



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE DE DADOS DE DESCARGAS  
ATMOSFÉRICAS EM RELAÇÃO À TEMPERATURA DO OCEANO  
ATLÂNTICO**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Mateus Cesar de Almeida Ferreira (FEG/UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq).  
e-mail: mateus.ferreira@uol.com.br

Iara Regina Cardoso de Almeida Pinto (ELAT/INPE, Orientadora).  
e-mail: iara@dge.inpe.br

Osmar Pinto Junior (ELAT/INPE).  
e-mail: osmar@dge.inpe.br

Junho de 2010

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. TEORIA .....</b>	<b>4</b>
2.1 <i>FORMAÇÕES DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS .....</i>	<i>4</i>
2.2 <i>LIS (Lightning Imaging Sensor .....</i>	<i>6</i>
2.3 <i>EL NIÑO E LA NIÑA .....</i>	<i>7</i>
2.4 <i>ANOMALIAS DO ATLÂNTICO .....</i>	<i>8</i>
2.5 <i>ATIVIDADE SOLAR .....</i>	<i>9</i>
<b>3. CORRELAÇÃO LINEAR.....</b>	<b>10</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>10</b>
4.1 <i>REGIÃO SUL .....</i>	<i>19</i>
4.2 <i>REGIÃO SUDESTE .....</i>	<i>20</i>
4.3 <i>REGIÃO CENTRO-OESTE .....</i>	<i>21</i>
4.4 <i>REGIÃO NORDESTE .....</i>	<i>22</i>
4.5 <i>REGIÃO NORTE.....</i>	<i>23</i>
4.6 <i>BRASIL .....</i>	<i>24</i>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>6. AGRADECIMENTO .....</b>	<b>26</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>26</b>

## **Análise da variabilidade de dados de descargas atmosférica em relação à temperatura do oceano atlântico**

Mateus Cesar de Almeida Ferreira<sup>1</sup> (FEG/UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)  
Iara Regina Cardoso de Almeida Pinto (ELAT/INPE, Orientadora)<sup>2</sup>  
Osmar Pinto Junior (ELAT/INPE)<sup>3</sup>

### **RESUMO**

Este trabalho, iniciado em agosto de 2009, tem como objetivo continuar o estudo desenvolvido em “Análise de dados de descargas atmosféricas obtido por satélite”, no qual foram feitos mapas temáticos e gráficos com o número de descargas atmosféricas em amostras de tempestades para as cinco diferentes regiões do Brasil nos anos de 1999 até 2007. Os dados para as amostras de tempestades foram identificadas pelo sensor Lightning Imaging Sensor (LIS), que é um instrumento científico utilizado para a detecção da distribuição e variação de descargas atmosféricas (Raios nuvem-nuvem, intra-nuvem e nuvem-solo) que ocorrem nas regiões tropicais e temperadas do globo, a bordo do satélite TRMM.

Nesta análise, serão identificadas possíveis relações entre os dados fornecidos pelo LIS e os fenômenos naturais como El Niño e La Niña, Anomalia do Atlântico e Índices Solares. Essas relações serão consideradas e os possíveis efeitos que podem ocorrer serão identificados.

Dado as conseqüências desta incidência em termos de vida e prejuízos, tal estudo apresenta um caráter estratégico para o país nas próximas décadas.

---

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Engenharia Elétrica, UNESP. e-mail: [mateus.ferreira@uol.com.br](mailto:mateus.ferreira@uol.com.br)

<sup>2</sup> Pesquisador (Orientadora) da Divisão de Geofísica Espacial. e-mail: [iara@dge.inpe.br](mailto:iara@dge.inpe.br)

<sup>3</sup> Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial. e-mail: [osmar@dge.inpe.br](mailto:osmar@dge.inpe.br)

## **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho, iniciado em agosto de 2009, tem como objetivo dar continuidade ao último estudo realizado, cujo título é “Análise de dados de descargas atmosféricas obtidas por satélites”, em que foram obtidos mapas temáticos e gráficos, para as cinco diferentes regiões do Brasil, das descargas atmosféricas captadas pelo LIS em amostras de tempestades nos anos de 1999 até 2007. Assim, neste trabalho serão feitas análises a fim de identificar alguma relação entre os resultados obtidos anteriormente com fenômenos como El Niño, La Niña, anomalias do atlântico e atividade solar.

## **2. TEORIA**

Nesta teoria é explicada a formação de descargas atmosféricas. A detecção da distribuição e variação dessas descargas são feitas pelo LIS (Lightning Imaging Sensor) e através desses dados pode-se criar os mapas temáticos e gráficos do trabalho anterior.

Com base no índice SOI (índice de oscilação sul) pode-se identificar períodos de El Niño ou La Niña e relacionar esses fenômenos com a ocorrência de descargas atmosféricas nesses períodos.

Através de análises da anomalia do Atlântico e Atividade Solar pode-se relacioná-las também às ocorrências de descargas atmosféricas.

### **2.1 Formações de descargas atmosféricas**

As nuvens se eletrizam a partir de colisões de partículas de gelo acumuladas em seu interior. Durante as colisões, as partículas de gelo perdem elétrons e transformam-se em íons. Isso torna a nuvem eletricamente carregada. As partículas têm tamanho variado e, segundo medidas feitas por sondas meteorológicas, as menores e mais leves ficam com cargas positivas e as maiores e mais pesadas com carga negativa. Alguns fatores como os ventos, a temperatura e força da gravidade fazem com que cargas de mesmo sinal se concentrem em regiões específicas da nuvem. Geralmente a parte inferior, próximo a base da nuvem, e a parte superior ou o topo da nuvem, são os locais de maior acúmulo de carga, de sinais contrários, funcionando assim como armaduras de um capacitor.

As cargas distribuídas na base e no topo das nuvens produzem um campo elétrico interno. Além disso, com o acúmulo de cargas em sua superfície externa, a nuvem pode provocar uma indução eletrostática na superfície de outras nuvens ou no solo imediatamente abaixo. Neste caso cria-se um campo elétrico entre nuvens ou entre a nuvem e o solo.

Enquanto os choques das partículas dentro da nuvem se intensificam, a quantidade de carga em sua superfície aumenta e, conseqüentemente, o campo elétrico criado por essas cargas também se eleva. Com o aumento da intensidade desse campo, as moléculas de ar entre as partes eletrizadas sofrem polarização e se orientam de acordo com o campo elétrico. O efeito de polarização se intensifica com o aumento da intensidade do campo até o ponto em que elétrons são arrancados das moléculas do ar. O ar, dessa forma ionizado, se transforma em um condutor gasoso. Genericamente, o valor de campo elétrico que provoca ionização em um meio é denominado rigidez dielétrica desse meio. No ar, a rigidez dielétrica varia com as condições da atmosfera. Quando o campo elétrico ultrapassa esse valor limite, diz-se que houve uma quebra da rigidez dielétrica do meio. Isso transforma o isolante em condutor. Como conseqüência,

os íons negativos e os elétrons livres do ar são fortemente atraídos pelas cargas positivas presentes nas nuvens ou induzidas no solo, formando um caminho chamado de canal condutor. Assim sendo, o movimento de cargas negativas no canal condutor pode ocorrer tanto intranuvem como entre nuvens ou entre nuvem e solo. Em cerca de 90% dos casos as descargas elétricas se originam próximo a base da nuvem, quase sempre eletrizada negativamente. Portanto, em geral, é uma carga negativa que inicia o processo de descarga elétrica atmosférica.

As primeiras cargas a se movimentarem, na maioria das vezes vinda da região de cargas negativas dentro da nuvem formam o Líder Escalonado. É chamado assim porque desce em etapas ou escalas, em intervalos de tempo quase uniformes. Algumas cargas seguem novos caminhos fora do canal principal, criando ramificações em muitos pontos. Isso porque há íons na atmosfera, distribuídos de maneira não uniforme, o que acaba por atrair ou repelir essas cargas.

A carga do Líder, em geral negativa, aproxima-se de cargas positivas localizadas no solo ou nas nuvens. A carga acumulada no canal condutor produz um aumento na intensidade do campo elétrico entre as cargas, gerando uma nova quebra da rigidez dielétrica do ar. Por efeito dessa quebra, devido ao alto nível de intensidade desse campo, íons positivos são arrancados do solo (ou cargas negativas são afastadas da onde o líder se dirige). A intensificação do campo elétrico provoca o surgimento de vários caminhos (canais) por onde esses íons se deslocam ao encontro da Líder. Os íons positivos são denominados Líderes Conectantes ou Descargas Conectantes. No caso de descargas nuvem-solo, esse segundo rompimento da rigidez dielétrica ocorre quando a Líder está cerca de 10 m de distância do local de onde os íons positivos são arrancados. Essas cargas se encontram aproximadamente a meia distância do percurso. Assim se completa o canal do relâmpago. Todas as cargas negativas que seguem a Carga Líder movem-se através dos novos canais por onde passaram os íons positivos até alcançar os pontos de onde eles partiram. A descarga que saiu do solo continua seu movimento até a nuvem e passa a ser denominada descarga de retorno.

As principais conseqüências das descargas elétricas atmosféricas (relâmpagos) são a luz e o som (trovão). A luz é produzida basicamente pela radiação eletromagnética emitida por elétrons que, após serem excitados pela energia elétrica, retornam a seus estados fundamentais. Isto ocorre principalmente na descarga de retorno e por esta razão, no caso da descarga nuvem-solo (ou raios), a geração da luz é feita de baixo para cima. A luz do relâmpago é bastante intensa devido à grande quantidade de moléculas excitadas. Pode-se observar que as ramificações do canal são menos brilhantes pela menor quantidade de cargas presentes nessa região.

Quando há apenas uma descarga de retorno, o relâmpago é classificado como relâmpago simples. Os relâmpagos múltiplos acontecem quando a nuvem não se descarrega completamente durante o primeiro raio. Neste caso, as cargas remanescentes se acumulam novamente na nuvem e o fenômeno se reproduz através dos mesmos passos descritos neste tópico. A Carga Líder poderá ser um Líder Contínuo (um líder que não desce em etapas e aproveita o canal que já existe), ou um Líder Contínuo-escalonado (se parte do canal se desfizer). A descarga de retorno será denominada Descarga de Retorno Subseqüente unicamente. Para que aconteça mais de um relâmpago, tudo vai depender do tempo que a nuvem leva para se recarregar. A maioria dos relâmpagos é do tipo múltiplo.

O raio entre a nuvem e o solo também podem iniciar por Líderes positivos descendentes, correspondendo a movimentos de subida de cargas negativas (elétrons). A descarga de retorno resultante transporta cargas positivas da nuvem para o solo. Estes são os raios nuvem-solo positivos e no geral eles não se seguem de descargas de retorno

subseqüentes, sendo classificados como relâmpagos simples. Eles causam maiores danos do que os negativos. Muitos acidentes como incêndios em florestas e estragos em linhas de energia são causados por este tipo de raio.

## **2.2 LIS (Lightning Imaging Sensor)**

O Lightning Imaging Sensor (LIS) é um instrumento de base espacial utilizado para a detecção de distribuição e variação do total de descargas atmosféricas (Raios nuvem-nuvem, intranuvem, e nuvem-solo) que ocorre nas regiões tropicais e temperadas do globo. O LIS é um instrumento científico, a bordo do satélite TRMM, que foi lançado em 28 de novembro 1997 a partir do Centro Espacial Tanegashima no Japão.

Este sensor consiste em captar imagem, que é otimizada para localizar e detectar tempestades com raios em uma escala de resolução (4 a 7 km) sobre uma grande região (600 x 600 km) da superfície da Terra. O satélite TRMM percorre uma distância de 7km/s em torno da órbita da Terra, deste modo o LIS pode observar um ponto da Terra ou de uma nuvem por quase 90 segundos quando passa por eles. Apesar da breve duração de uma observação, ela é longa o bastante para estimar a taxa de raios de tempestades. O instrumento que registra a hora da ocorrência, as medidas de energia radiante, e determina a localização de incidência de raios no seu campo de visão.

Este sensor calibrado utiliza um amplo campo de visão da lente óptica expandida com uma faixa estreita de filtro em conjunto com uma carga de alta velocidade acoplada ao dispositivo de detecção. Um Real Time Event Processor (RTEP), no interior da unidade eletrônica, é usado para determinar quando um relâmpago ocorre, mesmo na presença de nuvens claras iluminadas pelo sol.

Fracos sinais de raios que ocorrem durante o dia, são difíceis de detectar devido à iluminação de fundo. O RTEP irá remover o sinal de fundo, permitindo, assim, o sistema detectar relâmpagos fracos e conseguir uma detecção 90% eficiente.

Dados do Lightning Imaging Sensor estão sendo utilizados para estudar fenômenos de mesoscala como as tempestade. Estes fenômenos são relacionados com taxas globais de distribuição de precipitação de convecção, bem como para a liberação e transporte de calor latente, que são influenciados por todos os processos de escala global.

O LIS é um instrumento projetado pela equipe de descargas atmosféricas GHCC e foi fabricado no Marshall Space Flight Center, em Huntsville, Alabama. O LIS contribui significativamente para os objetivos da missão TRMM fornecendo uma climatologia global de descargas atmosféricas e trovoadas a partir da qual as alterações (mesmo a sutis variações de temperatura) podem ser facilmente detectadas.

O instrumento LIS é parte do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). TRMM é uma missão conjunta entre a NASA e National Space Development Agency (NASDA), do Japão, destinada a acompanhar e estudar chuvas tropicais e liberação de energia relacionada a circulação atmosférica global e o clima em todo o mundo.

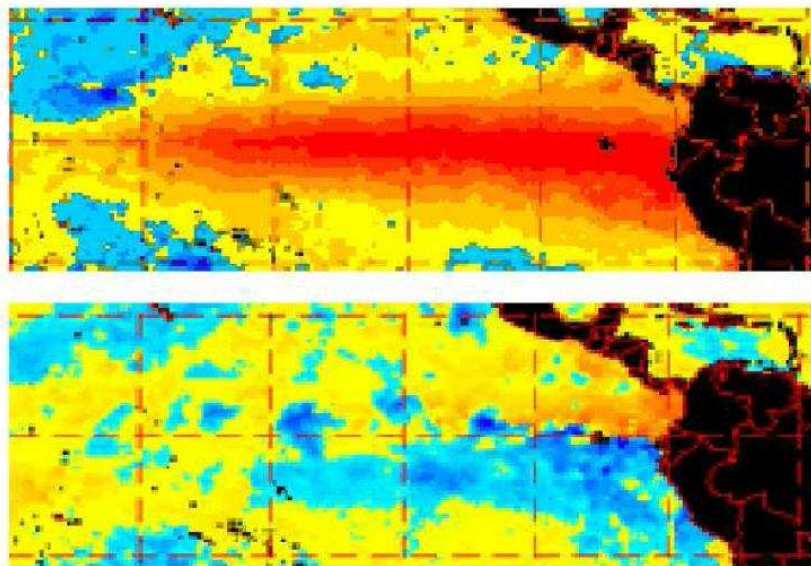
### 2.3 El Niño e La Niña

El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano pacífico equatorial. Altera o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

La Niña é um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao El Niño. Caracteriza-se por um resfriamento anormal nas águas superficiais do oceano pacífico equatorial, alterando o clima regional e global, mudando os padrões de ventos a nível mundial, afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias.

A figura 1 ilustra a temperatura do oceano pacífico durante períodos de El Niño e La Niña, em que o vermelho indica mais quente e o azul mais frio.

#### EL NIÑO E LA NIÑA



*Figura 1*

Para identificar os períodos em que esses fenômenos ocorrem pode-se utilizar dois índices, o SOI e o ONI. O primeiro indica a diferença de pressão atmosférica entre o Tahiti e Darwin – Austrália, e quando apresenta valores negativos indica ocorrência de El Niño enquanto para valores positivos para La Niña. O segundo indica anomalias na temperatura superficial do mar (TSM), em que para valores positivos apresenta ocorrência de El Niño e para valores negativos para La Niña.

Nesse estudo utilizou-se apenas o índice SOI, pois ele é mais confiável, e os seus valores apresentados, com base em [3], durante o período de análise (1999 até 2007) de forma mensal são mostrados na figura (2).

Alguns estudos acreditam que os efeitos indicados pelo índice SOI afetam o Brasil depois de 3 ou 6 meses que ele foi coletado. Assim, os valores obtidos do SOI foram deslocados de 3 meses para frente (SOI\_L3) e de 6 meses para frente (SOI\_L6) para poder analisar a influência do SOI coletado no momento correto que ele afeta o Brasil.

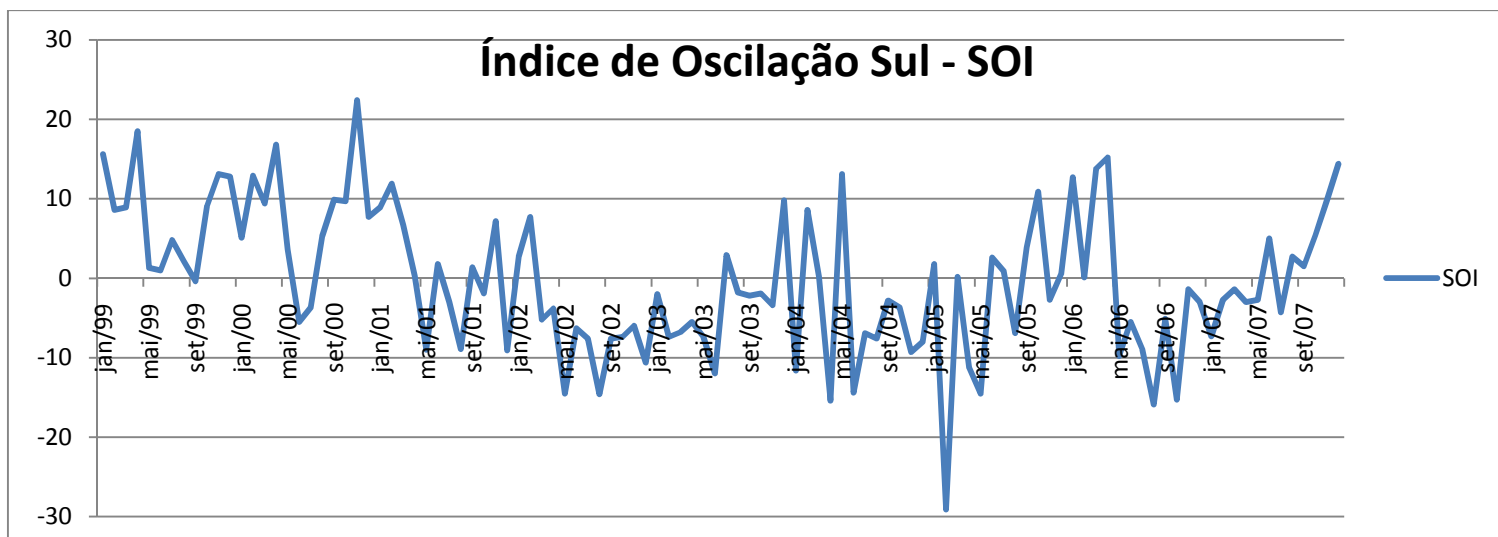


Figura 2 - SOI

#### 2.4 Anomalia do Atlântico

O oceano Atlântico é o segundo maior oceano do mundo, sendo superado apenas pelo oceano Pacífico. Ele representa 24% da área total das águas marítimas da Terra, ocupando 20% da sua superfície.

O Atlântico é limitado a oeste pela América e a leste pela África e Europa. Os grandes rios do mundo desembocam suas águas nele.

Este oceano é dividido em duas partes, tomando como referência a linha do equador, convencionalmente denominadas de Atlântico Norte e Atlântico Sul.

A anomalia do Atlântico é identificada pela diferença entre a temperatura do Atlântico Norte e Atlântico Sul.

Quando o índice tropical do atlântico sul, que mede esta diferença de temperatura, for positivo indica que a temperatura do Atlântico Norte é superior à do Sul e quando for negativa ocorre o contrário, ou seja, a temperatura do Atlântico Sul é superior à do Norte. Essa anomalia pode influenciar a ocorrência de descargas atmosféricas em amostras de tempestades no Brasil.



Figura 3 – Oceano Atlântico



Os índices da anomalia do atlântico (multiplicado por um fator 100) durante o período de análise (1999 até 2007) de forma mensal são mostrados na figura (4).

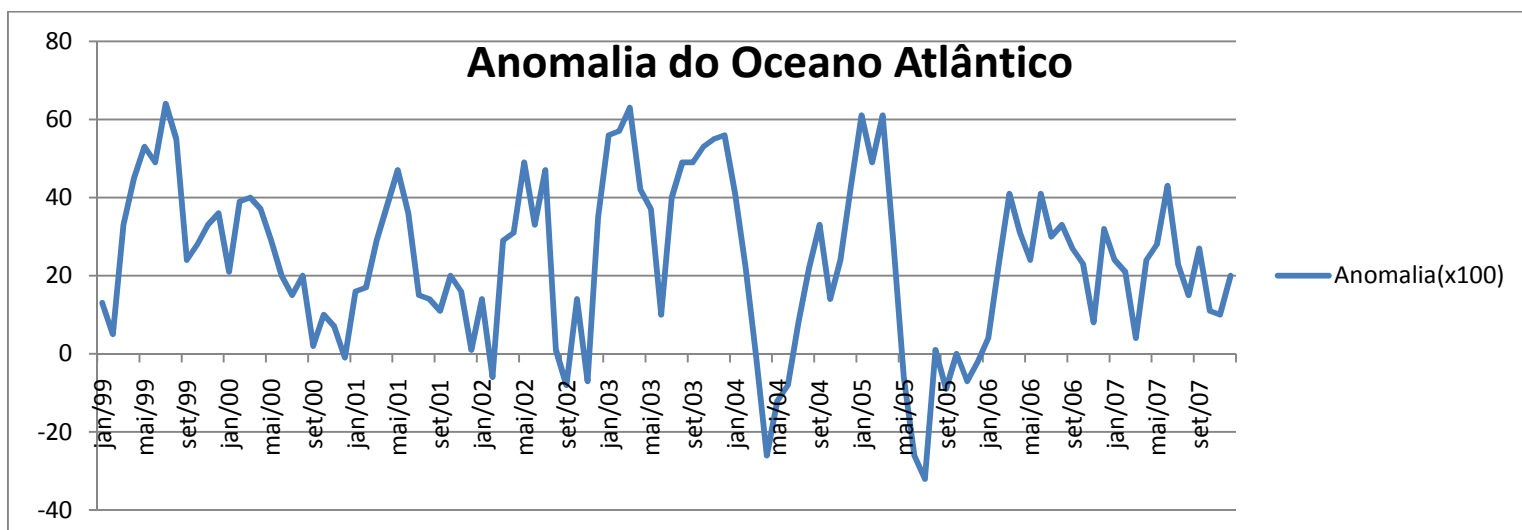


Figura 4 – Anomalia do Atlântico

## 2.5 Atividade Solar

O índice mais antigo da atividade solar é o número de manchas solares (RI), que serve como uma medida da atividade magnética geral do Sol.

Manchas solares são regiões mais frias e mais escuras do que a fotosfera solar circunvizinha e emitem menos energia do que a fotosfera geral porque possuem intensos campos magnéticos.

A formação das manchas solares é feita devido aos campos magnéticos toroidais trazidos à superfície solar, por meio de empuxo.

Quanto mais manchas solares existirem no sol maior será o campo magnético que irá envolver a Terra, e isso blinda a Terra de forma que uma menor quantidade de raios cósmicos penetre a superfície terrestre. Isso pode ter alguma relação com a ocorrência de descargas atmosféricas em amostras de tempestades no Brasil.

Os índices das manchas solares (RI) para o período de análise (1999 até 2007) de forma mensal são mostrados na figura (5).

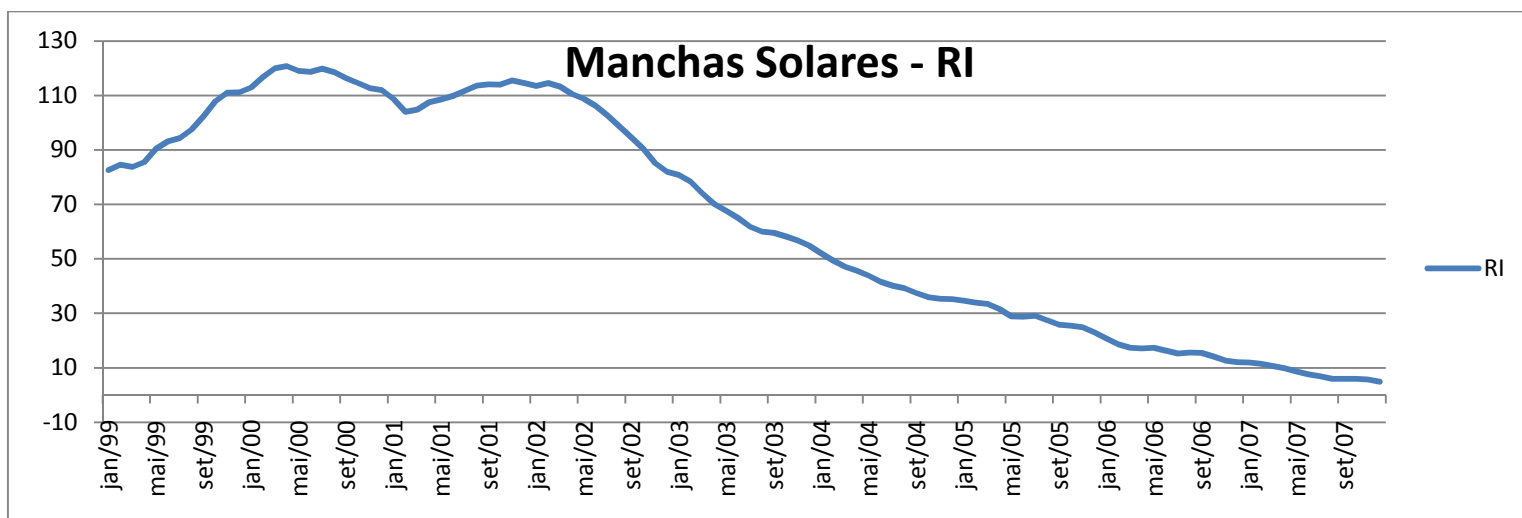


Figura 5 – Manchas Solares (RI)

### 3. CORRELAÇÃO LINEAR

Com a correlação linear pode-se estimar uma variável a partir de outras e mede-se o grau de relacionamento linear dessas variáveis com o coeficiente de correlação linear “r”. Esse valor estará sempre entre -1 e 1 e pode ser interpretado da seguinte maneira:

r	Interpretação
-1	Correlação perfeita negativa
-1 → 0	Correlação negativa
0	Correlação nula
0 → 1	Correlação positiva
1	Correlação perfeita positiva
0,2 → 0,4	Correlação fraca*
0,4 → 0,7	Correlação moderada*
0,7 → 0,9	Correlação forte*

\*Possui o mesmo significado para os casos positivos e negativos

Quanto mais próximo o valor do coeficiente de correlação linear estiver de zero, menor é a correlação e quanto mais próximo de +/- 1 maior será a correlação. Assim, pode-se determinar se há correlação significativa entre as variáveis.

Quando a correlação é significativa utiliza-se a regressão linear para descrever a relação das variáveis e determinar-se uma equação que representa essa relação. Ou seja, a equação de regressão expressa à relação entre a variável preceptor (x) e a variável resposta (y).

### 4. RESULTADOS

Neste tópico é feita a análise dos resultados obtidos.

As figuras abaixo indicam o número de amostras de tempestades com mais de dez descargas atmosféricas em uma grade de 50km<sup>2</sup> durante 90 segundos (E10) para cada uma das cinco regiões do país e para o Brasil, com base nos dados de [5].

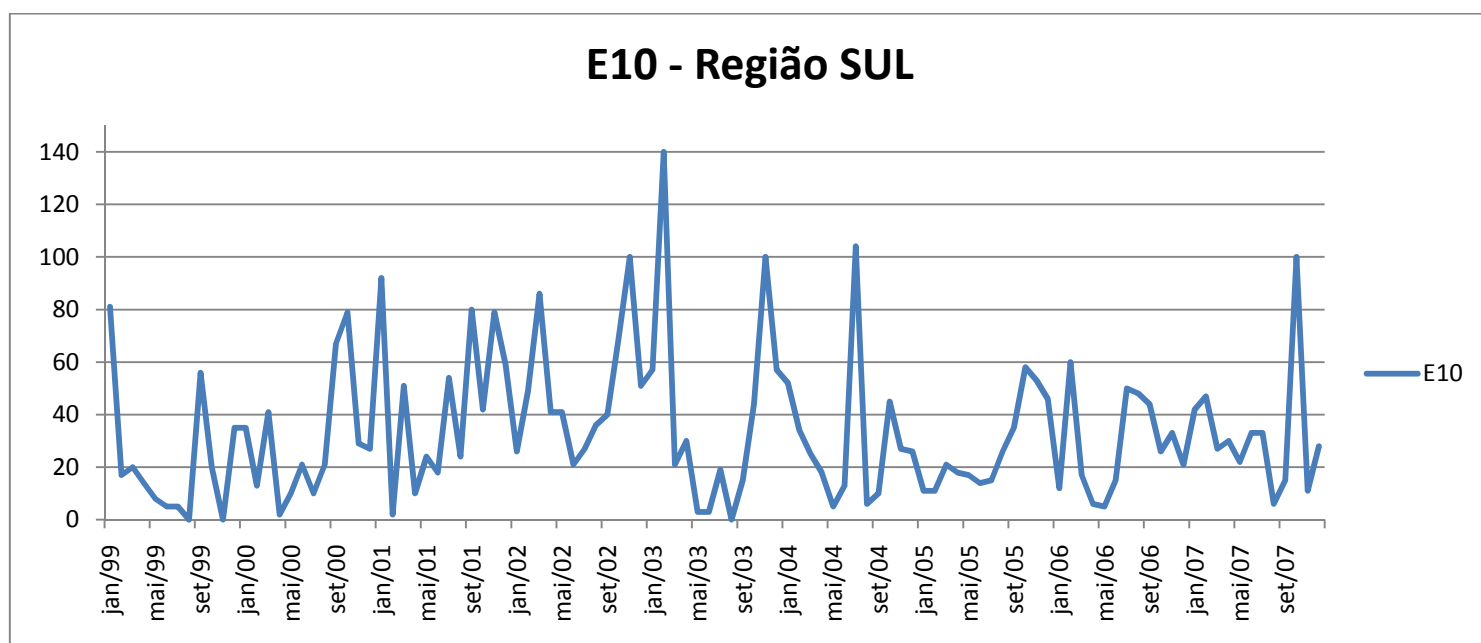


Figura 6 – E10 para Região Sul

### E10 - Região SUDESTE

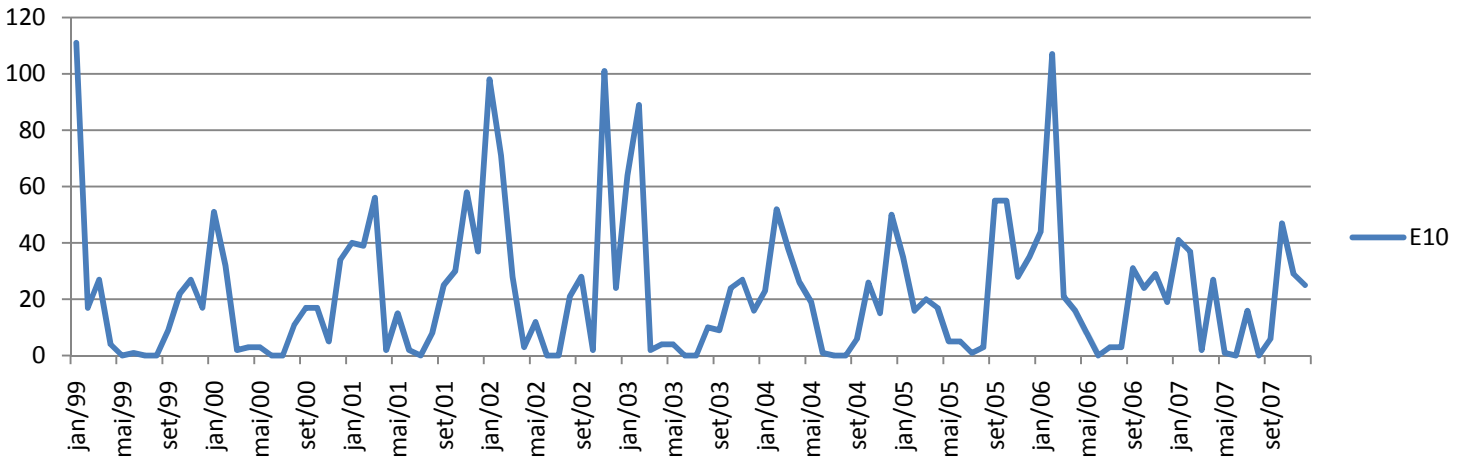


Figura 7 – E10 para Região Sudeste

### E10 - Região CENTRO-OESTE

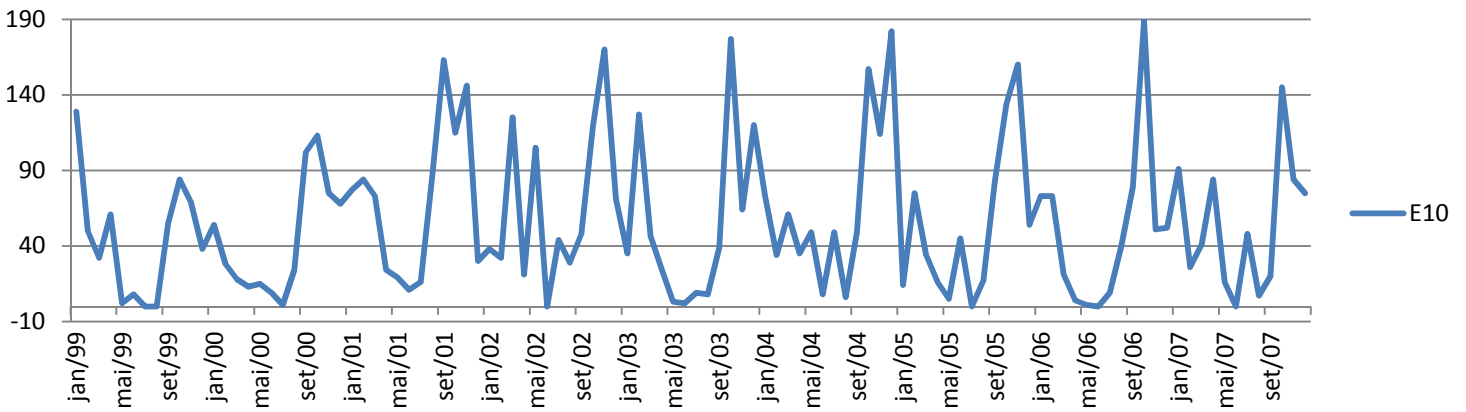


Figura 8 – E10 para Região Centro-Oeste

### E10 - Região NORDESTE

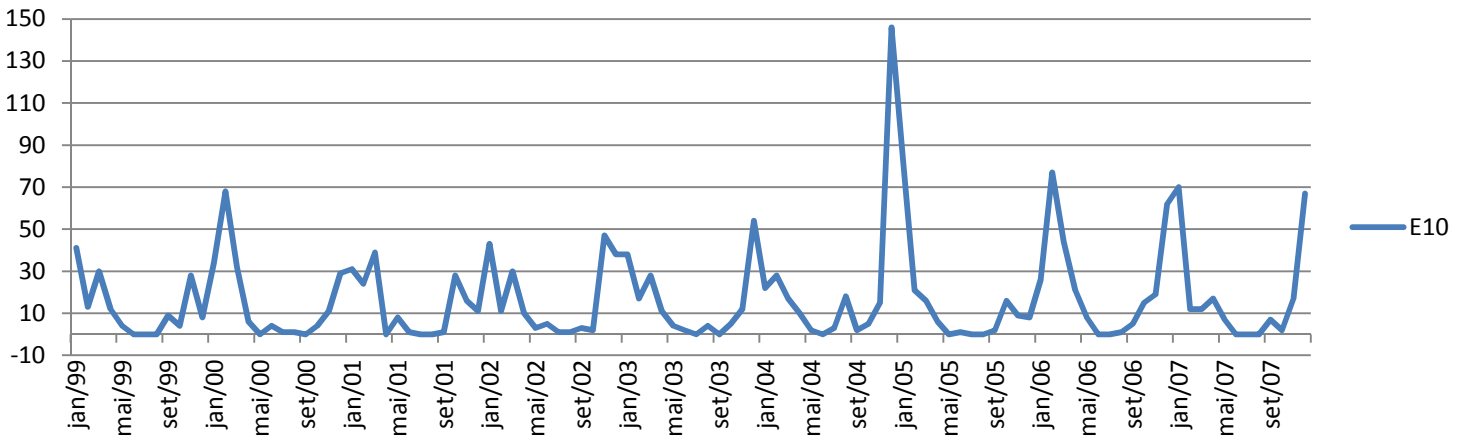


Figura 9 – E10 para Região Nordeste

### E10 - Região NORTE

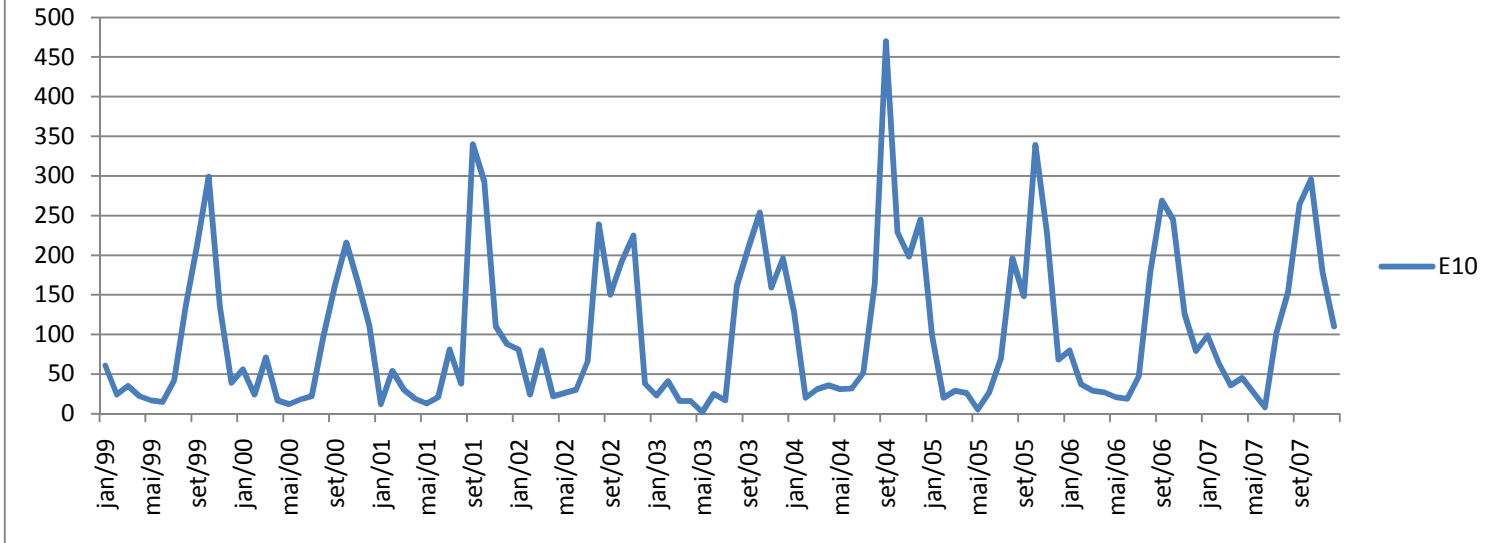


Figura 10 – E10 para Região Norte

### E10 - Brasil

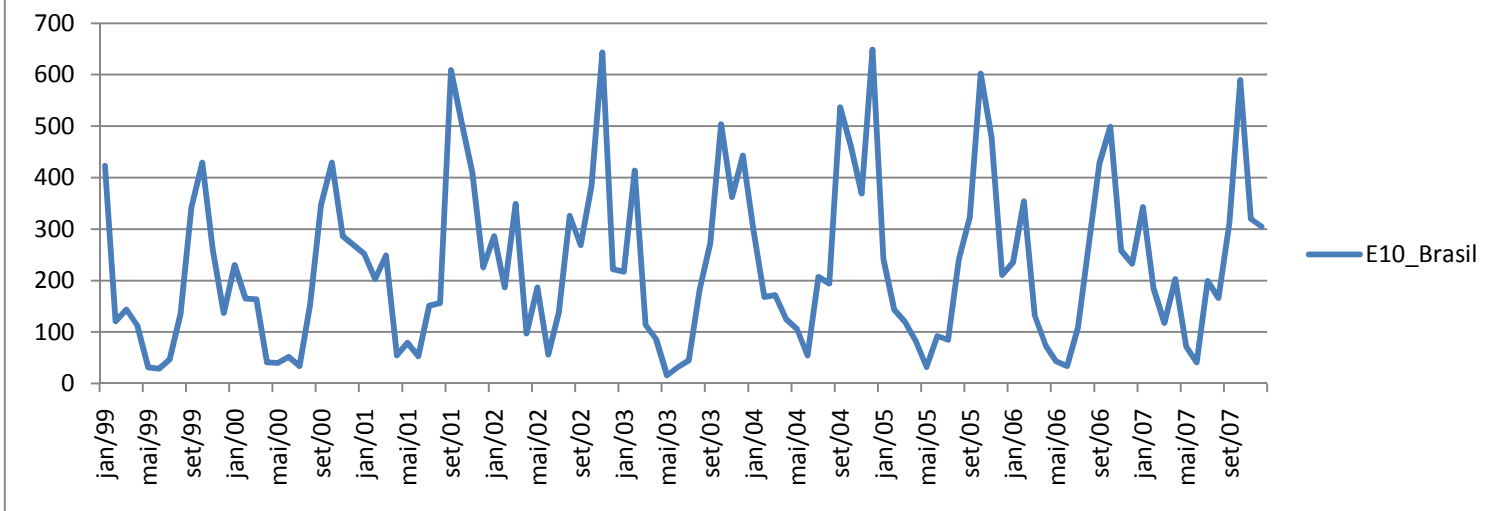


Figura 11 – E10 para o Brasil

Para analisar se existe alguma correlação entre os fenômenos naturais e a ocorrência de descargas atmosféricas em amostras de tempestades foi feita uma correlação linear entre cada variável (“SOI, SOI\_L3, SOI\_L6, Anomalia, RI” - X) e o número de descargas atmosféricas em amostras de tempestades com mais de dez descargas (“E10” - Y) para cada região do Brasil, com auxílio do Excel.

O valor dos coeficientes de correlação linear para cada caso é mostrado abaixo.

- Região SUL

	SOI	SOI_L3	SOI_L6	Anomalia	RI
r	0,017	0,256	0,213	0,100	0,107

- Região SUDESTE

	SOI	SOI_L3	SOI_L6	Anomalia	RI
r	0,185	0,077	0,256	0,172	0,014

- Região CENTRO-OESTE

	SOI	SOI_L3	SOI_L6	Anomalia	RI
r	0,030	0,216	0,156	0,133	0,010

- Região NORDESTE

	SOI	SOI_L3	SOI_L6	Anomalia	RI
r	0,145	0,026	0,242	0,185	0,098

- Região NORTE

	SOI	SOI_L3	SOI_L6	Anomalia	RI
r	0,005	0,273	0,022	0,131	0,137

- BRASIL

	SOI	SOI_L3	SOI_L6	Anomalia	RI
r	-	0,291	0,172	0,137	0,080

Como os valores de correlação linear apresentaram valores muito baixos, a abordagem para realizar a correlação linear foi alterada. Assim, ao invés de utilizar os dados de forma mensal, eles serão analisados no período de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (julho, agosto e setembro).

Desta forma, os valores de E10 foram somados para cada período de interesse e utilizou-se a média dos valores das variáveis, com melhores relações (SOI\_L6 e Anomalia), para o mesmo período. A variável SOI\_L6 foi multiplicada por um fator 5 e a anomalia por um fator 100 para melhor visualização gráfica.

Os gráficos abaixo mostram a nova distribuição dos dados para cada região e para o Brasil no período do verão e inverno.

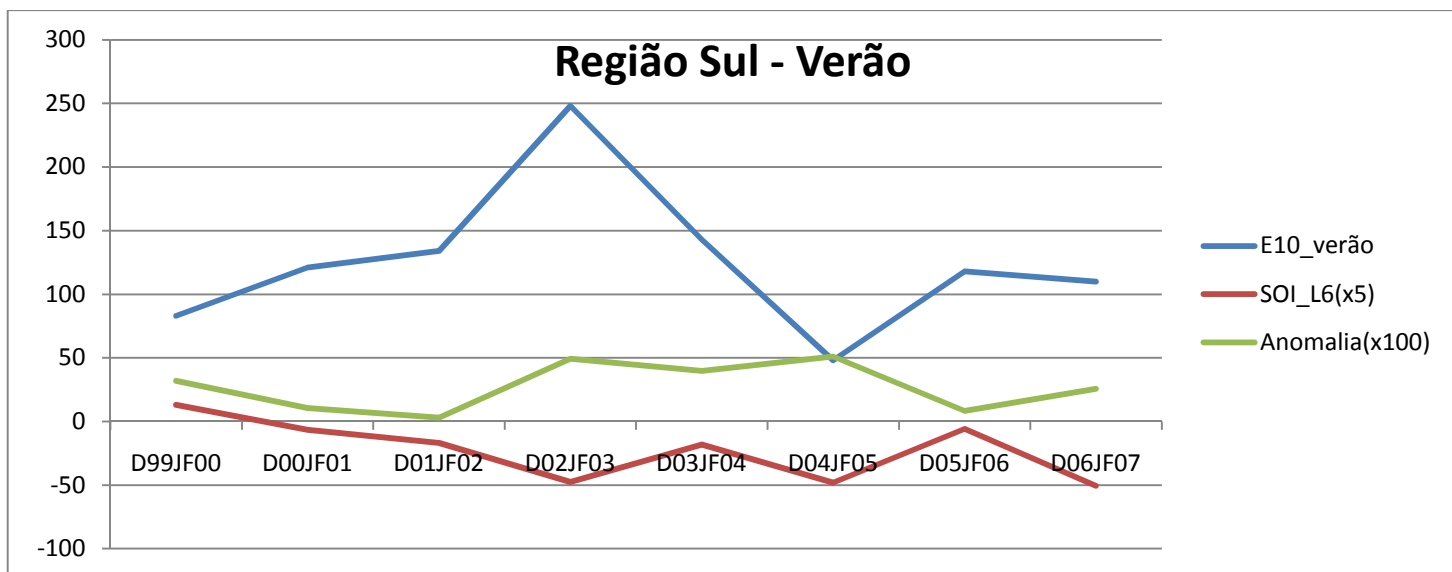


Figura 12 – Região Sul para o Verão

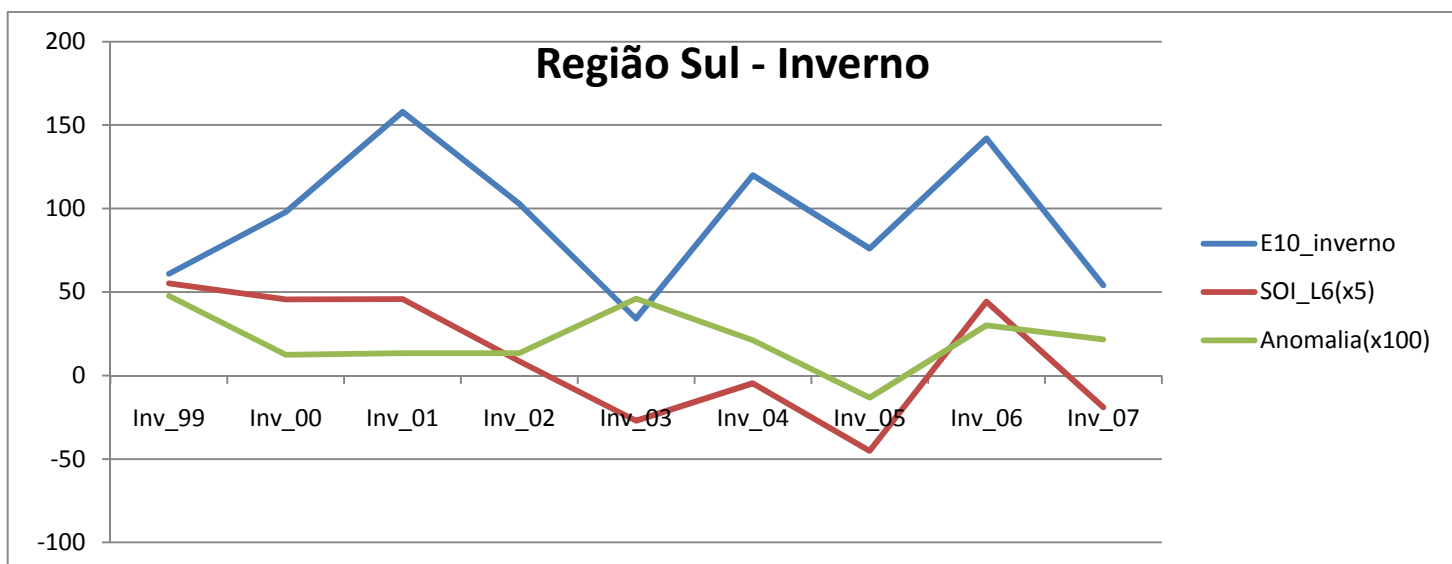


Figura 13 – Região Sul para o Inverno

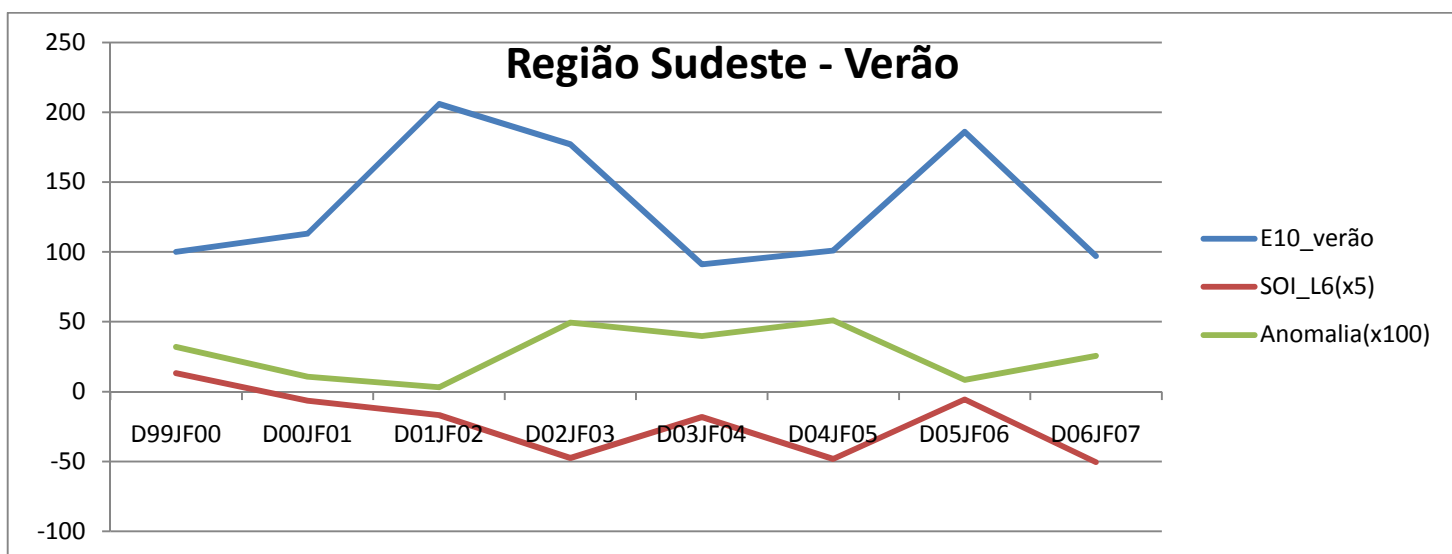


Figura 14 – Região Sudeste para o Verão

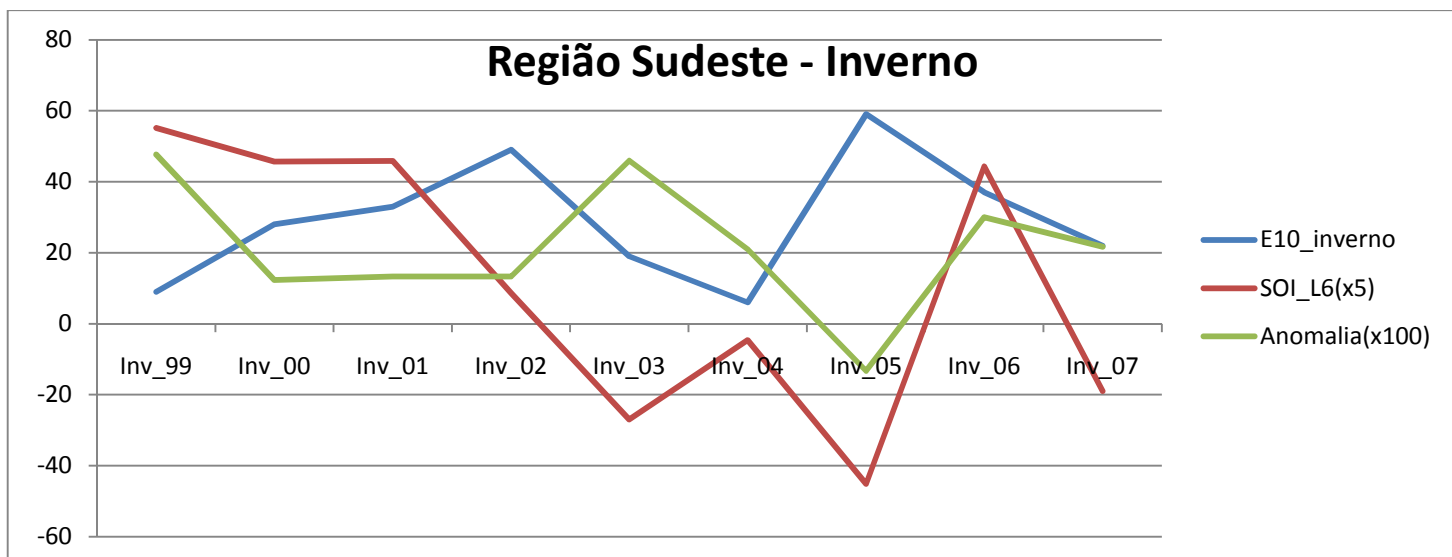


Figura 15 – Região Sudeste para o Inverno

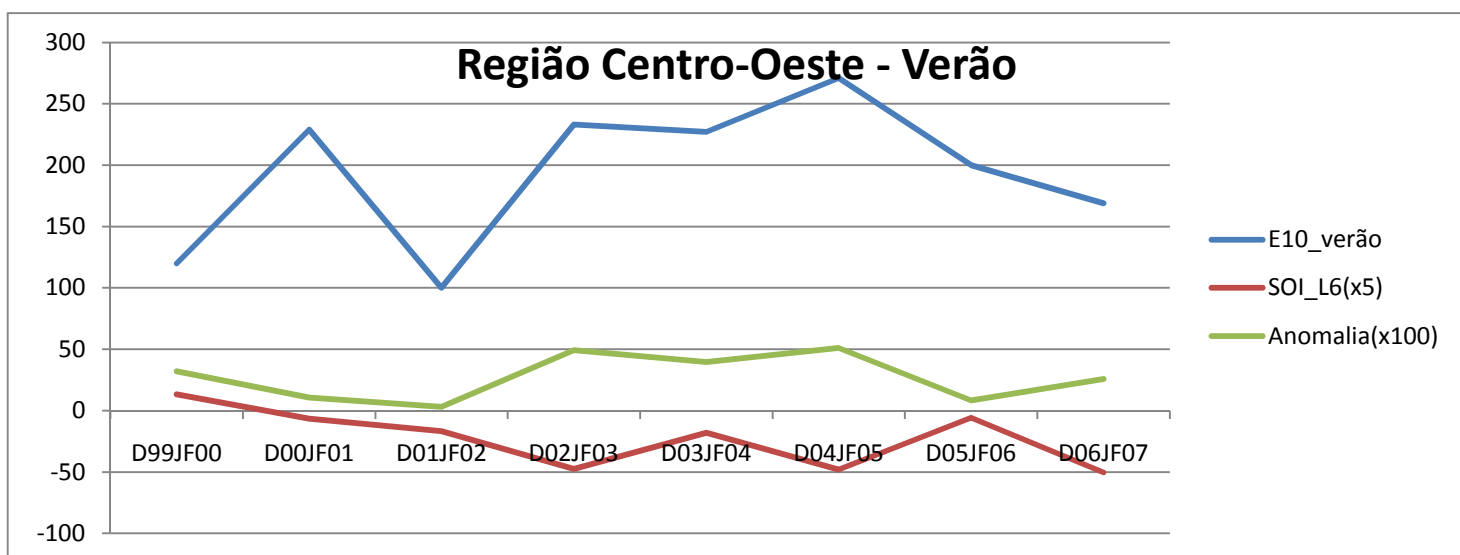


Figura 16 – Região Centro-Oeste para o Verão

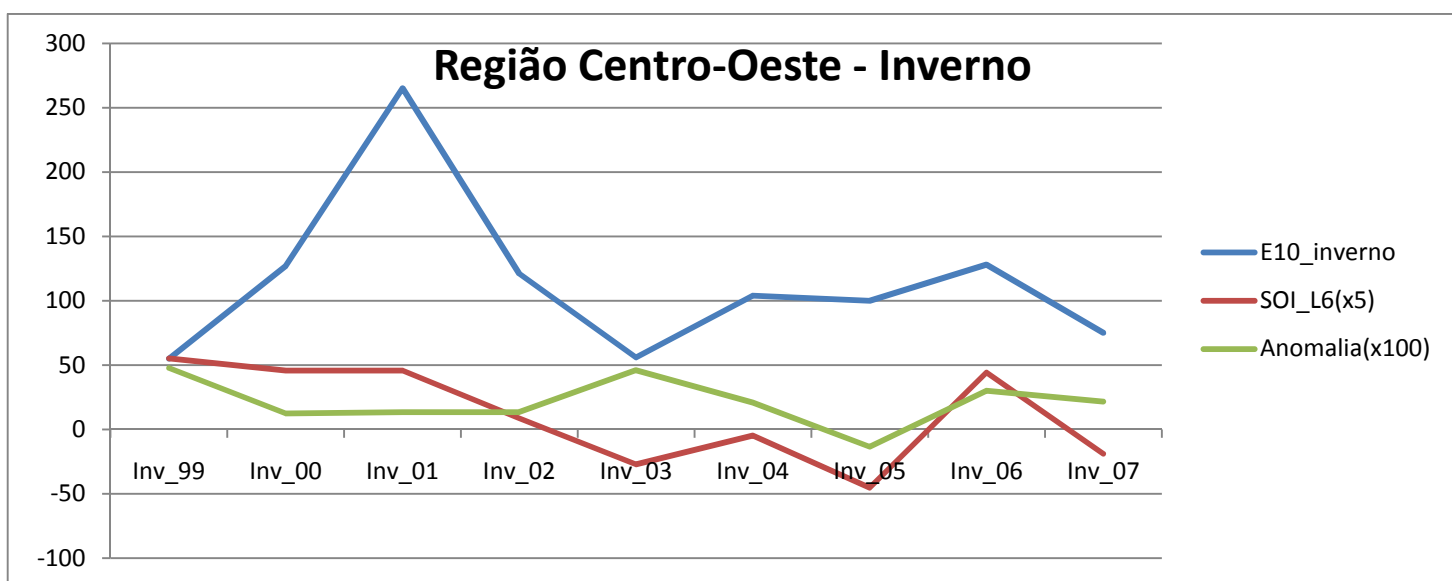


Figura 17 – Região Centro-Oeste para o Inverno

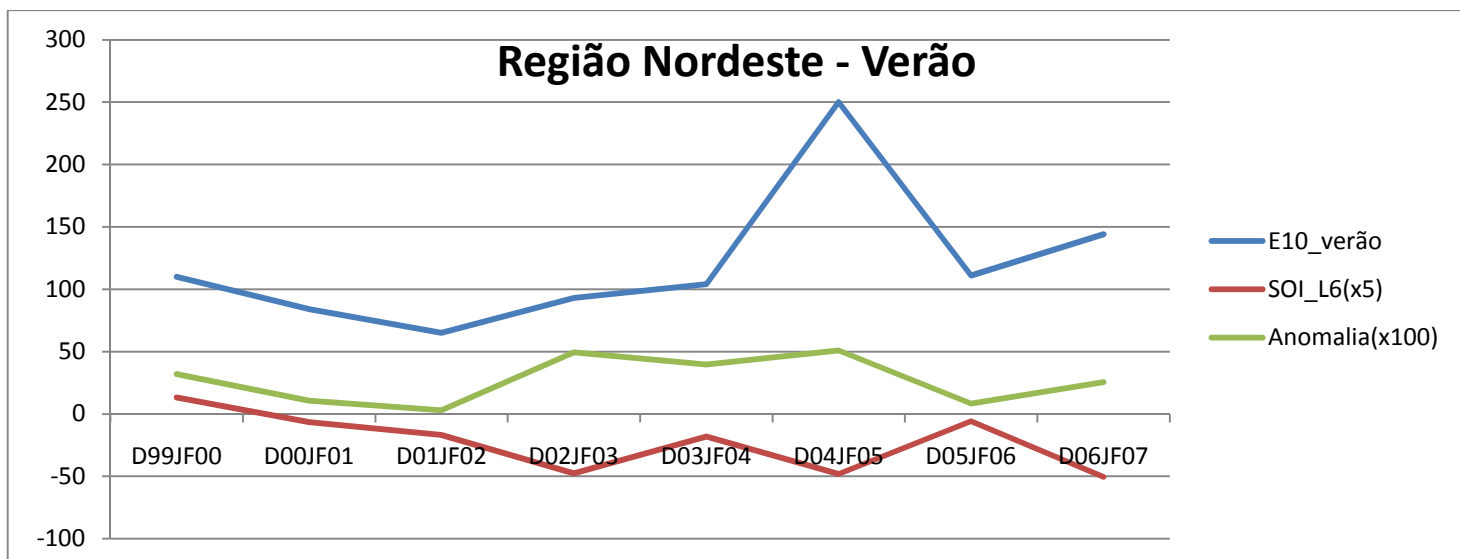
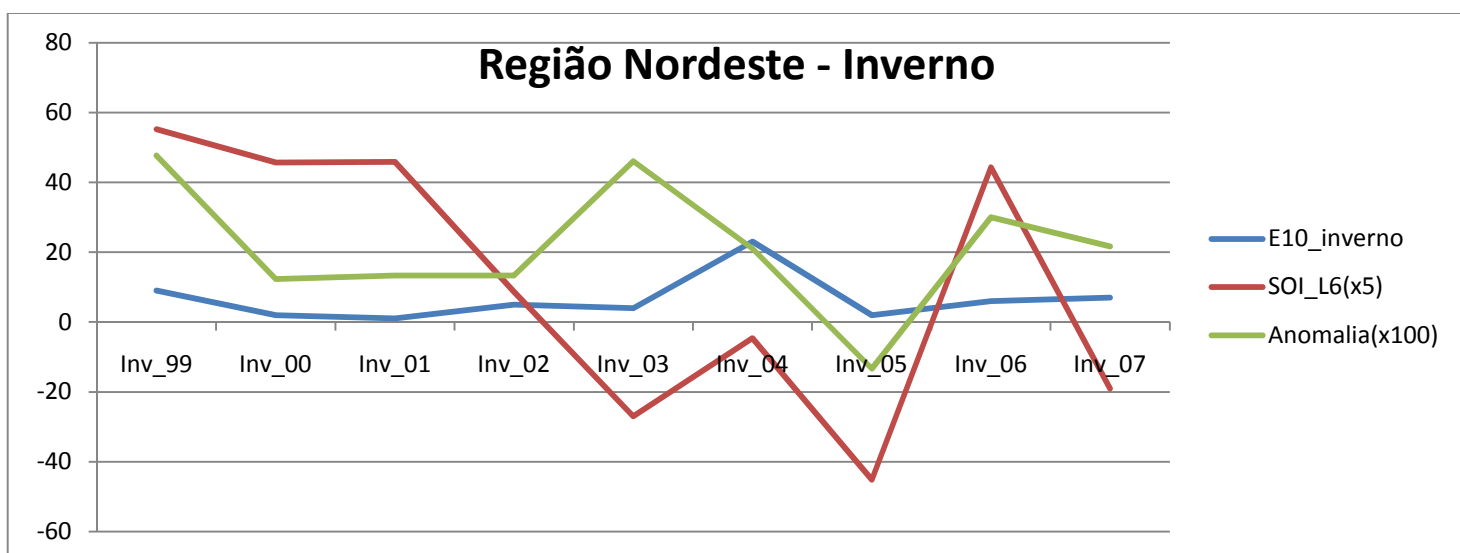


Figura 18 – Região Nordeste para o Verão



Região 19 – Região Nordeste para o Inverno

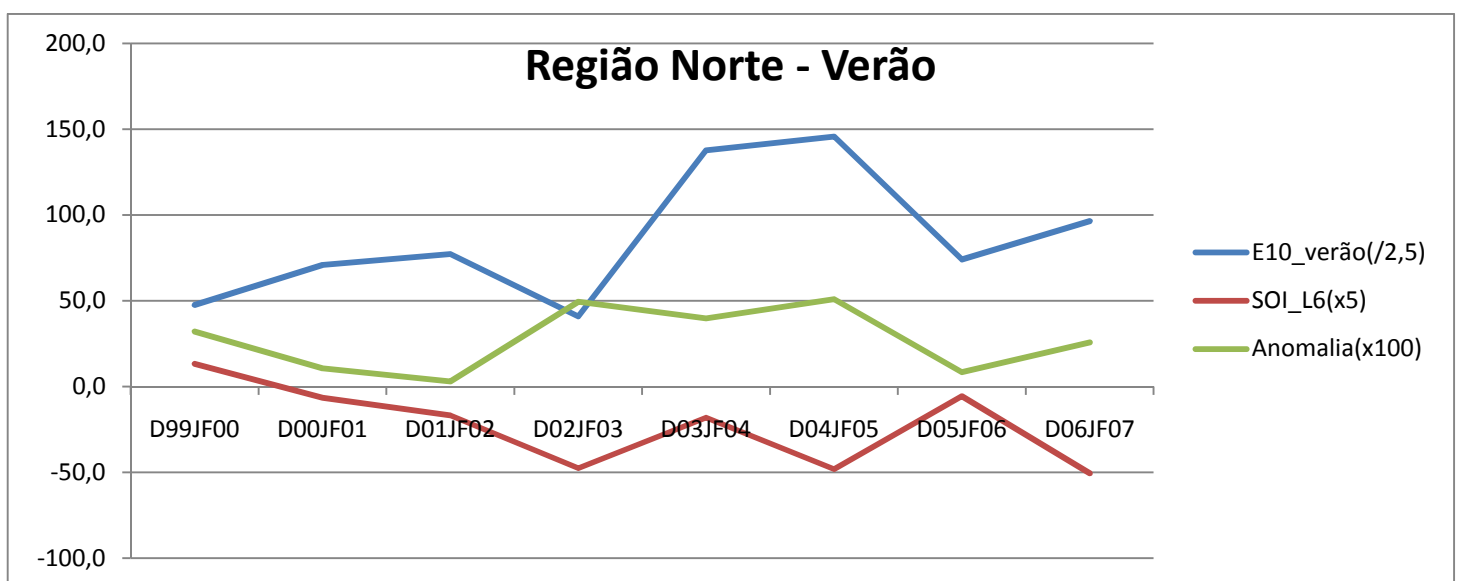


Figura 20 – Região Norte para o Verão



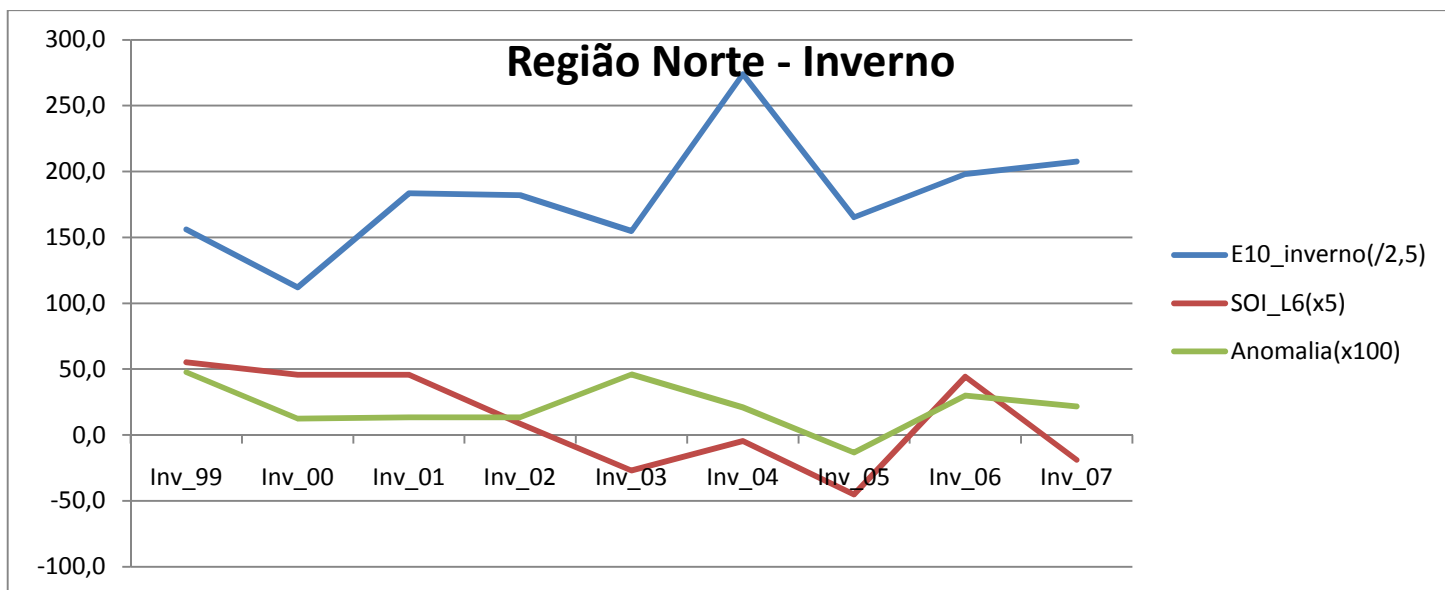


Figura 21 – Região Norte para o Inverno

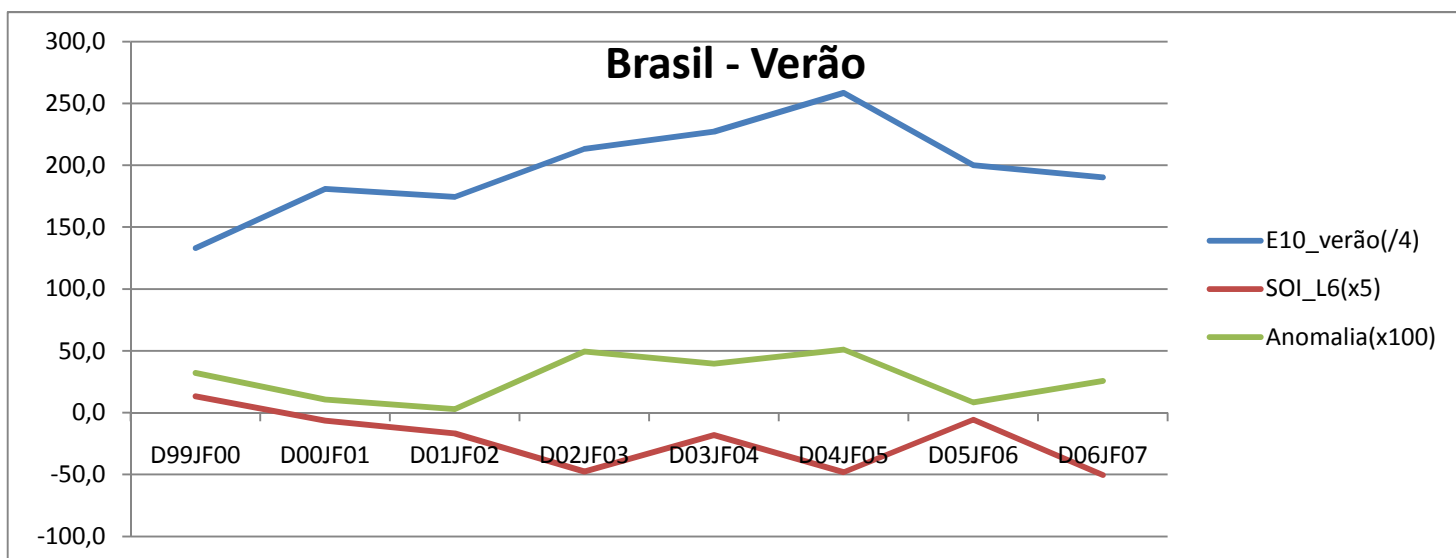


Figura 22 – Brasil para o Verão

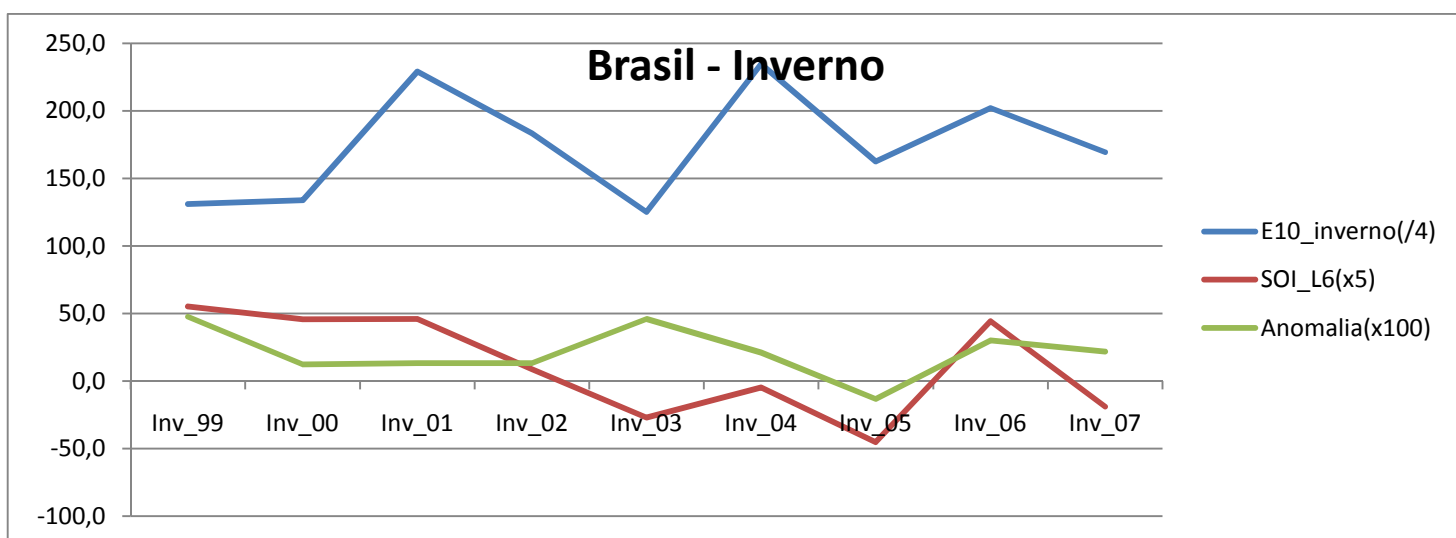


Figura 23 – Brasil para o Inverno

O valor do coeficiente de correlação linear (“r”) é ilustrado abaixo para cada uma das situações.

- Verão

	<b>SOI_L6</b>	<b>Anomalia</b>
<b>Região Sul</b>	0,232	0,120
<b>Região Sudeste</b>	0,045	0,460
<b>Região Centro-Oeste</b>	0,469	0,562
<b>Região Nordeste</b>	0,505	0,574
<b>Região Norte</b>	0,367	0,309
<b>Brasil</b>	0,687	0,540

*Tabela 1 – Coeficiente de Correlação Linear para o Verão*

- Inverno

	<b>SOI_L6</b>	<b>Anomalia</b>
<b>Região Sul</b>	0,528	0,315
<b>Região Sudeste</b>	0,246	0,734
<b>Região Centro-Oeste</b>	0,416	0,400
<b>Região Nordeste</b>	0,088	0,247
<b>Região Norte</b>	0,240	0,006
<b>Brasil</b>	0,100	0,304

*Tabela 2 – Coeficiente de Correlação Linear para o Inverno*

Para essa distribuição de dados os valores de “r” foram mais altos, assim foi feita a regressão linear com multivariáveis (SOI\_L6 e Anomalia juntos) para simular o valor de E10 para cada uma das cinco regiões e para o Brasil. Antes de realizar a regressão linear os dados das variáveis foram adaptados de forma que apresentem uma média igual a zero e variância igual a um. O tipo de equação que será encontrada será:

$$E10_{simulado} = a.SOI_{L6} + b.Anomalia + c$$

As equações para cada uma das situações são ilustradas abaixo:

- Verão

	<b>Equação para o Verão</b>
<b>Região Sul</b>	$E10_S = 125,625 - 13,44956963.SOI_{L6} - 0,016299996.Anomalia$
<b>Região Sudeste</b>	$E10_{SE} = 133,875 - 12,59148349.SOI_{L6} - 29,32503515.Anomalia$
<b>Região Centro-Oeste</b>	$E10_{CO} = 193,625 - 14,35612037.SOI_{L6} + 25,91455329.Anomalia$
<b>Região Nordeste</b>	$E10_{NE} = 120,125 - 16,20896604.SOI_{L6} + 24,44996601.Anomalia$
<b>Região Norte</b>	$E10_N = 215,625 - 27,07539896.SOI_{L6} + 15,51413219.Anomalia$
<b>Brasil</b>	$E10_{BR} = 788,875 - 83,69053849.SOI_{L6} + 37,53731631.Anomalia$

*Tabela 3 – Expressão da Regressão Linear Multivariável para o Verão*

- Inverno

	<b>Equação para o Inverno</b>
<b>Região Sul</b>	$E10_S = 94 + 29,71145922.SOI_{L6} - 23,07529414.Anomalia$
<b>Região Sudeste</b>	$E10_{SE} = 29,11111111 + 0,020152379.SOI_{L6} - 12,87406841.Anomalia$
<b>Região Centro-Oeste</b>	$E10_{CO} = 114,55555556 + 39,2165721.SOI_{L6} - 38,44681941.Anomalia$
<b>Região Nordeste</b>	$E10_{NE} = 6,555555556 - 1,292579896.SOI_{L6} + 2,089435046.Anomalia$
<b>Região Norte</b>	$E10_N = 453,66666667 - 30,01184957.SOI_{L6} + 9,452161601.Anomalia$
<b>Brasil</b>	$E10_{BR} = 697,88888889 + 37,64375423.SOI_{L6} - 62,85458531.Anomalia$

*Tabela 4 – Expressão da Regressão Linear Multivariável para o Inverno*

Os valores do coeficiente de correlação linear para cada uma das relações com multivariáveis são:

	Verão	Inverno
<b>Região Sul</b>	0,232	0,744
<b>Região Sudeste</b>	0,514	0,734
<b>Região Centro-Oeste</b>	0,598	0,708
<b>Região Nordeste</b>	0,623	0,307
<b>Região Norte</b>	0,392	0,253
<b>Brasil</b>	0,719	0,373

*Tabela 5 – Coeficiente de Correlação Linear Multivariável para o Verão e Inverno*

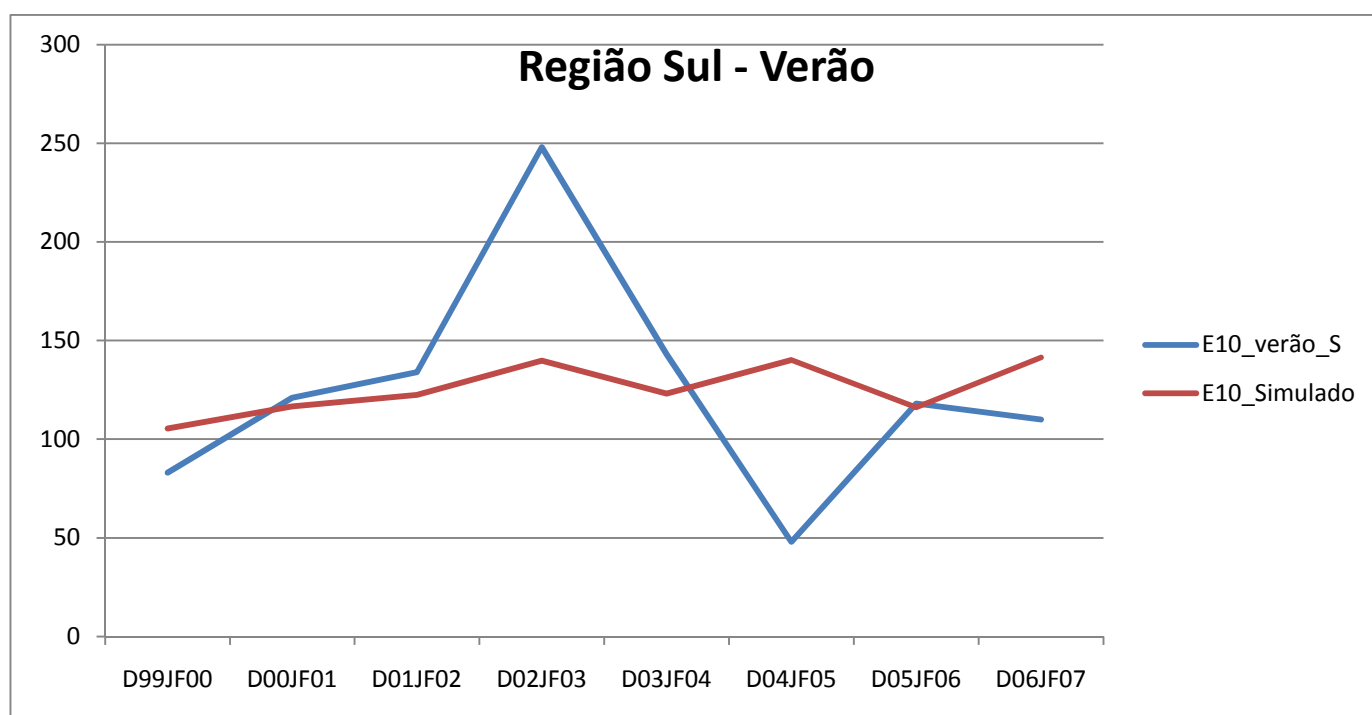
Pode-se observar que a maioria das relações apresenta coeficiente de correlação linear moderado ou forte, sendo que algumas ainda apresentaram correlação fraca.

Os coeficientes que multiplicam as variáveis das tabelas (3) e (4) indicam o quão forte é a relação dessas variáveis com a formação do E10. Assim, pode-se realizar as seguintes observações a respeito desses resultados:

- **Região Sul**

- Verão

Apresentou uma correlação linear multivariável fraca. O SOI\_L6 indica uma relação negativa em que para um determinado valor, a sua contribuição para o E10 é de um fator de aproximadamente “-16”. A anomalia do Atlântico tem uma relação muito baixa em relação ao E10, em que para um determinado valor a sua contribuição é de um fator de aproximadamente “-0,2”. A figura (24) mostra a comparação entre o valor real (coletado pelo LIS) e o valor simulado (obtido pela regressão linear multivariável apresentada na tabela 3).



*Figura 24 – Comparação entre o E10<sub>real</sub> e o E10<sub>simulado</sub>*

- Inverno

Apresentou uma correlação linear multivariável forte. O SOI\_L6 tem uma contribuição positiva para a formação do E10 com um fator de aproximadamente “30”. A anomalia do Atlântico contribui de forma negativa com um fator de aproximadamente “-23”. A figura (25) compara o E10 real e o E10 simulado.

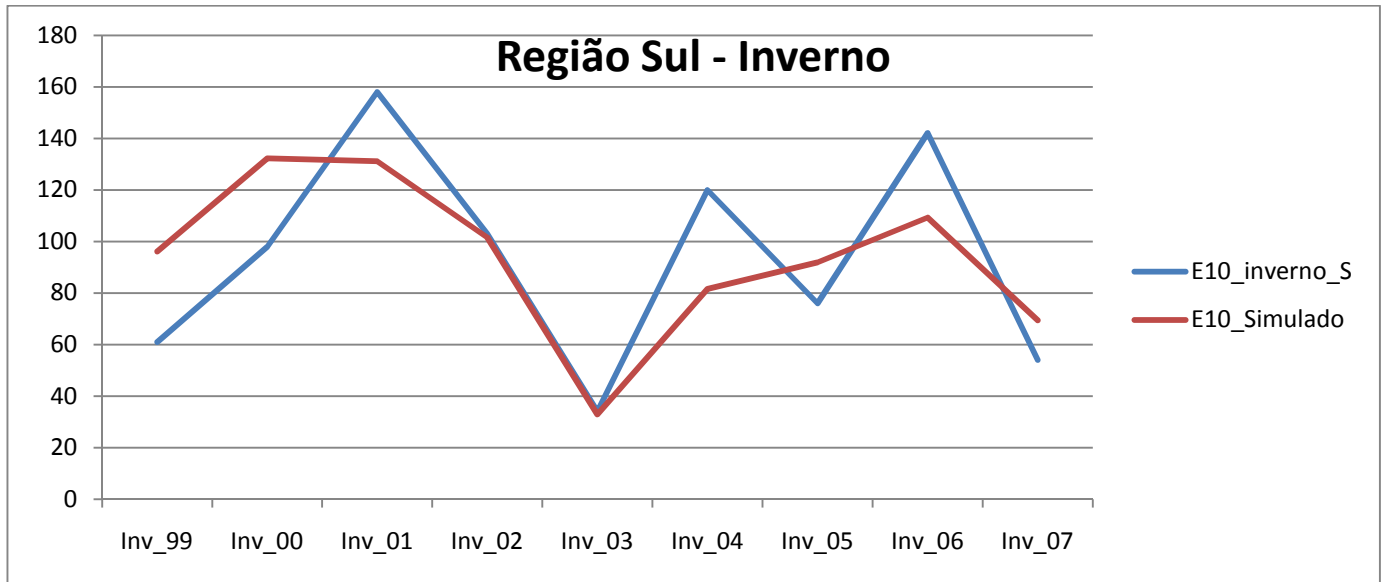


Figura 25 – Comparação entre o E10<sub>real</sub> e o E10<sub>simulado</sub>

- Região Sudeste

- Verão

Apresentou uma correlação linear multivariável moderada. O SOI\_L6 tem uma contribuição negativa para a formação do E10 com um fator de aproximadamente “-13”. A anomalia do Atlântico também contribui de forma negativa com um fator de aproximadamente “-28”.

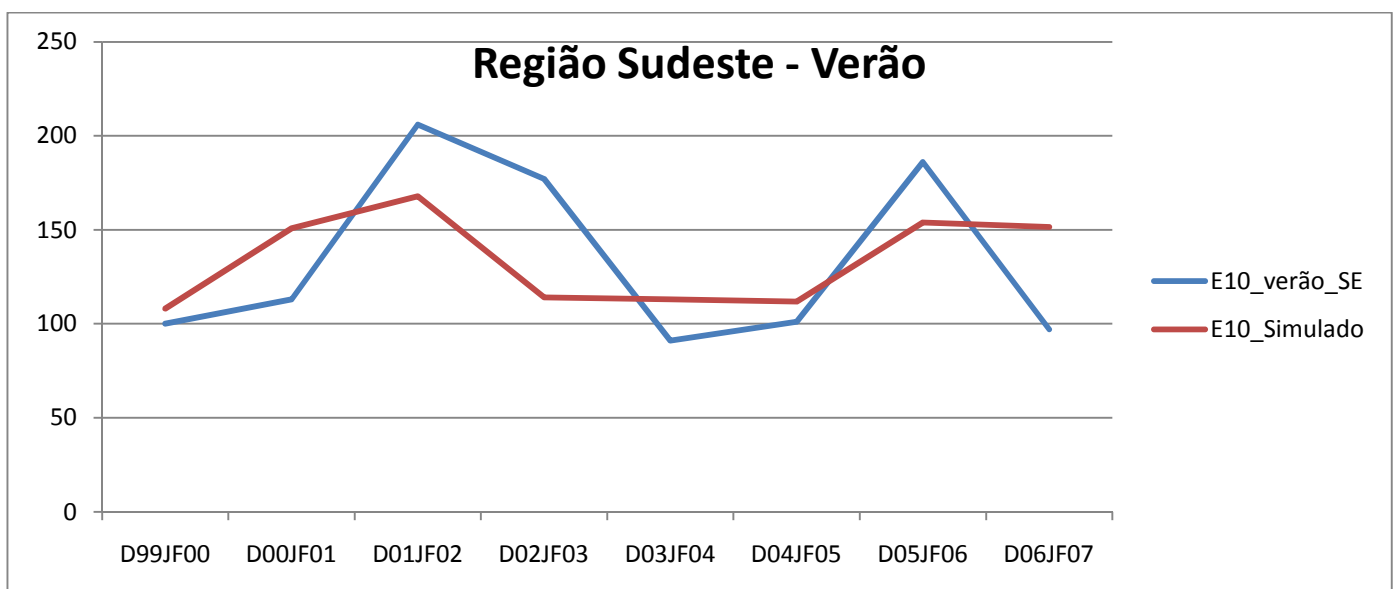


Figura 26 – Comparação entre o E10<sub>real</sub> e o E10<sub>simulado</sub>

- Inverno

Apresenta uma correlação linear multivariável forte. O SOI\_L6 contribui com a formação do E10 de forma positiva com um fator de aproximadamente “0,02”. A anomalia do Atlântico contribui de forma negativa com um fator de aproximadamente “-13”.

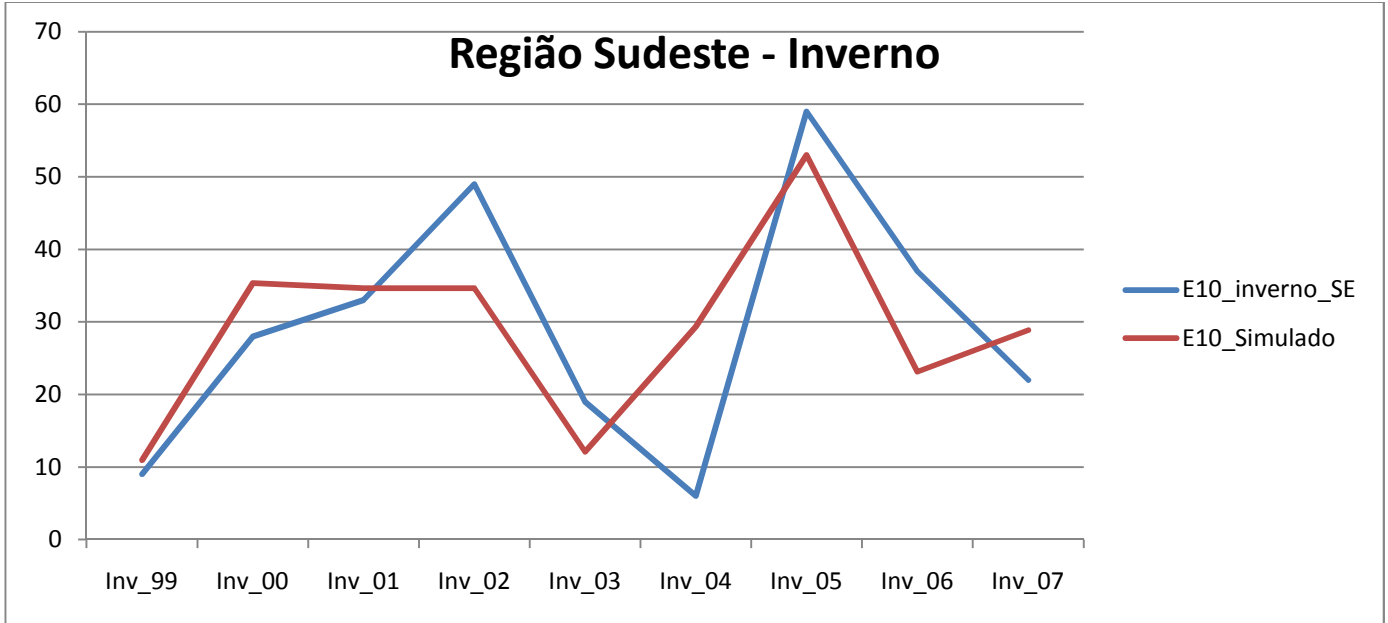


Figura 27 - Comparação entre o  $E10_{real}$  e o  $E10_{simulado}$

- Região Centro-Oeste

- Verão

Apresenta correlação linear multivariável moderada. O SOI\_L6 contribui com a formação do E10 de forma negativa com um fator de aproximadamente “-14”. A anomalia do Atlântico contribui de forma positiva com um fator de aproximadamente “26”.

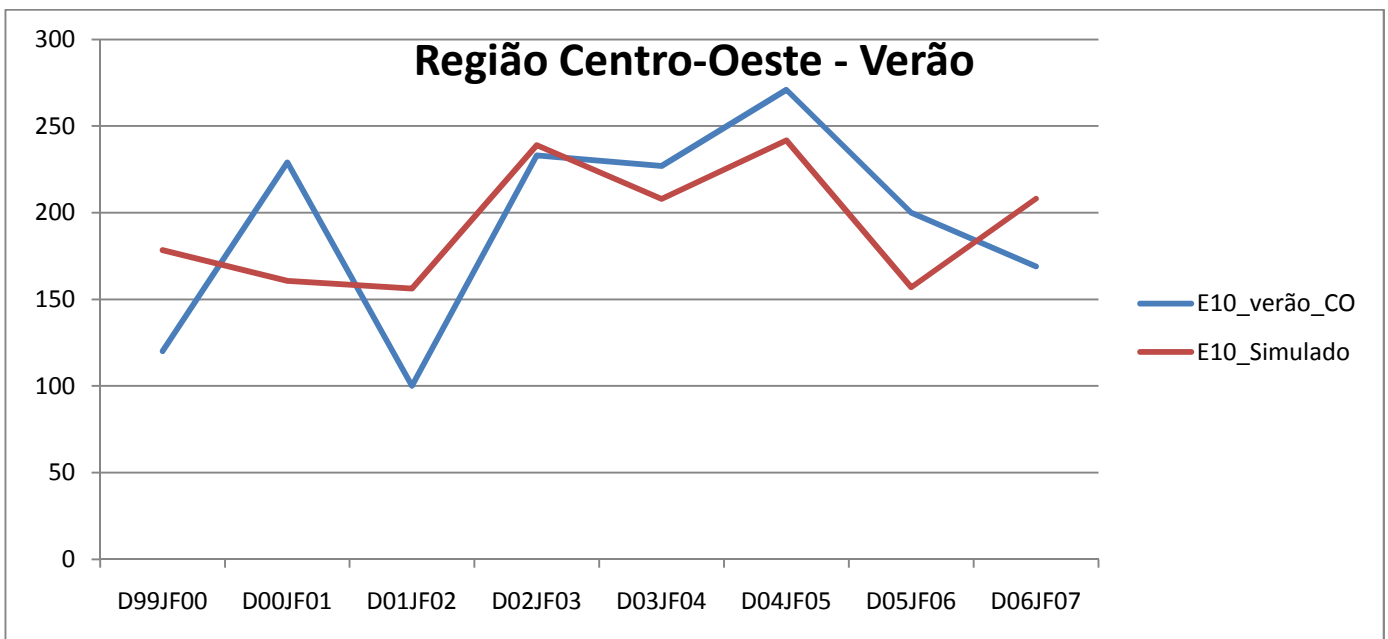


Figura 28 - Comparação entre o  $E10_{real}$  e o  $E10_{simulado}$

- Inverno

Apresenta uma correlação linear multivariável forte. O SOI\_L6 contribui de forma positiva para a formação do E10 com um fator de aproximadamente “39”. A anomalia do Atlântico contribui de forma negativa com um fator de aproximadamente “38”.

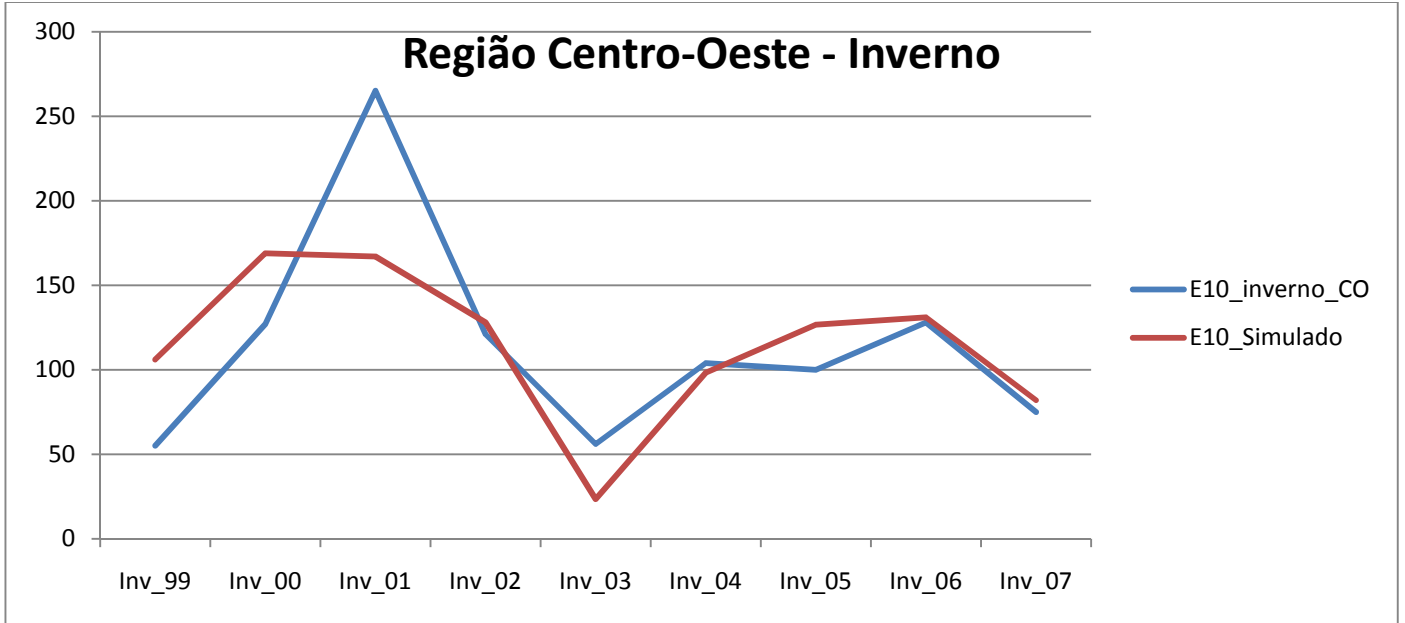


Figura 29 - Comparação entre o  $E10_{real}$  e o  $E10_{simulado}$

- Região Nordeste

- Verão

Apresenta uma correlação linear multivariável moderada. O SOI\_L6 contribui de forma negativa para a formação do E10 com um fator de aproximadamente “-16”. A anomalia do Atlântico tem uma contribuição positiva com um fator de aproximadamente “24”.

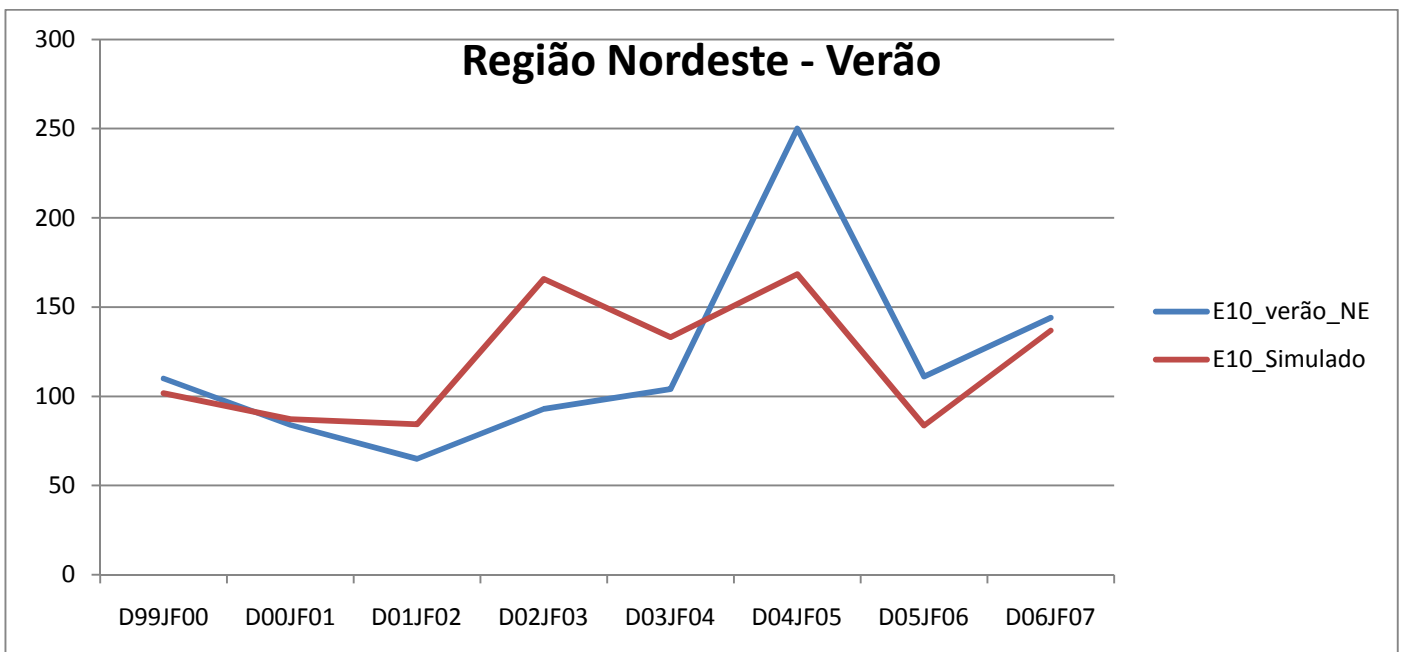


Figura 30 - Comparação entre o  $E10_{real}$  e o  $E10_{simulado}$

- Inverno

Apresenta uma correlação linear multivariável fraca. O SOI\_L6 apresenta uma relação negativa para a formação do E10 com um fator de aproximadamente “-1”. A anomalia do Atlântico contribui de forma positiva com um fator de aproximadamente “2”.

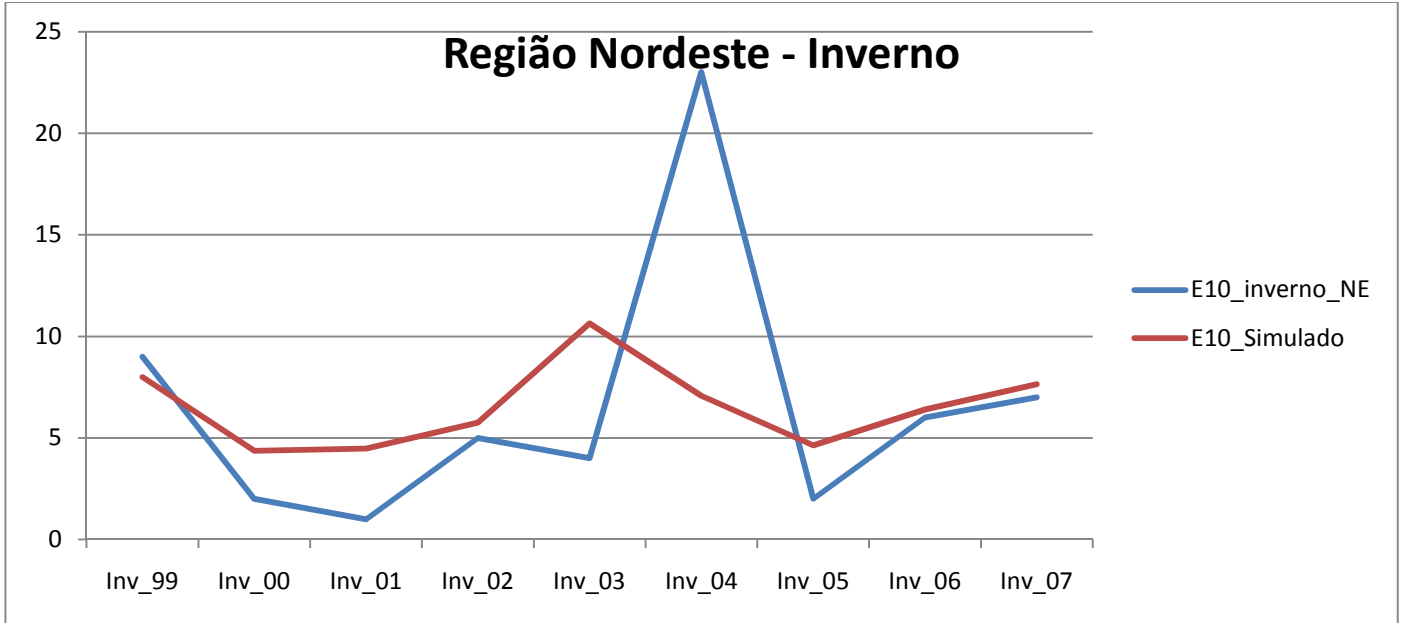


Figura 31 - Comparação entre o  $E10_{real}$  e o  $E10_{simulado}$

- Região Norte

- Verão

Apresenta correlação linear multivariável fraca. O SOI\_L6 contribui de forma negativa para a formação do E10 com um fator e aproximadamente “-27”. A anomalia do Atlântico tem uma relação positiva com um fator de aproximadamente “16”.

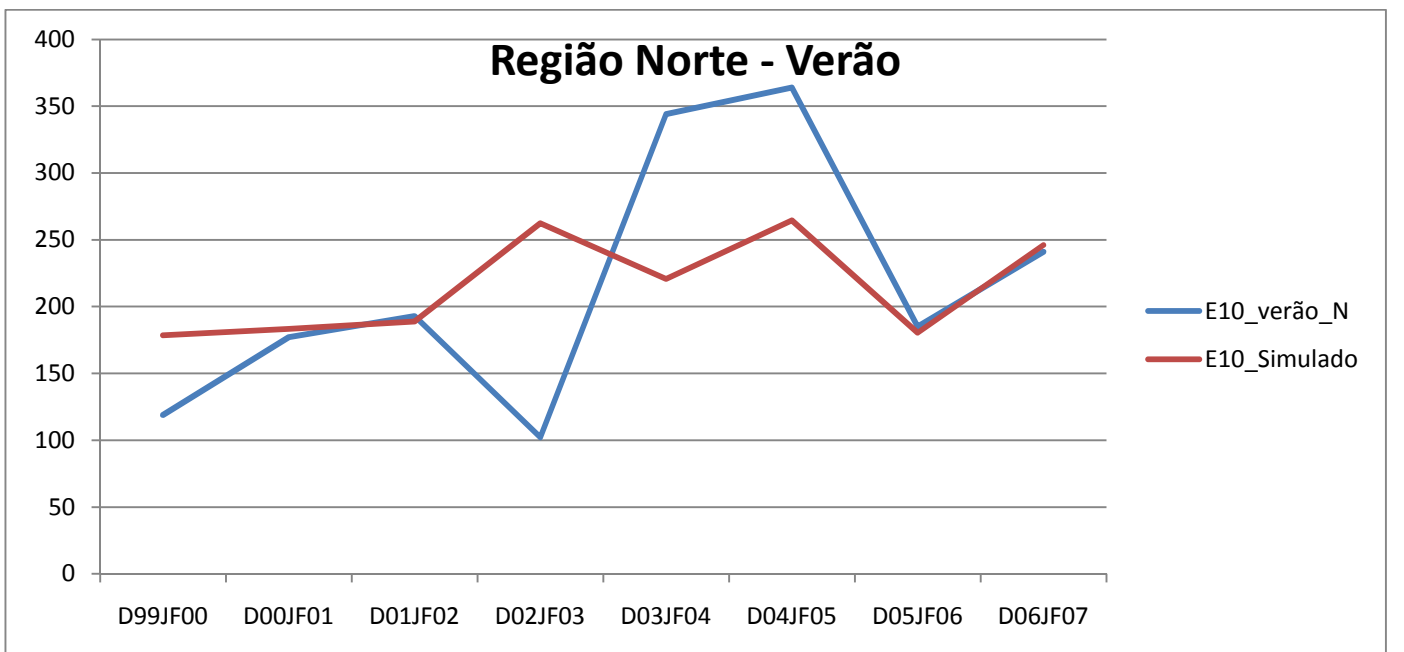


Figura 32 - Comparação entre o  $E10_{real}$  e o  $E10_{simulado}$

- Inverno

Apresenta correlação linear multivariável fraca. O SOI\_L6 contribui de forma negativa para a formação do E10 com um fator de aproximadamente “-30”. A anomalia do Atlântico relaciona-se de forma positiva com um fator de aproximadamente “9”.

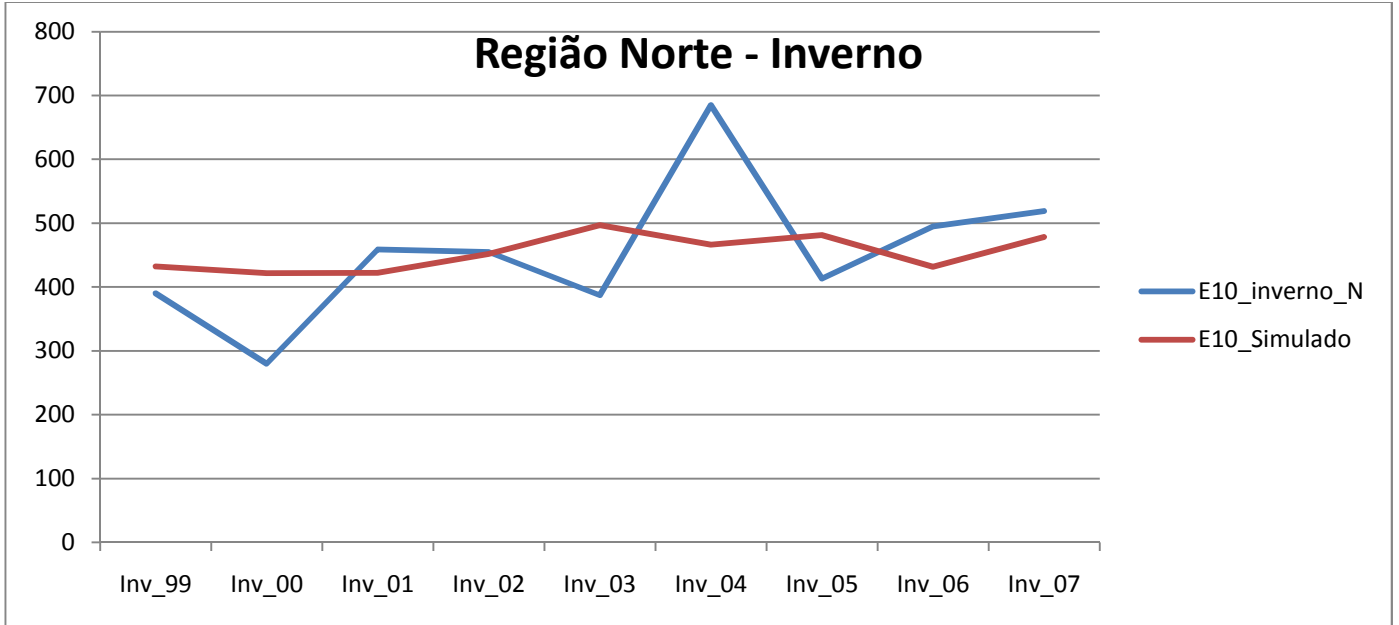


Figura 33 - Comparação entre o E10<sub>real</sub> e o E10<sub>simulado</sub>

- Brasil

- Verão

Apresenta uma correlação linear multivariável forte. O SOI\_L6 relaciona-se de forma negativa com a formação do E10 com um fator de aproximadamente “-84”. A anomalia do Atlântico contribui de forma positiva com um fator de aproximadamente “38”.

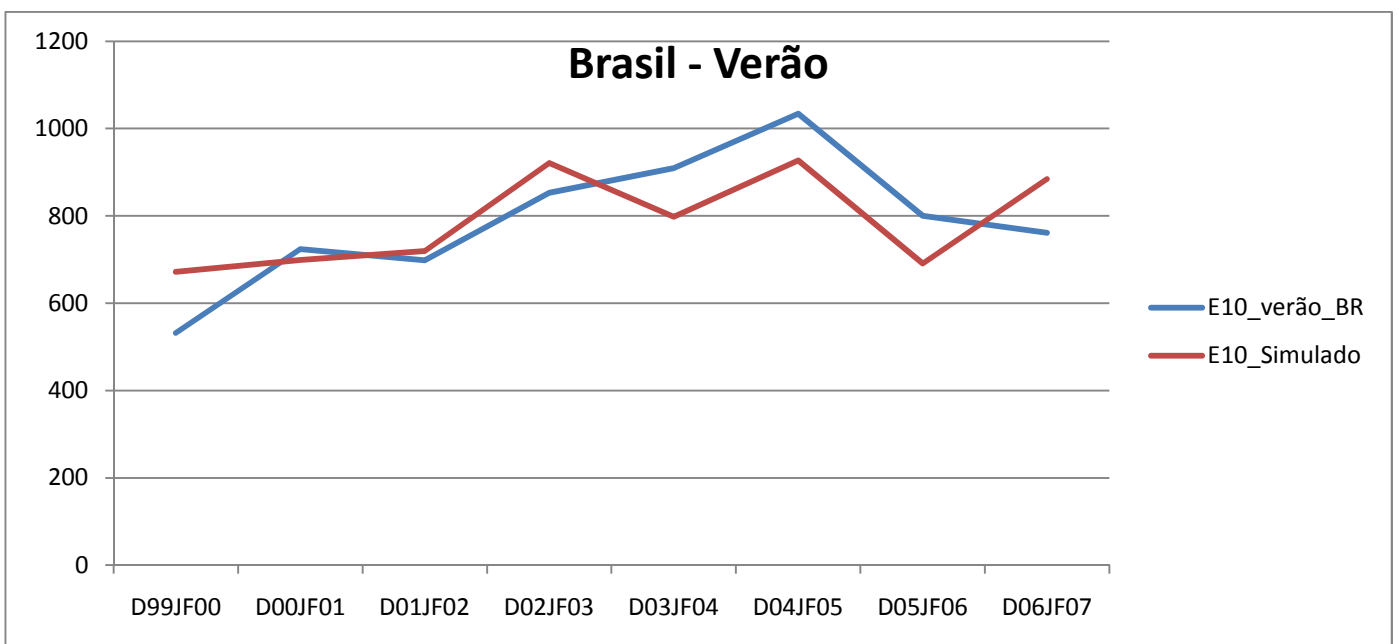


Figura 34 - Comparação entre o E10<sub>real</sub> e o E10<sub>simulado</sub>



o Inverno

Apresenta uma correlação linear multivariável fraca. O SOI\_L6 relaciona-se de forma positiva com a formação do E10 e apresenta um fator de aproximadamente “38”. A anomalia do Atlântico contribui de forma negativa com um fator de aproximadamente “-63”.

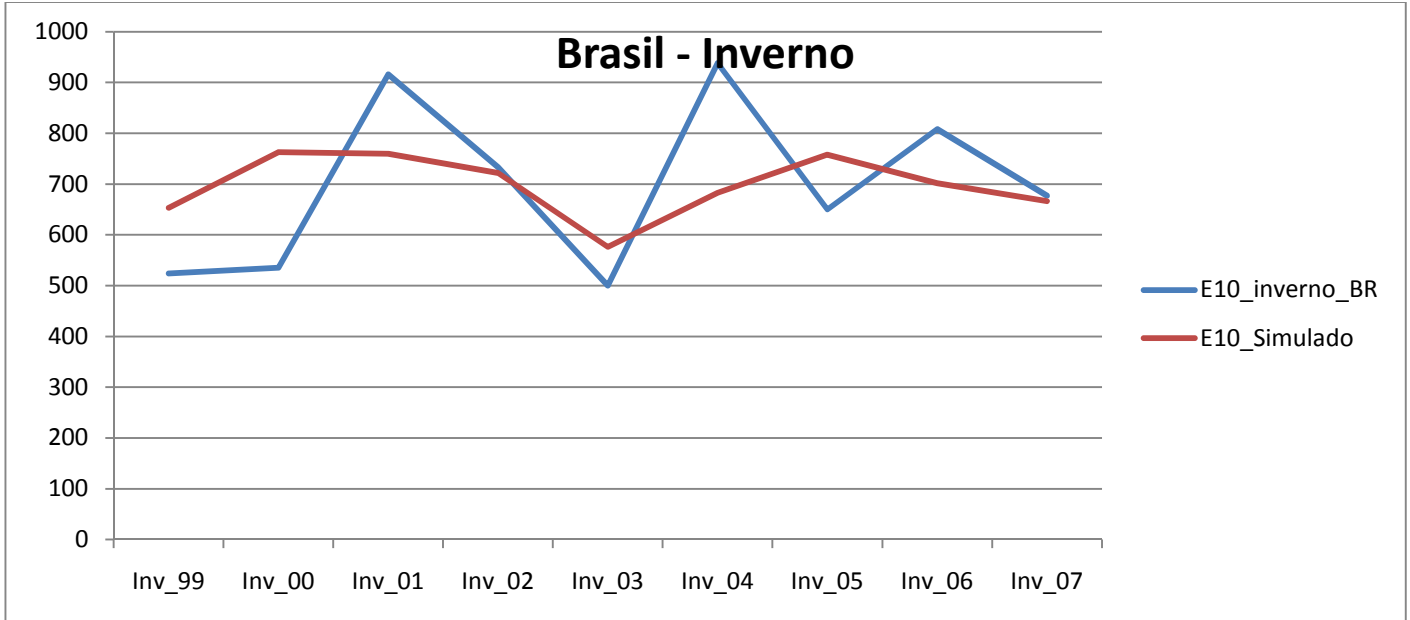


Figura 35 - Comparação entre o  $E10_{real}$  e o  $E10_{simulado}$

## 5. CONCLUSÃO

Pesquisaram-se sobre o princípio básico de alguns fenômenos naturais, tais como: El Niño, La Niña, Anomalia do Atlântico e Manchas Solares com o intuito de fazer correlações entre esses fenômenos com o número de amostras de tempestades com mais de dez descargas atmosféricas em uma grade de 50km<sup>2</sup> durante 90 segundos.

Através da correlação mensal dos dados das variáveis de possível influência sobre o E10 com o próprio valor de E10, observou-se que não há uma relação considerável dos fenômenos com o E10.

Assim, adotou-se uma abordagem por períodos de verão e inverno para verificação de alguma correlação. Com essa nova abordagem observou-se uma correlação mais significativa, principalmente quando esta feita com multivariáveis.

No período de verão pode-se observar que o SOI\_L6 relaciona-se com um fator negativo em todas as regiões, ou seja, quando há ocorrência de El Niño (índice SOI negativo) aumenta-se a formação de E10 (com La Niña ocorre o oposto). Enquanto que a anomalia do Atlântico relaciona-se com um fator positivo nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Norte e para todo o Brasil, ou seja, quando o Atlântico Norte está mais quente que o Atlântico Sul (índice da anomalia positivo) favorece a formação de E10 nessas regiões, já para as regiões Sul e Sudeste, isto ocorre de forma contrária.

No período de inverno pode-se observar que o SOI\_L6 apresenta uma relação negativa nas regiões Nordeste e Norte, assim, com ocorrência de El Niño aumenta-se a formação de E10 nessas regiões, e nas demais regiões diminui-se o E10 (em períodos de La Niña ocorre o contrário). A anomalia do Atlântico relaciona-se de forma positiva com as regiões Nordeste e Norte, com isso, quando o Atlântico Norte está mais quente

que o Atlântico Sul aumenta-se E10, e para as demais regiões diminui-se o mesmo (ocorre o oposto quando o Atlântico Sul está mais quente).

## **6. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte dado para o desenvolvimento da pesquisa através da bolsa de iniciação científica.

## **7. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Tempestade e relâmpagos no Brasil, O. Pinto Jr. e I.R.C.A. Pinto
- [2] <http://thunder.msfc.nasa.gov./lis/>
- [3] <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>
- [4] [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/natural/artigos/fenomenos\\_climaticos.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/natural/artigos/fenomenos_climaticos.html)
- [5] Relatório “Análise de dados de descargas atmosféricas obtidas por satélites”, Ferreira. M. C. A (Orientado por O. Pinto Jr.) (SOI\_L6 e Anomalia)