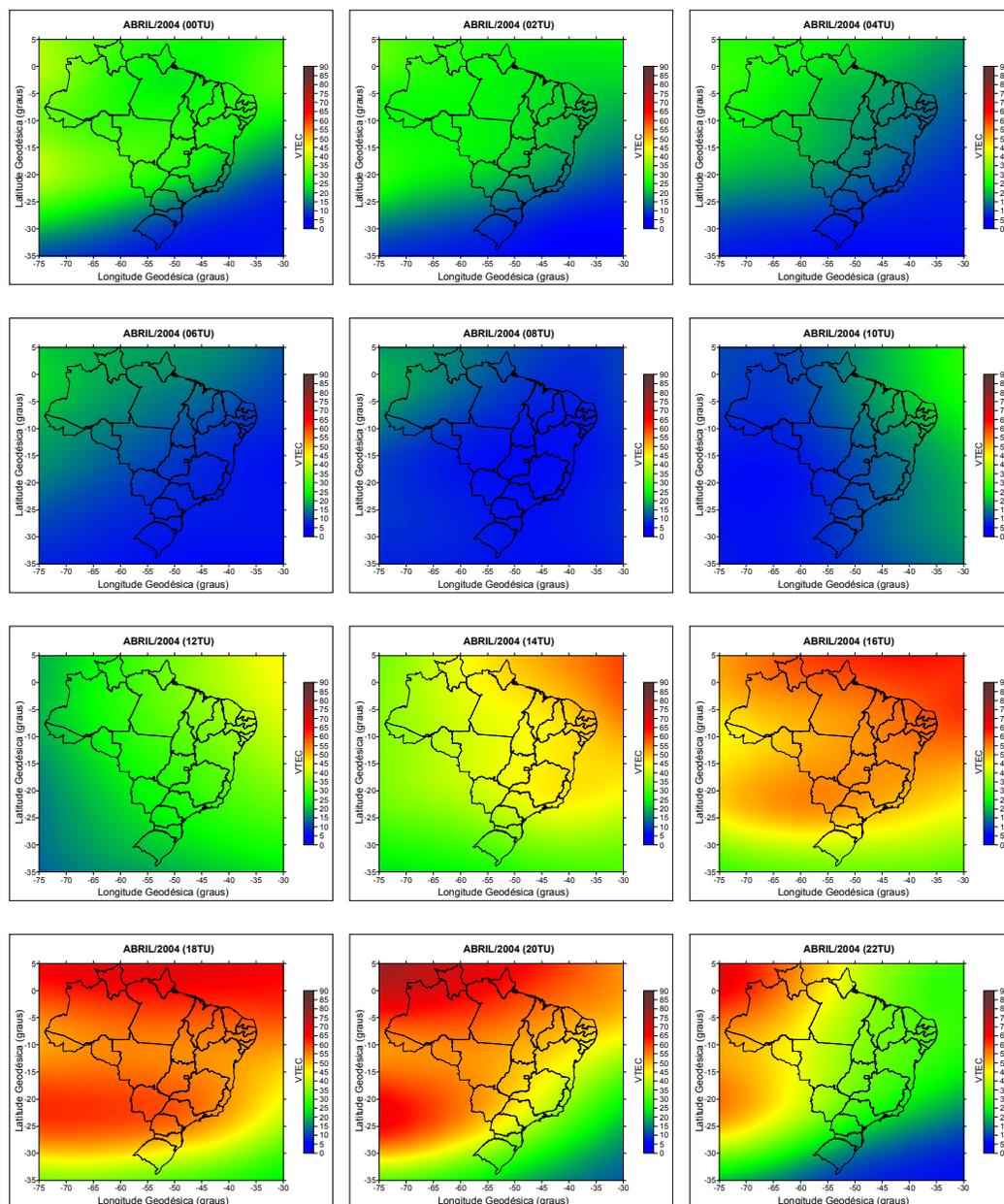


Figura 20. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (abril/2004).

Analisando os mapas da Figura 20, pode-se observar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 e 20 horas TU com valores próximos de 75 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos a 6 TECU no horário das 6, 8 e 10 horas TU.

A Figura 21 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de maio de 2004.

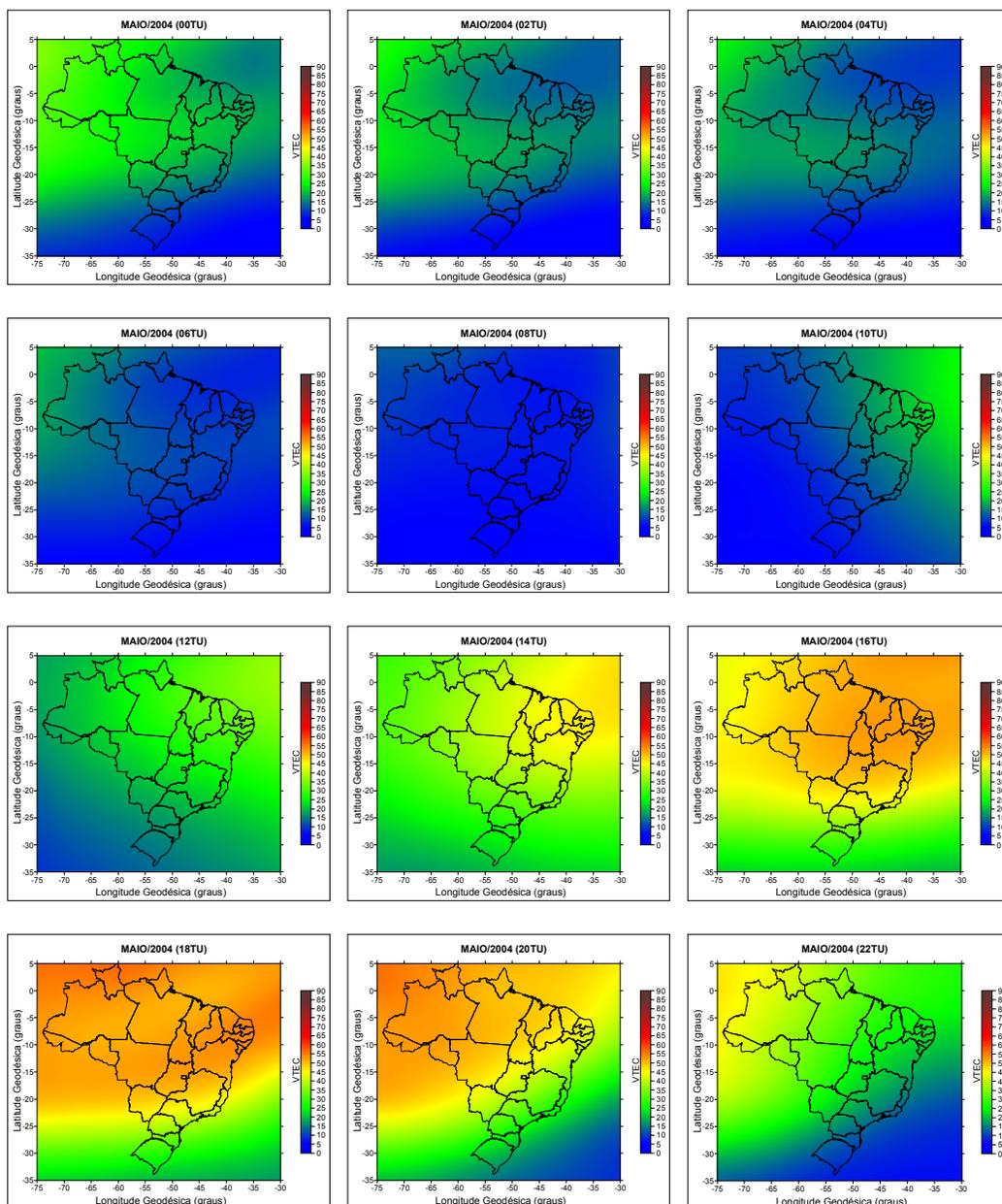


Figura 21. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (maio/2004).

De acordo com os mapas da Figura 21, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 56 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos a 4 TECU no horário das 8 horas TU.

A Figura 22 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de junho de 2004.

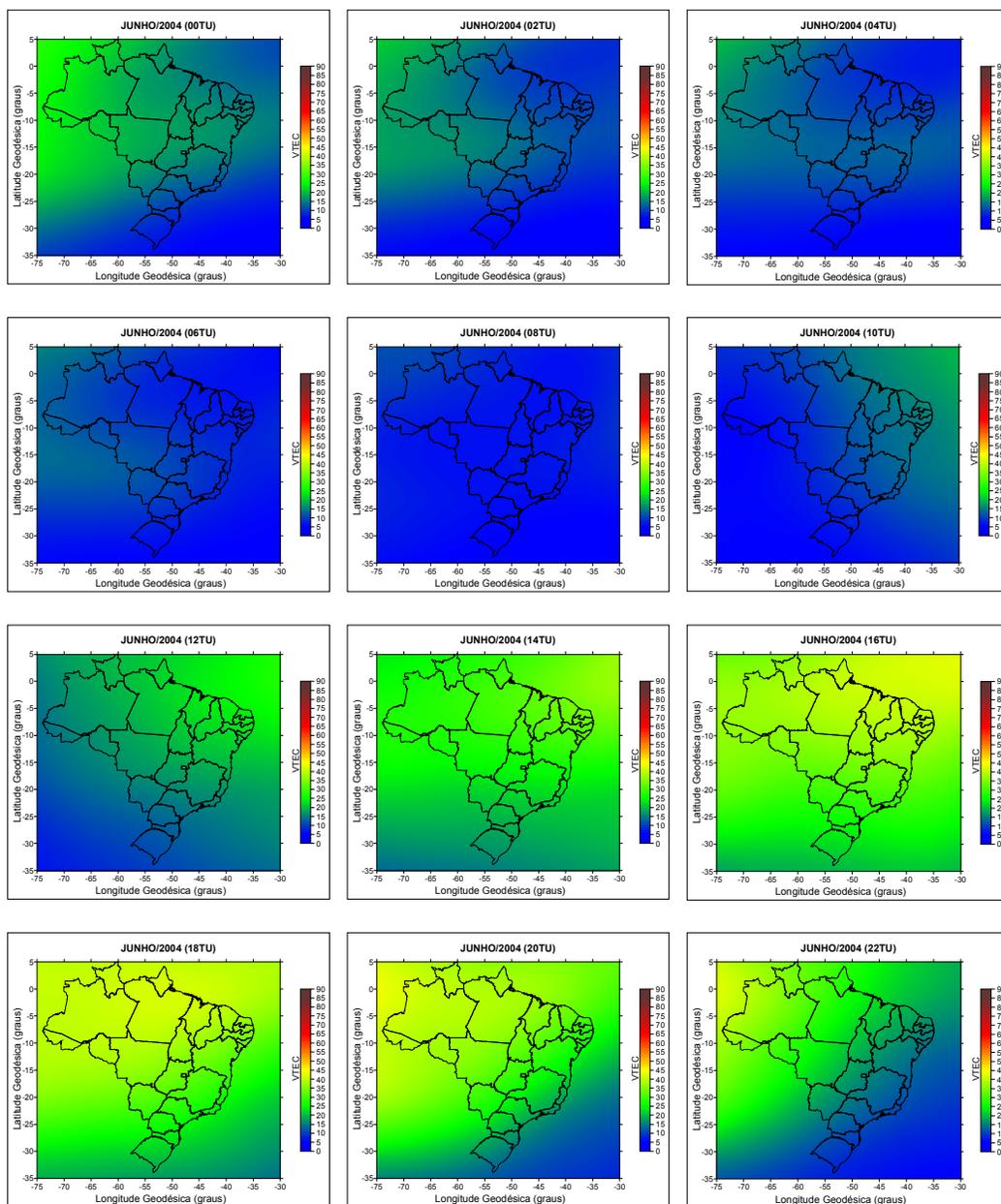


Figura 22. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (junho/2004).

Com análise nos mapas da Figura 22, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 41 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos a 4 a 6 TECU no horário das 6 e 8 horas TU, praticamente em todo o território nacional.

A Figura 23 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de julho de 2004.

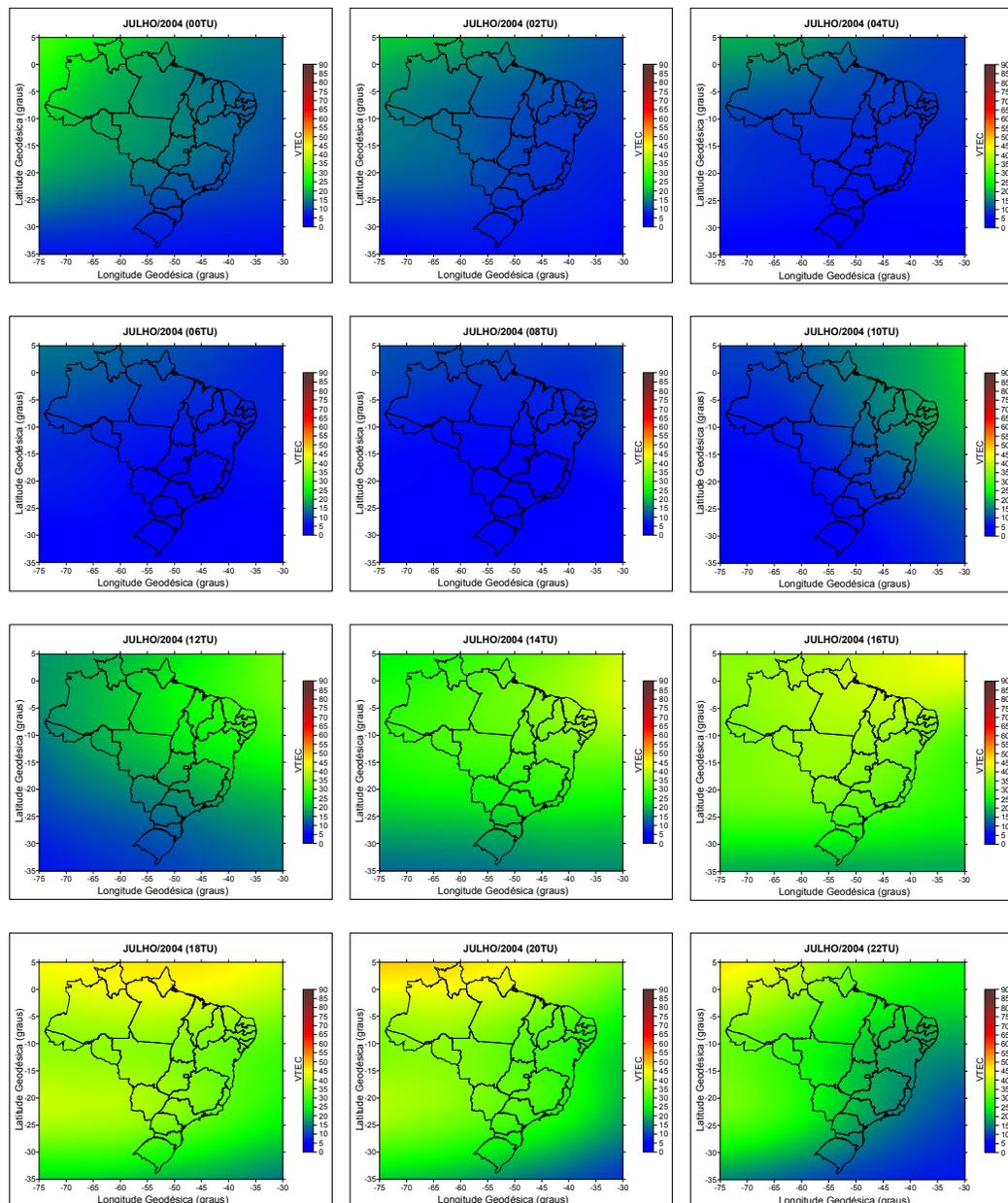


Figura 23. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (julho/2004).

Analisando os mapas da Figura 23, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 45 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos a 4 TECU no horário das 8 horas TU, praticamente em todo o território nacional.

A Figura 24 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de agosto de 2004.

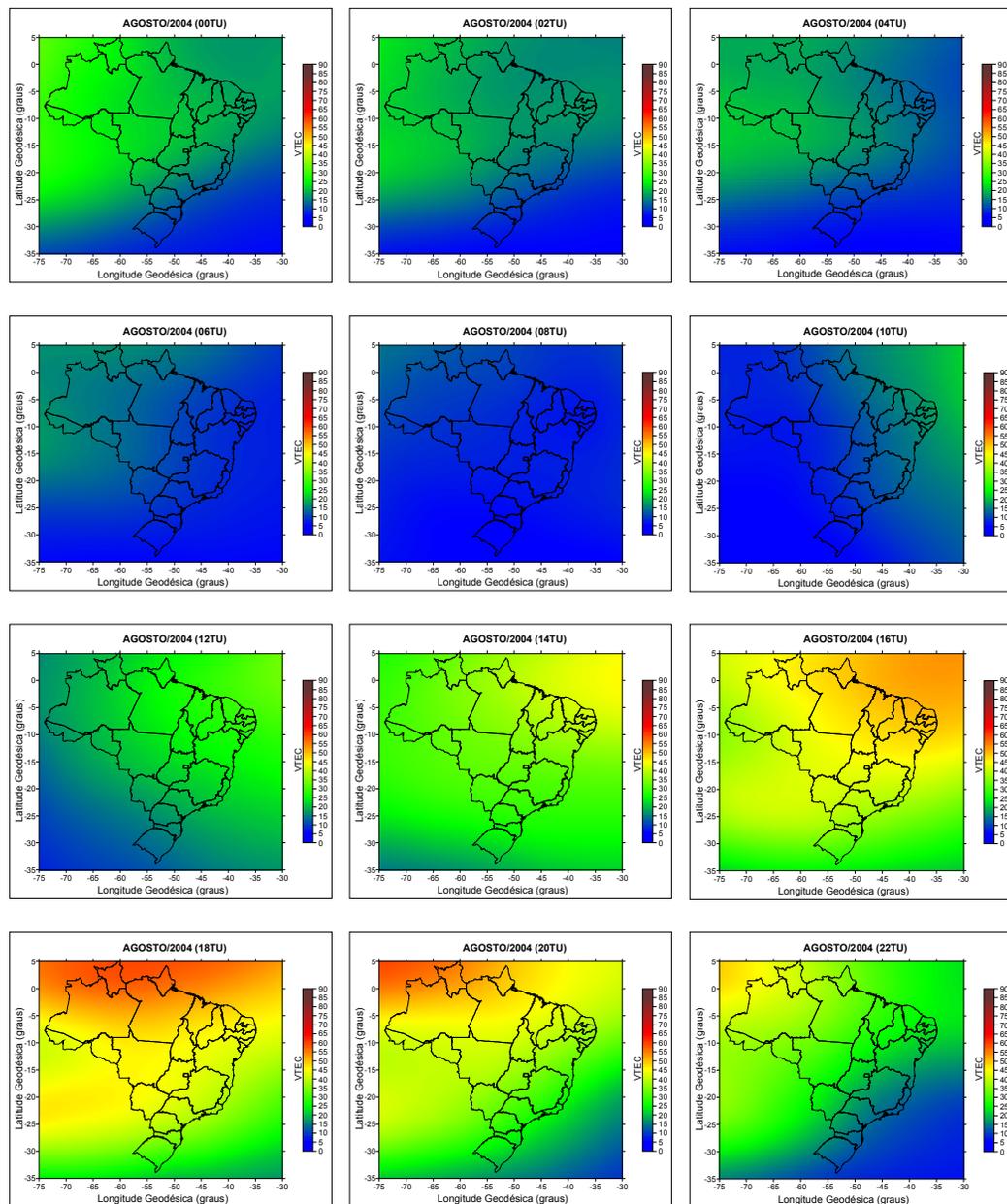


Figura 24. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (agosto/2004).

De acordo com os mapas da Figura 24, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 59 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos a 5 a 7 TECU no horário das 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 25 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de setembro de 2004.

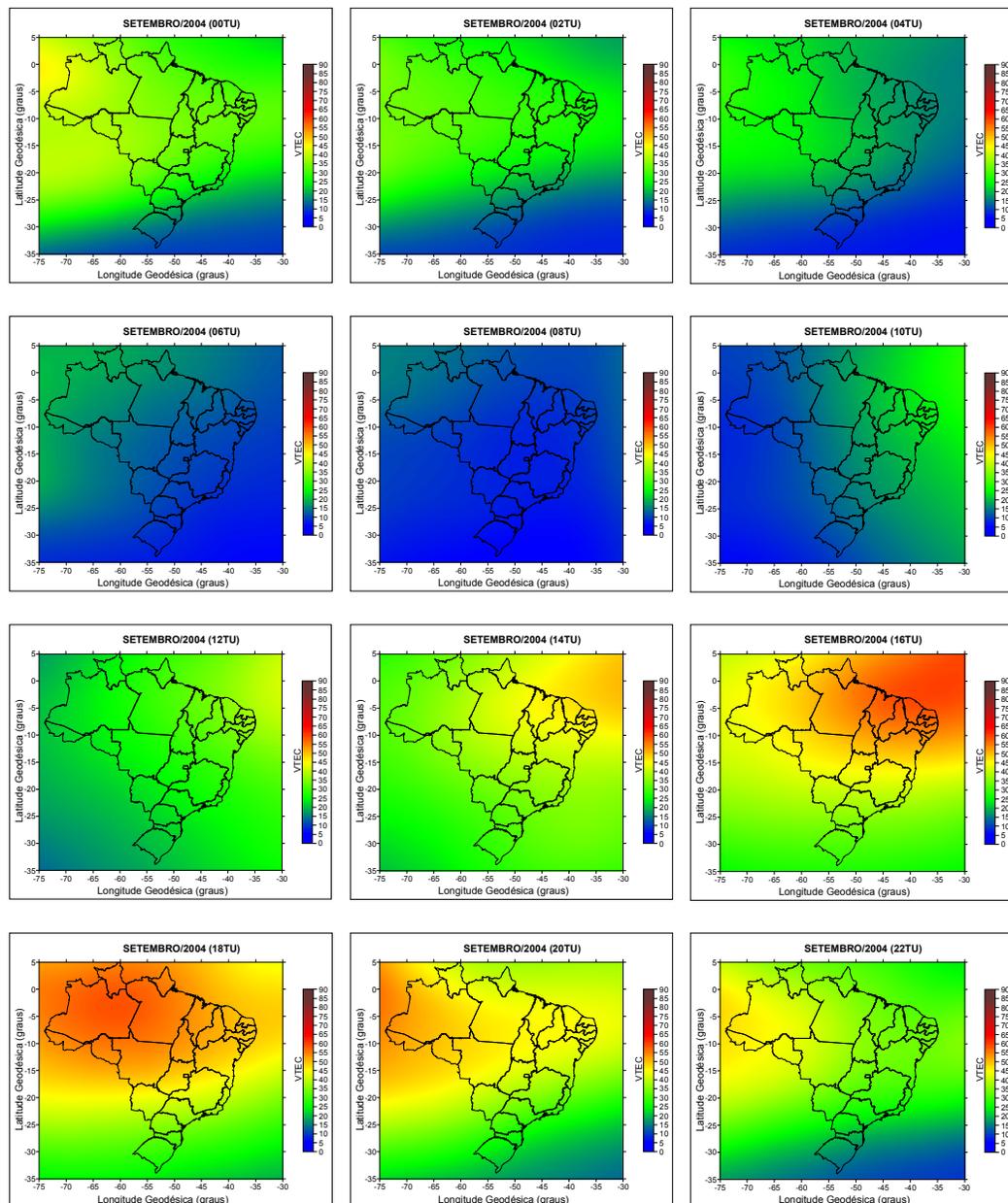


Figura 25. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (setembro/2004).

Analisando os mapas da Figura 25, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 16 e 18 horas TU com valores próximos de 55 a 58 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 5 TECU no horário das 8 horas TU.

A Figura 26 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de outubro de 2004.

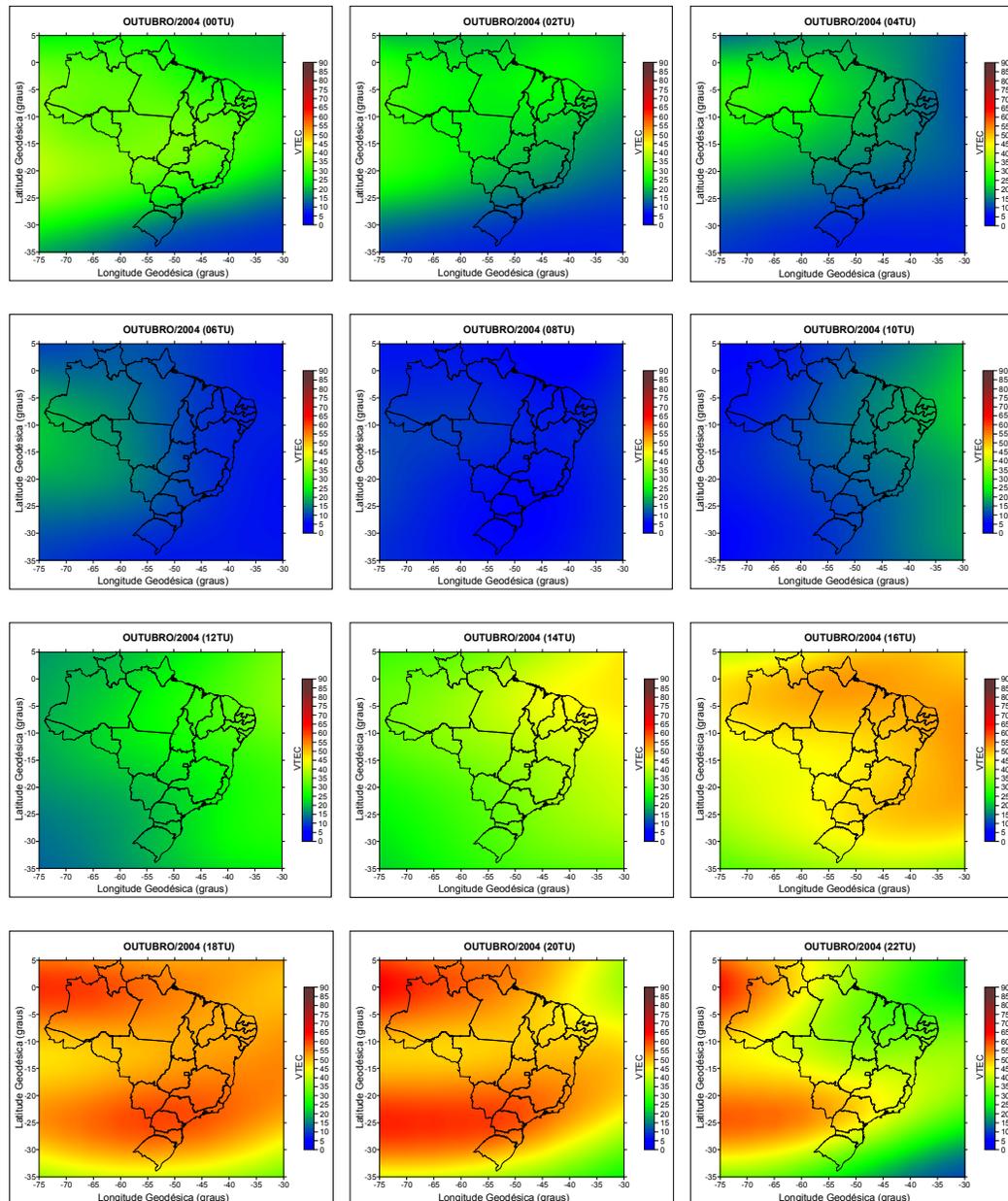


Figura 26. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (outubro/2004).

Analisando os mapas da Figura 26, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 e 20 horas TU com valores próximos de 60 a 65 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 4 a 5 TECU no horário das 8 horas TU, em todo o território brasileiro.

A Figura 27 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de novembro de 2004.

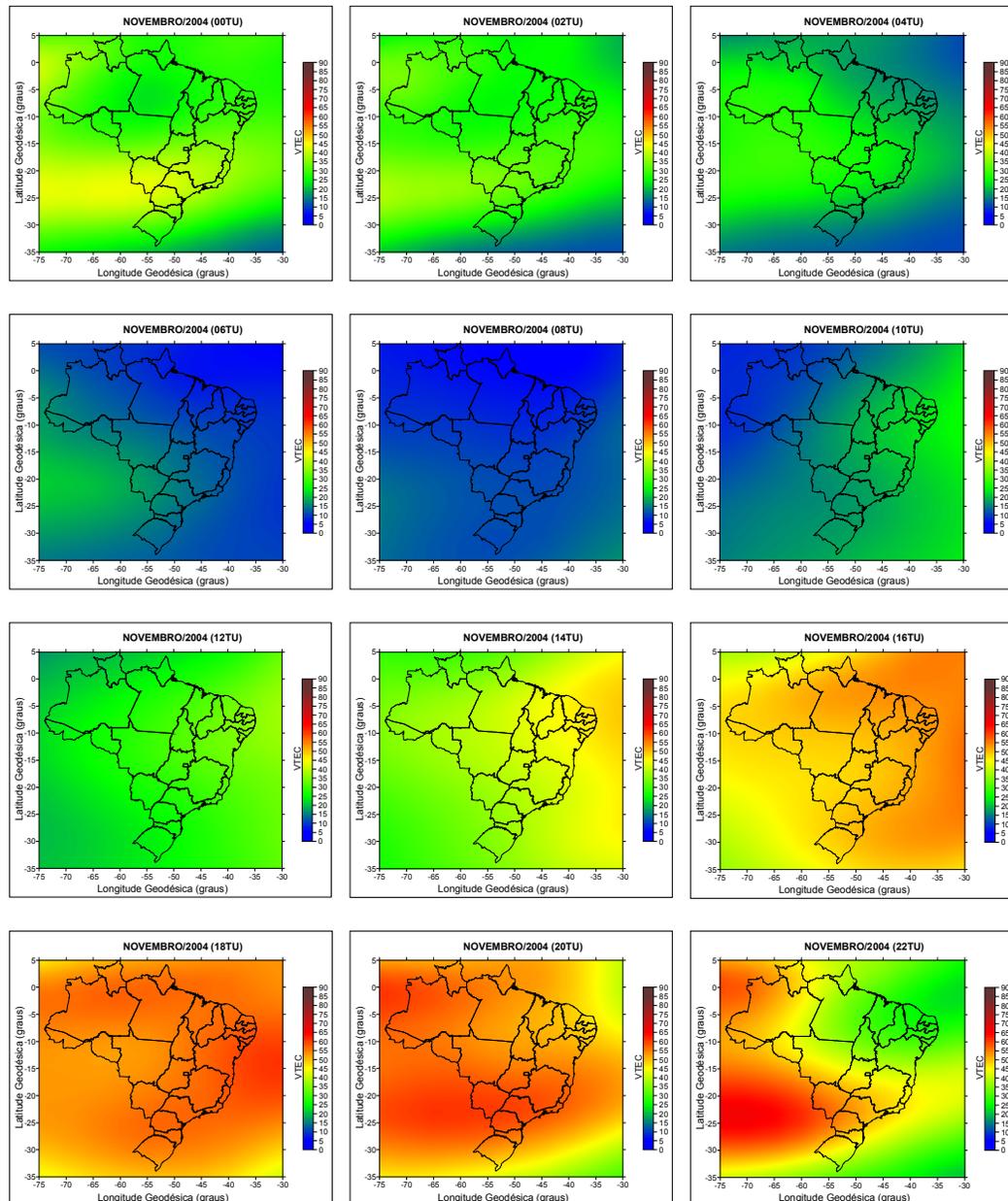


Figura 27. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (novembro/2004).

De acordo com os mapas da Figura 27, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 e 20 horas TU com valores próximos de 61 a 65 TECU, e no horário das 22 horas TU na parte leste do território brasileiro com valores próximos de 55 a 63 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 4 a 5 TECU no horário das 8 horas TU.

A Figura 28 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de dezembro de 2004.

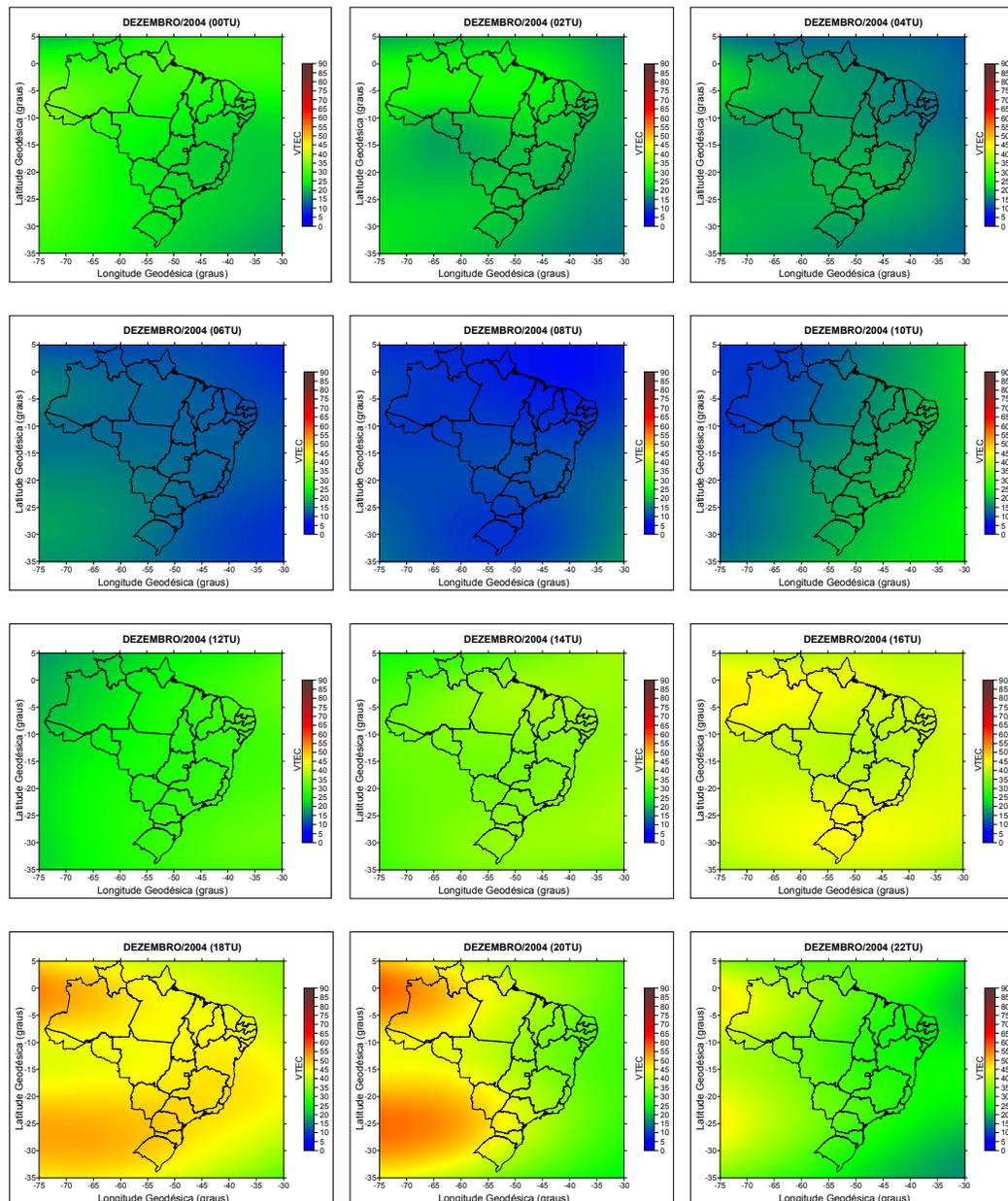


Figura 28. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (dezembro/2004).

Com análise nos mapas da Figura 28, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 50 a 54 TECU, e no horário das 20 horas TU na parte leste do território brasileiro com valores próximos de 50 a 58 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 6 a 10 TECU no horário das 8 horas TU.

A Figura 29 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de janeiro de 2008.

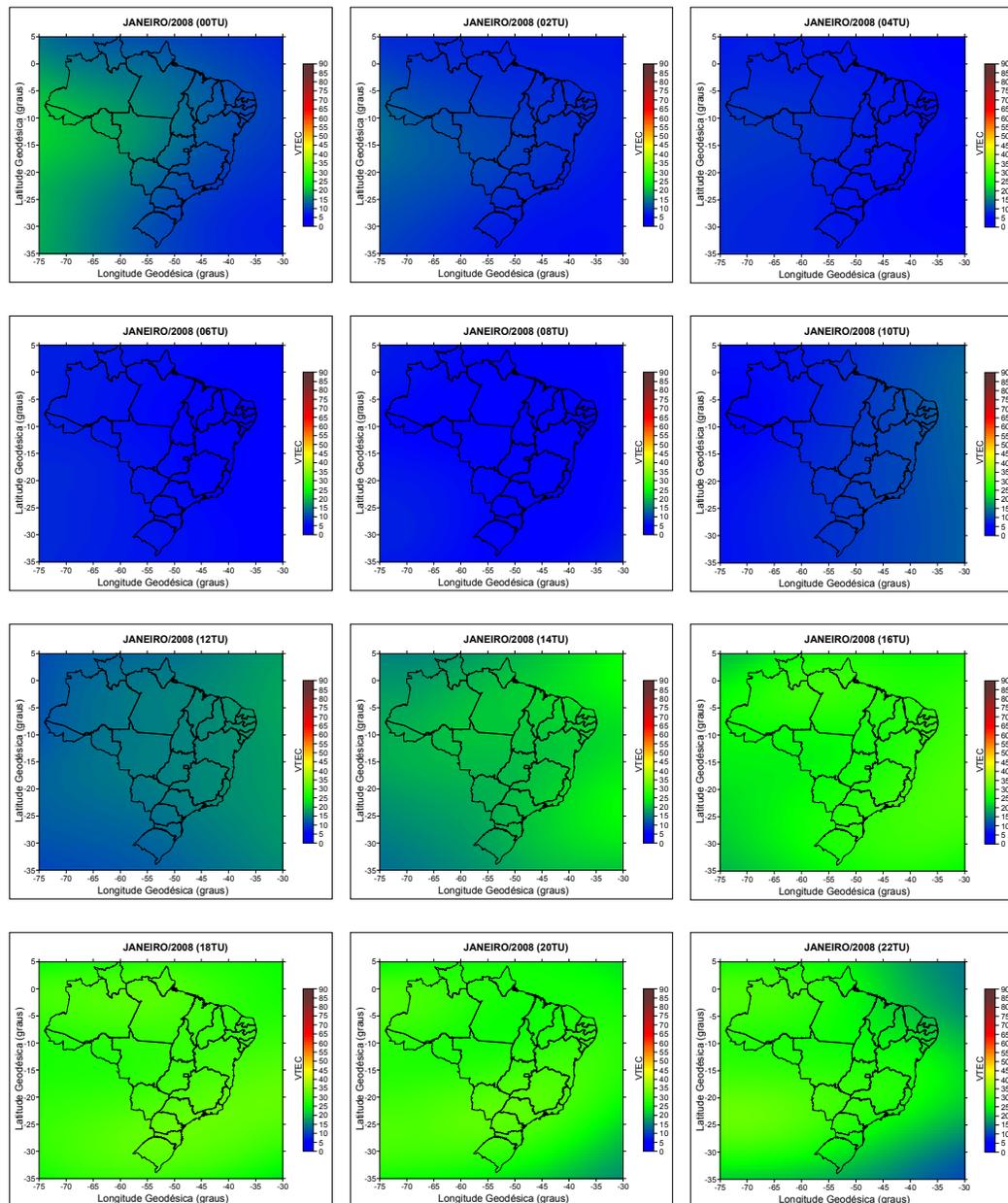


Figura 29. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (janeiro/2008).

Com base nos mapas da Figura 29, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 e 20 horas TU com valores próximos de 30 a 33 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 3 a 4 TECU no horário de 6 e 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 30 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de fevereiro de 2008.

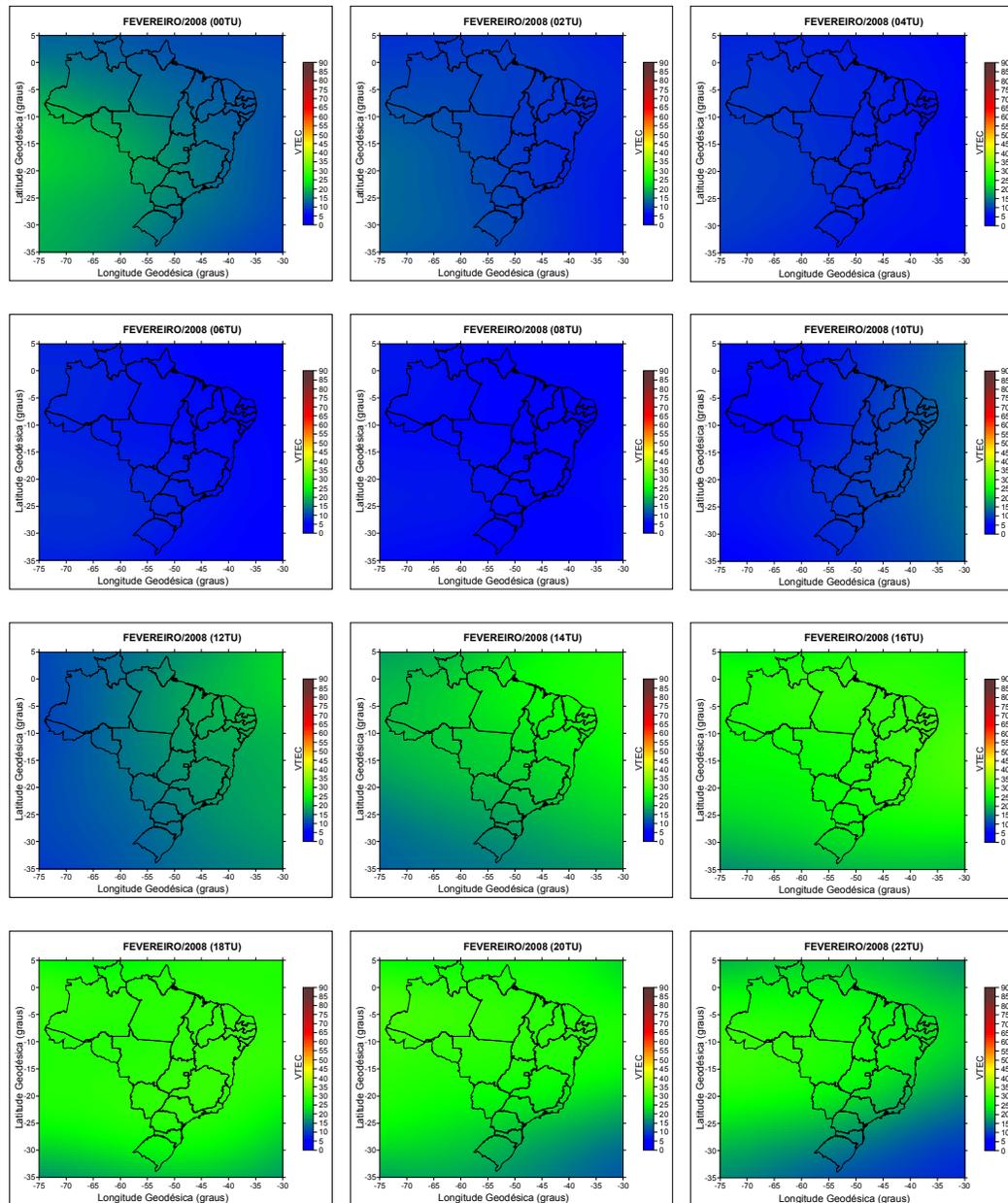


Figura 30. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (fevereiro/2008).

De acordo com os mapas da Figura 30, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 e 20 horas TU com valores próximos de 27 a 29 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 3 a 4 TECU no horário de 6 e 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 31 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de março de 2008.

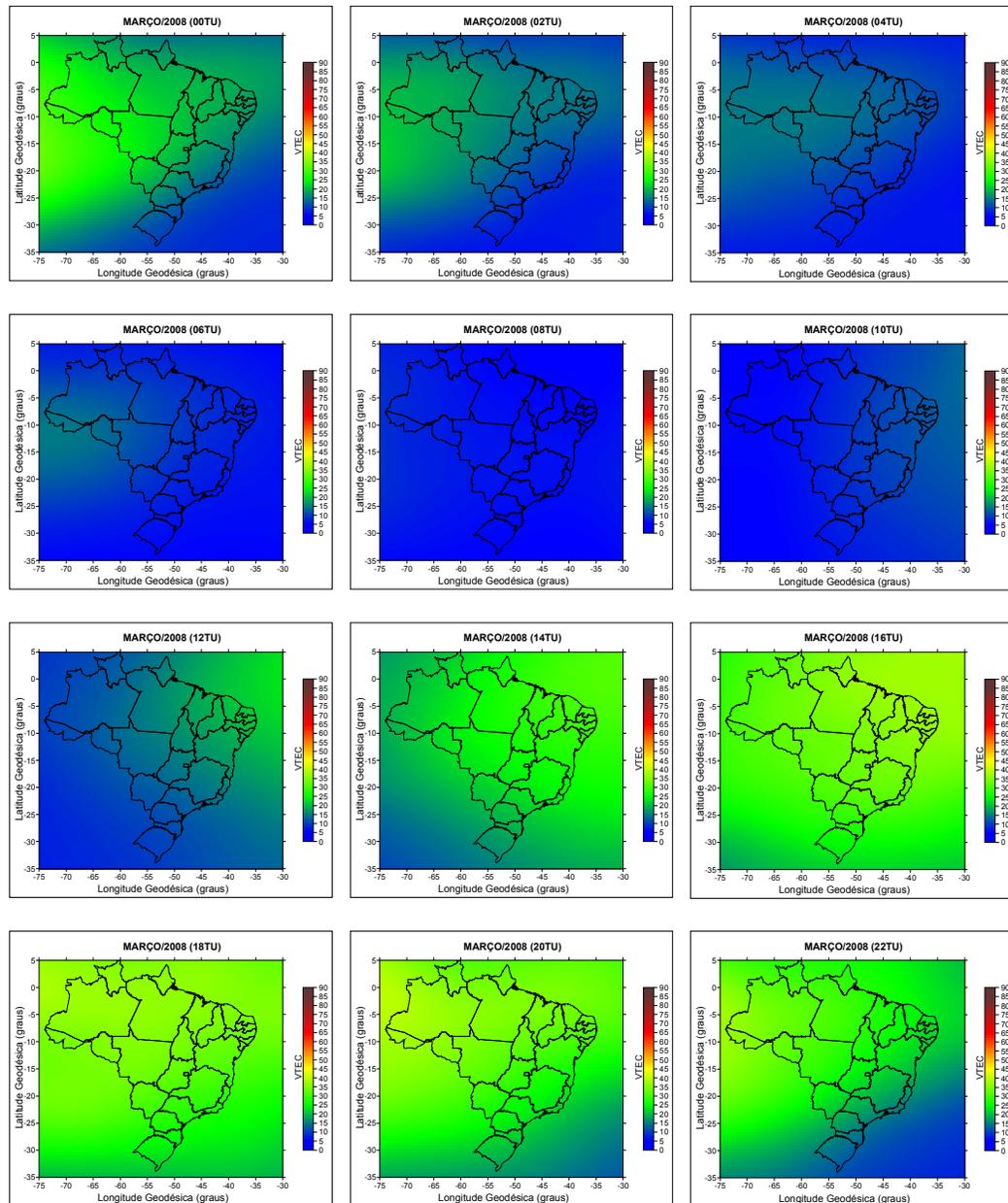


Figura 31. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (março/2008).

Analisando os mapas da Figura 31, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 38 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 4 a 5 TECU no horário de 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 32 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de abril de 2008.

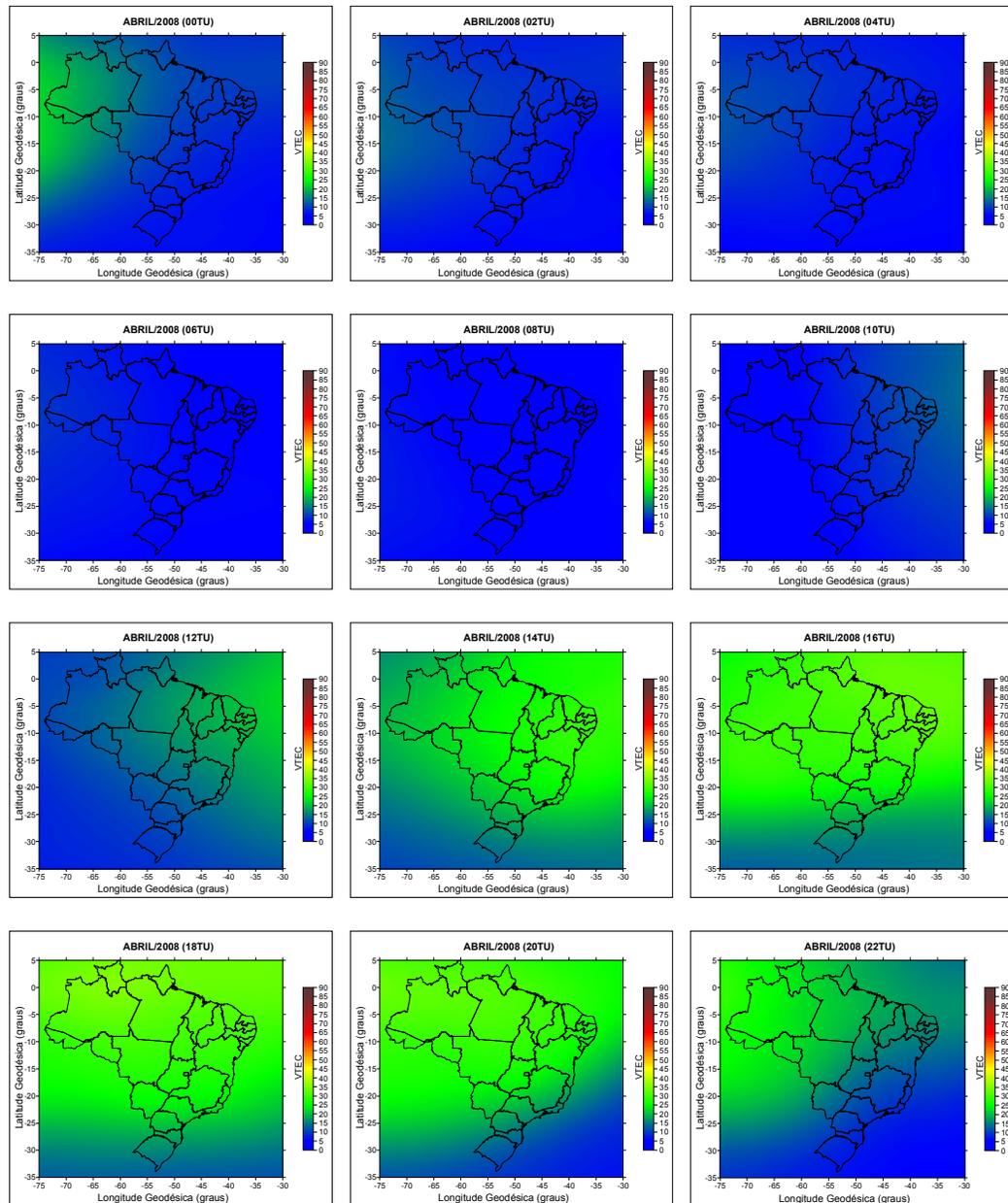


Figura 32. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (abril/2008).

Com base nos mapas da Figura 32, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 35 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 3 a 5 TECU no horário de 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 33 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de maio de 2008.

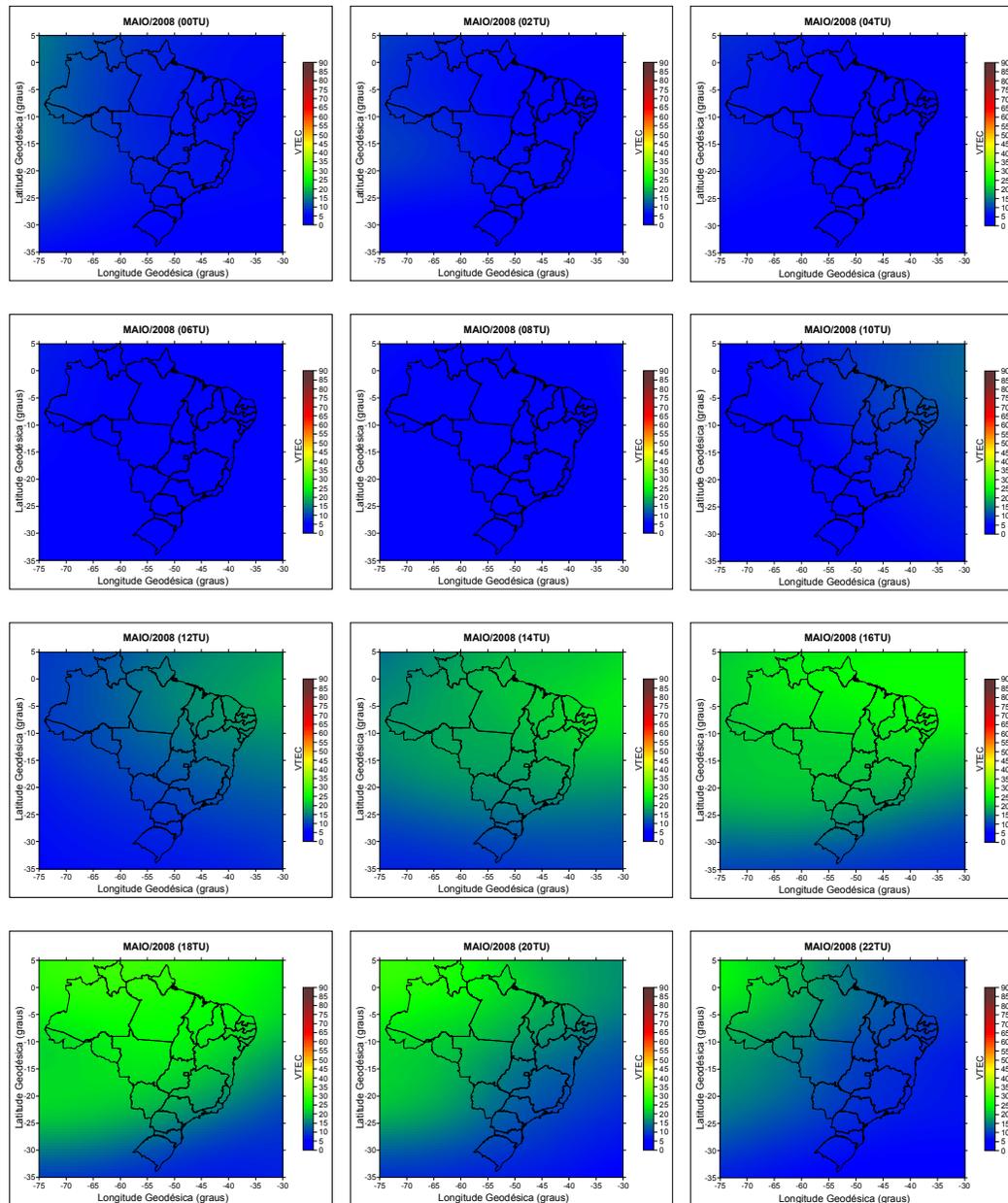


Figura 33. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (maio/2008).

Com análise nos mapas da Figura 33, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 25 a 29 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 3 a 4 TECU no horário de 4, 6 e 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 34 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de junho de 2008.

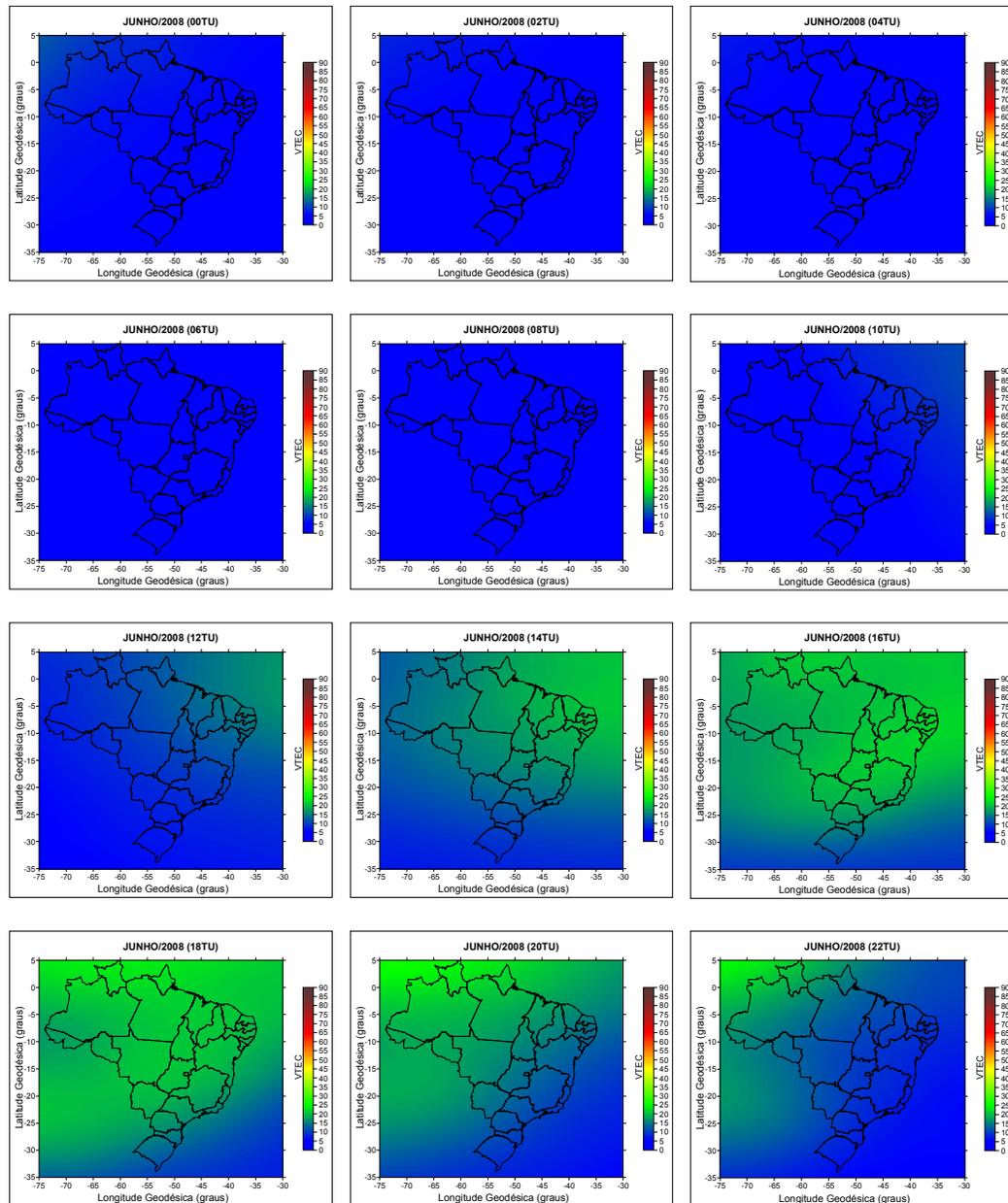


Figura 34. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (junho/2008).

De acordo com os mapas da Figura 34, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 22 a 24 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 2 a 3 TECU no horário de 4, 6 e 8 horas TU, em todo o território brasileiro.

A Figura 35 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de julho de 2008.

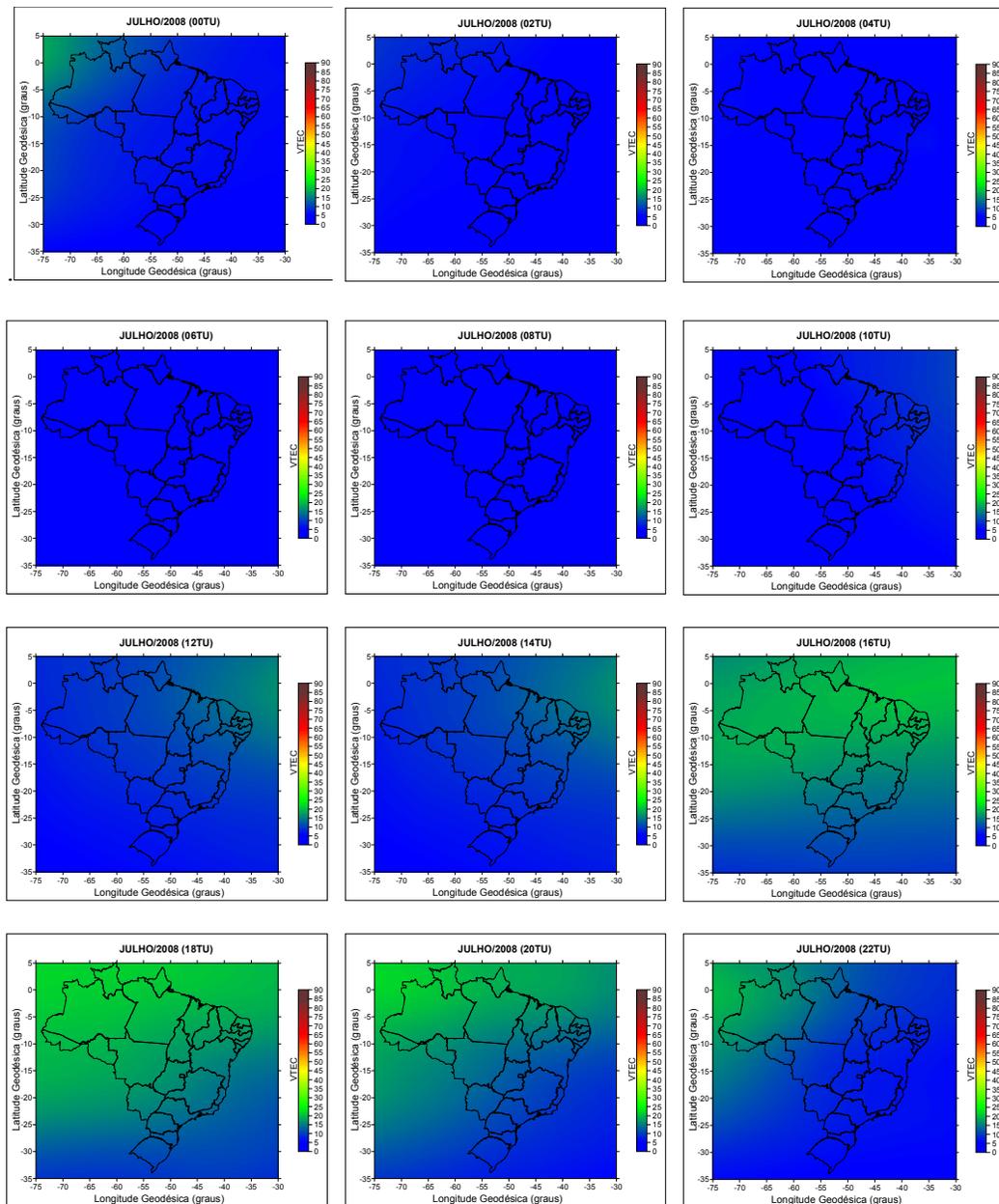


Figura 35. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (julho/2008).

Analisando os mapas da Figura 35, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 20 a 22 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 2 a 3 TECU no horário de 4, 6 e 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 36 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de agosto de 2008.

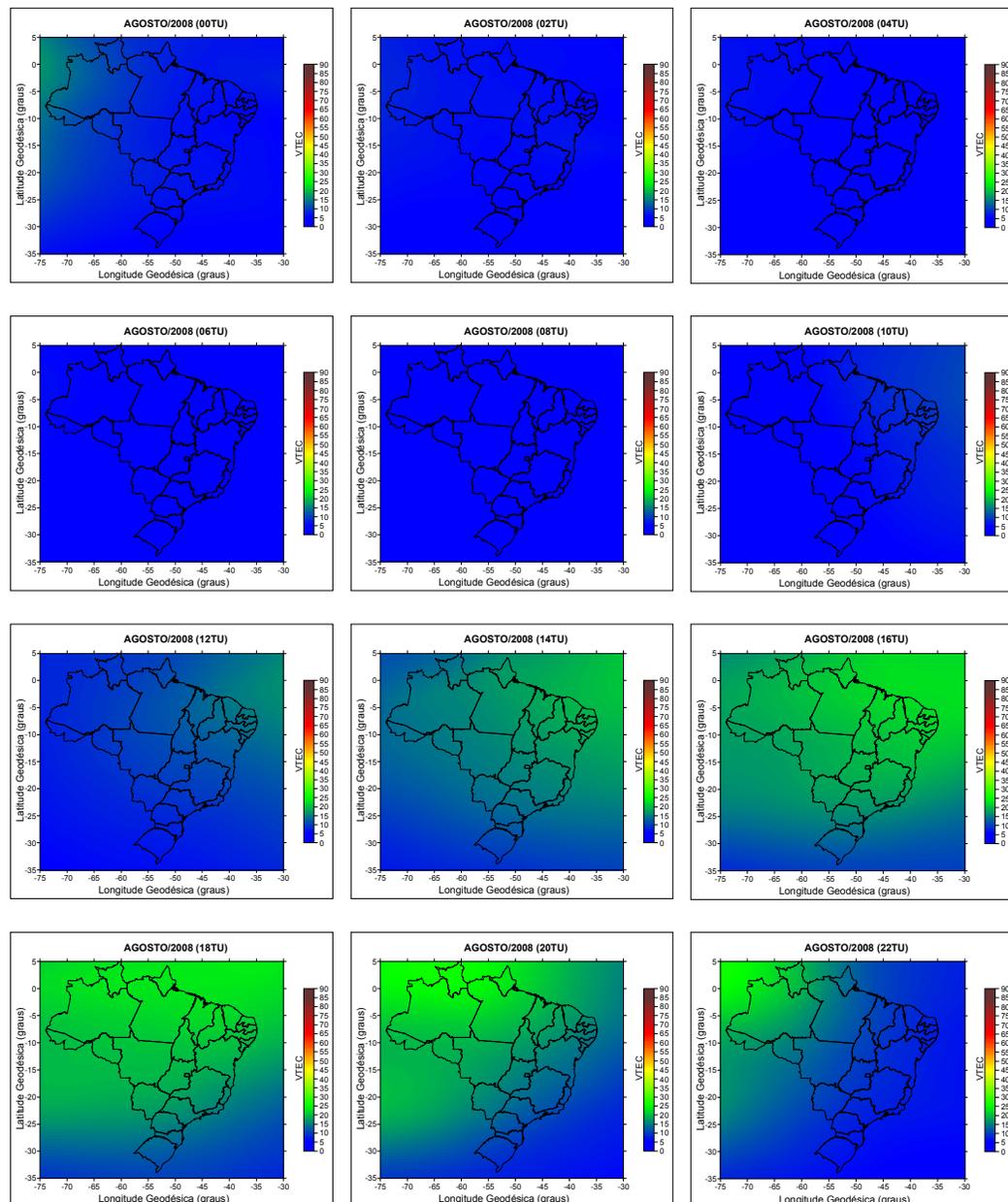


Figura 36. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (agosto/2008).

Com análise nos mapas da Figura 36, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 21 a 23 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 2 a 3 TECU no horário de 4, 6 e 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 37 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de setembro de 2008.

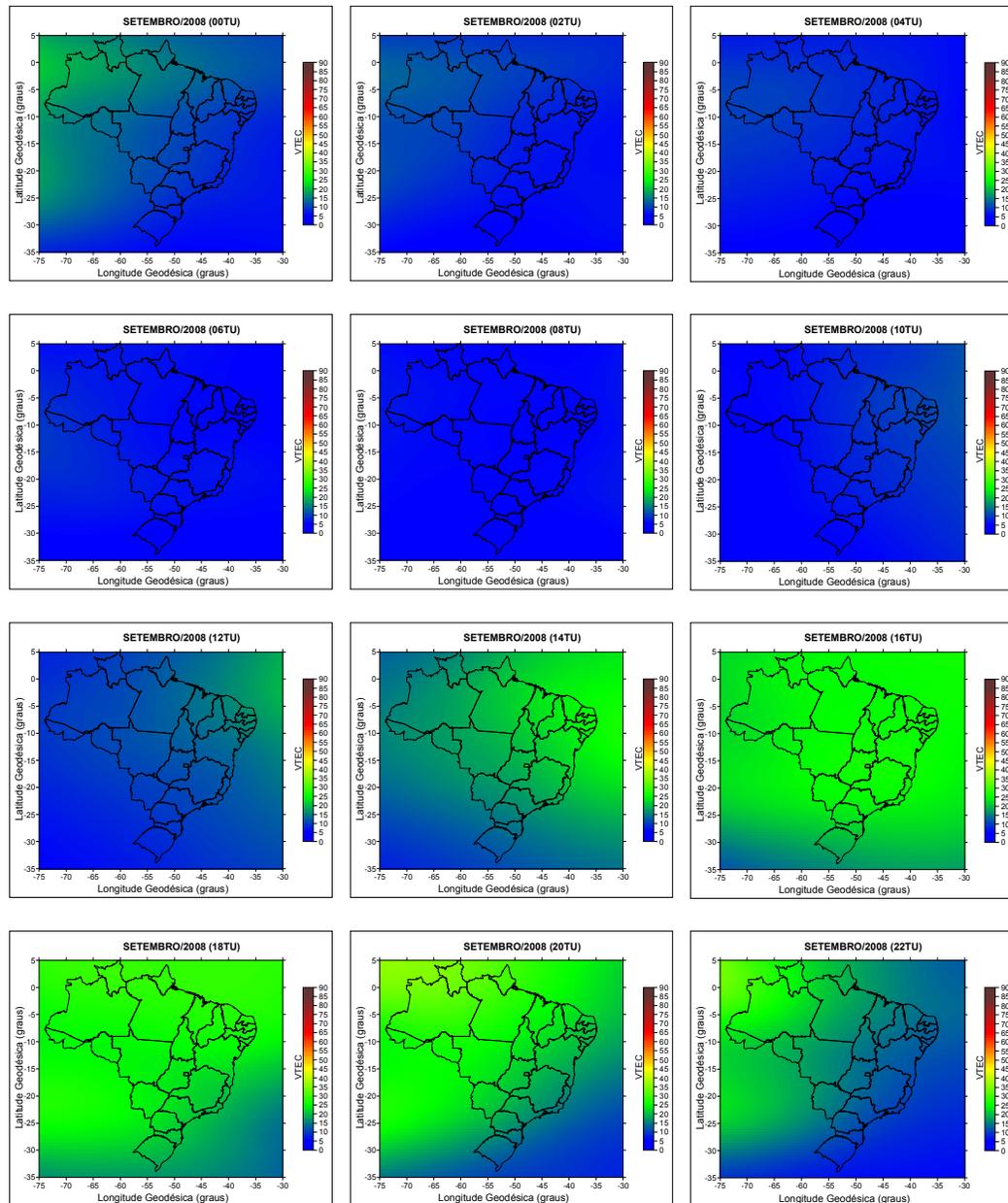


Figura 37. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (setembro/2008).

Com análise nos mapas da Figura 37, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 27 a 29 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 3 a 5 TECU no horário de 6 e 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 38 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de outubro de 2008.

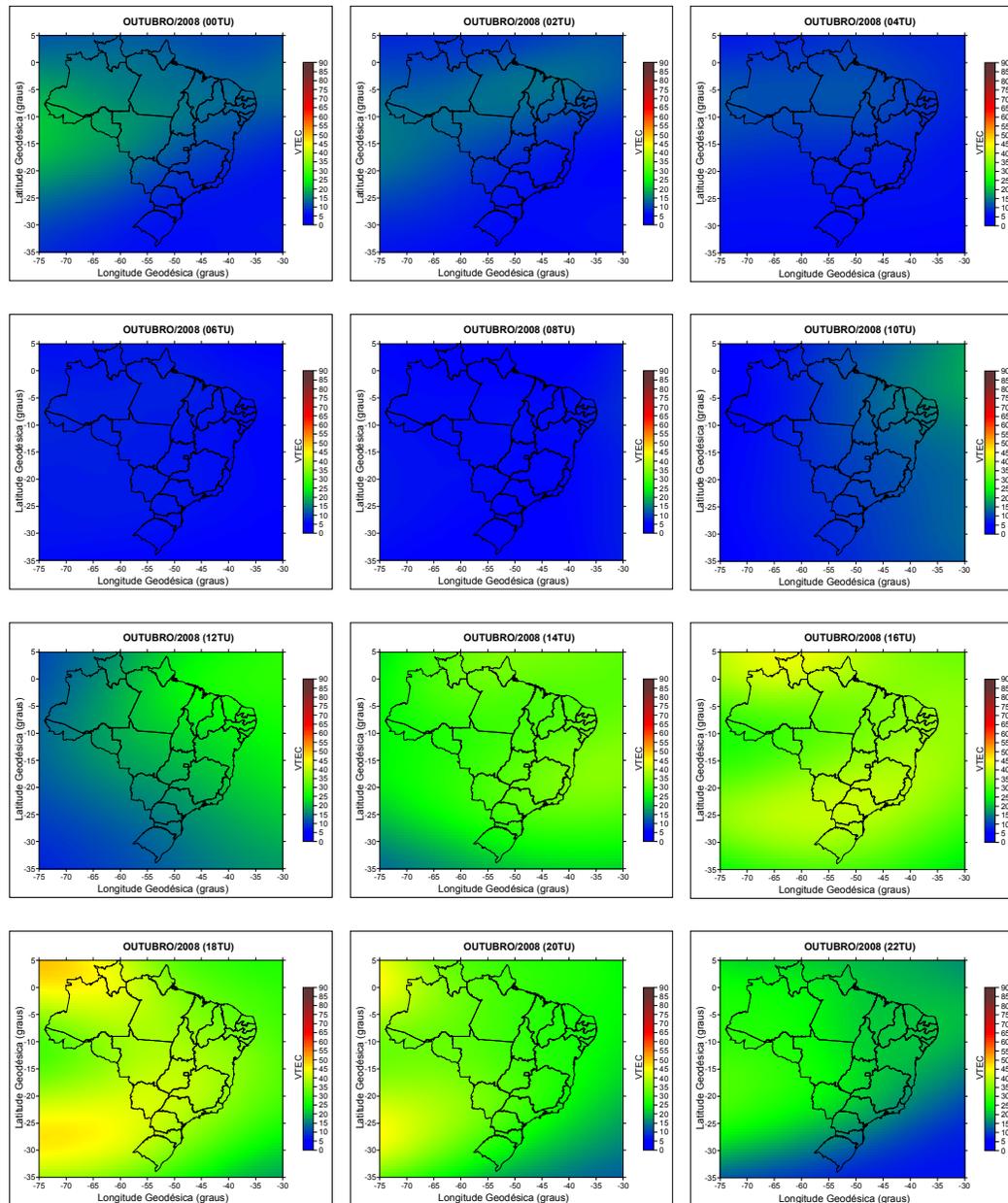


Figura 38. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (outubro/2008).

Analisando os mapas da Figura 38, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 40 a 49 TECU, sendo os valores mais altos na parte leste do território. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 4 a 6 TECU no horário de 8 horas TU, em todo o território nacional.

A Figura 39 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de novembro de 2008.

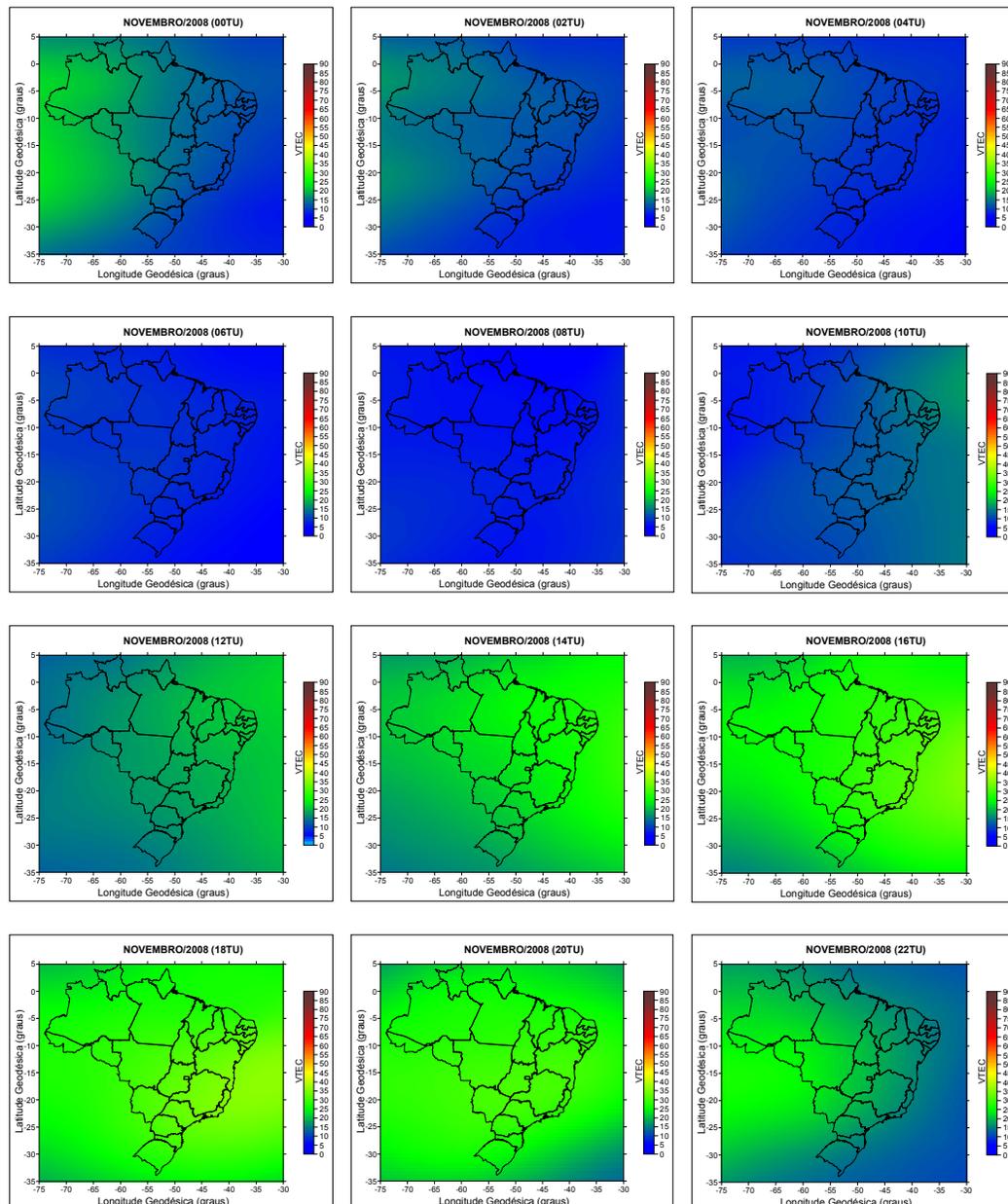


Figura 39. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (novembro/2008).

Analisando os mapas da Figura 39, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 18 horas TU com valores próximos de 33 a 36 TECU, sendo os valores mais altos na parte oeste do território. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 3 a 6 TECU no horário de 8 horas TU, em todo o território brasileiro.

A Figura 40 apresenta os mapas médios do VTEC para o território brasileiro, referente ao mês de dezembro de 2008.

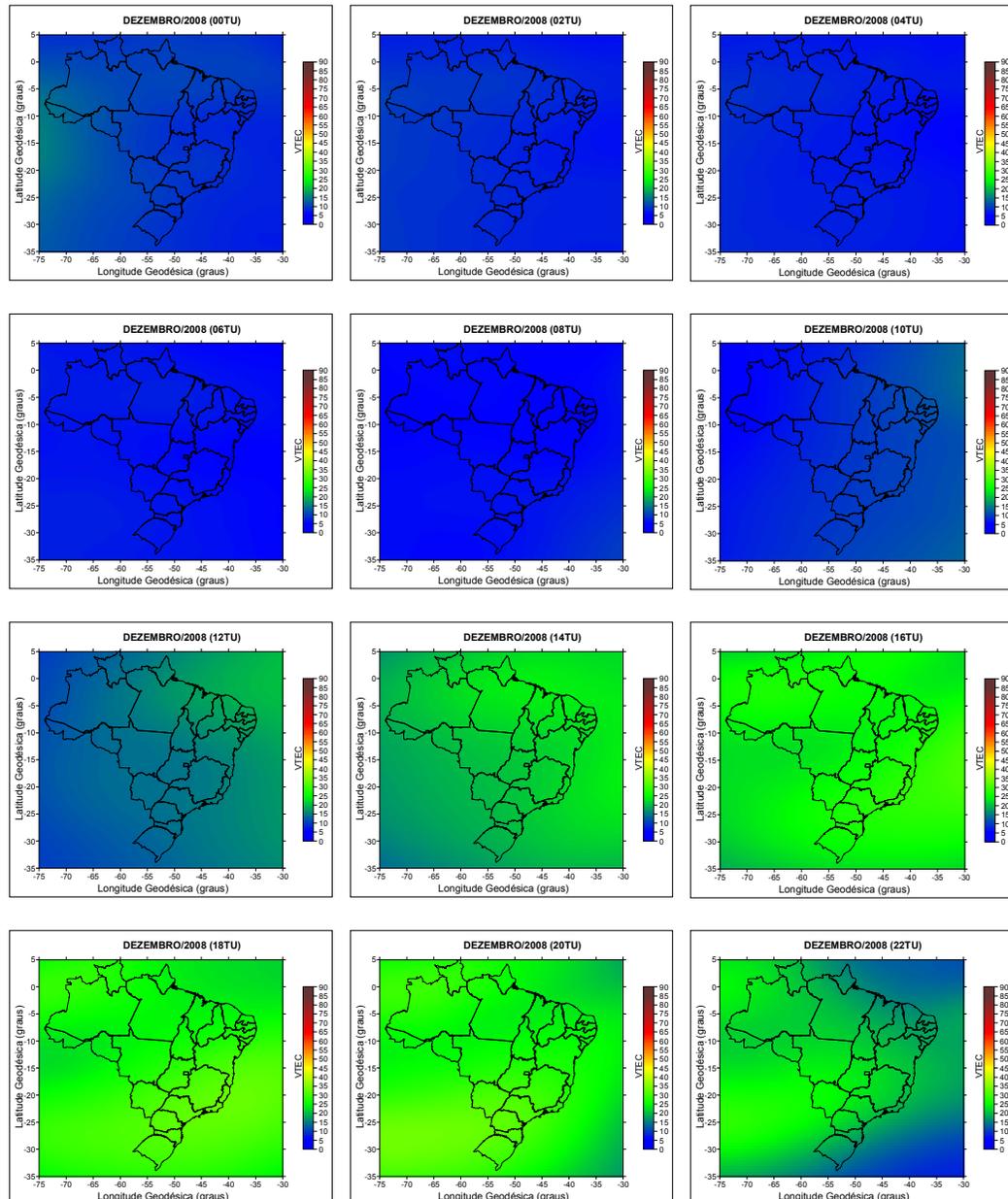


Figura 40. Mapas médios mensais do VTEC para o Brasil (dezembro/2008).

Analisando os mapas da Figura 40, pode-se verificar que os valores máximos de VTEC acontecem no horário das 16, 18 e 20 horas TU com valores próximos de 30 a 33 TECU. Já os valores mínimos de VTEC estão próximos de 4 a 5 TECU no horário de 8 horas TU, em todo o território brasileiro.

Com base nos mapas das Figuras 17 a 28, referente aos meses do ano de 2004, pode-se notar que o horário mais crítico, ou seja, os maiores valores de VTEC, acontecem às 18 horas TU (15 horas local), com valores variando próximos de 60 a 80 TECU e os menores valores do VTEC acontecem por volta das 8 horas TU (5 horas local) com valores variando próximos de 5 a 10 TECU.

De acordo com os mapas das Figuras 29 a 40, referente a todos os meses do ano de 2008, pode-se observar que o horário mais crítico, com valores variando nas proximidades de 25 a 35 TECU, e os menores valores do VTEC com predominância abaixo de 5 TECU, acontecem nos mesmos horários do ano de 2004, ou seja, 18 horas TU e 8 horas TU, respectivamente.

Analisando os mapas referentes a 2004 e 2008, pode-se verificar a diminuição dos valores do VTEC no ano de 2008, principalmente nos valores mais altos. No ano de 2004 obteve-se valores máximos próximo de 80 TECU, enquanto que no ano de 2008 os valores máximos não ultrapassaram de 35 TECU. Isto deve-se à redução no número de manchas solares. Para os valores mínimos, referente às 8 horas TU, não aconteceram muitas modificações, pois seus valores ficaram em torno de 5 TECU.

Pode-se notar que os meses que apresentam os maiores valores de VTEC, como também as maiores variações espaciais, são os meses próximos aos equinócios: março, abril, outubro e novembro. Já os menores valores e com baixa variação espacial de VTEC correspondem aos meses próximos do solstício de inverno, sendo principalmente os meses de junho e julho. Isto ocorre devido à direção dos raios solares.

Ainda analisando os mapas, pode-se verificar que praticamente não existem diferenças mensais no período de aproximadamente entre 4 a 10 horas TU. Neste período em todos os meses valores baixos de VTEC estão presentes em todo o território nacional, pois a atividade neste período da radiação solar não existe. Com isso, neste período, o impacto da ionosfera em um posicionamento com GPS seria

praticamente o mesmo em todo o território, não importando também o mês do ano em que está sendo realizado.

Para uma melhor análise do comportamento da ionosfera no período considerando os anos de 2004 e 2008, as Figuras 41 e 42 apresentam gráficos do VTEC (em TECU) em relação aos horários, cujos valores foram obtidos a partir de grids interpolados pelo método da krigagem, sendo a média dos seis dias geomagneticamente mais calmos de cada mês como anteriormente, neste caso para uma malha de  $0^{\circ} 5'$  de latitude x  $0^{\circ} 5'$  de longitude. Esta análise foi feita para os meses de janeiro, abril, julho e outubro, respectivamente para solstício de verão, equinócio de outono, solstício de inverno e equinócio de primavera, para as posições de  $(20^{\circ} 45'S; 42^{\circ} 50'W)$ ,  $(30^{\circ} 05'S; 51^{\circ} 05'W)$  e  $(00^{\circ} 05'N; 51^{\circ} 00'W)$ , ou seja, onde estão localizadas aproximadamente as cidades de Viçosa – MG, Porto Alegre – RS e Macapá – AP. A intenção é ilustrar e comparar a variação do VTEC nas regiões próximas ao equador (região equatorial), na de baixas latitudes e latitudes médias.

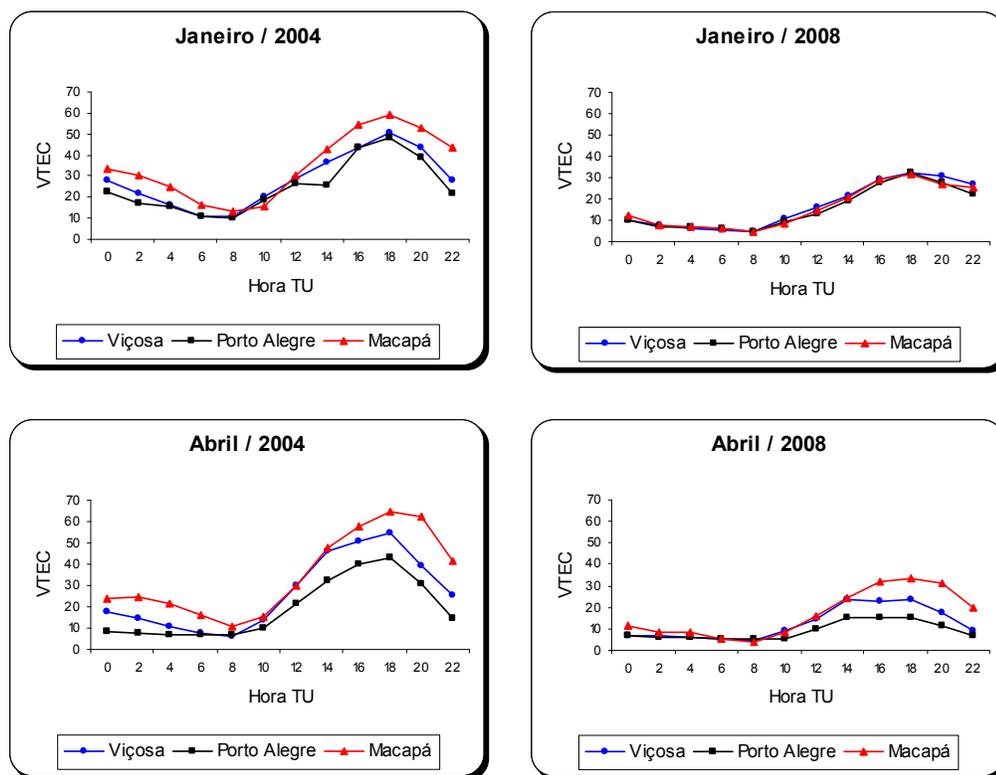


Figura 41. Valores médios diários do VTEC para Viçosa, Porto Alegre e Macapá (janeiro/2004, abril/2004, janeiro/2008 e abril/2008).

Observando a Figura 41, nota-se no período da tarde, maiores valores de VTEC nas três regiões, sendo o maior em Macapá, ou seja, na região mais próxima do equador geomagnético, com valor próximo a 65 TECU as 18 horas TU (abril/2004).

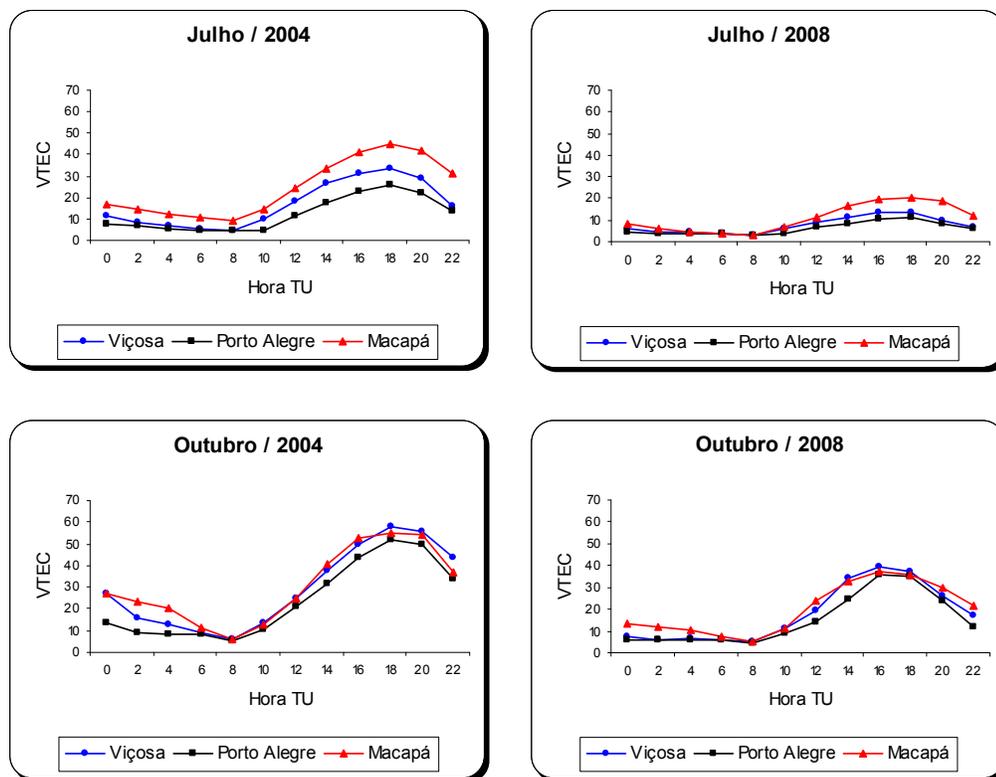


Figura 42. Valores médios mensais do VTEC para Viçosa, Porto Alegre e Macapá (julho/2004, outubro/2004, julho/2008 e outubro/2008).

Observa-se que o comportamento da curva do VTEC é similar ao modelo ionosférico de Klobuchar (KLOBUCHAR, 1987), (ver Apêndice 5), que é muito adequado para as regiões geográficas próximas ao equador. Nestes gráficos nota-se que a diferença do comportamento do VTEC entre as regiões geográficas da ionosfera é bem distinta.

Para obter a magnitude dos valores de VTEC em verdadeira grandeza referente as Figuras 41 e 42, consulte a Tabela A2.1 do Apêndice 2.

Para mostrar como é significativa a mudança do impacto proporcionado pela ionosfera nos anos de 2004 e 2008, a Figura 43 mostra um conjunto de mapas de diferenças de valores de VTEC entre os mapas dos meses de abril de 2004 e abril de 2008.

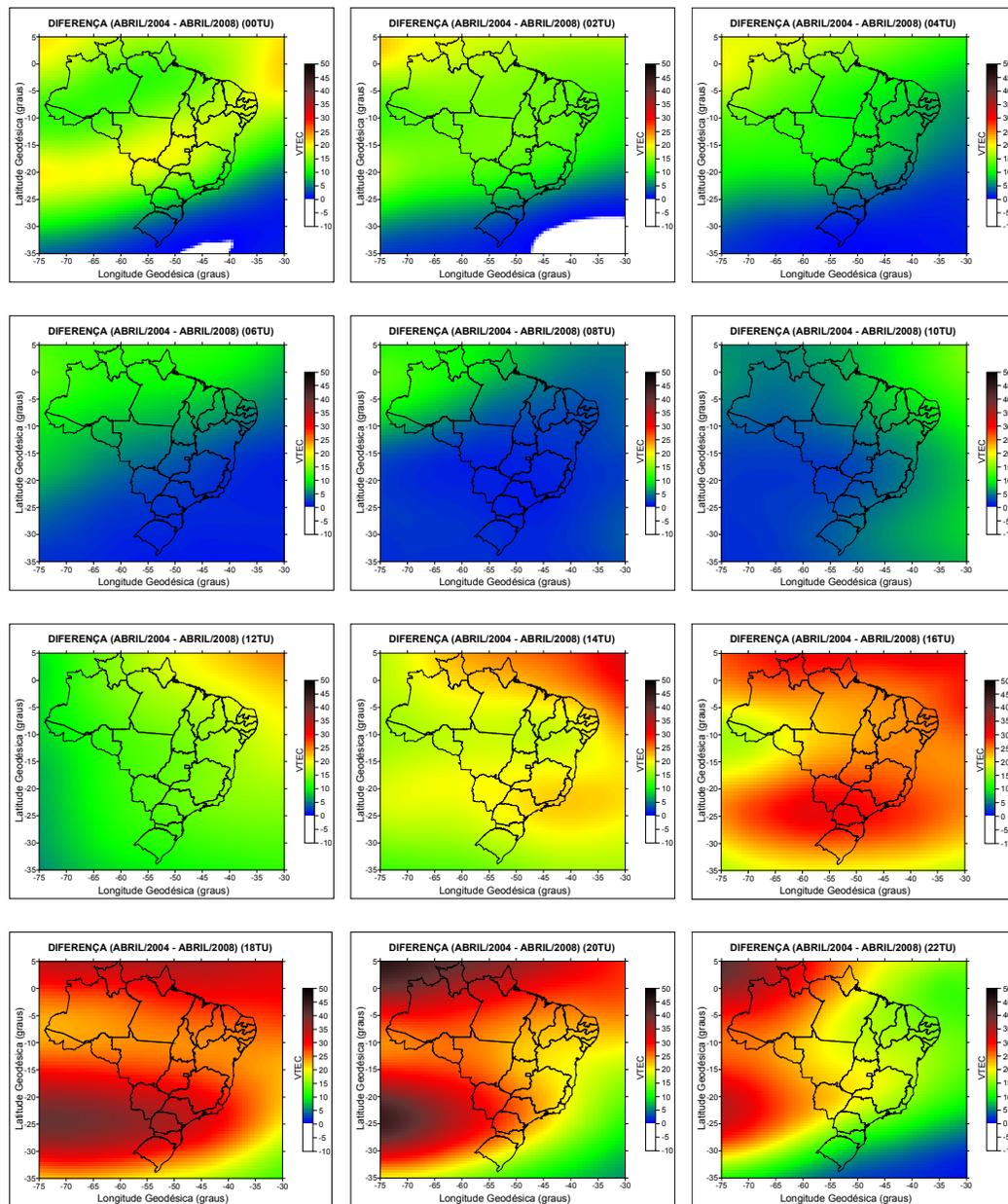


Figura 43. Mapas de diferenças do VTEC entre os meses de abril/2004 e abril/2008.

Observando os mapas da Figura 43, pode-se verificar que as maiores diferenças entre esses anos, referente ao mês de abril ocorrem principalmente no horário da tarde, ou seja, das 16 as 20 horas TU em todo o território brasileiro, com valores

próximos a 45 TECU, resultado da maior atividade solar neste período. Já as menores diferenças entre esses anos ocorrem nos períodos entre as 6 e 10 horas TU, com valores próximos de 1 a 5 TECU. Pode-se notar que nesses horários praticamente não existem diferenças significativas, devido a ausência diária da radiação solar. Nos mapas de diferenças referentes ao horários de 0 e 2 horas TU nota-se uma diferença negativa, ou seja, valores de VTEC maiores no ano de 2008 em relação a 2004. Essa diferença é insignificante, pois esses valores não ultrapassaram 1 TECU.

Os restantes dos mapas médios mensais do VTEC para o território brasileiro referentes aos anos de 2005 a 2007, assim como também os dos anos 2004 e 2008, poderão ser observados em um CD-ROM no Apêndice 4.

Com o objetivo de verificar qual é a tendência da variabilidade do VTEC no território brasileiro, separou-se os valores de VTEC em sub-áreas, com o intuito de analisar se existem áreas com maior variabilidade do que as outras, através de mapas indicadores.

Mapas indicadores são empregados para mostrar como esses valores se distribuem considerando apenas dois intervalos de valores. Basicamente, em um mapa indicador apresentam-se as posições onde os valores observados estão acima e abaixo de um limite estabelecido. É possível, para uma mesma área elaborar vários mapas indicadores, bastando para isso mudar o limite.

A Figura 44 mostra os mapas indicadores gerados para abril de 2004 as 8 TU.

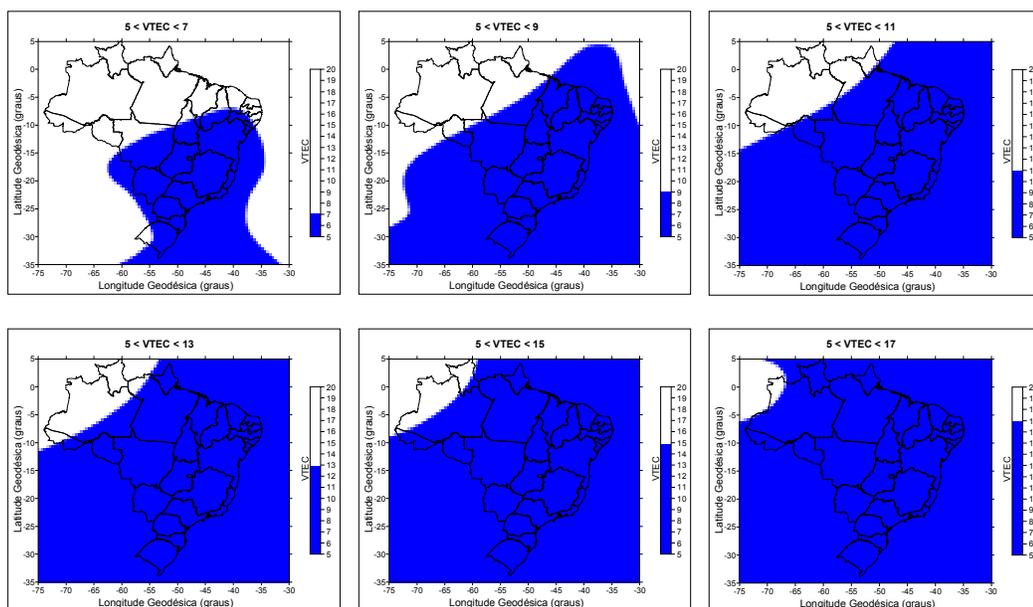


Figura 44. Mapas indicadores de VTEC de abril/2004 (8 TU).

A Tabela 19 descreve uma análise estatística de todos os pontos utilizados na geração do mapa referente a abril/2004 (8 TU).

Tabela 19. Análise estatística de abril/2004 (8 TU).

Característica	Valor
VTEC Mínimo:	5,87
VTEC 25%:	6,74
VTEC Mediana:	7,90
VTEC 75%:	9,50
VTEC Máximo:	19,20
VTEC Médio:	13,33
VTEC Desvio Padrão:	3,13
VTEC Variância:	9,77
VTEC Coef. de Variação:	0,35
VTEC Coef. de Skewness:	1,58
VTEC RMS:	9,46

Pela Tabela 19 pode-se verificar que 75% dos valores do VTEC (terceiro quartil) estão abaixo dos 9,5 TECU referente a este mapa, ou seja, valores de VTEC abaixo da média em quase todo o território nacional. Como a média do VTEC é maior que a mediana, a distribuição é assimétrica à direita, devido a valores extremos.

A Figura 45 apresenta os mapas indicadores gerados para abril de 2004 as 20 TU.

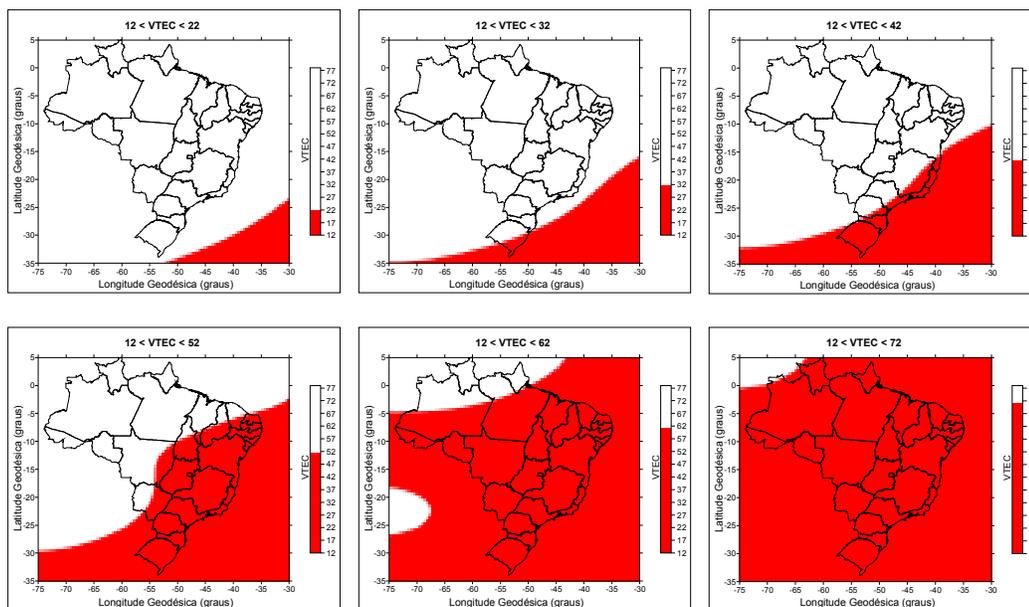


Figura 45. Mapas indicadores de VTEC de abril/2004 (20 TU).

A Tabela 20 descreve uma análise estatística de todos os pontos utilizados na geração do mapa referente a abril/2004 (20 TU).

Tabela 20. Análise estatística de abril/2004 (20 TU).

Característica	Valor
VTEC Mínimo:	12,20
VTEC 25%:	38,31
VTEC Mediana:	52,64
VTEC 75%:	58,26
VTEC Máximo:	77,20
VTEC Médio:	65,00
VTEC Desvio Padrão:	14,94
VTEC Variância:	223,13
VTEC Coef. de Variação:	0,31
VTEC Coef. de Skewness:	-0,58
VTEC RMS:	50,56

Pela Tabela 20 pode-se verificar que 75% dos valores do VTEC (terceiro quartil) estão abaixo dos 58,3 TECU referente a este mapa, ou seja, valores de VTEC abaixo da média em quase todo o território nacional. A distribuição é assimétrica à direita, devido a média do VTEC ser maior que a mediana.

A Figura 46 apresenta os mapas indicadores gerados para abril de 2008 as 8 TU.

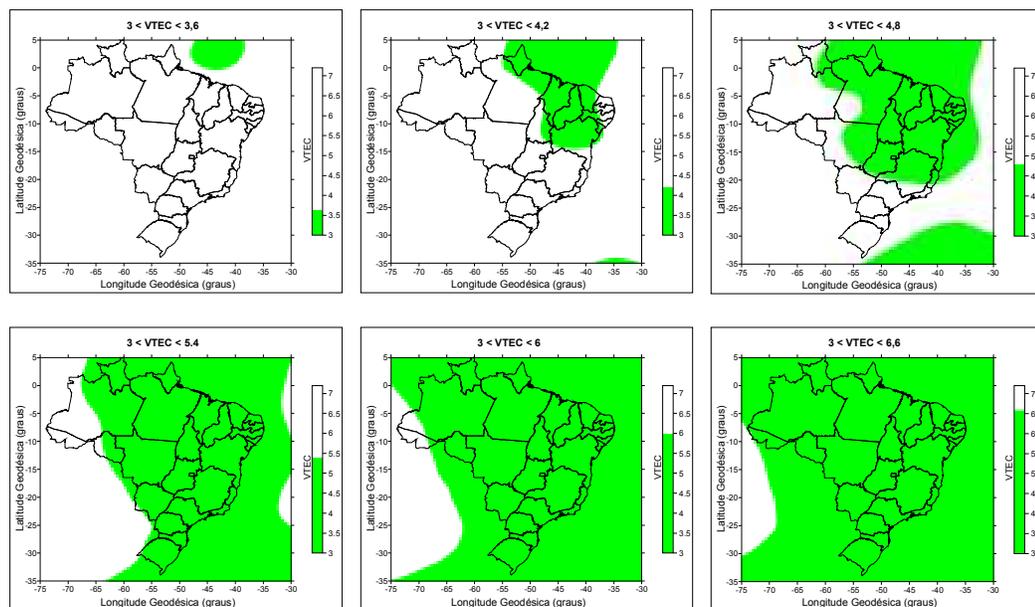


Figura 46. Mapas indicadores de VTEC de abril/2008 (8 TU).

A Tabela 21 descreve uma análise estatística de todos os pontos utilizados na geração do mapa referente a abril/2008 (8 TU).

Tabela 21. Análise estatística de abril/2008 (8 TU).

Característica	Valor
VTEC Mínimo:	3,41
VTEC 25%:	4,47
VTEC Mediana:	5,00
VTEC 75%:	5,63
VTEC Máximo:	7,20
VTEC Médio:	3,79
VTEC Desvio Padrão:	0,83
VTEC Variância:	0,70
VTEC Coef. de Variação:	0,16
VTEC Coef. de Skewness:	0,38
VTEC RMS:	5,16

Pela Tabela 21, pode-se verificar que a média dos valores do VTEC é menor que do primeiro quartil (25%) que estão abaixo dos 4,5 TECU referente a este mapa, ou seja, valores de VTEC acima da média em grande parte do território nacional.

A Figura 47 apresenta os mapas indicadores gerados para abril de 2008 as 8 TU.

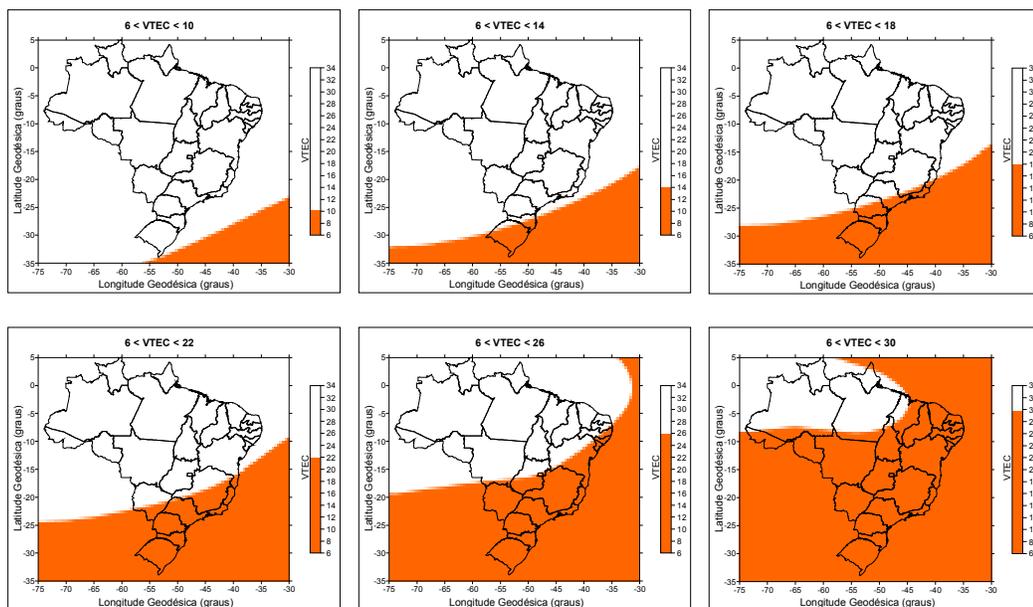


Figura 47. Mapas indicadores de VTEC de abril/2008 (20 TU).

A Tabela 22 descreve uma análise estatística de todos os pontos utilizados na geração do mapa referente a abril/2008 (20 TU).

Tabela 22. Análise estatística de abril/2008 (20 TU).

Característica	Valor
VTEC Mínimo:	6,40
VTEC 25%:	15,40
VTEC Mediana:	25,31
VTEC 75%:	29,10
VTEC Máximo:	33,10
VTEC Médio:	26,70
VTEC Desvio Padrão:	7,88
VTEC Variância:	65,12
VTEC Coef. de Variação:	0,35
VTEC Coef. de Skewness:	-0,54
VTEC RMS:	23,81

Pela Tabela 22 pode-se verificar que a média dos valores do VTEC está bem próxima do valor da mediana que está entre 25 e 26 TECU referente a este mapa, ou seja, os valores de VTEC estão bem distribuídos no território nacional. Os valores tendem a apresentar uma distribuição simétrica.

As Figuras 48 e 49 ilustram a dispersão dos dados do VTEC entre abril de 2004 e abril de 2008, para as 8 TU e as 20 TU respectivamente, bem como a curva de regressão e o coeficiente de correlação.

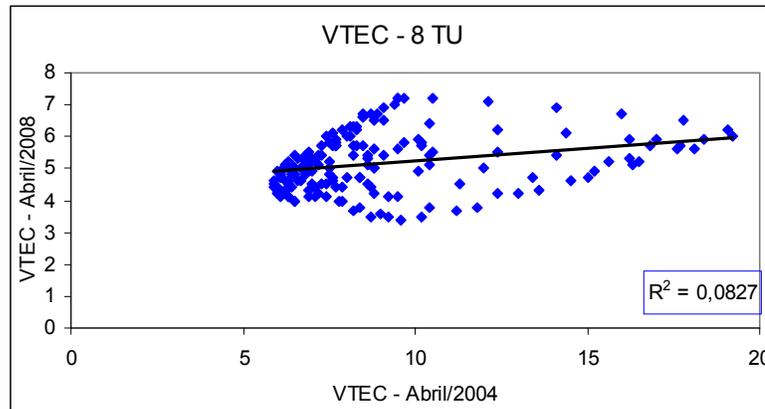


Figura 48. Gráfico de dispersão de VTEC entre abril/2004 e abril/2008 (8 TU).

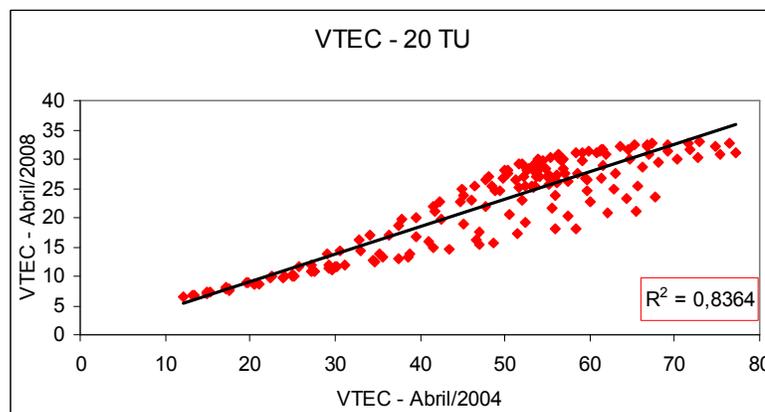


Figura 49. Gráfico de dispersão de VTEC entre abril/2004 e abril/2008 (20 TU).

Pelas Figuras 48 e 49 pode-se verificar que há uma alta correlação no horário das 20 horas TU ( $r = 0,287$ ) e uma baixa no horário das 8 horas TU ( $r = 0,914$ ).

Como nos horários próximos aos picos de atividade solar máxima (18 TU) esses valores de VTEC são maiores e seguem uma tendência, independente do ciclo solar. Já nos valores das 8 horas TU, os valores do VTEC são muitos baixos e estão livres da atividade solar e, com isso não seguem uma tendência.

Na Figura 50, apresentam-se as discrepâncias ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$ ) entre as coordenadas cartesianas tridimensionais estimadas para a estação VICO no ITRF 2000 e as tomadas como verdadeiras (VICO-RBMC) no SIRGAS 2000, para cada dia referente aos meses de janeiro, abril, julho e outubro do ano de 2004. As coordenadas estimadas para a estação VICO tem como observáveis as pseudodistâncias pelo código C/A, coletadas em sessões de 24 horas, sendo este valor, a média dos valores estimados para cada época (15 segundos).

Verifica-se que no mês de janeiro de 2004, as maiores discrepâncias em X, Y e Z atingiram aproximadamente 1,19m (dia 28), 1,19m (dia 20) e 1,23m (dia 26), respectivamente. Já os menores valores atingiram 0,01m (dia 7), 0,01m (dia 17) e 0,01m (dia 2), respectivamente em X, Y e Z.

Para o mês de abril de 2004, verifica-se que as maiores discrepâncias atingiram 0,91m (dia 96), 0,86m (dia 114) e 1,50m (dia 93) e as menores discrepâncias atingiram 0,02m (dia 107), 0,03m (dia 111) e 0,01m (dia 102), respectivamente em X, Y e Z.

No mês de julho de 2004, pode-se notar que as maiores e menores discrepâncias referentes as coordenadas X, Y e Z são respectivamente, 1,03m (dia 207), 1,02m (dia 207) e 0,54m (dia 199); 0,04m (dia 201), 0,40m (dia 210) e 0,06m (dia 204).

Pelo gráfico, referente ao mês de outubro de 2004, verifica-se que as maiores discrepâncias atingem os valores de 1,18m (dia 284), 1,50m (dia 304) e 1,49 (dia 303), e as menores atingem valores de 0,02m (dia 295), 0,02m (dia 288) e 0,01m (dia 277), respectivamente nas coordenadas X, Y e Z.

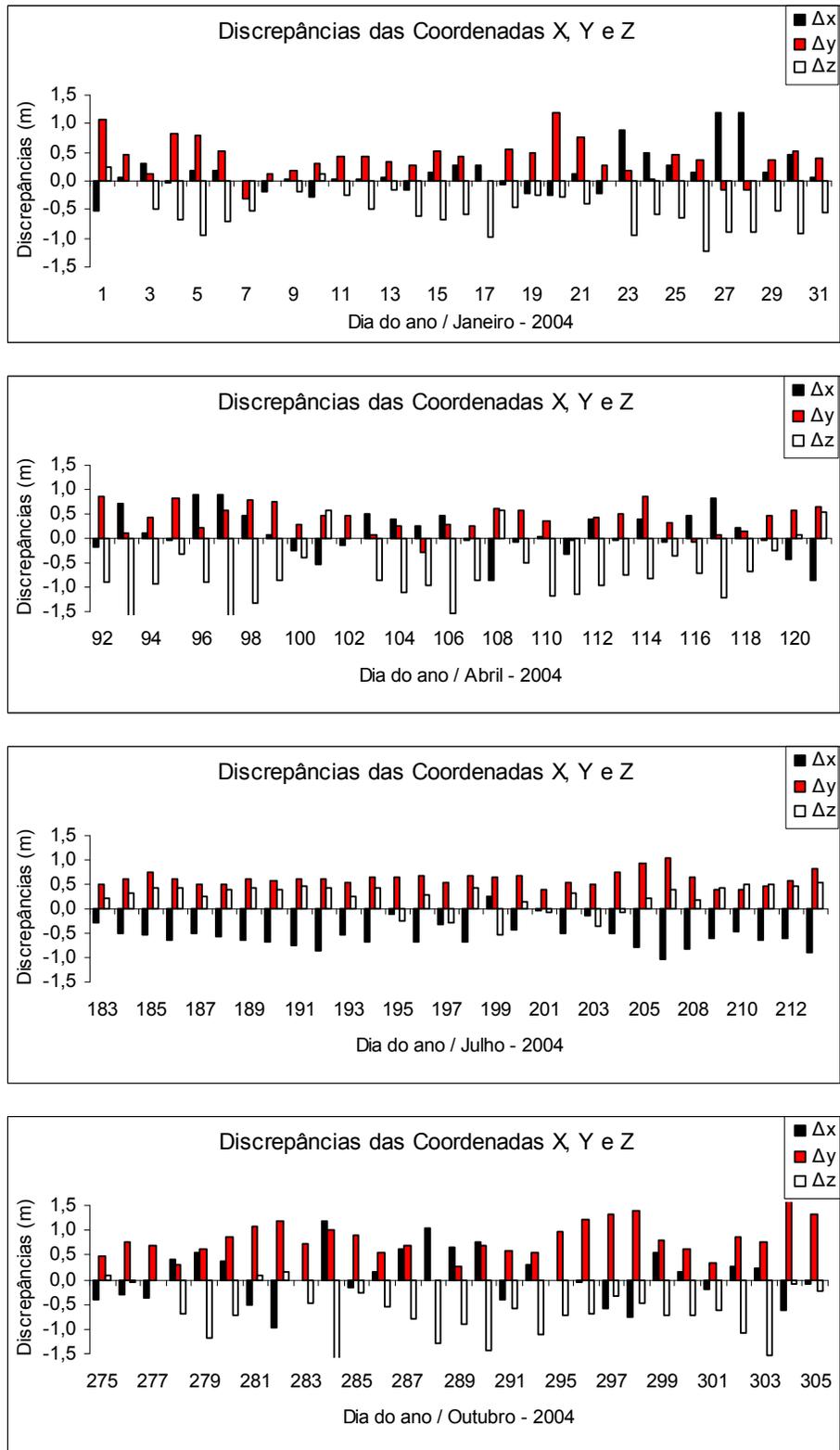


Figura 50. Discrepâncias das coordenadas X, Y e Z da estação VICO - 2004.

Na Figura 51, apresentam-se as resultantes das discrepâncias  $R = (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)^{0,5}$  entre as coordenadas cartesianas tridimensionais estimadas para a estação VICO no ITRF 2000 e as tomadas como verdadeiras (VICO-RBMC) no SIRGAS 2000, para cada dia referente os meses de janeiro, abril, julho e outubro do ano de 2004.

Para o mês de janeiro de 2004, verifica-se que a maior resultante atinge 1,49m (dia 27), e a menor atinge 0,22m (dia 8).

No mês de abril de 2004, a maior e a menor resultante atinge um valor aproximadamente de 1,91m (dia 97) e 0,47m (dia 102), respectivamente.

Para o mês de julho de 2004 a maior e a menor resultante apresenta um valor de 1,51m (dia 207) e 0,42m (dia 201), respectivamente.

No mês de outubro de 2004, a maior e a menor resultante atinge um valor aproximadamente de 1,74m (dia 304) e 0,62m (dia 275).

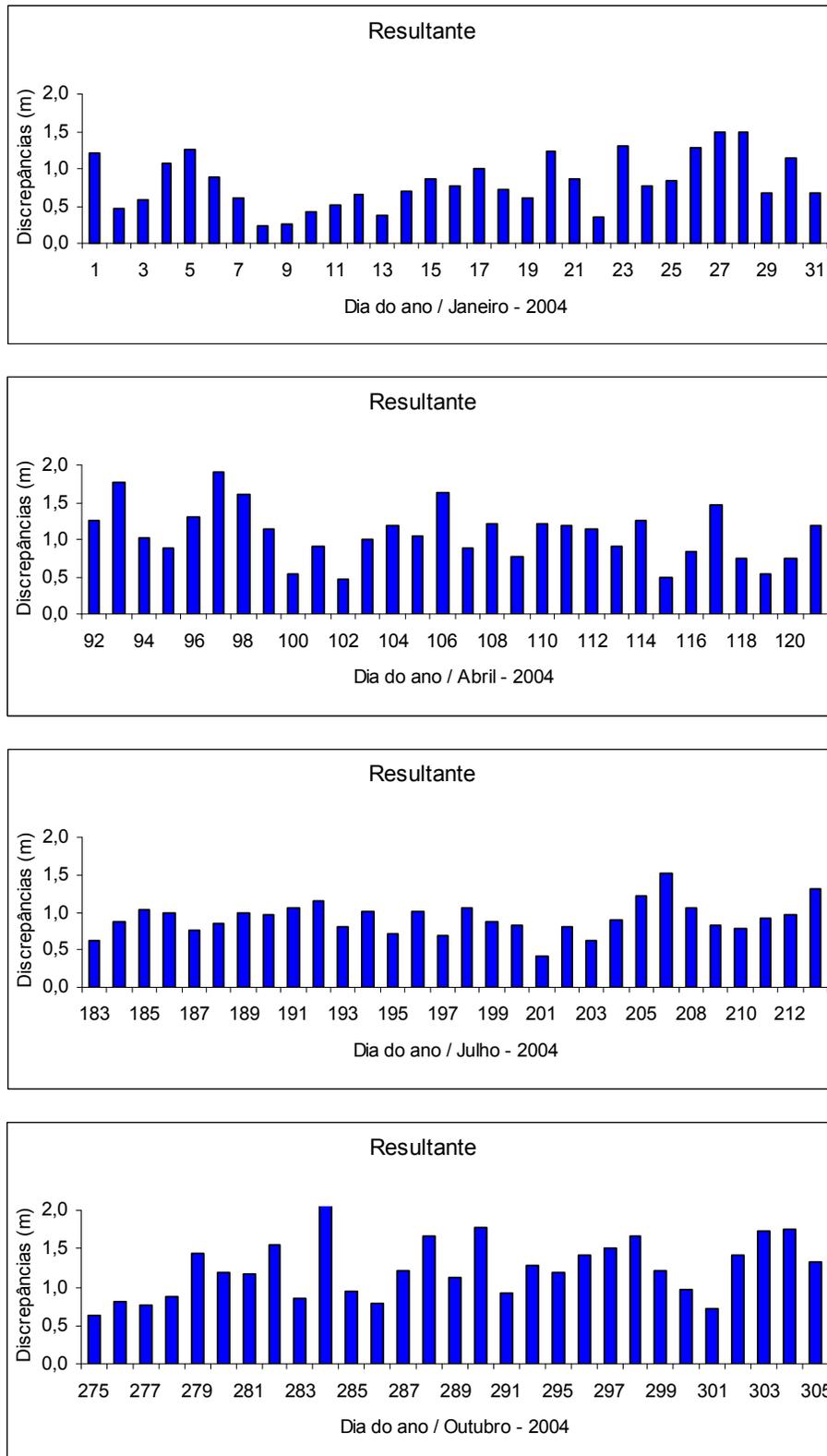


Figura 51. Resultante das discrepâncias da estação VICO - 2004.

A precisão das coordenadas estimadas para cada dia referente aos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2004 é apresentada na Figura 52. Pois o desvio padrão é o parâmetro utilizado para medir o grau de dispersão das coordenadas de todas as épocas em relação a sua média.

Verifica-se que nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2004 os desvios em X, Y e Z atingem valores próximos de 0,10 m, 0,09m e 0,07m, respectivamente. Exceto para a dia 291, referente ao mês de outubro, que apresenta os desvios em X,Y e Z próximos de 0,11m, 0,10m e 0,07m, respectivamente.

Todas as precisões assim como as coordenadas estimadas da estação VICO referente aos 4 meses do ano de 2004 encontram-se nas Tabelas A3.1, A3.2, A3.3 e A3.4 do Apêndice 3.

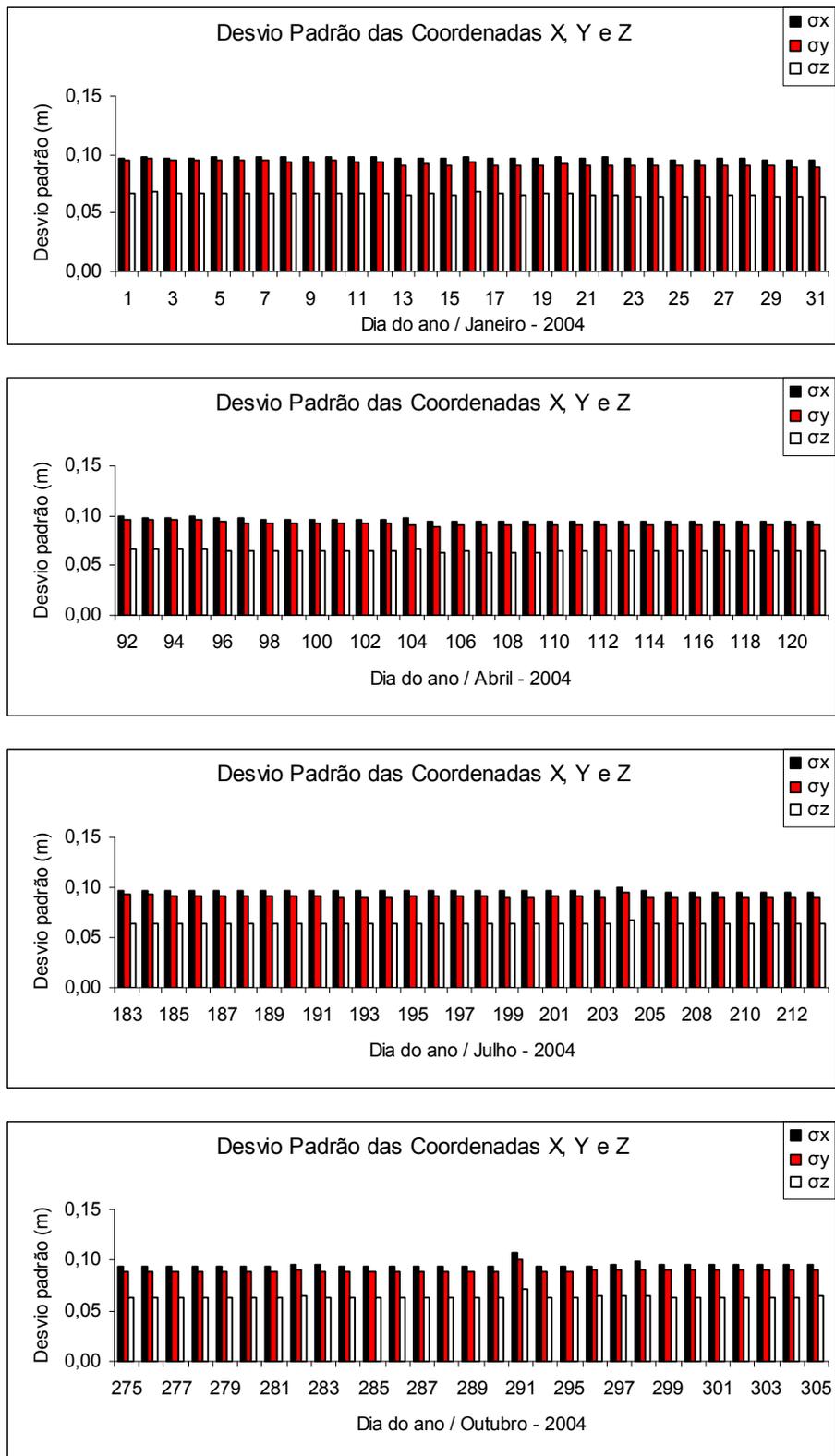


Figura 52. Desvio padrão das coordenadas X, Y e Z da estação VICO - 2004.

As discrepâncias ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$ ) entre as coordenadas cartesianas tridimensionais estimadas para a estação VICO no ITRF 2005 e as tomadas como verdadeiras (VICO-RBMC), também no ITRF 2005, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro referente ao ano de 2008 são apresentadas na Figura 53. As coordenadas estimadas para a estação VICO tem como observáveis as pseudodistâncias pelo código C/A, coletadas em sessões de 24 horas, sendo este valor a média dos valores estimados para cada época (15 segundos).

Verifica-se que no mês de janeiro de 2008, as maiores discrepâncias em X, Y e Z atingem aproximadamente 0,97m (dia 21), 0,59m (dia 2) e 0,88m (dia 21), respectivamente. Já os menores valores atingem 0,01m (dia 27), 0,01m (dia 20) e 0,02m (dia 3), respectivamente em X, Y e Z.

Para o mês de abril de 2008, verifica-se que as maiores discrepâncias atingem 0,58m (dia 116), 0,43m (dia 117) e 0,42m (dia 98) e as menores discrepâncias atingem 0,02m (dia 117), 0,02m (dia 107) e 0,01m (dia 96), respectivamente em X, Y e Z.

No mês de julho de 2008, pode-se notar que as maiores e menores discrepâncias referentes as coordenadas X, Y e Z são respectivamente, 0,70m (dia 197), 0,47m (dia 184) e 0,37m (dia 198); 0,27m (dia 208), 0,19m (dia 208) e 0,19m (dia 208).

Pelo gráfico, referente ao mês de outubro de 2004, verifica-se que as maiores discrepâncias atingem os valores de 0,57m (dia 286), 0,45m (dia 299) e 0,44 (dia 297), e as menores atingem valores de 0,01m (dia 280), 0,01m (dia 293) e 0,00m (dia 294), respectivamente nas coordenadas X, Y e Z.

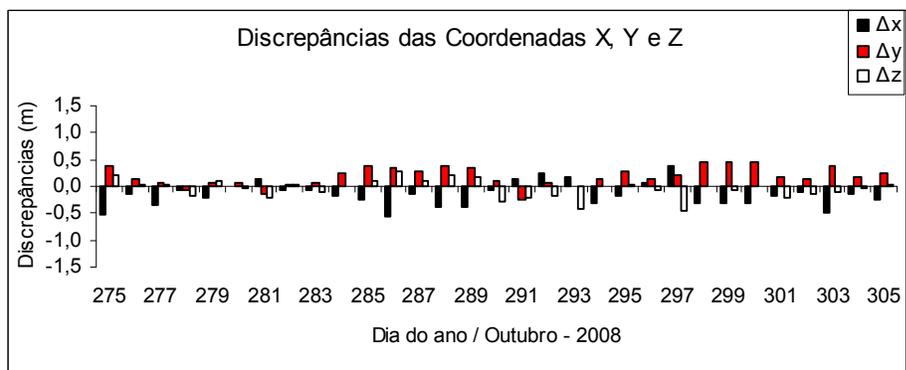
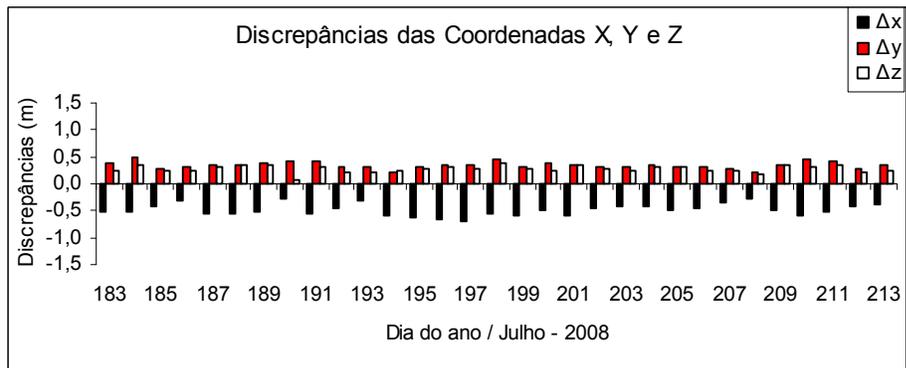
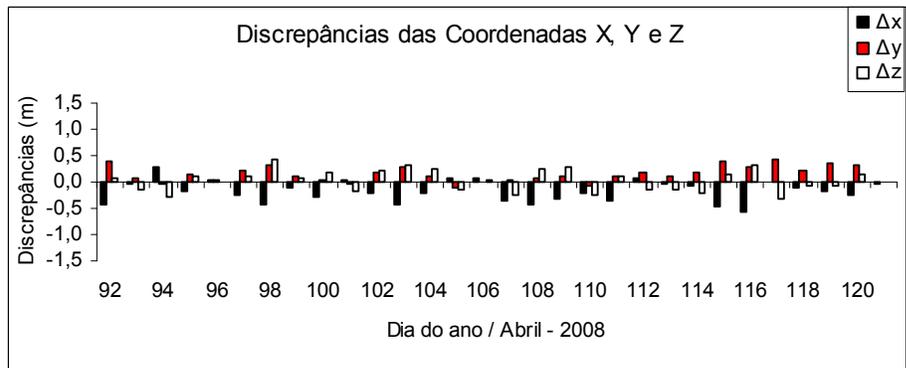
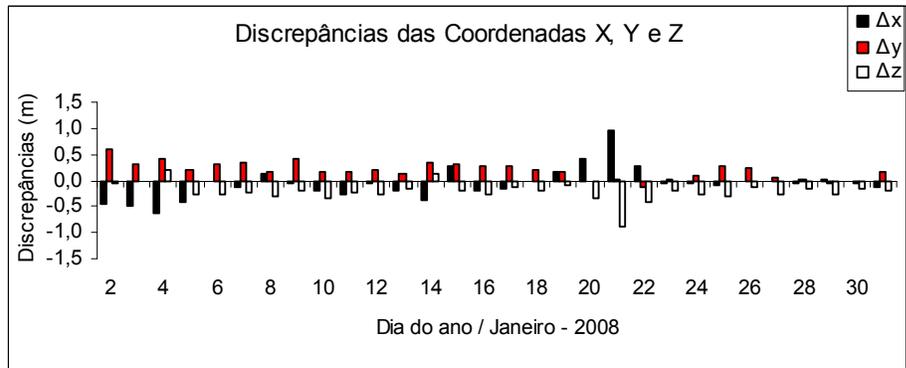


Figura 53. Discrepâncias das coordenadas X, Y e Z da estação VICO - 2008.

Na Figura 54, apresentam-se as resultantes das discrepâncias (R) entre as coordenadas cartesianas tridimensionais estimadas para a estação VICO no ITRF 2005 e as tomadas como verdadeiras (VICO-RBMC) também no ITRF 2005, para cada dia referente os meses de janeiro, abril, julho e outubro do ano de 2008.

Para o mês de janeiro de 2008, verifica-se que a maior resultante atinge 1,31m (dia 21), e a menor atinge 0,16m (dia 30).

No mês de abril de 2008, a maior e a menor resultante atinge um valor aproximadamente de 0,74m (dia 116) e 0,03m (dia 121), respectivamente.

Para o mês de julho de 2008 a maior e a menor resultante apresenta um valor de 0,84m (dia 197) e 0,38m (dia 208), respectivamente.

No mês de outubro de 2008, a maior e a menor resultante atinge um valor aproximadamente de 0,71m (dia 286) e 0,09m (dia 280).

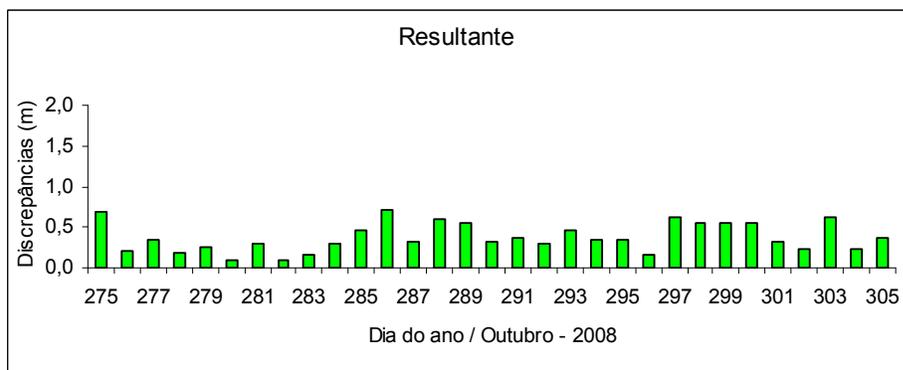
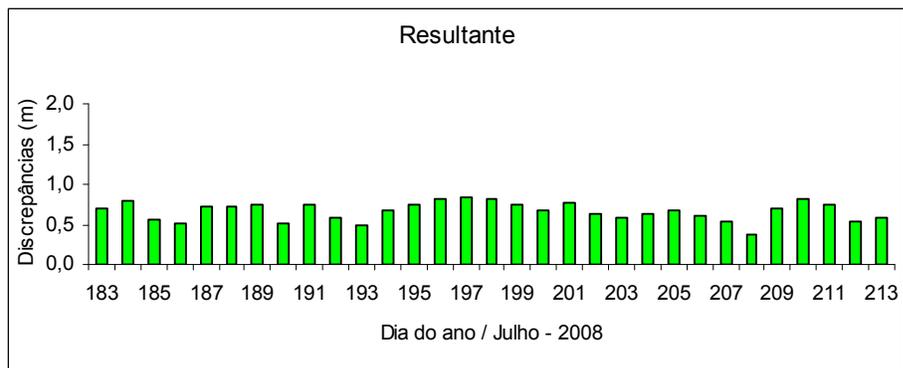
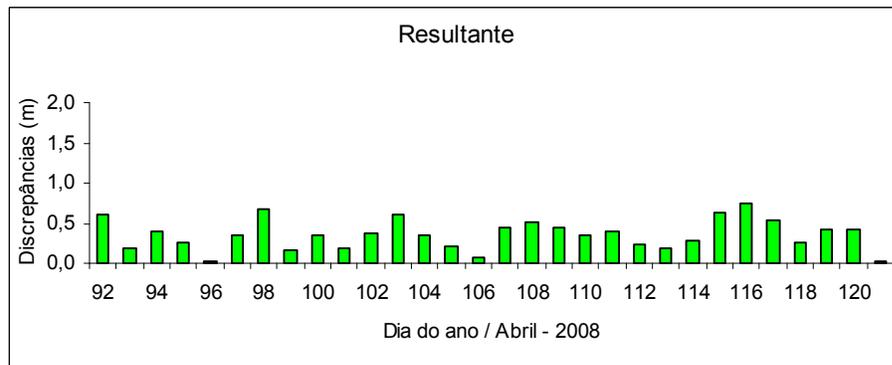
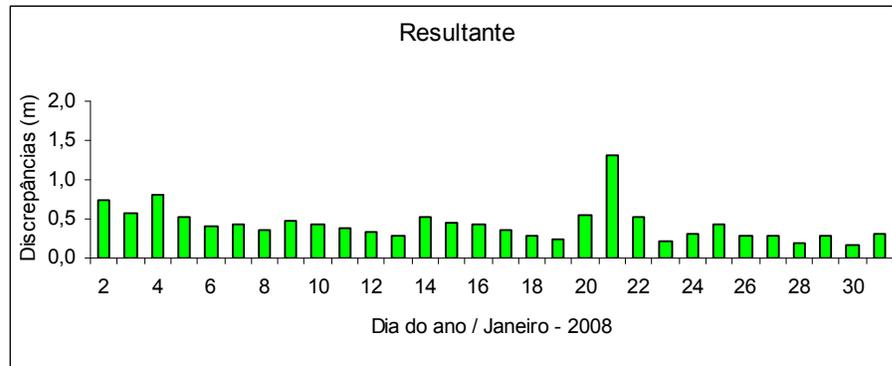


Figura 54. Resultante das discrepâncias da estação VICO - 2008.

A Figura 55 apresenta a precisão das coordenadas estimadas para cada dia referente aos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2008.

Observa-se que nos mês de janeiro de 2008 os desvios em X, Y e Z atingem valores próximos de 0,10 m, 0,09m e 0,06m, respectivamente. Exceto para os dias 19 e 21, que apresenta os desvios em X, Y e Z próximos de 0,13m, 0,12m e 0,09m; e 0,15m, 0,14m e 0,10m respectivamente.

No mês de abril de 2008 os desvios em X, Y e Z apresentam valores próximos no intervalo de 0,09 a 0,11m, 0,09 a 0,10m e 0,06 a 0,07m, respectivamente.

Para o mês de julho de 2008 os desvios em X, Y e Z, apresentam valores próximos a de 0,10 m, 0,09m e 0,06m, respectivamente. Exceto para dia 212, que apresenta seus desvios em 0,12 m, 0,10m e 0,07m, em X, Y e Z.

No mês de outubro de 2008, os valores dos desvios em X, Y e Z estão próximos de 0,09 m, 0,09m e 0,06m, respectivamente.

Todas as precisões assim como as coordenadas estimadas da estação VICO referente aos 4 meses do ano de 2008 encontram-se nas Tabelas A3.5, A3.6, A3.7 e A3.8 do Apêndice 3.

Pode-se observar que para os meses de 2008 em relação aos meses de 2004 houve uma melhora de aproximadamente em 50% na resultante da discrepância. Isso se deve ao fato do efeito da ionosfera ser menos intenso.

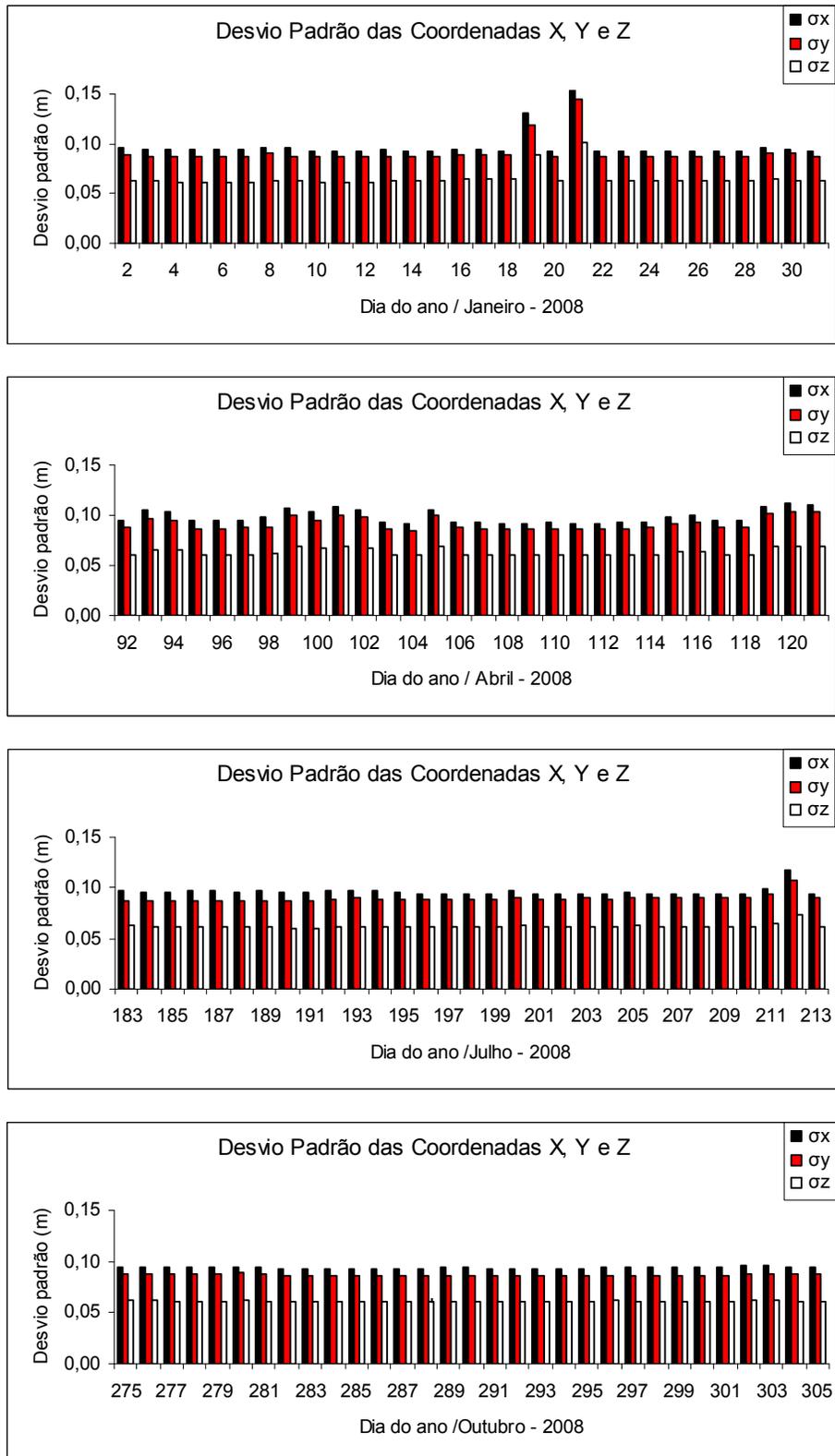


Figura 55. Desvio padrão das coordenadas X, Y e Z da estação VICO - 2008.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos específicos deste estudo foram plenamente avaliados, pois os resultados mostraram-se satisfatórios com a teoria sobre o comportamento da ionosfera.

Pode-se verificar que os maiores valores do VTEC acontecem nos meses de março e abril e de setembro e outubro, próximos aos equinócios de outono e primavera, respectivamente. Já os menores valores de VTEC estão próximos ao solstício de inverno, que abrange os meses de junho e julho. Verificou-se também que os valores mínimos de VTEC acontecem no período entre 6 e 10 TU, em todo o território brasileiro e seus valores máximos no período entre 18 e 20 TU .

Por causa do TEC ser diretamente proporcional ao erro devido à ionosfera na distância entre o satélite e a antena receptora, a diminuição no primeiro implicará diretamente na diminuição do segundo.

Observou-se que no ciclo de manchas número 23, o conteúdo total de elétrons (TEC) mostrou-se bem correlacionado com a atividade solar.

Verifica-se que através dos mapas do VTEC, que na medida que a latitude geomagnética é crescente o valor do TEC sofre um decréscimo.

Em análise diária pode-se concluir que os valores máximo do TEC ocorre por volta das 15 horas (HL), este aumento é devido a trajetória do Sol. Ocorre também um segundo pico, que ocorre por volta das 23 horas (HL), sendo este associado à cintilação ionosférica.

Vale salientar que no ano de 2008 verificou-se uma menor atividade solar em relação ao ano de 2004, ou seja, observou-se valores de VTEC menores. Desta forma, o processamento dos dados observados no ano de 2008 apresentou uma melhor performance do posicionamento com GPS devido a redução do número de manchas solares.

A partir das dificuldades encontradas e a experiência adquirida durante a execução desta dissertação, apresenta-se as seguintes recomendações para futuros trabalhos:

- Comparar a performance dos arquivos IONEX do IGS com a do modelo de Klobuchar, para a correção do erro devido à ionosfera;
- Com o armazenamento das observáveis L1 coletadas com receptores de navegação, processar pelo PPP e corrigir essas observáveis pelo IONEX, proporcionando melhores resultados para a posição;
- Avaliar a variação do TEC no território brasileiro, durante todo o período do ciclo 24, contemplando os períodos de mínima e máxima atividade solar;
- Cálculo do TEC para intervalos de tempo menores, ou seja, de 10 a 15 minutos, para detecção de cintilações ionosféricas;
- Verificar a influência de tempestades geomagnéticas e explosões solares na performance do posicionamento com PGS em várias partes do território brasileiro;
- Estudar o efeito da cintilação ionosférica em períodos de explosões solares e tempestades geomagnéticas muito intensas.
- Comparar o processamento do posicionamento por ponto preciso, em épocas distintas do ciclo de manchas solares com as coordenadas no Sistema Geodésico Local;
- Analisar o processamento PPP *on-line* com um duração de coleta de dados menor do que 24 horas, ou seja, para 1, 2, 4, 6 e 8 horas;
- Monitoramento da atividade ionosférica do ciclo solar 24 e seus efeitos nas observáveis GPS.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. J.. **Efeitos de Tempestades Geomagnéticas na Camada F Ionosférica sobre o setor brasileiro estudado por GPS**. 2007. 110p. Dissertação (Mestrado em Física e Astronomia) - Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos.

AGUIAR, C. R.. **Modelo Regional da Ionosfera (Mod\_Ion): implementação em tempo real**. 2005. 159p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

AIUB - Astronomisches Institut Universität Bern. Online, 2008. Disponível em: <[www.aiub.unibe.ch/igs.html](http://www.aiub.unibe.ch/igs.html)>. Acesso em: dez./2008.

BATISTA, I. S.. Notas de aula do curso “Introdução à ionosfera e a propagação de ondas” ministrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, 2003.

BOUCHER, C.; ALTAMIMI, Z.; SILLARD, P.; FEISSEL-VERNIER, M. **Technical Note No. 31, The ITRF2000**. IERS - ITRS Centre. Frankfurt. 2004.

CAMARGO, O. P.: **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência**. 1999.191p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DAL POZ, W. R.. **Análise do modelo regional da ionosfera (Mod\_Ion) no período de máxima atividade solar e produção de mapa da ionosfera**. 2002. 86p. Relatório de Bolsa de Iniciação Científica (FAPESP) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

DAVIES, K.. *Ionospheric Radio*. London: Peter Peregrinus Ltd., 1990. 580p.

EL GIZAWY, M. L.. **Development of an ionosphere monitoring technique using GPS measurements for high latitude GPS users**. 2003. 161p. Msc thesis – Department of Geomatics Engineering, UCGE Report no 20171, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

ESA - European Space Agency. Online, 2008. Disponível em: <[www.esa.int](http://www.esa.int)>. Acesso em: dez./2008.

FEDRIZZI, M.. **Observações do conteúdo eletrônico total com dados do GPS**. 1999. 142p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

FEDRIZZI, M.. **Estudo do efeito das tempestades magnéticas sobre a ionosfera utilizando dados do GPS**. 2003. 223p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José. dos Campos.

FONSECA JUNIOR, E. S.. **O sistema GPS como ferramenta para avaliação da refração ionosférica no Brasil**. 2002. 176p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

HERNANDES-PAJARES, M.. **Performance of IGS ionosfera TEC maps**. Disponível em: [http://maite152.upc.es/~ionex3/doc/IGS\\_IONO\\_report\\_April2003\\_7.pdf](http://maite152.upc.es/~ionex3/doc/IGS_IONO_report_April2003_7.pdf), 2003. Acesso em março/2008.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E.. **GNSS: Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more**, Springer-Verlag Wien, New York, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Online, 2008. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: ago./2008.

IGS – International GNSS Service. **Data & Products**. Disponível em: <<http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html>> Acesso em: maio/2008.

ISAACS, E.H.; SRIVASTAVA, M.R.. **Introduction an applied Geostatistics**. Oxford, New York: Oxford University Press. 1989.

ISGI – International Service of Geomagnetic Indices. Online, 2008. Disponível em: <http://www.cetp.ipsl.fr/isgi/indicgeo.htm>. Acesso em: jun./2008.

JPL - Jet Propulsion Laboratory. Online, 2008. Disponível em: <[www.jpl.nasa.gov/](http://www.jpl.nasa.gov/)>. Acesso em: dez./2008.

KLOBUCHAR, J. A.. **Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users**, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, v.AES-23, n.3, 1987, p.325-331.

KOMJATHY, A.; SPARKS, L.; MANNUCCI, A.J.; XIAOQING, P.. **An assessment of the current WAAS ionospheric correction algorithm in the south American region**. Journal of the Institute of Navigation, v.50, n.3, p.193-218, Fall. 2003.

LEICK, A. **GPS Satellite surveying**, John Wiley & sons, INC. 2nd ed.,Orono, Maine, 1995.

LIU, Z.. **Ionosphere tomographic modelling and applications using global positioning system (GPS) measurements**. 2004. 304p. PhD Thesis – Department of Geomatics Engineering, UCGE Report no 20198, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

MACNAMARA, L. F.. **The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding**. Florida: Krieger Publishing Company, 1991. 237p.

MATSUOKA, M. T.. **Avaliação de funções para modelagem do efeito da refração ionosférica na propagação dos sinais GPS**. 2003. 164p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MATSUOKA, M. T.. **Influência de Diferentes Condições da Ionosfera no Posicionamento por Ponto com GPS: Avaliação na região brasileira**. 2007. 263p. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. O.. **Cálculo do TEC usando dados de receptores GPS de dupla frequência para a produção de mapas da ionosfera para a região brasileira**. Revista Brasileira de Cartografia, n.56/01, p.14-27, julho/2004.

MONICO, J. F. G.. **Posicionamento pelo NAVSTAR - GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Ed. da Unesp, 2000. 287p.

NCAR - National Center for Atmospheric Research – endereço eletrônico:  
<http://www.ucar.edu/news/releases/2006/sunspot.shtml>, acesso em outubro de 2008.

NRCan - Natural Resources Canada. Online, 2008. Disponível em:  
<<http://www.nrcannrcan.gc.ca/>>. Acesso em: dez./2008.

OLIVEIRA, A. B. V.. **Uso do GPS para o estudo da Anomalia Equatorial**. 2003. 167p. Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Jose dos Campos, SP.

OLIVEIRA, A. B. V.; MORAIS, T. N.; WALTER, F.. **Ferramentas para visualização de mapas globais do VTEC da ionosfera**. In: IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 2003, São José dos Campos. IX ENCITA. 2003.

OSÓRIO, I. M. T. V. P.. **O sistema global de posicionamento na orbitografia de satélites de baixa altitude**. 1992. 198p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Portugal.

RISHBETH, H. ; GARRIOT, O. K.. **Introduction to ionospheric physics**. New York: Academic Press, 1969.

RODRIGUES, F. S. R.. **Estudo das irregularidades ionosféricas equatoriais utilizando sinais GPS**. 2003. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

SANTOS, P. M. T.. **Estudo das derivas zonais das irregularidades de plasma ionosférico na região brasileira**. 2001. 117p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos.

SEEBER, G.. **Satellite Geodesy : Foundations, Methods and Applications**. Berlin-New York: Walter de Gruyter, 1993. 531p.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS: Sistema de Posicionamento Global**. São Carlos-USP. 364p. 2005.

SKONE, S.. **Wide area ionosphere grid modelling in the auroral region**. 1998. 198p. Ph.D thesis – Department of Geomatics Engineering, UCGE Report no 20123, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

SKONE, S.. **Wide Area Ionosphere Modeling at Low Latitudes – Specifications and Limitations**. In: 13TH International Technical Meeting of Satellite Division of the Institute of Navigation – ION GPS-2000, Salt Lake City, Utha, Sept. 19-22, 2000.

SKONE, S.; KNUDSEN, K.; DE JONG, M.. **Limitations in GPS receiver tracking performance under ionospheric scintillation conditions**. Phys. Chem. Earth (A), v. 26, n. 6-8, p. 613-621, 2001.

TÉTREAUT, P.; KOUBA, J.; HÉROUX, P. ; LEGREE, P.. **CSRS-PPP: An Internet Service for GPS User Access to The Canadian Spatial Reference Frame**, Revista Geomática, vol. 59, n° 1, p. 17-28. 2005.

UPC - Universitat Politècnica de Catalunya. Online, 2008. Disponível em: <[www.upc.es/](http://www.upc.es/)>. Acesso em: dez./ 2008.

VERONEZ, M. R.. **Proposta de um modelo regional da ionosfera para redução do efeito sistemático da ionosfera através do método seqüencial de ajustamento**. 2004. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

WEBSTER, I.. **A Regional Model for Prediction of Ionospheric Delay for Single Frequency Users of the Global Positioning System**. 1993. M.Sc. Thesis – Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, New Brunswick, Canada.

YAMASHITA, C. S.. **Efeito das tempestades magnéticas intensas na ionosfera de baixa latitude**. 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

## APÊNDICE 1

Tabela A1.1. Relação dos 6 (seis) menores índices Ap de cada mês em 2005.

2005												
Data Ap	6/jan 4	9/jan 4	10/jan 6	25/jan 4	26/jan 3	27/jan 2	4/fev 3	5/fev 2	12/fev 4	13/fev 4	15/fev 4	22/fev 4
Data Ap	3/mar 4	4/mar 2	12/mar 3	15/mar 4	20/mar 4	22/mar 3	2/abr 3	10/abr 2	21/abr 3	26/abr 2	27/abr 1	28/abr 2
Data Ap	5/mai 4	6/mai 4	23/mai 4	24/mai 3	26/mai 2	27/mai 2	8/jun 4	10/jun 3	20/jun 3	21/jun 1	27/jun 3	28/jun 4
Data Ap	4/jul 4	5/jul 4	6/jul 4	8/jul 4	15/jul 4	25/jul 4	11/ago 3	12/ago 5	20/ago 3	27/ago 5	28/ago 5	30/ago 3
Data Ap	8/set 6	19/set 6	20/set 5	21/set 3	24/set 2	25/set 5	4/out 3	12/out 2	14/out 2	15/out 2	21/out 2	23/out 2
Data Ap	8/nov 3	9/nov 3	10/nov 2	16/nov 3	17/nov 2	27/nov 3	6/dez 2	7/dez 0	8/dez 1	14/dez 3	15/dez 2	23/dez 0

Tabela A1.2. Relação dos 6 (seis) menores índices Ap de cada mês em 2006.

2006												
Data Ap	4/jan 2	9/jan 1	10/jan 1	11/jan 2	29/jan 2	31/jan 2	5/fev 3	9/fev 2	13/fev 2	14/fev 1	18/fev 2	25/fev 2
Data Ap	2/mar 3	5/mar 1	9/mar 3	13/mar 3	14/mar 2	17/mar 3	1/abr 1	2/abr 1	3/abr 2	7/abr 2	12/abr 1	30/abr 0
Data Ap	1/mai 1	2/mai 3	10/mai 3	16/mai 2	24/mai 3	27/mai 2	4/jun 2	19/jun 2	21/jun 2	23/jun 2	24/jun 3	26/jun 2
Data Ap	2/jul 2	3/jul 2	8/jul 2	18/jul 2	19/jul 2	21/jul 2	4/ago 2	6/ago 3	13/ago 2	14/ago 2	16/ago 3	25/ago 2
Data Ap	9/set 2	15/set 0	16/set 3	20/set 3	22/set 2	27/set 3	6/out 2	10/out 2	17/out 3	19/out 2	23/out 3	26/out 2
Data Ap	7/nov 0	8/nov 0	13/nov 1	18/nov 1	20/nov 1	21/nov 1	2/dez 2	4/dez 0	27/dez 2	28/dez 2	29/dez 2	31/dez 2

Tabela A1.3. Relação dos 6 (seis) menores índices Ap de cada mês em 2007.

2007												
Data Ap	7/jan 1	8/jan 3	13/jan 1	22/jan 3	24/jan 2	25/jan 2	3/fev 2	4/fev 2	11/fev 2	20/fev 2	21/fev 1	24/fev 2
Data Ap	3/mar 2	9/mar 2	19/mar 2	20/mar 1	21/mar 1	31/mar 3	7/abr 3	8/abr 3	13/abr 1	16/abr 0	20/abr 3	21/abr 2
Data Ap	2/mai 2	4/mai 2	5/mai 2	6/mai 1	11/mai 2	13/mai 2	5/jun 2	6/jun 2	7/jun 3	11/jun 3	12/jun 2	26/jun 3
Data Ap	9/jul 2	18/jul 2	19/jul 2	22/jul 3	24/jul 2	25/jul 2	4/ago 2	5/ago 2	13/ago 2	18/ago 2	20/ago 2	24/ago 1
Data Ap	9/set 2	10/set 2	12/set 2	13/set 1	16/set 2	17/set 2	8/out 1	9/out 1	10/out 1	11/out 1	13/out 2	17/out 1
Data Ap	2/nov 2	3/nov 2	5/nov 2	6/nov 0	7/nov 0	18/nov 2	3/dez 1	4/dez 1	7/dez 1	8/dez 0	25/dez 1	29/dez 2

## APÊNDICE 2

Tabela A2.1. Valores médios mensais do VTEC.

Região	Viçosa	P. Alegre	Macapá	Viçosa	P. Alegre	Macapá
Hora TU	Janeiro/2004			Janeiro/2008		
0	27,62	22,47	33,51	9,95	10,35	12,64
2	21,82	16,95	30,20	8,05	6,94	7,78
4	16,07	15,48	24,91	5,97	6,57	6,86
6	11,24	10,57	16,59	5,19	6,36	5,79
8	10,96	10,43	13,46	4,61	4,68	4,45
10	20,01	18,52	15,89	10,54	9,30	8,56
12	28,66	26,69	30,28	15,80	13,38	14,99
14	36,20	25,89	42,79	21,80	19,08	20,65
16	43,57	43,54	54,32	29,09	27,63	28,98
18	50,38	48,34	59,04	32,51	32,18	31,36
20	43,59	38,74	53,20	30,98	27,84	26,55
22	28,28	22,14	43,17	26,92	22,34	25,38
Hora TU	Abril/2004			Abril/2008		
0	17,46	8,80	24,19	6,98	6,47	11,24
2	14,45	7,70	24,54	6,53	6,01	8,54
4	10,63	6,78	21,78	6,06	5,90	8,10
6	7,37	6,66	16,41	5,59	5,25	5,62
8	6,27	6,59	10,75	4,87	5,02	3,90
10	13,52	10,09	15,37	8,78	5,62	8,26
12	29,74	21,63	30,03	14,62	10,05	16,06
14	45,85	32,58	47,33	23,93	15,15	24,68
16	50,90	40,16	57,93	22,86	15,06	31,82
18	54,65	42,90	64,80	23,74	15,38	33,70
20	38,87	30,60	62,54	17,54	11,53	30,86
22	25,06	14,31	41,22	9,26	7,15	19,80
Hora TU	Julho/2004			Julho/2008		
0	11,59	7,69	16,84	5,67	4,79	8,35
2	8,51	7,08	14,36	4,88	3,92	6,12
4	6,62	5,12	12,15	4,42	3,54	4,59
6	5,39	4,79	10,52	4,02	3,79	3,61
8	4,51	4,53	9,06	3,38	3,31	3,22
10	10,15	4,94	14,55	5,99	3,83	6,74
12	17,89	11,44	24,14	8,91	6,55	11,45
14	26,26	17,24	33,42	11,30	8,65	16,27
16	31,25	22,88	40,79	13,76	10,80	19,45
18	33,40	25,86	44,69	13,71	11,01	20,64
20	28,84	21,89	41,88	9,63	8,43	18,56
22	15,88	13,59	31,55	6,57	5,77	12,24
Hora TU	Outubro/2004			Outubro/2008		
0	26,84	13,78	26,92	7,77	6,26	13,29
2	16,00	9,13	23,57	6,05	5,76	12,24
4	12,44	7,99	20,29	6,70	5,84	10,64
6	8,70	8,36	11,08	6,31	5,85	7,40
8	5,92	5,29	6,31	5,36	4,59	4,94
10	13,92	10,26	12,56	11,17	8,80	11,27
12	24,55	20,93	25,19	19,23	13,85	23,68
14	37,43	31,98	40,32	33,89	24,78	32,95
16	49,61	43,70	52,99	39,30	35,86	37,40
18	57,60	52,03	55,24	37,10	35,16	35,77
20	55,56	49,52	54,24	26,28	23,63	29,75
22	43,37	33,88	36,83	16,88	11,66	21,51

### APÊNDICE 3

Tabela A3.1. Coordenadas cartesianas tridimensionais e suas precisões (ITRF 2000).

Janeiro/2004						
Dia	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
1	4373282,8021	-4059637,9760	-2246959,4829	0,0971	0,0944	0,0668
2	4373283,3877	-4059638,5879	-2246959,7164	0,0984	0,0964	0,0676
3	4373283,6212	-4059638,9388	-2246960,2176	0,0971	0,0944	0,0667
4	4373283,2761	-4059638,2204	-2246960,4113	0,0972	0,0944	0,0668
5	4373283,4987	-4059638,2476	-2246960,6758	0,0973	0,0944	0,0668
6	4373283,4856	-4059638,5326	-2246960,4275	0,0984	0,0946	0,0671
7	4373283,3064	-4059639,3696	-2246960,2349	0,0982	0,0947	0,0670
8	4373283,1211	-4059638,9326	-2246959,7130	0,0973	0,0943	0,0666
9	4373283,3566	-4059638,8739	-2246959,9250	0,0973	0,0942	0,0666
10	4373283,0386	-4059638,7452	-2246959,6134	0,0987	0,0955	0,0670
11	4373283,3296	-4059638,6104	-2246959,9780	0,0973	0,0941	0,0664
12	4373283,3358	-4059638,6181	-2246960,2284	0,0973	0,0941	0,0664
13	4373283,3806	-4059638,7020	-2246959,8669	0,0958	0,0907	0,0659
14	4373283,1736	-4059638,7668	-2246960,3393	0,0972	0,0918	0,0664
15	4373283,4792	-4059638,5207	-2246960,3897	0,0958	0,0908	0,0658
16	4373283,5793	-4059638,6218	-2246960,3081	0,0986	0,0933	0,0685
17	4373283,5758	-4059639,0631	-2246960,6986	0,0959	0,0911	0,0669
18	4373283,2442	-4059638,4864	-2246960,1907	0,0958	0,0910	0,0659
19	4373283,0927	-4059638,5511	-2246959,9671	0,0961	0,0913	0,0663
20	4373283,0687	-4059637,8579	-2246959,9915	0,0977	0,0925	0,0667
21	4373283,4248	-4059638,2942	-2246960,1183	0,0967	0,0908	0,0660
22	4373283,0943	-4059638,7871	-2246959,7128	0,0977	0,0900	0,0652
23	4373284,1862	-4059638,8514	-2246960,6874	0,0962	0,0900	0,0645
24	4373283,7916	-4059639,0222	-2246960,3238	0,0958	0,0899	0,0643
25	4373283,5821	-4059638,5900	-2246960,3705	0,0957	0,0900	0,0644
26	4373283,4624	-4059638,6890	-2246960,9581	0,0956	0,0900	0,0645
27	4373284,5103	-4059639,2120	-2246960,6022	0,0958	0,0903	0,0651
28	4373284,5103	-4059639,2120	-2246960,6022	0,0958	0,0903	0,0651
29	4373283,4528	-4059638,6791	-2246960,2615	0,0955	0,0899	0,0643
30	4373283,7599	-4059638,5391	-2246960,6363	0,0952	0,0897	0,0641
31	4373283,3742	-4059638,6516	-2246960,2831	0,0946	0,0895	0,0637

Tabela A3.2. Coordenadas cartesianas tridimensionais e suas precisões (ITRF 2000).

Abril/2004						
Dia	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
92	4373283,1182	-4059638,1984	-2246960,6264	0,0990	0,0952	0,0666
93	4373284,0442	-4059638,9398	-2246961,3408	0,0981	0,0951	0,0658
94	4373283,4231	-4059638,6061	-2246960,6494	0,0985	0,0952	0,0662
95	4373283,2739	-4059638,2301	-2246960,0630	0,0988	0,0953	0,0666
96	4373284,2214	-4059638,8229	-2246960,6217	0,0981	0,0948	0,0652
97	4373284,1906	-4059638,4734	-2246961,3237	0,0970	0,0931	0,0645
98	4373283,7750	-4059638,2699	-2246961,0444	0,0966	0,0929	0,0644
99	4373283,3747	-4059638,2937	-2246960,5749	0,0965	0,0927	0,0644
100	4373283,0807	-4059638,7763	-2246960,1120	0,0964	0,0923	0,0642
101	4373282,7866	-4059638,5925	-2246959,1432	0,0962	0,0921	0,0642
102	4373283,1703	-4059638,5946	-2246959,7212	0,0966	0,0921	0,0650
103	4373283,7997	-4059638,9646	-2246960,5928	0,0959	0,0917	0,0643
104	4373283,6954	-4059638,7982	-2246960,8299	0,0975	0,0914	0,0656
105	4373283,5703	-4059639,3186	-2246960,6947	0,0941	0,0896	0,0636
106	4373283,7890	-4059638,7748	-2246961,2645	0,0942	0,0900	0,0637
107	4373283,2921	-4059638,7979	-2246960,5675	0,0942	0,0900	0,0636
108	4373282,4442	-4059638,4565	-2246959,1472	0,0943	0,0901	0,0636
109	4373283,2334	-4059638,4681	-2246960,2185	0,0944	0,0901	0,0636
110	4373283,3355	-4059638,6858	-2246960,8929	0,0947	0,0903	0,0639
111	4373282,9792	-4059639,0783	-2246960,8632	0,0946	0,0903	0,0638
112	4373283,7172	-4059638,6068	-2246960,7007	0,0945	0,0903	0,0637
113	4373283,2690	-4059638,5569	-2246960,4862	0,0948	0,0910	0,0643
114	4373283,7004	-4059638,1861	-2246960,5406	0,0949	0,0909	0,0642
115	4373283,2368	-4059638,7180	-2246960,0756	0,0947	0,0909	0,0640
116	4373283,7709	-4059639,1038	-2246960,4298	0,0946	0,0909	0,0639
117	4373284,1215	-4059638,9830	-2246960,9600	0,0946	0,0910	0,0640
118	4373283,5164	-4059638,8908	-2246960,4173	0,0947	0,0911	0,0641
119	4373283,2807	-4059638,5912	-2246959,9834	0,0947	0,0911	0,0641
120	4373282,8674	-4059638,4671	-2246959,6476	0,0947	0,0912	0,0641
121	4373282,4598	-4059638,4091	-2246959,2023	0,0947	0,0912	0,0642

Tabela A3.3. Coordenadas cartesianas tridimensionais e suas precisões (ITRF 2000).

Julho/2004						
Dia	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
183	4373283,0185	-4059638,5469	-2246959,5243	0,0962	0,0924	0,0645
184	4373282,7985	-4059638,4390	-2246959,3935	0,0962	0,0923	0,0644
185	4373282,7613	-4059638,2948	-2246959,3032	0,0961	0,0922	0,0643
186	4373282,6681	-4059638,4434	-2246959,3094	0,0960	0,0921	0,0642
187	4373282,8009	-4059638,5638	-2246959,4740	0,0971	0,0921	0,0644
188	4373282,7534	-4059638,5401	-2246959,3518	0,0972	0,0920	0,0644
189	4373282,6597	-4059638,4241	-2246959,3026	0,0971	0,0915	0,0644
190	4373282,6438	-4059638,4655	-2246959,3455	0,0971	0,0915	0,0644
191	4373282,5539	-4059638,4497	-2246959,2775	0,0971	0,0915	0,0643
192	4373282,4434	-4059638,4281	-2246959,3004	0,0967	0,0902	0,0635
193	4373282,7737	-4059638,5009	-2246959,4842	0,0969	0,0904	0,0636
194	4373282,6369	-4059638,4219	-2246959,2989	0,0970	0,0905	0,0636
195	4373283,1948	-4059638,4019	-2246959,9912	0,0969	0,0906	0,0637
196	4373282,6352	-4059638,3702	-2246959,4385	0,0969	0,0906	0,0637
197	4373283,0005	-4059638,5071	-2246960,0174	0,0965	0,0906	0,0636
198	4373282,6283	-4059638,3726	-2246959,3026	0,0965	0,0909	0,0640
199	4373283,5695	-4059638,4237	-2246960,2688	0,0966	0,0903	0,0637
200	4373282,8800	-4059638,3602	-2246959,5940	0,0961	0,0903	0,0635
201	4373283,2742	-4059638,6389	-2246959,8027	0,0964	0,0910	0,0644
202	4373282,8221	-4059638,4986	-2246959,3969	0,0963	0,0910	0,0644
203	4373283,1819	-4059638,5628	-2246960,1002	0,0958	0,0905	0,0636
204	4373282,8099	-4059638,3015	-2246959,7849	0,1004	0,0946	0,0670
205	4373282,5225	-4059638,1369	-2246959,5118	0,0957	0,0905	0,0636
207	4373282,2798	-4059638,0302	-2246959,3220	0,0956	0,0905	0,0636
208	4373282,4851	-4059638,4166	-2246959,5517	0,0956	0,0904	0,0636
209	4373282,7152	-4059638,6598	-2246959,2927	0,0955	0,0904	0,0635
210	4373282,8555	-4059638,6450	-2246959,2367	0,0953	0,0904	0,0634
211	4373282,6750	-4059638,6021	-2246959,2254	0,0952	0,0903	0,0633
212	4373282,7046	-4059638,4885	-2246959,2493	0,0951	0,0903	0,0632
213	4373282,4217	-4059638,2381	-2246959,2024	0,0950	0,0902	0,0632

Os dados referente ao dia 206 não foram coletados devido a problemas técnicos com a estação.

Tabela A3.4. Coordenadas cartesianas tridimensionais e suas precisões (ITRF 2000).

Outubro/2004						
Dia	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
275	4373282,9233	-4059638,5693	-2246959,6507	0,0933	0,0884	0,0624
276	4373283,0196	-4059638,2884	-2246959,7713	0,0937	0,0885	0,0632
277	4373282,9558	-4059638,3633	-2246959,7427	0,0936	0,0885	0,0630
278	4373283,7333	-4059638,7325	-2246960,4200	0,0937	0,0885	0,0632
279	4373283,8515	-4059638,4193	-2246960,9171	0,0938	0,0885	0,0630
280	4373283,6774	-4059638,1789	-2246960,4370	0,0934	0,0884	0,0626
281	4373282,8176	-4059637,9809	-2246959,6566	0,0934	0,0885	0,0627
282	4373282,3320	-4059637,8492	-2246959,5700	0,0961	0,0911	0,0642
283	4373283,2823	-4059638,3250	-2246960,1941	0,0951	0,0886	0,0629
284	4373284,4889	-4059638,0318	-2246961,5465	0,0941	0,0886	0,0632
285	4373283,1617	-4059638,1467	-2246959,9794	0,0940	0,0892	0,0630
286	4373283,4822	-4059638,5133	-2246960,2845	0,0932	0,0884	0,0623
287	4373283,9244	-4059638,3609	-2246960,5337	0,0941	0,0885	0,0631
288	4373284,3479	-4059639,0714	-2246961,0241	0,0932	0,0885	0,0625
289	4373283,9602	-4059638,7997	-2246960,6209	0,0944	0,0887	0,0632
290	4373284,0757	-4059638,3635	-2246961,1672	0,0935	0,0887	0,0627
291	4373282,8920	-4059638,4529	-2246960,2978	0,1075	0,0998	0,0710
294	4373283,5964	-4059638,5039	-2246960,8393	0,0941	0,0889	0,0628
295	4373283,2963	-4059638,0951	-2246960,4459	0,0946	0,0892	0,0634
296	4373283,2730	-4059637,8260	-2246960,4214	0,0946	0,0896	0,0642
297	4373282,7363	-4059637,7109	-2246960,0805	0,0956	0,0904	0,0642
298	4373282,5501	-4059637,6607	-2246960,2027	0,0991	0,0907	0,0654
299	4373283,8579	-4059638,2492	-2246960,4445	0,0949	0,0902	0,0637
300	4373283,4612	-4059638,4474	-2246960,4647	0,0957	0,0902	0,0638
301	4373283,1344	-4059638,7294	-2246960,3459	0,0949	0,0897	0,0636
302	4373283,5873	-4059638,2003	-2246960,8170	0,0947	0,0896	0,0632
303	4373283,5533	-4059638,2914	-2246961,2620	0,0948	0,0898	0,0635
304	4373282,7085	-4059637,4129	-2246959,8270	0,0948	0,0902	0,0632
305	4373283,2114	-4059637,7380	-2246959,9511	0,0953	0,0899	0,0645

Os dados referente aos dias 292 e 293 não foram coletados devido a problemas técnicos com a estação.

Tabela A3.5. Coordenadas cartesianas tridimensionais e suas precisões (ITRF 2005).

Janeiro/2008						
Dia	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
2	4373282,8641	-4059638,4610	-2246959,7767	0,0952	0,0883	0,0626
3	4373282,8218	-4059638,7501	-2246959,7470	0,0945	0,0868	0,0620
4	4373282,6646	-4059638,6230	-2246959,5168	0,0943	0,0868	0,0619
5	4373282,8915	-4059638,8588	-2246959,9818	0,0942	0,0869	0,0618
6	4373283,2902	-4059638,7410	-2246959,9975	0,0940	0,0869	0,0618
7	4373283,1820	-4059638,7136	-2246959,9606	0,0938	0,0870	0,0617
8	4373283,4425	-4059638,9018	-2246960,0232	0,0965	0,0900	0,0632
9	4373283,2531	-4059638,6170	-2246959,9198	0,0958	0,0879	0,0628
10	4373283,1223	-4059638,8823	-2246960,0790	0,0930	0,0869	0,0614
11	4373283,0440	-4059638,8910	-2246959,9628	0,0928	0,0870	0,0617
12	4373283,2636	-4059638,8346	-2246959,9935	0,0927	0,0870	0,0617
13	4373283,1149	-4059638,9060	-2246959,8938	0,0937	0,0878	0,0627
14	4373282,9461	-4059638,6981	-2246959,6046	0,0926	0,0871	0,0622
15	4373283,5753	-4059638,7455	-2246959,9441	0,0926	0,0874	0,0627
16	4373283,1123	-4059638,7638	-2246959,9952	0,0949	0,0885	0,0641
17	4373283,1337	-4059638,7624	-2246959,8528	0,0949	0,0885	0,0641
18	4373283,2771	-4059638,8351	-2246959,9102	0,0933	0,0893	0,0644
19	4373283,4646	-4059638,8946	-2246959,8294	0,1300	0,1184	0,0891
20	4373283,7382	-4059639,0551	-2246960,0688	0,0928	0,0875	0,0631
21	4373284,2849	-4059639,0432	-2246960,6044	0,1538	0,1441	0,1015
22	4373283,6009	-4059639,1797	-2246960,1542	0,0927	0,0870	0,0627
23	4373283,2436	-4059639,0319	-2246959,9333	0,0926	0,0869	0,0626
24	4373283,2434	-4059638,9483	-2246960,0166	0,0924	0,0867	0,0621
25	4373283,2155	-4059638,7914	-2246960,0409	0,0925	0,0871	0,0622
26	4373283,3053	-4059638,7986	-2246959,8704	0,0928	0,0873	0,0622
27	4373283,3019	-4059639,0041	-2246960,0145	0,0925	0,0873	0,0622
28	4373283,2448	-4059639,0337	-2246959,8972	0,0925	0,0874	0,0622
29	4373283,3252	-4059639,1030	-2246960,0112	0,0958	0,0906	0,0638
30	4373283,2985	-4059639,0874	-2246959,8790	0,0947	0,0903	0,0635
31	4373283,1797	-4059638,8717	-2246959,9447	0,0925	0,0873	0,0622

Os dados referente ao dia 1 não foram coletados devido a problemas técnicos com a estação.

Tabela A3.6. Coordenadas cartesianas tridimensionais e suas precisões (ITRF 2005).

Abril/2008						
Dia	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
92	4373282,8739	-4059638,6439	-2246959,6507	0,0952	0,0872	0,0604
93	4373283,2793	-4059638,9646	-2246959,8875	0,1047	0,0970	0,0663
94	4373283,5882	-4059639,0947	-2246960,0043	0,1028	0,0942	0,0659
95	4373283,1166	-4059638,9062	-2246959,6297	0,0942	0,0861	0,0599
96	4373283,3316	-4059639,0215	-2246959,7303	0,0942	0,0862	0,0599
97	4373283,0806	-4059638,8324	-2246959,6132	0,0947	0,0877	0,0608
98	4373282,8877	-4059638,7295	-2246959,3095	0,0977	0,0886	0,0613
99	4373283,2027	-4059638,9436	-2246959,6554	0,1075	0,0996	0,0693
100	4373283,0185	-4059638,9960	-2246959,5558	0,1032	0,0954	0,0666
101	4373283,3509	-4059639,0843	-2246959,9012	0,1086	0,0999	0,0691
102	4373283,0855	-4059638,8631	-2246959,4987	0,1057	0,0981	0,0679
103	4373282,8701	-4059638,7758	-2246959,4112	0,0931	0,0858	0,0597
104	4373283,0828	-4059638,9578	-2246959,4934	0,0920	0,0853	0,0595
105	4373283,4003	-4059639,1506	-2246959,8865	0,1059	0,0998	0,0687
106	4373283,3779	-4059639,0391	-2246959,6942	0,0932	0,0878	0,0608
107	4373282,9637	-4059639,0297	-2246959,9865	0,0926	0,0862	0,0603
108	4373282,8975	-4059638,9692	-2246959,4609	0,0918	0,0854	0,0595
109	4373282,9955	-4059638,9393	-2246959,4262	0,0918	0,0854	0,0595
110	4373283,0929	-4059639,1084	-2246959,9917	0,0939	0,0863	0,0604
111	4373282,9505	-4059638,9270	-2246959,6049	0,0921	0,0855	0,0596
112	4373283,3980	-4059638,8631	-2246959,8609	0,0922	0,0861	0,0597
113	4373283,2886	-4059638,9357	-2246959,8769	0,0923	0,0864	0,0598
114	4373283,2300	-4059638,8673	-2246959,9323	0,0929	0,0880	0,0607
115	4373282,8521	-4059638,6596	-2246959,5792	0,0982	0,0921	0,0635
116	4373282,7309	-4059638,7467	-2246959,3959	0,1004	0,0938	0,0639
117	4373283,3296	-4059638,6173	-2246960,0606	0,0951	0,0881	0,0606
118	4373283,2225	-4059638,8182	-2246959,8009	0,0951	0,0883	0,0606
119	4373283,1450	-4059638,6771	-2246959,7949	0,1087	0,1012	0,0683
120	4373283,0750	-4059638,7376	-2246959,5816	0,1116	0,1032	0,0688
121	4373283,2919	-4059639,0633	-2246959,7399	0,1107	0,1030	0,0697

Tabela A3.7. Coordenadas cartesianas tridimensionais e suas precisões (ITRF 2005).

Julho/2008						
Dia	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
183	4373282,8056	-4059638,6634	-2246959,4731	0,0980	0,0874	0,0623
184	4373282,7752	-4059638,5766	-2246959,3782	0,0961	0,0867	0,0611
185	4373282,9085	-4059638,7683	-2246959,4806	0,0960	0,0866	0,0610
186	4373282,9917	-4059638,7440	-2246959,4902	0,0976	0,0872	0,0620
187	4373282,7593	-4059638,7176	-2246959,4070	0,0975	0,0871	0,0618
188	4373282,7659	-4059638,6990	-2246959,3932	0,0956	0,0865	0,0606
189	4373282,7724	-4059638,6822	-2246959,3675	0,0973	0,0870	0,0617
190	4373283,0296	-4059638,6312	-2246959,6542	0,0952	0,0864	0,0605
191	4373282,7697	-4059638,6325	-2246959,4312	0,0953	0,0864	0,0605
192	4373282,8703	-4059638,7426	-2246959,5325	0,0972	0,0878	0,0614
193	4373283,0106	-4059638,7288	-2246959,5196	0,0976	0,0895	0,0616
194	4373282,7245	-4059638,8291	-2246959,4974	0,0971	0,0891	0,0619
195	4373282,6936	-4059638,7197	-2246959,4511	0,0950	0,0887	0,0607
196	4373282,6673	-4059638,6836	-2246959,4037	0,0939	0,0887	0,0607
197	4373282,6078	-4059638,6836	-2246959,4469	0,0939	0,0889	0,0607
198	4373282,7474	-4059638,5943	-2246959,3541	0,0939	0,0890	0,0608
199	4373282,7109	-4059638,7227	-2246959,4399	0,0937	0,0891	0,0608
200	4373282,8268	-4059638,6611	-2246959,4716	0,0975	0,0902	0,0628
201	4373282,7212	-4059638,6955	-2246959,3651	0,0937	0,0893	0,0609
202	4373282,8585	-4059638,7249	-2246959,4336	0,0938	0,0894	0,0611
203	4373282,8806	-4059638,7440	-2246959,4794	0,0945	0,0895	0,0618
204	4373282,8826	-4059638,7076	-2246959,4244	0,0937	0,0894	0,0613
205	4373282,8100	-4059638,7201	-2246959,4138	0,0960	0,0907	0,0624
206	4373282,8487	-4059638,7411	-2246959,4679	0,0941	0,0903	0,0620
207	4373282,9524	-4059638,7737	-2246959,4672	0,0939	0,0895	0,0614
208	4373283,0411	-4059638,8569	-2246959,5373	0,0939	0,0895	0,0614
209	4373282,8366	-4059638,7043	-2246959,3621	0,0939	0,0895	0,0613
210	4373282,7243	-4059638,6085	-2246959,4020	0,0942	0,0896	0,0613
211	4373282,7958	-4059638,6265	-2246959,3950	0,0997	0,0945	0,0643
212	4373282,9051	-4059638,7835	-2246959,5162	0,1170	0,1068	0,0736
213	4373282,9252	-4059638,6864	-2246959,4889	0,0939	0,0896	0,0616

Tabela A3.8. Coordenadas cartesianas tridimensionais e suas precisões (ITRF 2005).

Outubro/2008						
Dia	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
275	4373282,7960	-4059638,6598	-2246959,5223	0,0946	0,0872	0,0620
276	4373283,1688	-4059638,9057	-2246959,7045	0,0944	0,0871	0,0617
277	4373282,9789	-4059638,9820	-2246959,7006	0,0944	0,0870	0,0615
278	4373283,2558	-4059639,1035	-2246959,9016	0,0944	0,0870	0,0615
279	4373283,0904	-4059638,9860	-2246959,6348	0,0944	0,0870	0,0613
280	4373283,3232	-4059638,9757	-2246959,7755	0,0950	0,0885	0,0618
281	4373283,4436	-4059639,1918	-2246959,9479	0,0947	0,0869	0,0611
282	4373283,2430	-4059639,0123	-2246959,6871	0,0921	0,0856	0,0599
283	4373283,2300	-4059638,9698	-2246959,8470	0,0921	0,0856	0,0599
284	4373283,1483	-4059638,7953	-2246959,7152	0,0921	0,0856	0,0599
285	4373283,0526	-4059638,6692	-2246959,6282	0,0921	0,0856	0,0599
286	4373282,7419	-4059638,7148	-2246959,4606	0,0921	0,0856	0,0599
287	4373283,1891	-4059638,7615	-2246959,6255	0,0921	0,0856	0,0599
288	4373282,9205	-4059638,6490	-2246959,5298	0,0921	0,0856	0,0599
289	4373282,9269	-4059638,6972	-2246959,5579	0,0947	0,0866	0,0613
290	4373283,2285	-4059638,9415	-2246960,0094	0,0946	0,0867	0,0612
291	4373283,4597	-4059639,2978	-2246959,9442	0,0924	0,0858	0,0600
292	4373283,5569	-4059638,9960	-2246959,9100	0,0929	0,0861	0,0605
293	4373283,4847	-4059639,0359	-2246960,1537	0,0931	0,0862	0,0606
294	4373283,0123	-4059638,8982	-2246959,7272	0,0933	0,0863	0,0611
295	4373283,1243	-4059638,7565	-2246959,7046	0,0935	0,0864	0,0612
296	4373283,3670	-4059638,9224	-2246959,8007	0,0937	0,0866	0,0616
297	4373283,7101	-4059638,8349	-2246960,1685	0,0937	0,0864	0,0613
298	4373282,9956	-4059638,6063	-2246959,7215	0,0938	0,0864	0,0613
299	4373283,0074	-4059638,5979	-2246959,8055	0,0938	0,0864	0,0613
300	4373282,9881	-4059638,6108	-2246959,7235	0,0940	0,0864	0,0614
301	4373283,1318	-4059638,8588	-2246959,9300	0,0940	0,0865	0,0614
302	4373283,1944	-4059638,9130	-2246959,8805	0,0963	0,0879	0,0619
303	4373282,8326	-4059638,6785	-2246959,8434	0,0963	0,0880	0,0620
304	4373283,1663	-4059638,8715	-2246959,7664	0,0950	0,0869	0,0615
305	4373283,0529	-4059638,7901	-2246959,7043	0,0944	0,0868	0,0615

Os dados referente aos dias 292 e 293 não foram coletados devido a problemas técnicos com a estação.

## **APÊNDICE 4**

Mapas médios mensais do VTEC referentes aos anos de 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008 (CD-ROM).

## APÊNDICE 5

### Modelo de Klobuchar

O modelo de Klobuchar (KLOBUCHAR, 1987) permite efetuar correções da ionosfera para receptores GPS de uma frequência, cujos coeficientes são transmitidos com as mensagens de navegação. Este modelo permite calcular o atraso ionosférico, ou seja, a correção ionosférica para a pseudodistância entre o satélite e o receptor. Para utilizá-lo na correção da fase da portadora tem-se que trocar o sinal da correção calculada. Os coeficientes do modelo, num total de oito ( $\alpha_i$  e  $\beta_i$ ,  $i = 0, \dots, 3$ ), são atualizados diariamente e transmitidos pelos satélites, como parte das mensagens de navegação, segundo Hofmann-Wellenhof (2008). Portanto, são válidos para qualquer usuário do sistema GPS, razão pela qual é considerado como um modelo global.

Para descrever a variação da ionosfera durante o dia, o modelo de Klobuchar utiliza-se da função cosseno com máxima amplitude às 14:00 horas local. A amplitude (A) e o período (P) da função cosseno são calculados em função da latitude geomagnética e dos coeficientes transmitidos pelos satélites e representados por um polinômio de terceiro grau (LEICK, 1995). Durante a noite, o atraso ionosférico é considerado constante e igual a 5 ns (DC = 5 nanosegundos), que é equivalente, aproximadamente, a 1,5 m ou  $9,24 \times 10^{16}$  elétrons/m<sup>2</sup>. A Figura A5.1 apresenta o atraso ionosférico a partir do modelo de Klobuchar.

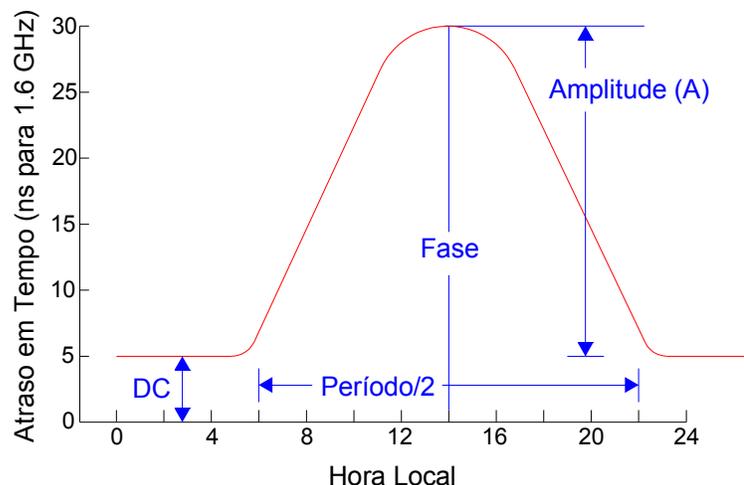


Figura A5.1. Representação do atraso ionosférico a partir do modelo de Klobuchar.  
Fonte: Adaptada de Camargo (1999).

Para calcular a correção ionosférica das medidas feitas com a portadora L1, além dos oitos coeficientes transmitidos na mensagem de navegação,  $\alpha_i$  e  $\beta_i$ , ( $i = 0, \dots, 3$ ), utiliza-se a latitude ( $\varphi$ ) e a longitude ( $\lambda$ ) geodésica da antena receptora, o azimute ( $Az$ ), o ângulo de elevação ( $el$ ) do satélite e o tempo GPS ( $T_{GPS}$ ) da época de observação. As unidades angulares utilizadas nos cálculos são dadas em semicírculo (1 SC = 180 graus), enquanto a do tempo GPS, em segundos.

A seqüência de cálculo detalhada para se obter a correção ionosférica deste modelo pode ser encontrada em Leick (1995) nas seguintes etapas:

- a) Cálculo do fator de inclinação ( $F$ ):

$$F = 1 + 16 \cdot (0,53 - el)^3 \quad (A5.1)$$

- b) Cálculo da latitude geocêntrica ( $\psi$ ):

$$\psi = \frac{0,0137}{el + 0,11} - 0,022 \quad (A5.2)$$

- c) Cálculo da latitude do ponto ionosférico ( $\varphi_{PI}$ ):

$$\varphi_{PI} = \begin{cases} \varphi + \psi \cdot \cos(Az), & \text{se } |\varphi_{PI}| \leq 0,416; \\ 0,416, & \text{se } |\varphi_{PI}| > 0,416; \\ -0,416, & \text{se } |\varphi_{PI}| < -0,416. \end{cases} \quad (A5.3)$$

d) Cálculo da longitude do ponto ionosférico ( $\lambda_{PI}$ ):

$$\lambda_{PI} = \lambda + \frac{\psi \cdot \text{sen}(Az)}{\cos(\varphi_{PI})} \quad (\text{A5.4})$$

e) Cálculo da latitude geomagnética ( $\varphi_m$ ):

$$\varphi_m = \varphi_{PI} + 0,064 \cdot \cos(\lambda_{PI} - 1,617) \quad (\text{A5.5})$$

f) Cálculo da hora local do ponto ionosférico (t):

$$t = \begin{cases} \lambda_{PI} \cdot 4,32 \times 10^4 + T_{GPS}, & \text{se } 0 \leq t < 86400; \\ \lambda_{PI} \cdot 4,32 \times 10^4 + T_{GPS} - 86400, & \text{se } t \geq 86400; \\ \lambda_{PI} \cdot 4,32 \times 10^4 + T_{GPS} + 86400, & \text{se } t < 0. \end{cases} \quad (\text{A5.6})$$

g) Cálculo do Período (P):

$$P = \begin{cases} \sum_{n=0}^3 \beta_n \cdot \varphi_{m^n}, & \text{se } P \geq 72000; \\ 72000, & \text{se } P < 72000. \end{cases} \quad (\text{A5.7})$$

h) Cálculo da Fase em radianos (x):

$$x = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t - 50400)}{P} \quad (\text{A5.8})$$

i) Cálculo da Amplitude (A):

$$A = \begin{cases} \sum_{n=0}^3 Az_n \cdot \varphi_{m^n}, & \text{se } A \geq 0; \\ A = 0, & \text{se } A < 0. \end{cases} \quad (\text{A5.9})$$

Cálculo da correção ionosférica, ao longo do caminho satélite/receptor na portadora L1 ( $I_r^s$ ):

$$I_r^s = \begin{cases} c \cdot F \left[ 5 \times 10^{-9} + A \cdot \left( 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{24} \right) \right], & \text{se } |x| < 1,57; \\ c \cdot F \cdot (5 \times 10^{-9}), & \text{se } |x| > 1,57. \end{cases} \quad (\text{A5.10})$$

onde, c é a velocidade da luz no vácuo = 299.792.458 m/s.

## ANEXO 1

## Descritivo da Estação VICO (RBMC).



Diretoria de Geociências  
Coordenação de Geodésia

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo  
Relatório de Informação de Estação  
Estação Viçosa - VICO

## 0. Formulário

Preparado por - Equipe Técnica da RBMC - "Centro de Controle Engª. Kátia Duarte Pereira"  
Data - 23 - julho - 1997  
Atualização - 18 - fevereiro - 2008  
Inclusão das coordenadas cartesianas em SIRGAS2000

## 1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação - Viçosa  
Ident. da Estação - VICO  
Inscrição no Monumento - Não há inscrição  
Código Internacional - 91696  
Informações Adicionais - Esta estação pertence à Rede de Referência do SIRGAS e à Rede de Densificação do IGS

## 2. Informação sobre a localização

Cidade - Viçosa  
Estado - Minas Gerais

Informações Adicionais - A estação consiste em um pilar de concreto dotado de um dispositivo de centragem forçada, localizado no Campus da Universidade Federal de Viçosa - UFV.

## 3. Coordenadas oficiais

## 3.1) SIRGAS2000 (Época 2000,4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	20° 45' 41,4020" S	Sigma:	0,001 m
Longitude:	42° 52' 11,9622" W	Sigma:	0,002 m
Alt. Elip.:	665,96 m	Sigma:	0,002 m
Alt. Orto.:	672,71 m	Fonte:	GPS/ MAPGEO2004
Coordenadas Cartesianas			
X	4.373.293,313 m	Sigma:	0,002 m
Y	-4.059.639,049 m	Sigma:	0,002 m
Z	-2.246.959,728 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	7.702.785,751 m		
UTM (E):	721.757,711 m		
MC:	- 45		

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)